

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. Introducción

Las vías son de vital importancia en el desarrollo de una ciudad, ya que tiene la función de transportar a los usuarios de una manera segura y confortable, así como también el ahorro del tiempo y costos de operación de los vehículos. Es por eso que es muy importante tener vías en buenas condiciones, que satisfagan las necesidades mencionadas y dar un beneficio considerable a los usuarios.

Las vías tienen un periodo de vida útil predeterminado, sin embargo por diferentes razones como ser: volumen mayor de tránsito, mal funcionamiento del drenaje, falta de mantenimiento, clima, etc. Esto genera que el pavimento falle y no se llegue a cumplir con el periodo de vida útil esperado, para evitar esto es muy importante realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación de las vías para brindar un buen funcionamiento y comodidad para los usuarios que serán los beneficiados.

Es por esto que, para poder seleccionar o decidir adecuadamente los trabajos de mantenimiento y rehabilitación, se necesita conocer el estado del pavimento y las fallas que presente, para ello se deben realizar evaluaciones de diferentes tipos de metodologías.

En el presente trabajo se va a realizar una evaluación superficial basándose en el método del PCI (índice de condición del pavimento) y también una evaluación estructural por el método no destructivo de la viga Benkelman en la carretera a Sella tramo "Cruce barrio los Laureles-Monte Centro", para así determinar el estado actual del pavimento dependiendo el tipo, cantidad y severidad de las fallas que presente, asimismo proponer un costo de reparación para que luego se pueda realizar los trabajos de mantenimiento y/o rehabilitación adecuadamente y poder tener una vía segura y confortable para los usuarios.

1.2. Antecedentes

En los últimos años las evaluaciones superficiales y estructurales en los pavimentos subieron mucho su popularidad gracias a su gran aporte que brindan para tratar a tiempo una carretera, mejorando sus condiciones y así ayudando a que cumplan con su vida útil.

Hace varios años que se vienen haciendo estas evaluaciones y se pudo observar que los pavimentos de la ciudad estaban en mal estado presentando varias fallas, especialmente en su superficie. Gracias a estas evaluaciones que nos permiten conocer el

tipo, severidad y cantidad de fallas ya sea estructurales o superficiales, se fueron evaluando cada vez más los pavimentos de la ciudad para así poder seleccionar un adecuado plan de mantenimiento o rehabilitación de la carretera y así evitar mayores costos en reconstrucción como también brindar carreteras en buenas condiciones para los usuarios.

Observando los trabajos realizados se puede observar que para lograr la vida útil deseada de un pavimento, y que este brinde condiciones óptimas, es necesario realizar trabajos de mantenimiento y/o prevención rutinarios o periódicos, por lo tanto para poder seleccionar adecuadamente estos mantenimientos se necesita conocer el estado en el que se encuentra el pavimento mediante evaluaciones superficiales y estructurales.

1.3. Justificación

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

El tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” es una de las principales alternativas para los turistas, habitantes de la zona o cualquier persona que quiera llegar al municipio de San Lorenzo en la provincia Méndez, como también a las comunidades de Sella, Monte Centro y Monte Cercado.

Al ir a dicho tramo pudimos observar que éste no está en buenas condiciones ya que cuenta con una gran variedad de fallas en la superficie como ser: piel de cocodrilo, agrietamientos en bloque, fisuras transversales y longitudinales, grietas de borde, abultamientos y hundimientos, corrugación, depresiones, huecos o baches. Todas las fallas se las puede observar de manera visual y estas no permiten que la vía brinde las condiciones necesarias para que los usuarios se transporten de manera segura, cómoda y eficiente.

Es por eso que es muy importante conocer el estado actual del tramo mediante una evaluación superficial por el método del PCI (Índice de Condición del Pavimento) y también una evaluación estructural por el método de la viga Benkelman, para determinar la cantidad y severidad de las fallas que presente y así poder seleccionar adecuadamente la metodología a usar para la rehabilitación o mantenimiento de la vía, de tal manera que

cumpla con su vida útil, resulte lo más económico posible y brinde las condiciones adecuadas para los usuarios.

1.4. Planteamiento del problema

1.4.1. Situación problemática

El tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” se volvió un tramo muy transitado en los últimos años ya que es una alternativa menos transitada para llegar al municipio de San Lorenzo el cual es muy visitado por turistas y toda la población tarijeña, como también para llegar a las comunidades de la zona. Lastimosamente en dicho tramo se puede observar que presenta muchas fallas que afectan de manera directa a los habitantes de la zona como también a las personas que toman esa ruta para visitar al municipio de San Lorenzo, que a medida que pasa el tiempo se vuelve un lugar cada vez más visitado.

Como sabemos, todos los pavimentos especialmente los flexibles se van deteriorando y mostrando fallas a medida que pasa el tiempo, es por eso que no basta con invertir en su diseño y construcción, sino que estos pavimentos requieren de un mantenimiento o rehabilitación a tiempo y de manera adecuada para que lleguen a su vida útil esperada y así tener una vía de buena calidad, reducir los costos de los usuarios, como también evitar accidentes, fallas de los vehículos y ganar tiempo de circulación.

1.4.2. Problema

¿De qué manera una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro, puede determinar la condición y tipo de fallas en dicho tramo?”

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

Evaluar superficial y estructuralmente el pavimento flexible del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” empleando las metodologías del PCI y de la viga Benkelman, para determinar la condición o estado actual en el que se encuentra y establecer un adecuado plan de mantenimiento o reparación para mejorar sus condiciones y beneficiar a los usuarios que transitan la vía.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad y severidad de los daños superficiales encontrados en el pavimento flexible del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” utilizando el método del PCI.
- Determinar el estado estructural del pavimento flexible en el tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” mediante el método de la viga Benkelman.
- Recomendar posibles métodos de rehabilitación o mantenimiento que se necesiten en función a la evaluación superficial y estructural que se realizara en la vía.

1.6. Hipótesis

Si se realiza una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” permitirá conocer el estado actual de dicho tramo para así poder seleccionar un adecuado plan de rehabilitación o mantenimiento de la carretera.

1.6.1. Identificación de las variables

1.6.1.1. Variable independiente

Método del PCI

Método de la viga Benkelman

1.6.1.2. Variable dependiente

Condición superficial y estructural del pavimento flexible

1.6.2. Conceptualización y operacionalización

1.6.2.1. Variable independiente

Tabla 1. 1. Conceptualización variable independiente.

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Fuente teórica
Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)	Método visual que determina las fallas presentes en la superficie del pavimento	Tipo de falla	Clasificación del PCI	100-85 Excelente
				85-70 Muy bueno
		Nivel de severidad de la falla		70-55 Bueno
				55-40 Regular
		Densidad de la falla		40-25 Malo
				25-10 Muy malo
10-0 Fallado				
Método de la Viga Benkelman	Determina las deflexiones producidas en la estructura del pavimento bajo la aplicación de una carga móvil a lo largo de la vía.	Evaluación no destructiva	Comparación de las deflexiones calculadas con la deflexión característica	Depende del valor de la deflexión característica que sale de la estadística

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2.2. Variable dependiente

Tabla 1. 2. Conceptualización variable dependiente.

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Fuente teórica
Condición superficial y estructural del pavimento flexible	Determina el estado en el que se encuentra la superficie y estructura de un pavimento flexible siguiendo metodologías establecidas	Evaluación superficial	Índice de condición	Norma ASTM D6433-03
			Condición de la superficie del pavimento	
		Evaluación estructural	Determinación de deflexiones y radios de curvatura	Norma ASTM D4995-03

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Componentes

1.7.1.1. Unidad de estudio

Estado actual del pavimento flexible en el tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro”.

1.7.1.2. Población

Tabla 1. 3. Población del trabajo.

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

Fuente: Elaboración propia.

1.7.1.3. Muestra

La muestra seleccionada de la población para realizar el trabajo es la “Carretera a Sella”, que une a la Ciudad de Tarija Capital con el municipio de San Lorenzo.

1.7.1.4. Muestreo

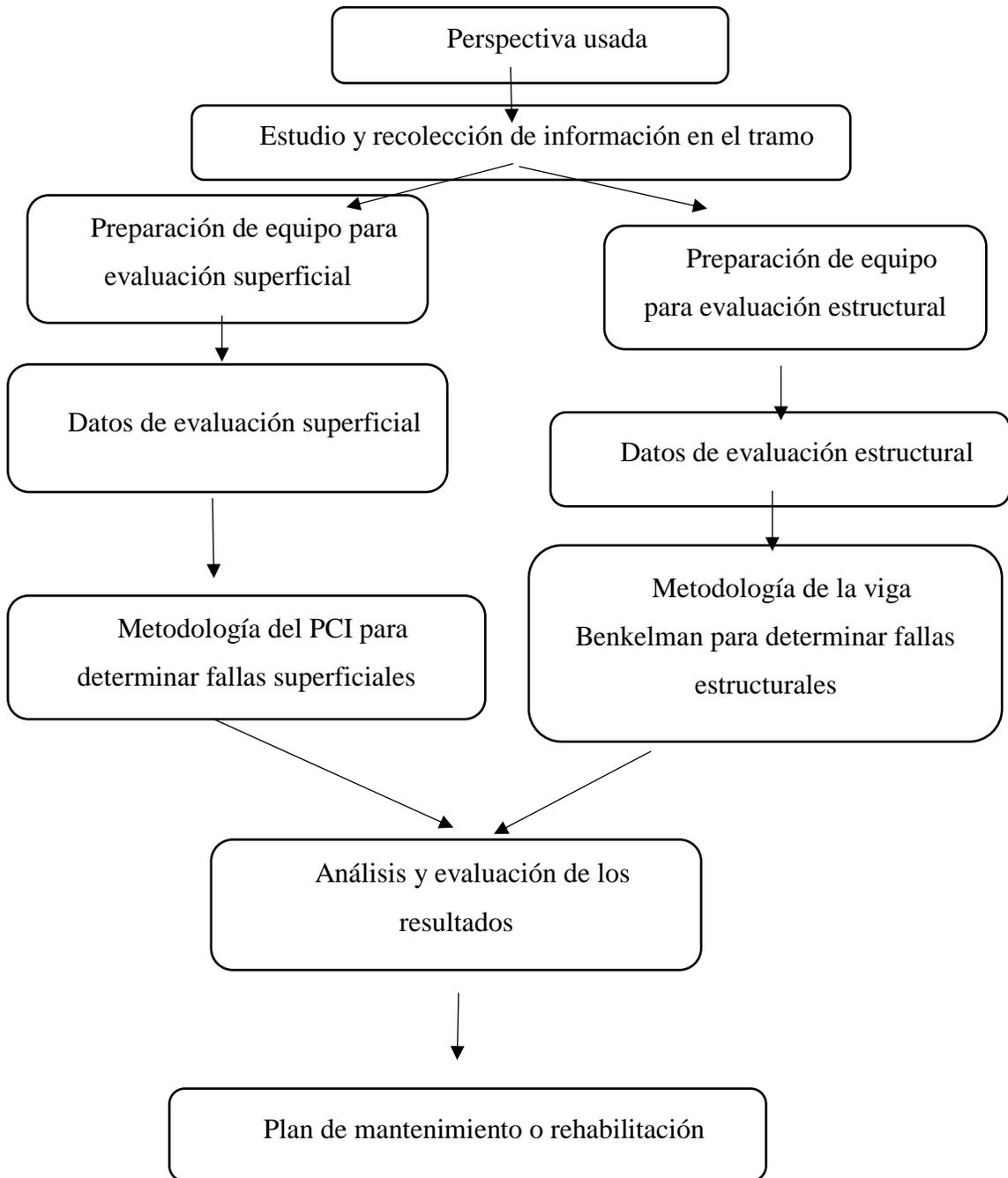
El muestreo para el presente trabajo será el tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” con una longitud de 6030 metros y se encuentra en la carretera a Sella.

1.7.2. Tipo de investigación

El trabajo a realizar corresponde a un tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación descriptiva en la que se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para luego analizarlos, se determina las fallas que presenta la vía tanto en la superficie como en la estructura caracterizándolas de manera cuantitativa y cualitativa.

La información que se obtendrá en este tipo de investigación nos permite conocer a mayor profundidad como está respondiendo el tramo evaluado y nos servirá mucho para optar por una adecuada rehabilitación si es necesario.

1.8. Esquema de la perspectiva usada



1.8.1. Definición en el alcance

El alcance de la presente tesis es el de conocer el estado actual del pavimento flexibles del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro”, para lo cual realizaremos una evaluación superficial para conocer los daños de la superficie y una evaluación estructural para conocer los daños de la estructura.

Primero se realizara un recorrido general de todo el tramo que es de 6030 m de largo y 7.20 m de ancho para inspeccionarlo y poder conocer los tramos donde el pavimento este más dañado para así determinar la severidad y cantidad de fallas que presente.

Para la evaluación superficial se empleara el método del PCI (Índice de Condición del Pavimento) basado en la norma ASTM D6433-03, para lo cual dividiremos toda la longitud del tramo en muestras de 216 m² de área, como el ancho de la vía es constante de 7.20 m, tendremos 201 unidades de muestra (N) de 216 m² a cada 30 m, de las cuales se sacó el número de unidades de muestra (n) a ser evaluadas, que serán 67 en un intervalo (i) de 3 que así nos permitirá conocer el estado y las fallas presentes en la superficie del pavimento del tramo seleccionado teniendo una confiabilidad del 98 % y un margen de error del 2 %.

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

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

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

I. Marco teórico

2.1. Pavimentos

A continuación mostraremos algunas definiciones de un par de autores que explican de muy buena manera 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”.

2.2. 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, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

Debe ser durable.

Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.

El ruido de rodadura de los vehículos debe ser adecuadamente moderado.

Debe ser económico.

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

2.3. Clasificación de los pavimentos

En nuestro medio los pavimentos más conocidos se pueden clasificar en 2 tipos que varían sobre todo según su estructura:

Pavimentos flexibles

Pavimentos rígidos

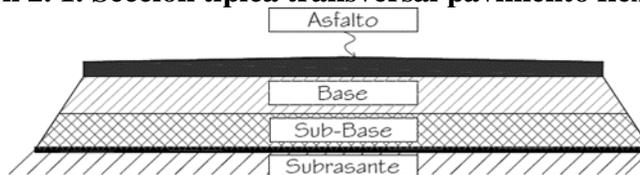
De estos 2 tipos de pavimentos vamos a conocer un poco más del pavimento flexible ya que este tipo de pavimento será el que vamos a estudiar en el presente trabajo.

2.3.1. Pavimento flexible

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: Armijos, S. Christian. 2009. “Evaluación superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”.

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 CBR 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 geosintéticos, 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.

2.4. Fallas en los pavimentos flexibles

Durante la vida de servicio de un pavimento, causas de diverso origen afectan la condición de la superficie de rodamiento, lo cual compromete su función de ofrecer a los usuarios la posibilidad de un rodaje seguro, cómodo y económico. Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.

Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.

Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.

Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).

Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).

Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.

Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

Dependiendo de su origen, las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales (superficiales) o fallas estructurales. En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa asfáltica y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad), lo cual se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen desde el punto de vista estructural.

2.4.1. 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.

2.4.1.1. Descripción de las fallas superficiales

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. Sobrecarpeta.

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

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

Imagen 2. 2. Piel de cocodrilo de baja severidad.



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

Imagen 2. 3. Piel de cocodrilo de severidad media.



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

Imagen 2. 4. 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. 5. Exudación de baja severidad.



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

Imagen 2. 6. Exudación de severidad media.



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

Imagen 2. 7. 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 sobrecarpeta.

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

Imagen 2. 8. Grietas en bloque de baja severidad.



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

Imagen 2. 9. Grietas en bloque de baja severidad.



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

Imagen 2. 10. 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 sobrecarpeta 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. 11. Grietas en bloque de alta severidad.



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

Imagen 2. 12. Abultamientos y hundimientos de severidad media.



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

Imagen 2. 13. 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. 14. Corrugación de baja severidad.



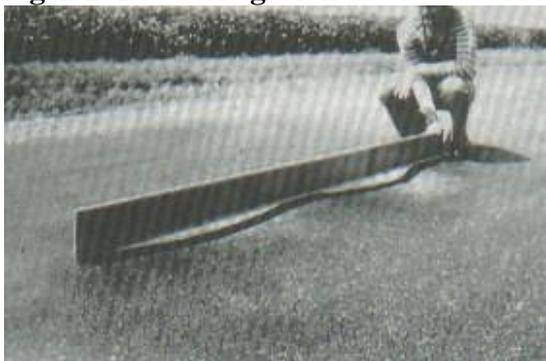
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 15. Corrugación de severidad media.



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

Imagen 2. 16. 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. 17. Depresión de baja severidad.



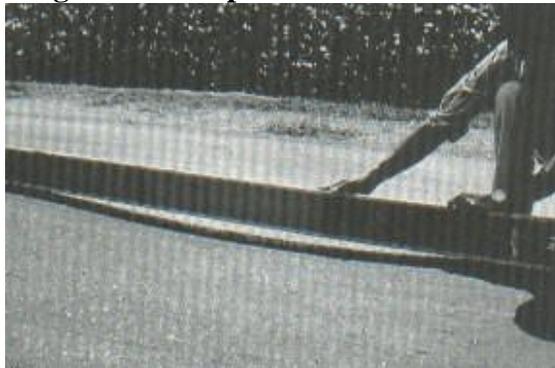
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 18. Depresión de severidad media.



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

Imagen 2. 19. 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. 20. Grieta de borde de baja severidad.



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

Imagen 2. 21. Grieta de borde de severidad media.



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

Imagen 2. 22. 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. 23. Grieta de reflexión de junta de baja severidad.



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

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



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

Imagen 2. 25. 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 sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad

L: La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M: La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

H: La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

Medida

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

Opciones de reparación

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

Imagen 2. 26. Desnivel carril / berma de baja severidad.



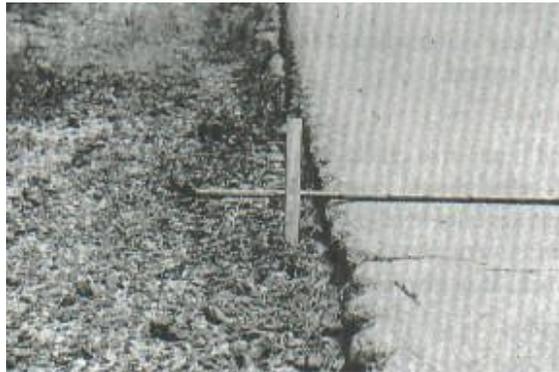
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

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



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

Imagen 2. 28. 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 está 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. 29. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad.



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

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



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

Imagen 2. 31. 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. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.

Imagen 2. 32. Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.



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

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



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

Imagen 2. 34. 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. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

Imagen 2. 35. 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. 36. Hueco de baja severidad.



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

Imagen 2. 37. Hueco de severidad media.



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

Imagen 2. 38. 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. 39. Cruce de vía férrea de baja severidad.



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

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



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

Imagen 2. 41. 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 sobrecarpeta.

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

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

Imagen 2. 42. Ahuellamiento de baja severidad.



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

Imagen 2. 43. Ahuellamiento de severidad media.



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

Imagen 2. 44. 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. 45. Desplazamiento de baja severidad.



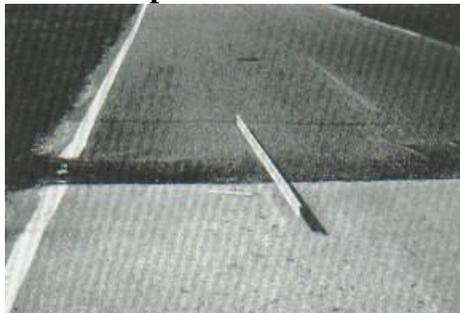
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI).

Imagen 2. 46. Desplazamiento de severidad media.



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

Imagen 2. 47. 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. 48. Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.



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

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



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

Imagen 2. 50. 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. 51. 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. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

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

Imagen 2. 52. Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad.



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

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



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

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

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

2.4.2. 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 de las capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales. En la corrección de 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 futuro estimado. Se hace pues el diseño de una estructura nueva formada por las subrasante – pavimento antiguo – refuerzo.

2.5. 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.

Es resumen la evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas, ahorrando costos, para cumplir objetivos de serviciabilidad.

2.6. Tipos de evaluación de pavimentos

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

2.7. 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).

2.7.1. 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.

2.7.2. 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 tránsito:

Bajo (L: Low): Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad.

Medio (M: Medium): Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad.

Alto (H: High): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad.

**Imagen 2. 55. Formato de exploración de condición.
Metodo del PCI (Índice de Condición del Pavimento)**

Hoja de registro						
Vía:		Sección:			Unid. De muestra:	
Ejecutor:		Fecha:			Área (m²):	
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			#	
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.

2.7.2.1. 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:

- a. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 230.0 ± 93.0 m². 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.

2.7.2.2. 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.

2.7.2.3. 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:

- a. 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)

- 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.

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

2.7.2.4. 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.

2.7.2.5. 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.

2.7.2.6. 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.

Etapas 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.

$$PCI = 100 - \max.CDV$$

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. 56. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV.

N°				Valores deducidos				VDT	q	VDC
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

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

2.8. 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, deflectómetro, 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.

2.8.1. 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, quien la desarrolló 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.

2.8.2. 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.

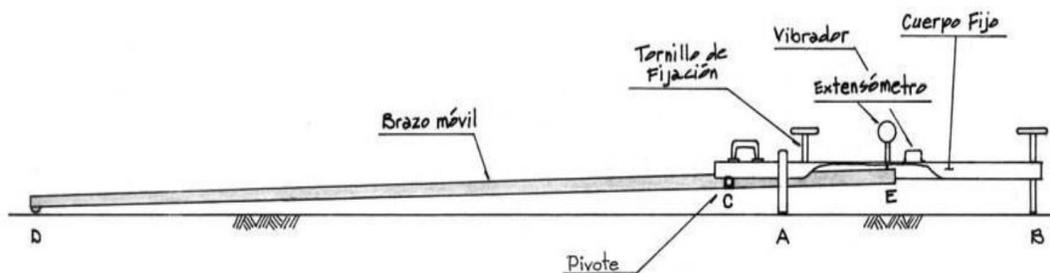
Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el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

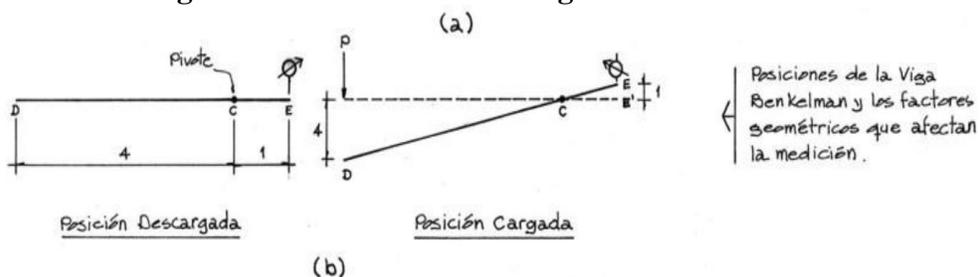
Imagen 2. 57. Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.



Fuente: www.citecal.com.bo/mediciondedeflexionesVigaBenkelman.2.8.3.

Equipo necesario

Imagen 2. 58. Posiciones de la viga Benkelman



Fuente: www.citecal.com.bo/mediciondeflexionesVigaBenkelman.2.8.3. Equipo necesario

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.).

2.8.4. 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.

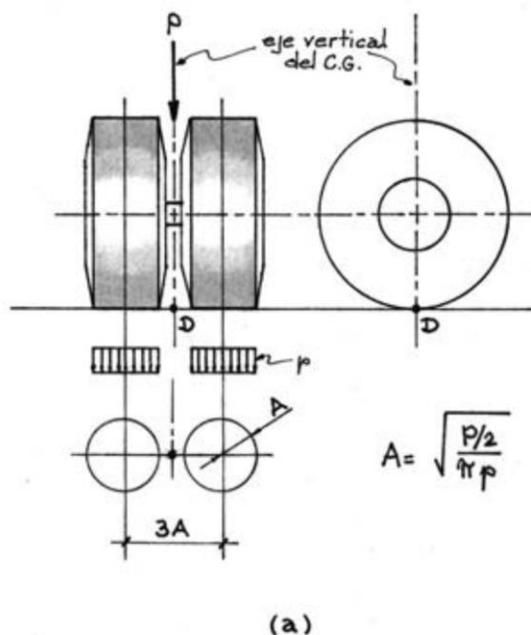
Distancia del punto de ensayo.	
Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

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:

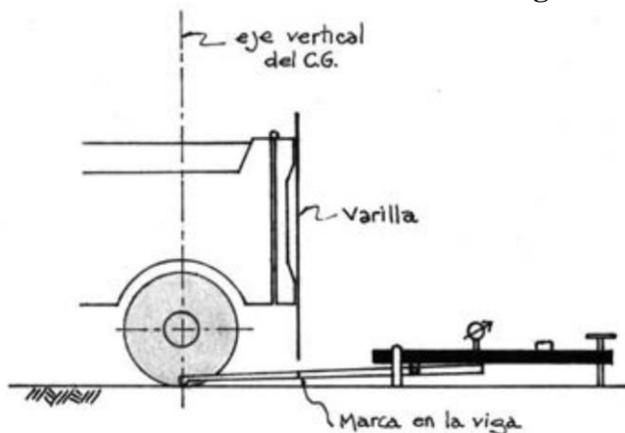
El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la 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. 59. 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. 60. Geometría de colocación de la viga Benkelman.



(b)

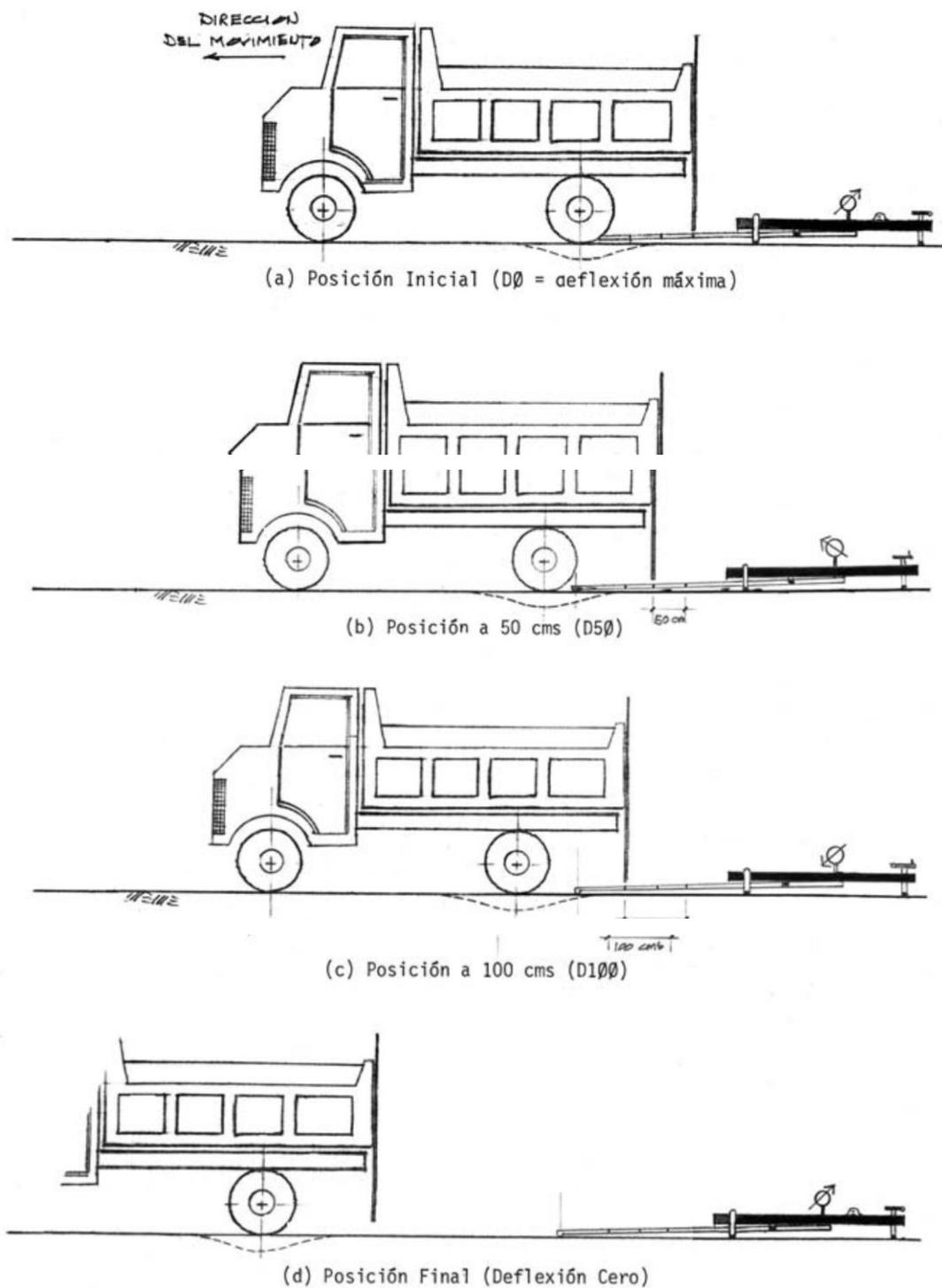
Fuente: Hoffman y Del Águila. 1985. Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

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 este 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. 61. 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.

2.8.5. 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 ($1 \times 10^{-3}^\circ\text{C}/\text{cm}$).

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

e= Espesor de la carpeta asfáltica.

Cálculo del radio de curvatura

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento durante la aplicación de la carga es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0.25 m. A partir del punto de máxima deflexión.

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

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:

- $500 > R_c > 100$
- $D_c > D_o$

2.9. 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. 4. 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.

A continuación se describirán las principales técnicas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos de concreto asfálticos.

2.9.1. Técnicas de mantenimiento de pavimentos

Sellado de grietas

El sellado de grietas es una actividad que consiste básicamente en limpieza de las grietas y sellado de las mismas con productos asfálticos, lechada o mezcla asfáltica, a fin de prevenir la entrada de agua y otros materiales a la estructura del pavimento.

Imagen 2. 62. Sellado de grietas.



Ruteado de la grieta



Limpieza de la grieta con
aire comprimido



Sellado de la grieta



Aplicación
de arena

Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

Bacheo o parche

Son las más comunes en la reparación de fallas localizadas en pavimentos. Se describe como la remoción y reposición de un área localizada severamente dañada, o el relleno de huecos producidos por disgregación. Se realiza para corregir fallas estructurales manifestadas por la aparición de grietas del tipo piel de cocodrilo de severidad media y alta, ahuellamiento profundo, grietas de deslizamiento y fallas puntuales como huecos, quiebres, hundimientos, etc. Se clasifica en cuatro tipos, los cuales se describen brevemente a continuación:

Emergencia: Relleno de huecos con mezclas asfálticas en frío o en caliente y eventualmente concreto Portland, materiales granulares, etc. Se ejecutan con poca o ninguna preparación del área afectada.

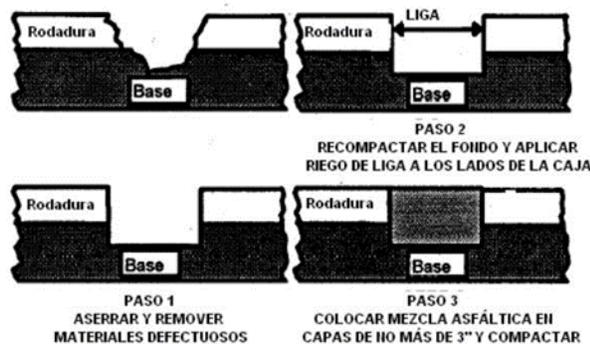
Superficie: No requiere remoción del pavimento. Consiste en sellar mediante la aplicación de un riego de adherencia y mezcla asfáltica (en frío o en caliente) áreas

localizadas que presenten agrietamientos, deformaciones, hundimientos y/o disgregación. El procedimiento consiste en limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla de espesores por lo general entre 2 y 4 cm.

Carpeta: Considera la remoción parcial o total de la capa asfáltica en la zona afectada, limpieza y conformación (de ser necesaria) de la superficie de apoyo, aplicación de un riego de adherencia, el cual puede suprimirse en algunos casos a juicio del Ingeniero, relleno y compactación de la mezcla asfáltica de reposición.

Profundo: Remoción y reposición de la capa asfáltica y de bases o sub-rasante. La remoción de bases, sub-bases o material de sub-rasante se hará cuando no se encuentre una superficie de apoyo sólida, los casos más comunes son: exceso de humedad, falta de compactación, contaminación y/o materiales de pobre calidad. En estos casos debe removerse y reemplazarse el material inadecuado.

Imagen 2. 63. Procedimiento típico de colocación de parches.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

Tratamiento superficial (Sello) localizado

Consiste en la aplicación de un sello asfáltico o tratamiento superficial en sitios localizados menores de 300 m² de área. Riego con material asfáltico cubierto con agregados o lechada asfáltica. Es conveniente sobre pavimentos envejecidos y oxidados, que presenten grietas finas y/o pérdida de agregado por disgregación menor. Así mismo, pueden ser utilizados para corregir problemas de textura y mejorar la resistencia al deslizamiento en puntos críticos como: curvas, intersecciones y pendientes. Requiere acciones previas como el bacheo, sellado de grietas anchas, nivelación localizada en áreas deformadas, además de barrido y limpieza de la superficie. Las acciones más comunes son: capa de sello con piedra o grava picada o con arena y lechada asfáltica.

Nivelación localizada con mezcla asfáltica

Esta acción es básicamente igual en su ejecución al bacheo superficial. Es adecuada para corregir fallas de poca gravedad como: hundimientos, ahuellamientos, zanjas, etc. Su ejecución requiere barrido y riego asfáltico de la superficie a tratar. Luego la mezcla es extendida a mano o con la ayuda de equipos de construcción. Finalmente la mezcla es compactada, empleando equipos de rodillo liso, hasta obtener una densificación adecuada.

Micro-fresado y/o texturizado localizada

El fresado en frío es un proceso por el cual un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza, remueve pavimentos de concreto asfáltico, hasta una profundidad especificada. Estos equipos cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión. Esta acción específica se refiere, en el caso de fresado, a la remoción de 1 a 3 cm. de pavimento con la finalidad de alisar áreas deformadas con elevaciones y corrugaciones, ahuellamientos menores, superficies agrietadas y disgregadas. El equipo remueve el material sin dañar las capas inferiores, deja una superficie rugosa y nivelada que facilita la colocación de nuevas capas de espesor uniforme, además de mejorar la adherencia. Por su parte la texturización se refiere al fresado o remoción de un espesor entre 3 a 10 mm. Con la finalidad de mejorar la fricción del pavimento.

2.9.2. Técnicas de rehabilitación de pavimentos

Tratamientos superficiales (Capas de sello)

Los sellos o tratamientos superficiales constituyen una excelente alternativa de rehabilitación. Son adecuados y económicos para proteger superficies viejas y oxidadas, sellar grietas y corregir fallas menores. Los sellos asfálticos no aportan un significativo incremento estructural al pavimento. Sin embargo, al sellar grietas, es decir, impermeabilizando la superficie, se reduce la tasa de deterioro y produce un incremento en la vida de éste. Para el buen comportamiento de un sello es importante que se realice una preparación adecuada de la superficie. Esta debe incluir reparaciones localizadas, bacheo, nivelación y/o fresado, sello de grietas anchas, reparación de zanjas, barrido, etc. La duración de un sello asfáltico es variable y depende de la condición del pavimento original, calidad del sello y características del tráfico. Por lo general, puede esperarse una

duración entre 4 y 8 años. A continuación se mostraran fotografías de los diversos tipos de tratamientos que existen en la actualidad.

Imagen 2. 64. Procedimiento típico de sello arena sello arena – asfalto.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

La sellada arena – asfalto es una aplicación de una emulsión de rotura rápida seguida por la extensión y compactación de una capa delgada de arena. Se aplica para impermeabilizar capas de rodadura que presenten excesos de vacíos con aire y sean susceptibles de deterioro prematuro por envejecimiento y alta permeabilidad.

Imagen 2. 65. Procedimiento típico de riego negro.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

El riego negro es una aplicación ligera de emulsión asfáltica para sellar áreas localizadas fisuradas o con vacíos superficiales.

Imagen 2. 66. Procedimiento típico de arenado.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

El arenado se aplica en áreas donde la superficie presente excesos de asfalto.

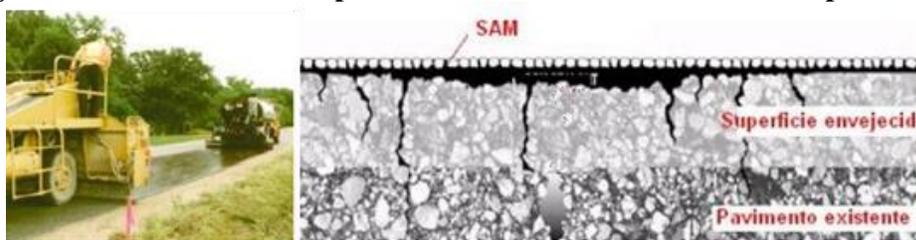
Imagen 2. 67. Aplicación de lechada asfáltica y micro-aglomerado en frío.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

La aplicación de lechada asfáltica y el micro-aglomerado en frío se usan para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción. También son efectivos en el sello de áreas con grietas de escasa abertura. También existe micro – aglomerado en caliente y se usan para restablecer la resistencia al deslizamiento de pavimentos estructuralmente competentes y mejorar el drenaje.

Imagen 2. 68. Tratamiento superficial con asfalto modificado con polímeros.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

Este tratamiento superficial con SAM se usa para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción.

Capas o sobre-carpeta

Procedimiento clásico para proteger un pavimento deteriorado, eliminar o reducir su rugosidad, mejorar la resistencia al deslizamiento y reforzar la estructura de un pavimento flexible mediante la repavimentación con concreto asfáltico. Las capas asfálticas de alta calidad ofrecen solución para casi todo tipo de problema. Se tiene tres alternativas, las cuales se describen a continuación:

Nivelación

Son requeridas en aquellas vías deformadas que permitan elevación de la rasante. Son capas de espesor variable colocadas con equipos. Dependiendo del caso pueden ejecutarse previo a la colocación de otra capa, o cumplir simultáneamente funciones de nivelación y refuerzo estructural, nivelación y sello en forma simultánea. Es práctica común el uso de capas delgadas (2 a 4 cm.) cuando se considera la necesidad de proteger una superficie envejecida, mejorar su calidad de rodaje y resistencia al deslizamiento.

Fricción y/o sello

Las capas de fricción tienen como objetivo principal mejorar la resistencia al deslizamiento del pavimento a fin de dar mayor seguridad a los usuarios. Estas capas deben ser de concreto asfáltico. Sus características especiales son: el uso de agregados de especial dureza y resistencia a la pulimentación y el cumplimiento de un requisito mínimo de textura. Estas capas se colocan en pavimentos sanos y poco deformados, generalmente con espesores entre 2 y 4 cm. Su aporte estructural es moderado, sin embargo debe considerarse –según el caso– su efecto de sellado y nivelación de deformaciones leves que mejoran la calidad de rodaje del pavimento, además de cumplir con su objetivo principal, como es el mejorar la fricción.

Refuerzo estructural

Se recurre a un refuerzo estructural, cuando las cargas soportadas exceden su resistencia inicial de diseño. En estos casos el pavimento ha fallado estructuralmente y requiere ser reforzado para soportar futuras cargas. La construcción de capas de concreto asfáltico es comúnmente empleada para reforzar la estructura de un pavimento y mejorar su condición funcional. La determinación del espesor de esta capa debe hacerse mediante

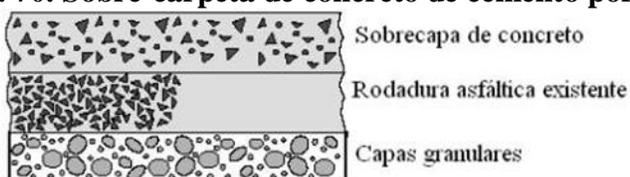
un análisis que permita establecer la condición del pavimento existente y su mecanismo de falla; determinar las características y condición de los materiales "in-situ"; definir el período de vida de la nueva estructura y las cargas esperadas, y determinar el espesor de refuerzo empleando un método o procedimiento técnicamente reconocido y apropiado del pavimento. Es importante mencionar que para el refuerzo estructural se puede hacer uso de concreto con cemento portland, la cual se coloca por encima de la capa de rodadura de concreto asfáltico, denominando a este tipo de pavimento como compuesto.

Imagen 2. 69. Sobre-carpeta de asfalto.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

Imagen 2. 70. Sobre-carpeta de concreto de cemento portland.



Fuente: Guevara, L. y Valencia, R. (2006). “Tratamientos superficiales para mantenimiento vial para pavimento flexible”. Guayaquil, Ecuador.

II. Marco conceptual

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).

Viga Benkelman

Es un instrumento de ensayo que sirve para realizar ensayos con la aplicación de esta nos indica las deflexiones en carreteras, vías, etc. El cual está compuesta de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante esta soportada por tres apoyos que descansan en la superficie del pavimento; la parte móvil, constituida por el brazo de medida está conectada a la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento, en el punto donde se requiere medir la deflexión. El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante. El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada “Constante de la viga”.

Condición del pavimento

Representa el nivel de degradación como resultado del proceso de deterioro. La determinación de la condición del pavimento depende de los defectos de la superficie, las deformaciones permanentes, la irregularidad longitudinal, deflexión recuperable, capacidad estructural del pavimento, las solicitaciones de tráfico y la adherencia entre la rueda y el pavimento, las evaluaciones requeridas se resumen como: superficial, estructural, funcional, adherencia, solicitaciones de tráfico y global de informaciones.

Buenas condiciones

Las carreteras pavimentadas están sensiblemente libres de defectos y solamente requieren mantenimiento de rutina.

Medianas condiciones

Las carreteras pavimentadas tienen defectos de importancia y requieren renovación de la superficie de rodadura. Las carreteras no pavimentadas necesitan re perfilado o renovación de la superficie de rodadura.

Malas condiciones

Las carreteras pavimentadas tienen defectos y requieren rehabilitación o reconstrucción inmediatas. Las carreteras pavimentadas necesitan reconstrucción y obras de drenaje grande.

III. Marco normativo

PCI

La metodología PCI esta descrita en la norma **ASTM D6433-03**, la cual da los lineamientos para determinar el Índice de Condición del Pavimento para caminos y estacionamientos.

Viga Benkelman

La medida de deflexiones empleando la viga Benkelman y su procedimiento se encuentran en las normas **ASTM D-4695, AASHTO T 256-01**.

CAPÍTULO III
CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Zona de estudio

El tramo Cruce barrio los Laureles – Monte Centro está ubicado en el Departamento de Tarija, Provincia Cercado, en la carretera a Sella que une la ciudad de Tarija con el municipio de San Lorenzo.

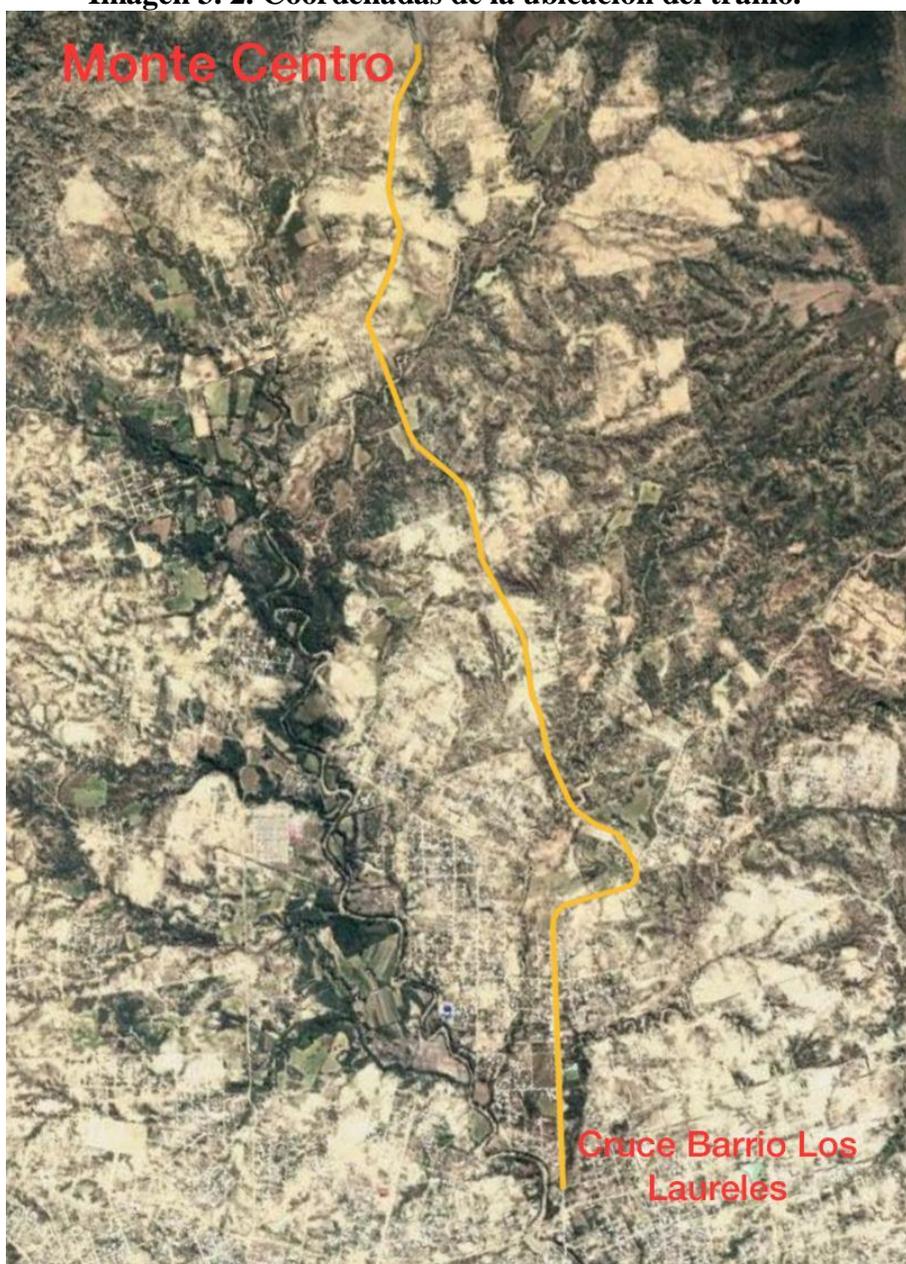
Imagen 3. 1. Ubicación geográfica de la zona.



Fuente: Elaboración propia

Dicho tramo tiene una longitud de 6030 metros que empiezan en la progresiva 0+000 en la entrada al barrio los Laureles, pasa por la comunidad monte sud como también por los barrios la huerta, monte rey, valle hermoso entre otros y finaliza en la progresiva 6+030 en la comunidad de Monte Centro.

Imagen 3. 2. Coordenadas de la ubicación del tramo.



Fuente: Elaboración propia

Se encuentra en las siguientes coordenadas geográficamente:

Latitud: -21.5046 a -21.4578

Longitud: -64.7211 a -64.7089

Altitud: 1895 m a 1977 m

Y en las siguientes coordenadas UTM:

X: 321716.5, Y: 7621023.4, 20, sur. a X: 322923.9, Y: 7626218.8, 20, sur.

3.2. Relevamiento de información

Capa de rodadura

Según la información recopilada de la alcaldía de la ciudad de Tarija, la capa de rodadura es una carpeta asfáltica de 6 cm.

Para verificar si cumple, se realizó un sondeo en la progresiva 5+040 y se pudo comprobar que la carpeta asfáltica es de 6 cm.

En la siguiente tabla se muestra el paquete estructural que presenta el tramo barrio los Laureles – Monte Centro:

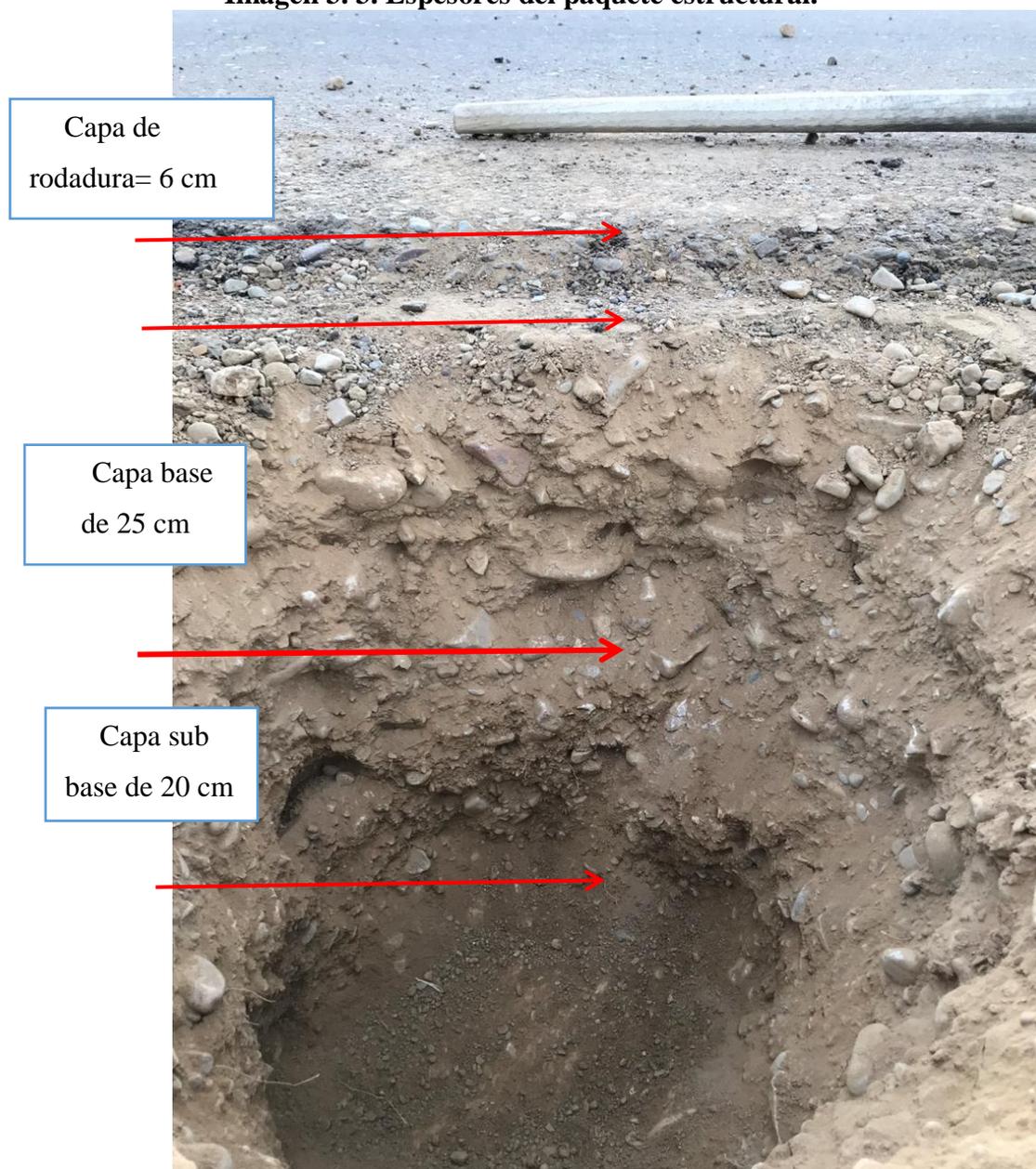
Tabla 3. 1. Paquete estructural del tramo.

Tramo	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa sub base	Espesor de la sub rasante mejorada
Barrio los Laureles – Monte Centro	6 cm	25 cm	20 cm	20 cm

Fuente: Alcaldía Municipal de Tarija

Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 5+040 con lo cual se pudo observar las profundidades de cada capa y se extrajo muestras de suelo de la capa base y de la capa sub base para analizarlas en laboratorio realizando los ensayos de granulometría, límites de atterberg, clasificación, proctor T – 180 y CBR.

Imagen 3. 3. Espesores del paquete estructural.



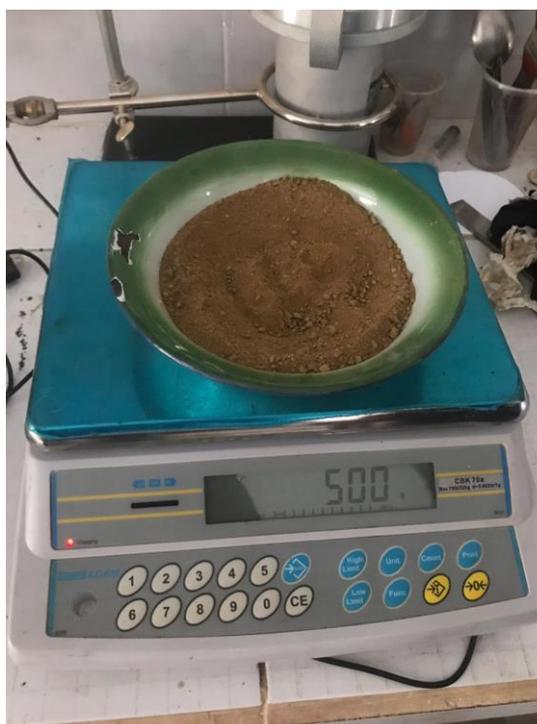
Fuente: Elaboración propia.

Granulometría

Para la granulometría se procedió a sacar una parte 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, pero una vez realizados los ensayos se observó que el suelo es no líquido (NL) y no plástico (NP).

Imagen 3. 5. Ensayo de límites de atterberg.



Fuente: Elaboración propia.

Clasificación

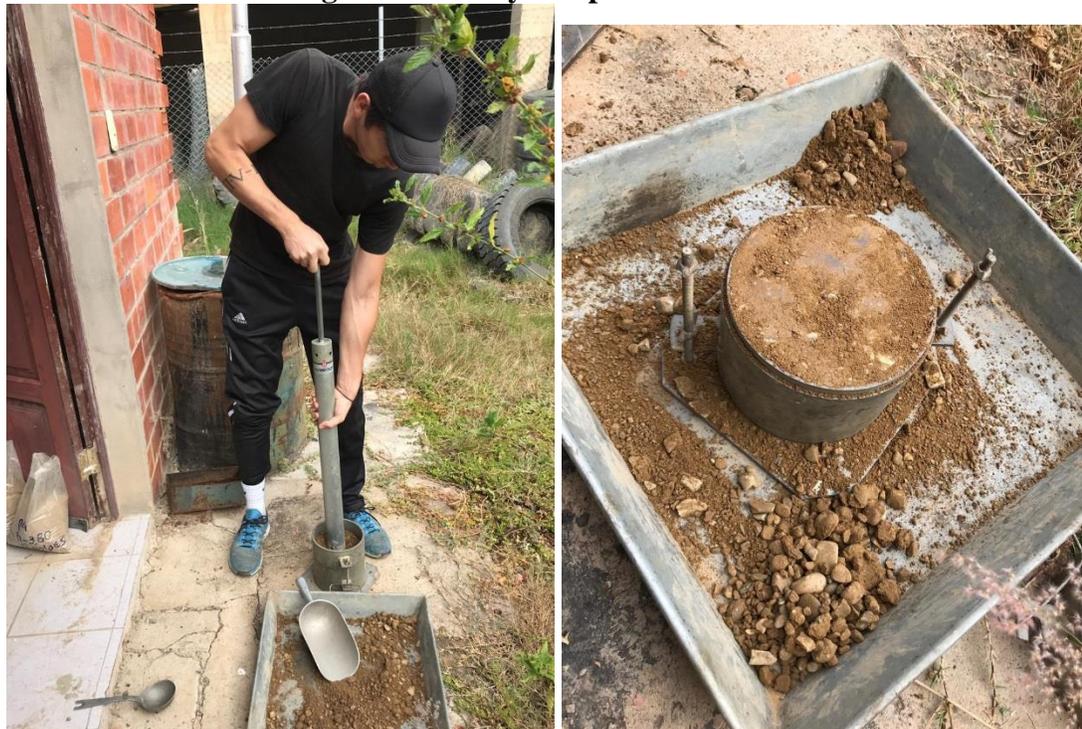
Luego de realizar los anteriores ensayos y con los resultados obtenidos se pudo proceder a clasificar el suelo de la capa base y sub base mediante la metodología AASHTO, la cual nos dio una clasificación A-1-a en ambas capas.

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 compactara 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.

3.3. Evaluación superficial

Para la evaluación superficial del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” 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 un margen de error admisible de 5 %, pero para este estudio se realizó un relevamiento de fallas con una confiabilidad del 98 % y un error admisible de 2 % para así tener mejores resultados y más representativos.

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

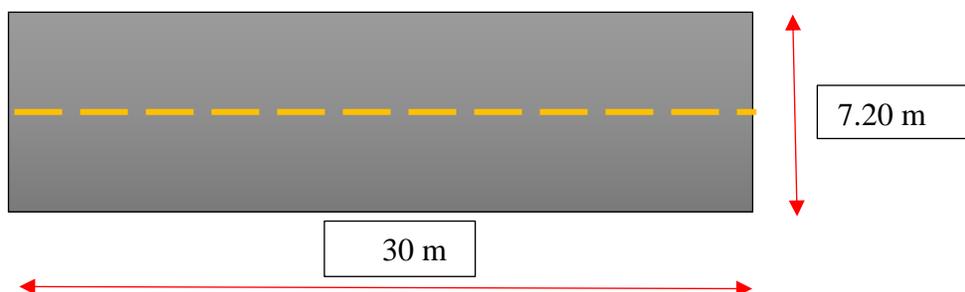
Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la tabla 3.2 se presentan algunas 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 (Maximo)	31.5

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

El ancho de la calzada del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte centro” 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 201 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 98 % y un error admisible de 2 %.

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

$$n = \frac{201 \times 10^2}{\frac{2^2}{4} \times (201 - 1) + 10^2} = 67$$

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:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{201}{67} = 3$$

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

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.

Metodo del PCI (Índice de Condición del Pavimento)				
Hoja de registro				
Nombre de la vía:			Esquema:	
Ejecutor:				
Sección:				
Fecha:				
Área (m²):				
Unidad de muestra:				
Fallas	Unidad de medida	Fallas	Unidad de medida	
1. Piel de cocodrilo	m ²	11. Parches	m ²	
2. Exudación	m ²	12. Agregado pulido	m ²	
3. Fisuras en bloque	m ²	13. Huecos	#	
4. Abultamientos y hundimientos	m ²	14. Ahuellamiento	m ²	
5. Corrugación	m ²	15. Desplazamiento	m ²	
6. Depresión	m ²	16. Fisura Parabólica	m ²	
7. Fisura de borde	m	17. Hinchamiento	m ²	
8. Fisura de reflexión de junta	m	18. Desprendimiento de agregados	m ²	
9. Desnivel carril-berma	m	19. Cruce de puentes	m ²	
10. Fisuras longitudinales y transversales	m			
Falla	Severidad	Total	Densidad	VD

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 3. 4. Ejemplo de relevamiento de fallas.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)					
Hoja de registro					
Vía: Laures-Monte Centro		Sección:	0+030	UNID. DE MUESTRA: 1	
Ejecutor: Kevin López Baldivieso		Fecha:	26/03/2019	Área (m²): 216	
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		#	
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	M	14.76	24.31		39.07
11	L	5.13			5.13
10	M	2.50	9.40		11.90
10	L	10.60	6.00		16.60
12	M	81.00			81.00
10	H	9.30			9.30
13	M	1.00			1.00

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.

3.4. Evaluación estructural

La evaluación estructural del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” 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. 5. Hoja de relevamiento de fallas para la viga Benkelman.

Evaluación estructural								
Tramo: "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"								
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. 6. Ejemplo de relevamiento de datos de la viga Benkelman

Evaluación estructural								
Tramo: "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"								
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:	04/05/2019				
Relación de brazos:	1 a 2		Ejecutor:	Kevin López Baldivieso				
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
1	0+000	44	0	32	36	36	38	60
2	0+200	44	0	28	22	30	36	56
3	0+400	44	0	22	25	28	32	48
4	0+600	44	0	22	22	25	34	46
5	0+800	43	0	20	18	20	28	46
6	1+000	43	0	16	10	14	20	42
7	1+200	43	0	14	14	18	20	37
8	1+400	42	0	12	14	10	15	36
9	1+600	43	0	10	17	12	14	34
10	1+800	42	0	14	22	22	24	34
11	2+000	43	0	12	15	12	18	36

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento hasta llegar a la progresiva 6+000.

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y ANÁLISIS

CAPITULO IV

CÁLCULOS Y ANÁLISIS

4.1. Evaluación superficial por el método del PCI

4.1.1. Procedimiento de cálculo

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

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

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

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

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

Tabla 4. 1. Fallas existentes en la unidad de muestra.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)				
Hoja de registro				
Vía: Laures-Monte Centro		Sección:	0+030	UNID. DE MUESTRA: 1
Ejecutor: Kevin López Baldivieso		Fecha:	26/03/2019	Área (m²): 216
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		#
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	M	14.76	24.31	39.07
11	L	5.13		5.13
10	M	2.50	9.40	11.90
10	L	10.60	6.00	16.60
12	M	81.00		81.00
10	H	9.30		9.30
13	M	1.00		1.00

Fuente: Elaboración propia.

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

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

Cálculo de la densidad:

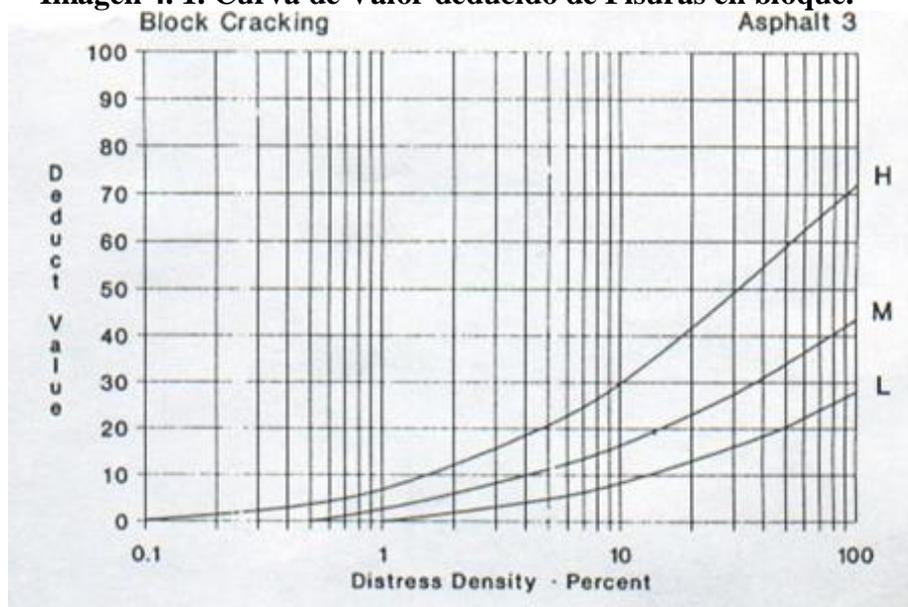
$$D = \frac{\text{Afalla}}{\text{Aunidad de muestra}} \times 100$$

$$D = \frac{39.07}{216} \times 100 = 18.09 \%$$

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

Si calculamos mediante la gráfica, se debe entrar a la gráfica con el valor de la densidad y se proyecta una línea vertical hasta que choque con la línea del nivel de severidad de la falla que se esté evaluando, luego se proyecta una línea horizontal desde el punto de choque hasta el eje de las ordenadas donde se encuentran los “Valores deducidos” y se anota el valor.

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.

3. Fisura en bloque

Tabla 4. 2. Valores deducidos para fisuras en bloque.

Densidad	Valor deducido		
	Bajo	Medio	Alto
0.10			0.20
0.20			0.90
0.30			1.70
0.40			2.40
0.50			3.20
0.60		0.40	3.90
0.70		0.80	4.70
0.80		1.20	5.40
0.90		1.50	6.20
1.00	0.00	1.70	7.00
2.00	1.30	5.80	11.10
3.00	2.90	8.20	14.30
4.00	4.10	10.00	17.00
5.00	5.00	11.30	19.50
6.00	5.70	12.50	21.90
7.00	6.30	13.40	24.00

8.00	6.90	14.20	26.10
9.00	7.40	14.90	28.00
10.00	8.00	16.00	29.50
20.00	13.10	22.90	39.60
30.00	16.50	28.00	46.40
40.00	19.00	31.10	51.90
50.00	20.90	33.80	56.60
60.00	22.40	35.90	60.80
70.00	23.70	37.70	64.60
80.00	24.80	39.30	68.00
90.00	25.80	40.70	71.20
100.00	26.70	42.00	74.20

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

En nuestro caso, con una densidad de 18.09 % y un nivel de severidad de Medio (M), se realiza la interpolación y nos da un valor deducido (VD) de **21.58**.

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

Tabla 4. 3. Obtención de los valores deducidos.

Falla	Severidad	Total	Densidad	VD
3	M	39.07	18.09	21.58
11	L	5.13	2.37	5.22
10	M	11.90	5.51	11.93
10	L	16.60	7.69	7.45
12	M	81.00	37.50	4.89
10	H	9.30	4.31	21.08
13	M	1.00	0.46	19.48
Total		164.00		

Fuente: Elaboración propia.

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 más adelante. De lo contrario, deben seguirse los siguientes pasos.

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

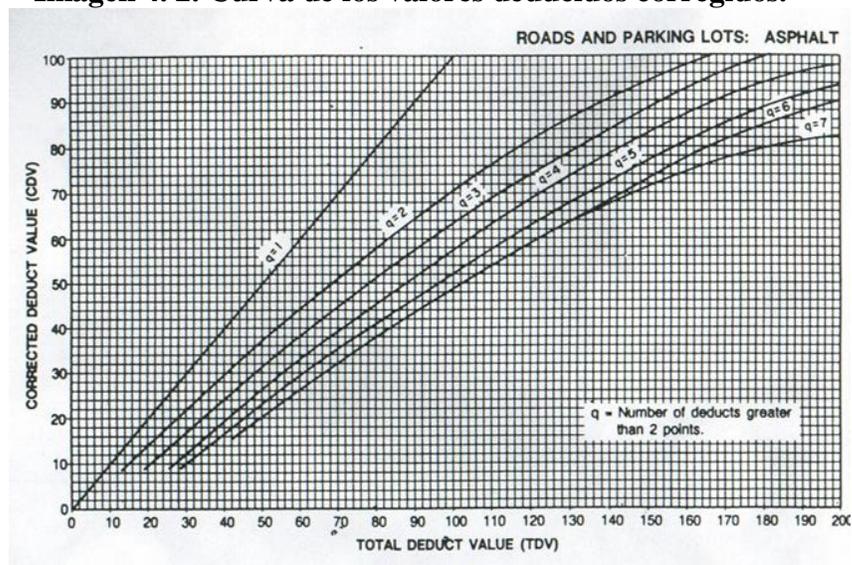
$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - 21.58) = \mathbf{8.20} \approx \mathbf{8}$$

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.

En este ejemplo usamos todos ya que solo tenemos 7 valores deducidos.

Luego calculamos los “Valores deducidos corregidos”, colocando de mayor a menor en una fila los valores deducidos hasta que se igualen a 1, posteriormente determinamos el valor deducido total sumando todos los valores deducidos de la fila, por ultimo 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. 4. 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. 5. Obtención de los valores deducidos corregidos.

N°	Valores Deducidos							VDT	q	VDC
1	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	7.45	5.22	107.74	7	53.00
2	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	7.45	2.00	104.52	6	51.00
3	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	2.00	2.00	99.07	5	51.50
4	21.50	21.08	19.48	11.93	2.00	2.00	2.00	79.99	4	45.00
5	21.50	21.08	19.48	2.00	2.00	2.00	2.00	70.06	3	44.50
6	21.50	21.08	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	52.58	2	39.40
7	21.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	33.50	1	33.50

Fuente: Elaboración propia.

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

$$PCI = 100 - VDC_{\text{máx}}$$

$$PCI = 100 - 53 = 47 \text{ [REGULAR]}$$

El PCI obtenido en la unidad de muestra 1 es de 47 que de acuerdo a los rangos de calificación del PCI está en una condición REGULAR.

Tabla 4. 6. Resultados de la unidad de muestra N°1

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)				
Hoja de registro				
Nombre de la vía: Los Laureles-Monte Centro			Esquema: 1er kilómetro	
Ejecutor: Kevin López Baldivieso				
Sección: 0+030				
Fecha:	26/03/2019			
Área(m²):	216			
Unidad de muestra:		1		
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	#	
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	M	39.07	18.09	21.50
11	L	5.13	2.37	5.22
10	M	11.90	5.51	11.93
10	L	16.60	7.69	7.45
12	M	81.00	37.50	4.89
10	H	9.30	4.31	21.08
13	M	1.00	0.46	19.48
Total		164.00		

N°				Valores				VDT	q	VDC
				Deducidos						
1	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	7.45	5.22	107.74	7	53.00
2	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	7.45	2.00	104.52	6	51.00
3	21.50	21.08	19.48	11.93	21.08	2.00	2.00	99.07	5	51.50
4	21.50	21.08	19.48	11.93	2.00	2.00	2.00	79.99	4	45.00
5	21.50	21.08	19.48	2.00	2.00	2.00	2.00	70.06	3	44.50
6	21.50	21.08	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	52.58	2	39.40
7	21.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	33.50	1	33.50

$$\text{VDCmáx} = 53.00$$

$$\text{PCI} = 47.00$$

Condición:
REGULAR

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDCmáx}$$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados de la evaluación superficial

A continuación se presentaran 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. 7. Rangos de clasificación del PCI.

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

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

4.1.2.1. Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro

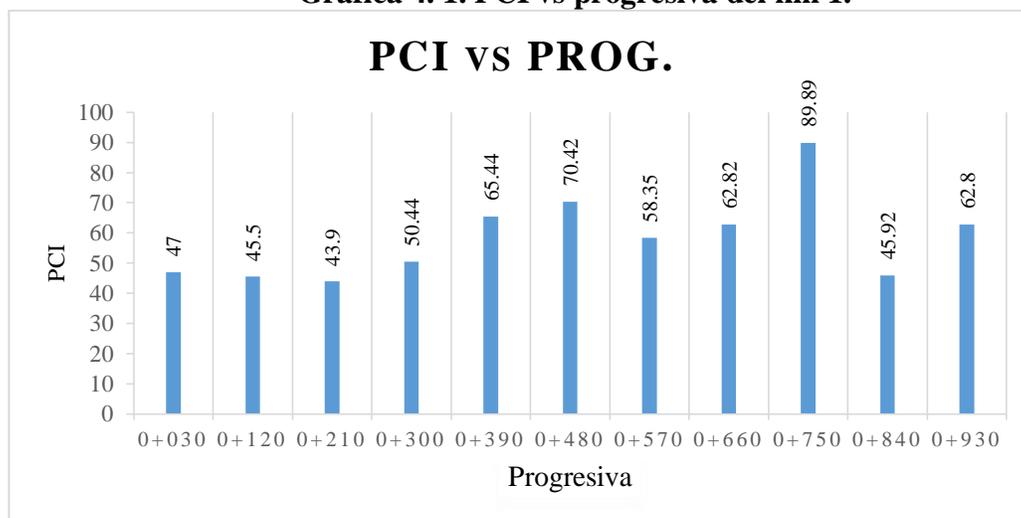
Resultados para el kilómetro 1

Tabla 4. 8. Resultados del PCI para el km 1.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
0+030	1	30	7.20	216	53.00	47.00	REGULAR
0+120	4	30	7.20	216	54.50	45.50	REGULAR
0+210	7	30	7.20	216	56.10	43.90	REGULAR
0+300	10	30	7.20	216	49.56	50.44	REGULAR
0+390	13	30	7.20	216	34.56	65.44	BUENO
0+480	16	30	7.20	216	29.58	70.42	BUENO
0+570	19	30	7.20	216	41.65	58.35	BUENO
0+660	22	30	7.20	216	37.18	62.82	BUENO
0+750	25	30	7.20	216	10.11	89.89	EXCELENTE
0+840	28	30	7.20	216	54.08	45.92	REGULAR
0+930	31	30	7.20	216	37.20	62.80	BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 1. PCI vs progresiva del km 1.



Fuente: Elaboración propia.

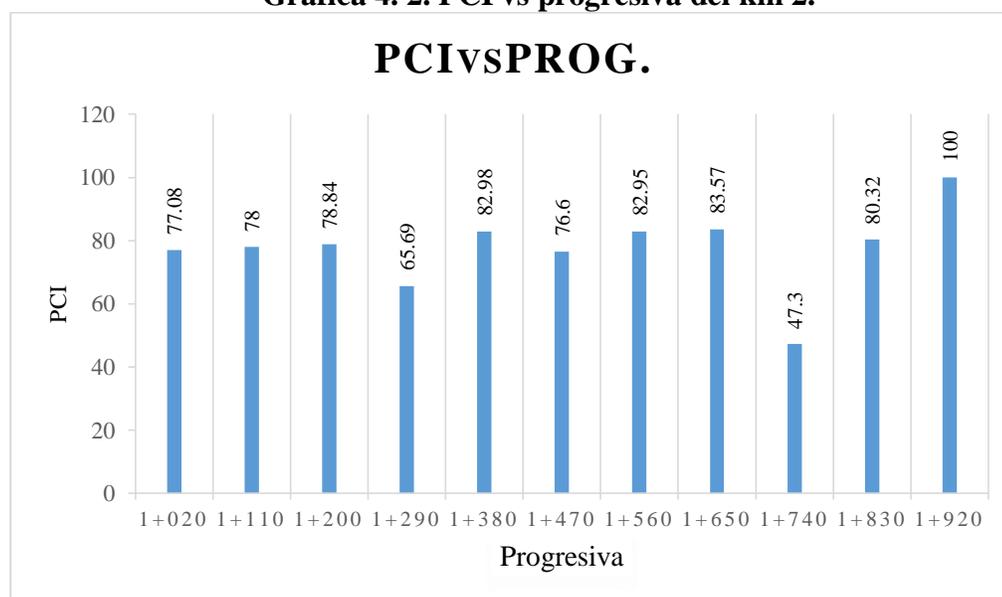
Resultados para el kilómetro 2

Tabla 4. 9. Resultados del PCI para el km 2.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
1+020	34	30	7.20	216	22.92	77.08	MUY BUENO
1+110	37	30	7.20	216	22.00	78.00	MUY BUENO
1+200	40	30	7.20	216	21.16	78.84	MUY BUENO
1+290	43	30	7.20	216	34.31	65.69	BUENO
1+380	46	30	7.20	216	17.02	82.98	MUY BUENO
1+470	49	30	7.20	216	23.40	76.60	MUY BUENO
1+560	52	30	7.20	216	17.05	82.95	MUY BUENO
1+650	55	30	7.20	216	16.43	83.57	MUY BUENO
1+740	58	30	7.20	216	52.70	47.30	REGULAR
1+830	61	30	7.20	216	19.68	80.32	MUY BUENO
1+920	64	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 2. PCI vs progresiva del km 2.



Fuente: Elaboración propia.

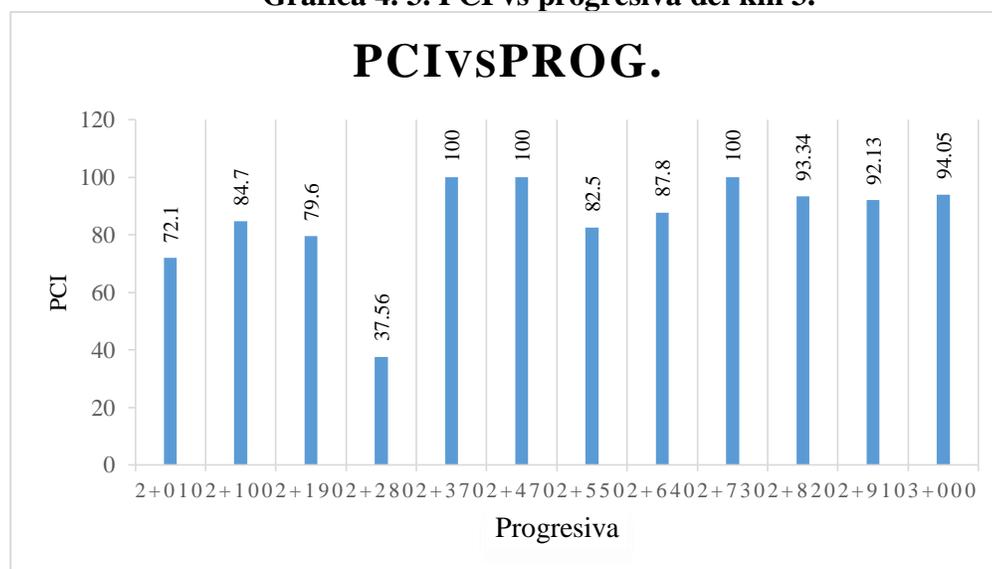
Resultados para el kilómetro 3

Tabla 4. 10. Resultados del PCI para el km 3.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
2+010	67	30	7.20	216	27.90	72.10	MUY BUENO
2+100	70	30	7.20	216	15.30	84.70	MUY BUENO
2+190	73	30	7.20	216	20.40	79.60	MUY BUENO
2+280	76	30	7.20	216	62.44	37.56	MALO
2+370	79	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
2+470	82	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
2+550	85	30	7.20	216	17.50	82.50	MUY BUENO
2+640	88	30	7.20	216	12.20	87.80	EXCELENTE
2+730	91	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
2+820	94	30	7.20	216	6.66	93.34	EXCELENTE
2+910	97	30	7.20	216	7.87	92.13	EXCELENTE
3+000	100	30	7.20	216	5.95	94.05	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 3. PCI vs progresiva del km 3.



Fuente: Elaboración propia.

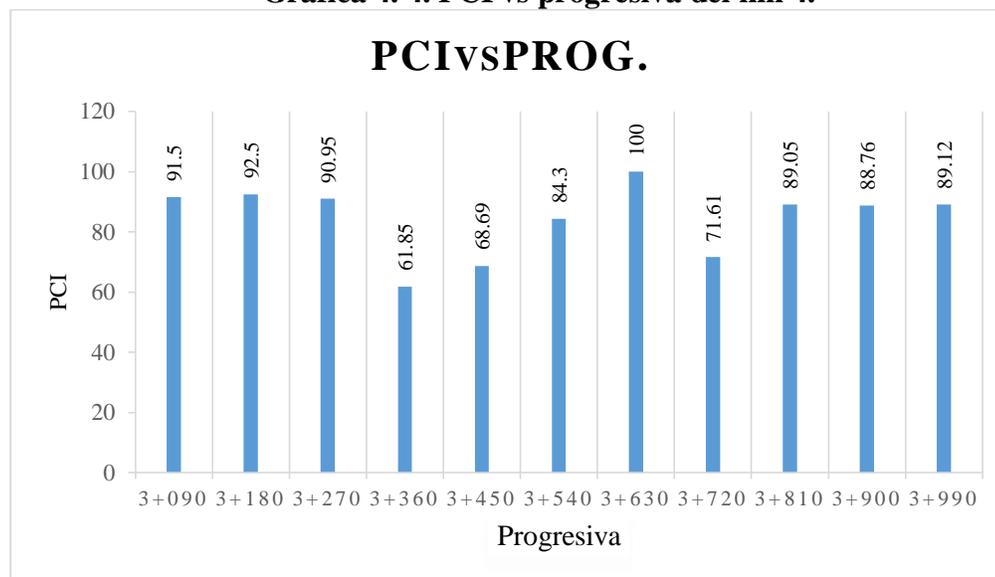
Resultados para el kilómetro 4

Tabla 4. 11. Resultados del PCI para el km 4.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
3+090	103	30	7.20	216	8.50	91.50	EXCELENTE
3+180	106	30	7.20	216	7.50	92.50	EXCELENTE
3+270	109	30	7.20	216	9.05	90.95	EXCELENTE
3+360	112	30	7.20	216	38.15	61.85	BUENO
3+450	115	30	7.20	216	31.31	68.69	BUENO
3+540	118	30	7.20	216	15.70	84.30	MUY BUENO
3+630	121	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
3+720	124	30	7.20	216	28.39	71.61	MUY BUENO
3+810	127	30	7.20	216	10.95	89.05	EXCELENTE
3+900	130	30	7.20	216	11.24	88.76	EXCELENTE
3+990	133	30	7.20	216	10.88	89.12	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 4. PCI vs progresiva del km 4.



Fuente: Elaboración propia.

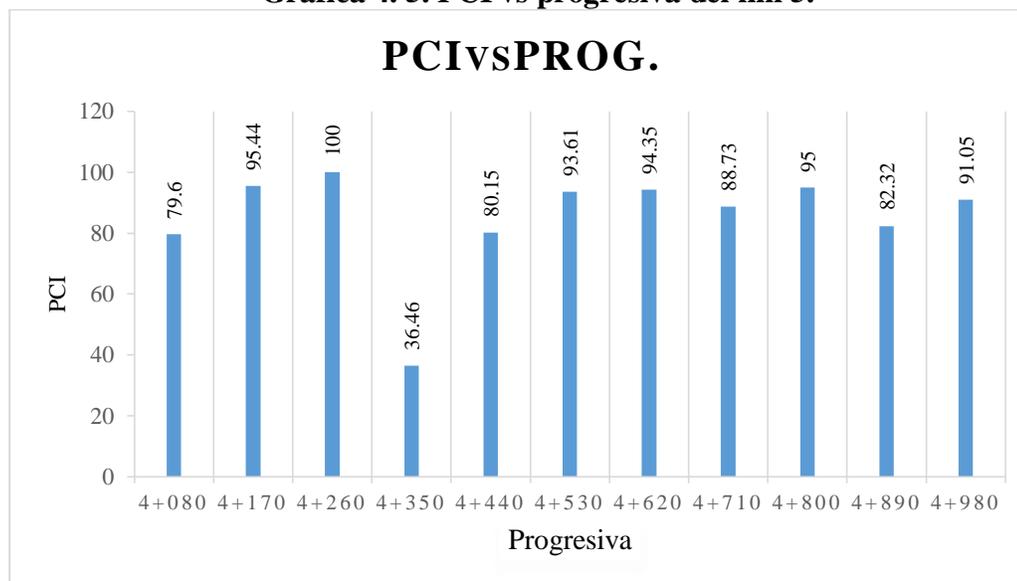
Resultados para el kilómetro 5

Tabla 4. 12. Resultados del PCI para el km 5.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
4+080	136	30	7.20	216	20.40	79.60	MUY BUENO
4+170	139	30	7.20	216	4.56	95.44	EXCELENTE
4+260	142	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
4+350	145	30	7.20	216	63.54	36.46	MALO
4+440	148	30	7.20	216	19.85	80.15	MUY BUENO
4+530	151	30	7.20	216	6.39	93.61	EXCELENTE
4+620	154	30	7.20	216	5.65	94.35	EXCELENTE
4+710	157	30	7.20	216	11.27	88.73	EXCELENTE
4+800	160	30	7.20	216	5.00	95.00	EXCELENTE
4+890	163	30	7.20	216	17.68	82.32	MUY BUENO
4+980	166	30	7.20	216	8.95	91.05	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 5. PCI vs progresiva del km 5.



Fuente: Elaboración propia.

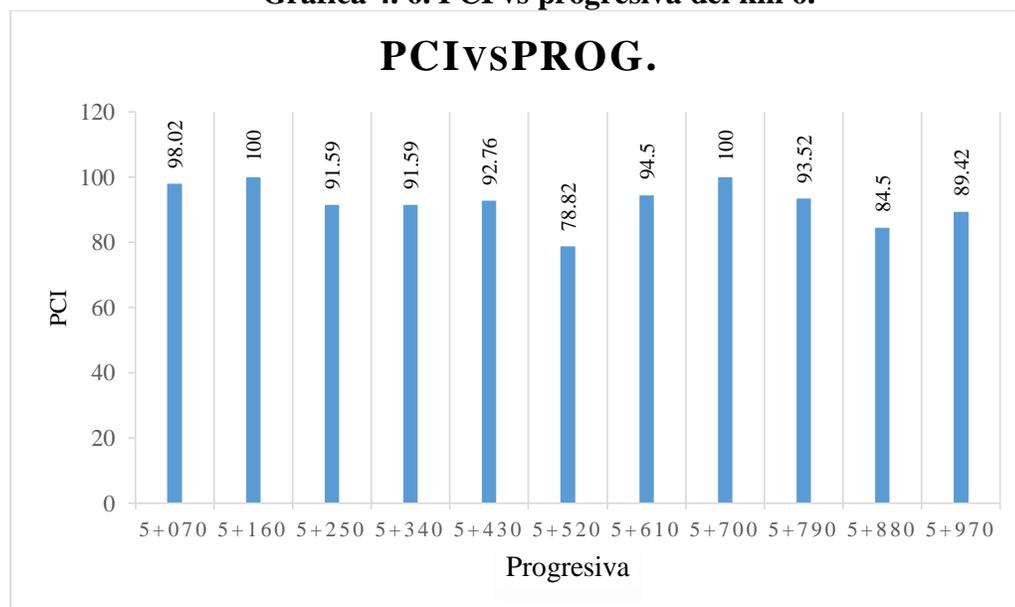
Resultados para el kilómetro 6

Tabla 4. 13. Resultados del PCI para el km 6.

Progresiva	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
		m	m	m ²			
5+070	169	30	7.20	216	1.98	98.02	EXCELENTE
5+160	172	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
5+250	175	30	7.20	216	8.41	91.59	EXCELENTE
5+340	178	30	7.20	216	8.41	91.59	EXCELENTE
5+430	181	30	7.20	216	7.24	92.76	EXCELENTE
5+520	184	30	7.20	216	21.18	78.82	MUY BUENO
5+610	187	30	7.20	216	5.50	94.50	EXCELENTE
5+700	190	30	7.20	216	0.00	100.00	EXCELENTE
5+790	193	30	7.20	216	6.48	93.52	EXCELENTE
5+880	196	30	7.20	216	15.50	84.50	MUY BUENO
5+970	199	30	7.20	216	10.58	89.42	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 6. PCI vs progresiva del km 6.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Cantidad de metros de cada falla según su severidad en cada kilómetro
Kilómetro 1

Tabla 4. 14. Metrado de fallas según severidad en el km 1.

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	96.49
			M	41.76
3	Fisuras en bloque	m ²	L	9.07
			M	237.53
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0
			M	0.21
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	21.96
			M	6.4
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	0
			M	40.66
			H	19.92
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	174.97
			M	99.04
			H	26.03
11	Parcheo	m ²	L	11.10
			M	8
12	Agregado pulido	m ²		468.67
13	Huecos	und	L	3
			M	2
			H	0
16	Desplazamiento	m ²	L	4.37
			M	0

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 2**Tabla 4. 15. Metrado de fallas según severidad en el km 2.**

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	6.00
			M	3.81
3	Fisuras en bloque	m ²	L	16.78
			M	20.43
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0.85
			M	0
			H	0
6	Depresión	m	L	0
			M	18.35
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	1.82
			M	35.75
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	0
			M	6
			H	9
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	235.81
			M	86.32
			H	3.18
12	Agregado pulido	m ²		131.17
13	Huecos	und	L	1
			M	1
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	16.37
			M	14.83
			H	0.28

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 3**Tabla 4. 16. 14. Metrado de fallas según severidad en el km 3.**

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	6.49
			M	0.97
			H	0
3	Fisuras en bloque	m ²	L	1.43
			M	0
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0.38
			M	0
			H	0
6	Depresión	m	L	0.26
			M	9.61
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	17.66
			M	10.31
9	Desnivel carril berma	m	L	5.45
			M	13.52
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	51.60
			M	17.89
			H	1.52
11	Parcheo	m ²	L	0.00
			M	75.38
12	Agregado pulido	m ²		6.36
13	Huecos	und	L	3
18	Hinchamiento	m ²	L	0
			M	11.92

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 4**Tabla 4. 17. Metrado de fallas según severidad en el km 4.**

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	5.18
			M	4.04
			H	0
6	Depresión	m	L	6.81
			M	0
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	8.91
			M	1.63
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	7.63
			M	4.88
			H	0
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	37.87
			M	15.19
			H	0
11	Parcheo	m ²	L	40.5
			M	11.21
			H	0
12	Agregado pulido	m ²		38.06
13	Huecos	und	L	1
			M	0
			H	0
17	Fisura parabólica	m ²	L	0
			M	3.64
18	Hinchamiento	m ²	L	0
			M	4.5

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 5**Tabla 4. 18. Metrado de fallas según severidad en el km 5.**

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	2.52
			M	0
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0.16
			M	0
			H	0
6	Depresión	m	L	2.71
			M	0
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	12.29
			M	0
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	2.99
			M	5.96
			H	0
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	43.18
			M	16.20
			H	0
11	Parcheo	m ²	L	29.95
			M	8.6
12	Agregado pulido	m ²		28.43
15	Ahuellamiento	m ²	L	2.18
			M	0
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	0
			M	7.8
			H	52.14

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 6**Tabla 4. 19. Metrado de fallas según severidad en el km 6.**

N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	5.17
			M	0
			H	0
3	Fisuras en bloque	m ²	L	1.63
			M	0
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	0.81
			M	0
6	Depresión	m	L	0
			M	7.5
			H	0
7	Fisura de borde	m	L	13.02
			M	4.02
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	1.04
			M	5.98
			H	0
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	45.33
			M	10.86
			H	0
11	Parcheo	m ²	L	4.34
			M	0
			H	0
12	Agregado pulido	m ²		16.55

Fuente: Elaboración propia.

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

Kilómetro 1

Tabla 4. 20. Porcentaje de fallas en el km 1.

Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"	
Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	10.88
3. Fisuras en bloque	19.40
4. Abultamientos y hundimientos	0.02
7. Fisura de borde	2.23
9. Desnivel carril - berma	4.77
10. Fisuras longitudinales y transversales	23.60
11. Parches	1.50
12. Agregado pulido	36.87
13. Huecos	0.39
16. Desplazamiento	0.34

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 2

Tabla 4. 21. Porcentaje de fallas en el km 2.

Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"	
Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	1.61
3. Fisuras en bloque	6.11
4. Abultamientos y hundimientos	0.14
6. Depresión	3.01
7. Fisura de borde	6.17
9. Desnivel carril - berma	2.46
10. Fisuras longitudinales y transversales	53.44
12. Agregado pulido	21.55
13. Huecos	0.33
19. Desprendimiento de agregados	5.17

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 3

Tabla 4. 22. Porcentaje de fallas en el km 3.
Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	3.19
3. Fisuras en bloque	0.61
4. Abultamientos y hundimientos	0.16
6. Depresión	4.22
7. Fisura de borde	11.97
9. Desnivel carril - berma	8.12
10. Fisuras longitudinales y transversales	30.38
11. Parches	32.25
12. Agregado pulido	2.72
13. Huecos	1.28
18. Hinchamiento	5.10

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 4

Tabla 4. 23. Porcentaje de fallas en el km 4.
Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	4.83
6. Depresión	3.56
7. Fisura de borde	5.52
9. Desnivel carril - berma	6.55
10. Fisuras longitudinales y transversales	27.77
11. Parches	27.07
12. Agregado pulido	19.92
13. Huecos	0.52
17. Fisura parabólica	1.91
18. Hinchamiento	2.35

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 5

Tabla 4. 24. Porcentaje de fallas en el km 5.
Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	1.71
4. Abultamientos y hundimientos	0.07
6. Depresión	1.26
7. Fisura de borde	5.71
9. Desnivel carril - berma	4.16
10. Fisuras longitudinales y transversales	27.60
11. Parches	17.92
12. Agregado pulido	13.22
15. Ahuellamiento	1.01
19. Desprendimiento de agregados	27.86

Fuente: Elaboración propia.

Kilómetro 6

Tabla 4. 25. Porcentaje de fallas en el km 6.
Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	4.45
3. Fisura en bloque	1.40
4. Abultamientos y hundimientos	0.70
6. Depresión	6.45
7. Fisura de borde	14.66
9. Desnivel carril - berma	6.04
10. Fisuras longitudinales y transversales	48.34
11. Parches	3.73
12. Agregado pulido	14.24

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Tratamiento estadístico

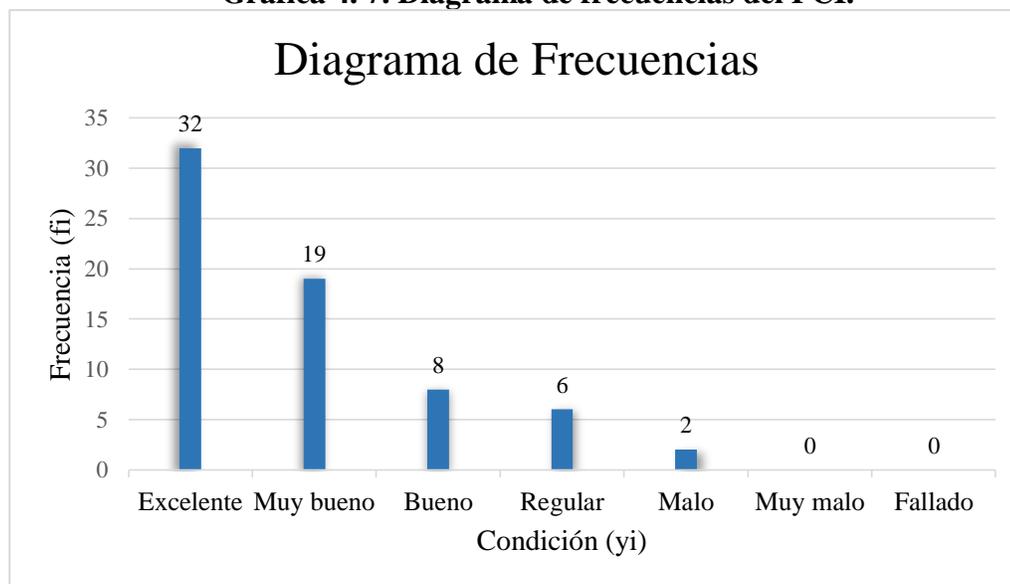
A continuación se mostrara el tratamiento estadístico realizado para cualificar y cuantificar el comportamiento de las variables, en este caso la variable del PCI es una variable cualitativa ordinal ya que presenta una modalidad no numérica y toma valores ordenados siguiendo una escala establecida, por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

Tabla 4. 26. Tratamiento estadístico del PCI.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	32	32/67	0.48	48
2	Muy bueno	19	19/67	0.28	28
3	Bueno	8	8/67	0.12	12
4	Regular	6	6/67	0.09	9
5	Malo	2	2/67	0.03	3
6	Muy malo	0	0/67	0	0
7	Fallado	0	0/67	0	0
	Σ	67	67/67	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 7. 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, esto nos da a entender que la vía se encuentra en muy buenas condiciones.

4.1.4. 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.

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

Se realizó la evaluación superficial del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” y con los resultados obtenidos anteriormente se pudo observar que la mayor cantidad de fallas se encuentran en el kilómetro 1 y en segundo lugar en el kilómetro 2 como se muestra en la tabla 4.27, esto podría deberse a que casi al final del kilómetro 1 en el barrio valle hermoso se encuentran las paradas de micros de la línea D y 7, como también paradas de taxi trufis que van por los barrios de la zona y vehículos que se dirigen a Sella y San Lorenzo, por lo tanto se genera mayor carga de tránsito en el pavimento hasta dicho kilómetro, de igual manera por el kilómetro 2 se encuentra la entrada al barrio la huerta por el cual también circulan varios taxi trufis ya que ahí se encuentra la unidad educativa de la comunidad y por lo tanto es bastante circulada. En los kilómetros siguientes baja considerablemente el porcentaje de fallas debido a que el flujo vehicular es mucho menor comparado al de los primeros kilómetros.

Tabla 4. 27. Porcentaje de fallas en cada km.

Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"		
Progresiva: 0+000 - 6+030		
Kilómetro N°	Progresiva	% de Fallas
1	0+000 - 1+000	48.22
2	1+001 - 2+000	23.09
3	2+001 - 3+000	8.87
4	3+001 - 4+000	7.25
5	4+001 - 5+000	8.16
6	5+001 - 6+000	4.41

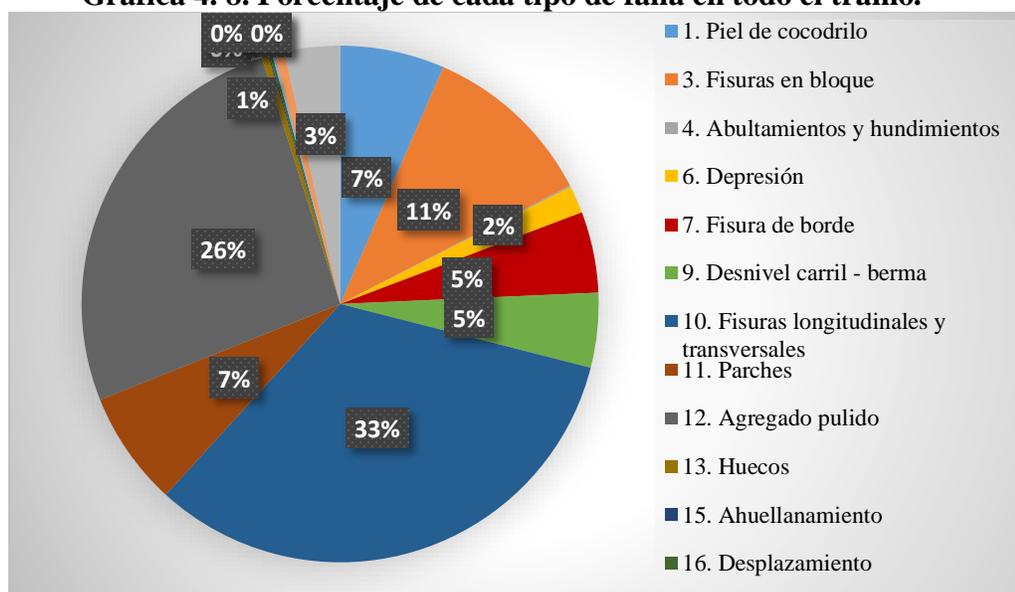
Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 4. 28. Porcentaje de cada falla en todo el tramo.

Tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"	
Progresiva: 0+000 - 6+030	
Tipo de falla	% Falla
1. Piel de cocodrilo	6.54
3. Fisuras en bloque	10.88
4. Abultamientos y hundimientos	0.09
6. Depresión	1.72
7. Fisura de borde	5.07
9. Desnivel carril - berma	4.67
10. Fisuras longitudinales y transversales	32.81
11. Parches	7.17
12. Agregado pulido	26.15
13. Huecos	0.42
15. Ahuellamiento	0.08
16. Desplazamiento	0.17
17. Fisura parabólica	0.14
18. Hinchamiento	0.62
19. Desprendimiento de agregados	3.47

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 8. Porcentaje de cada tipo de falla en todo el tramo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 4.28 y en la gráfica 4.8, la falla predominante en el tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” son las Fisuras longitudinales y transversales con un 32.81 %, otra falla considerable en el tramo es la de Agregado pulido con un 26.15 %. 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.

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.

Agregado pulido

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.

Opciones de reparación

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

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

Tabla 4. 29. Calificación del PCI por kilómetro en todo el tramo.

Tramo " Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"							
Progresiva: 0+000 - 6+030							
Progresiva	Km	Longitud	Ancho de vía	Área	VCDmáx	PCI	Condición
	N°	m	m	m²			
0+000 - 1+000	1	30	7.20	216	41.59	58.41	BUENO
1+001 - 2+000	2	30	7.20	216	22.42	77.58	MUY BUENO
2+001 - 3+000	3	30	7.20	216	15.02	84.98	MUY BUENO
3+001 - 4+000	4	30	7.20	216	15.61	84.39	MUY BUENO
4+001 - 5+000	5	30	7.20	216	15.03	84.97	MUY BUENO
5+001 - 6+030	6	30	7.20	216	7.75	92.25	EXCELENTE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 30. Calificación del PCI de todo el tramo.

Tramo " Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"			
Clasificación del PCI en todo el tramo			
Progresiva	VCD máx.	PCI calculado	Calificación de la condición del pavimento
0+000 - 6+030	19.57	80.43	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Realizado el análisis en la totalidad del tramo estudiado en sus 6.03 km, se obtiene un valor del PCI de 80.43 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 para los usuarios o beneficiarios que transiten la vía, de igual manera serán muy importantes los trabajos de mantenimiento y prevención para solucionar las fallas que presente la vía y así siga brindando comodidad y calidad de tránsito a los usuarios como también alargar o llegar a cumplir con la vida útil del pavimento.

También cabe mencionar que de los resultados obtenidos solo hay dos valores que se encuentran en condición de MALO según el PCI, que son las unidades de muestra número

76 en la progresiva 2+280 y la 145 en la progresiva 4+350, esto se debe a que en la unidad de muestra número 76 existe la falla de parches con severidad M de gran magnitud y por lo tanto un área de pavimento parchada o adyacente a la parchado no se comporta tan bien como un área de pavimento original. Por parte de la unidad de muestra 145, está presente una gran área con la falla de desprendimiento de agregados de severidad H que causa que esta unidad este en mal estado, esto podría deberse a que el ligante asfáltico se ha endurecido considerablemente, mezclas de pobre calidad o por ciertos tipos de tránsito como por ejemplo vehículos de orugas.

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

Tabla 4. 31. Metrado de fallas según severidad en todo el tramo.

Tramo " Cruce barrio los Laureles - Monte Centro "				
Progresiva: 0+000 - 6+030				
N°	Falla	Unidad	Severidad	Cantidad
1	Piel de cocodrilo	m ²	L	121.85
			M	50.58
			H	0
3	Agrietamiento en bloque	m ²	L	28.91
			M	257.96
			H	0
4	Abultamientos y hundimientos	m ²	L	2.2
			M	0.21
			H	0
6	Depresión	m	L	9.78
			M	35.46
			H	0
7	Grieta de borde	m	L	75.66
			M	58.11
			H	0
9	Desnivel carril berma	m	L	17.11
			M	78.52
			H	28.92
10	Fisuras longitudinales y transversales	m	L	588.76
			M	245.50
			H	30.73

11	Parcheo	m ²	L	85.89
			M	103.19
			H	0
12	Agregado pulido	m ²	L,M,H	689.24
13	Huecos	und	L	8
			M	3
			H	0
15	Ahuellamiento	m ²	L	2.18
			M	0
16	Desplazamiento	m ²	L	4.37
			M	0
17	Grieta parabólica	m ²	L	0
			M	3.64
			H	0
18	Hinchamiento	m ²	L	0
			M	16.42
			H	0
19	Desprendimiento de agregados	m ²	L	16.37
			M	22.63
			H	52.42

Fuente: Elaboración propia.

De la cuantificación de fallas de todo el tramo evaluado se puede observar que la falla que predomina 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.

La segunda falla con más valor es la de agregado pulido, esta falla se debe a las cargas de tránsito, debido a esta falla la superficie del pavimento pierde adherencia con las llantas de los vehículos considerablemente generando mucho peligro.

No existen niveles de severidad para esta falla solo depende del estado y de la resistencia al deslizamiento, las operaciones de mantenimiento y rehabilitación podrían ser:

No hacer nada si es muy leve, tratamiento superficial para rejuvenecer y aumentar la fricción del pavimento, sobrecarpeta o fresado y sobrecarpeta cuando es muy suave y deslizante.

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 sobrecarpeta.

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

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, sobrecarpeta y en algún caso que se necesite una reconstrucción.

La información brindada en la tabla 4.31 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.

4.1.4.4. 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. 32. Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.

Mantenimiento y rehabilitación tramo "Cruce Barrio los Laureles - Monte Centro"							
Falla	Severidad	Sellado de fisuras(m)	Corte de carpeta asfáltica (m²)	Trazado y replanteo (m²)	Limpieza y retiro de material (m³)	Imprimación (m²)	Carpeta asfáltica en caliente (m²)
1. Piel de cocodrilo	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
6. Depresión	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
12. Agregado pulido	L,M,H		X	X	X	X	X
13. Huecos	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
17. Grieta parabólica	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
18. Hinchamiento	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. 33. Presupuesto general de mantenimiento de la vía.

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario (Bs)	Parcial (Bs)
1	SEÑALIZACIÓN AREAS DE TRABAJO	glb	1,00	4.054,94	4.054,94
2	REPLANTEO Y TRAZADO EN CARPETA ASFALTICA	m ²	1.084,02	13,36	14.482,51
3	SELLO DE GRIETAS Y FISURAS	m	1.285,63	16,76	21.547,16
4	CORTE DE CARPETA ASFÁLTICA	m ²	1.084,02	36,53	39.599,25
5	IMPRIMACIÓN	m ²	1.084,02	6,40	6.937,73
6	CARPETA ASFÁLTICA	m ²	1.084,02	205,30	222.549,31
7	LIMPIEZA Y RETIRO DE MATERIAL	m ³	65,04	53,60	3.486,14
Total presupuesto:					312.657,04

Son: Trescientos Doce Mil Seiscientos Cincuenta y Siete con 04/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los precios unitarios de cada ítem se encuentra detallado en los anexos.

4.2. Evaluación estructural por el método de la viga Benkelman

4.1.1. 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 4.34, 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. 34. Datos de deflexiones en el carril derecho del tramo.

Evaluación estructural								
Tramo: "Cruce barrio Los Laureles - Monte Centro"								
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:	04/05/2019				
Relación de brazos:	1 a 2		Ejecutor:	Kevin López Baldivieso				
Nº 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
1	0+000	44	0	32	36	36	38	60
2	0+200	44	0	28	22	30	36	56
3	0+400	44	0	22	25	28	32	48
4	0+600	44	0	22	22	25	34	46
5	0+800	43	0	20	18	20	28	46
6	1+000	43	0	16	10	14	20	42

7	1+200	43	0	14	14	18	20	37
8	1+400	42	0	12	14	10	15	36
9	1+600	43	0	10	17	12	14	34
10	1+800	42	0	14	22	22	24	34
11	2+000	43	0	12	15	12	18	36
12	2+200	42	0	16	20	20	24	40
13	2+400	40	0	10	12	16	12	32
14	2+600	40	0	12	10	16	18	36
15	2+800	41	0	12	10	8	14	36
16	3+000	40	0	10	13	16	18	30
17	3+200	39	0	10	15	7	18	32
18	3+400	39	0	14	12	15	16	36
19	3+600	40	0	12	13	16	16	28
20	3+800	40	0	9	10	15	16	23
21	4+000	41	0	8	14	8	10	24
22	4+200	41	0	10	10	7	12	25
23	4+400	40	0	16	22	18	20	28
24	4+600	38	0	14	16	12	18	30
25	4+800	38	0	12	14	6	8	36
26	5+000	37	0	10	8	12	15	24
27	5+200	37	0	10	12	12	16	22
28	5+400	37	0	8	6	10	12	23
29	5+600	36	0	6	8	8	9	22
30	5+800	38	0	6	9	12	12	20
31	6+000	38	0	10	7	10	12	26

Fuente: Elaboración propia.

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

Cálculo de la deflexión máxima:

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

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

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

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.

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

$$\text{Dot} = \frac{\mathbf{60}}{\mathbf{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (44 - 20) * 6 + 1}}$$

$$\text{Dot} = \mathbf{52.45 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Deflexión a 50 cm:

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

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

$$\mathbf{D_{50} = 28 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$\mathbf{D_{50t} = \frac{28}{\mathbf{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (44 - 20) * 6 + 1}}}$$

$$\text{Dot} = \mathbf{24.48 \times 10^{-2} \text{ mm}}$$

Radio de curvatura:

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

$$Rc = \frac{6250}{2 * (52 - 24)}$$

$$Rc = 111.72 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

4.1.2. 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. 35. Rangos de la evaluación estructural.

Rangos mínimos y máximos de deflexiones	Rangos mínimos y máximos de radios de curvatura
Do<Dc Do<45.84	100<Rc<500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 36. Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho.
Evaluación estructural del tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

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:	04/05/2019				
(N°)	Progres (m)	Lecturas del dial						Parámetros de evaluación			Parámetros de evaluación corregidos por temp. A 20 °C			Temperaturas		Espesor del asfalto (cm)
		L- a 0cm 0.01 mm	L- a 50cm 0.01 mm	L- a 100cm 0.01 mm	L- a 150cm 0.01 mm	L- a 200cm 0.01 mm	L- a 700cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	0+000	0	32	36	36	38	60	60.00	28.00	97.66	52.45	24.48	111.72	30.0	44.0	6.0
2	0+200	0	28	22	30	36	56	56.00	28.00	111.61	48.95	24.48	127.68	30.0	44.0	6.0
3	0+400	0	22	25	28	32	48	48.00	26.00	142.05	41.96	22.73	162.50	30.0	44.0	6.0
4	0+600	0	22	22	25	34	46	46.00	24.00	142.05	40.21	20.98	162.50	30.0	44.0	6.0
5	0+800	0	20	18	20	28	46	46.00	26.00	156.25	40.42	22.85	177.81	30.0	43.0	6.0
6	1+000	0	16	10	14	20	42	42.00	26.00	195.31	36.91	22.85	222.27	30.0	43.0	6.0
7	1+200	0	14	14	18	20	37	37.00	23.00	223.21	32.51	20.21	254.02	30.0	43.0	6.0
8	1+400	0	12	14	10	15	36	36.00	24.00	260.42	31.80	21.20	294.79	30.0	42.0	6.0
9	1+600	0	10	17	12	14	34	34.00	24.00	312.50	29.88	21.09	355.63	30.0	43.0	6.0
10	1+800	0	14	22	22	24	34	34.00	20.00	223.21	30.04	17.67	252.68	30.0	42.0	6.0
11	2+000	0	12	15	12	18	36	36.00	24.00	260.42	31.63	21.09	296.35	30.0	43.0	6.0
12	2+200	0	16	20	20	24	40	40.00	24.00	195.31	35.34	21.20	221.09	30.0	42.0	6.0
13	2+400	0	10	12	16	12	32	32.00	22.00	312.50	28.57	19.64	350.00	30.0	40.0	6.0
14	2+600	0	12	10	16	18	36	36.00	24.00	260.42	32.14	21.43	291.67	30.0	40.0	6.0
15	2+800	0	12	10	8	14	36	36.00	24.00	260.42	31.97	21.31	293.23	30.0	41.0	6.0
16	3+000	0	10	13	16	18	30	30.00	20.00	312.50	26.79	17.86	350.00	30.0	40.0	6.0
17	3+200	0	10	15	7	18	32	32.00	22.00	312.50	28.73	19.75	348.13	30.0	39.0	6.0
18	3+400	0	14	12	15	16	36	36.00	22.00	223.21	32.32	19.75	248.66	30.0	39.0	6.0
19	3+600	0	12	13	16	16	28	28.00	16.00	260.42	25.00	14.29	291.67	30.0	40.0	6.0

20	3+800	0	9	10	15	16	23	23.00	14.00	347.22	20.54	12.50	388.89	30.0	40.0	6.0
21	4+000	0	8	14	8	10	24	24.00	16.00	390.63	21.31	14.21	439.84	30.0	41.0	6.0
22	4+200	0	10	10	7	12	25	25.00	15.00	312.50	22.20	13.32	351.88	30.0	41.0	6.0
23	4+400	0	16	22	18	20	28	28.00	12.00	195.31	25.00	10.71	218.75	30.0	40.0	6.0
24	4+600	0	14	16	12	18	30	30.00	16.00	223.21	27.08	14.44	247.32	30.0	38.0	6.0
25	4+800	0	12	14	6	8	36	36.00	24.00	260.42	32.49	21.66	288.54	30.0	38.0	6.0
26	5+000	0	10	8	12	15	24	24.00	14.00	312.50	21.78	12.70	344.38	30.0	37.0	6.0
27	5+200	0	10	12	12	16	22	22.00	12.00	312.50	19.96	10.89	344.38	30.0	37.0	6.0
28	5+400	0	8	6	10	12	23	23.00	15.00	390.63	20.87	13.61	430.47	30.0	37.0	6.0
29	5+600	0	6	8	8	9	22	22.00	16.00	520.83	20.07	14.60	570.83	30.0	36.0	6.0
30	5+800	0	6	9	12	12	20	20.00	14.00	520.83	18.05	12.64	577.08	30.0	38.0	6.0
31	6+000	0	10	7	10	12	26	26.00	16.00	312.50	23.47	14.44	346.25	30.0	38.0	6.0

Tratamiento estadístico:

Cálculo deflexión característica (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 30.0

Ds = Desviación standard = 8.5

t = constante de probabilidad al 95 % = 1.96

$$D_c = 46.65 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

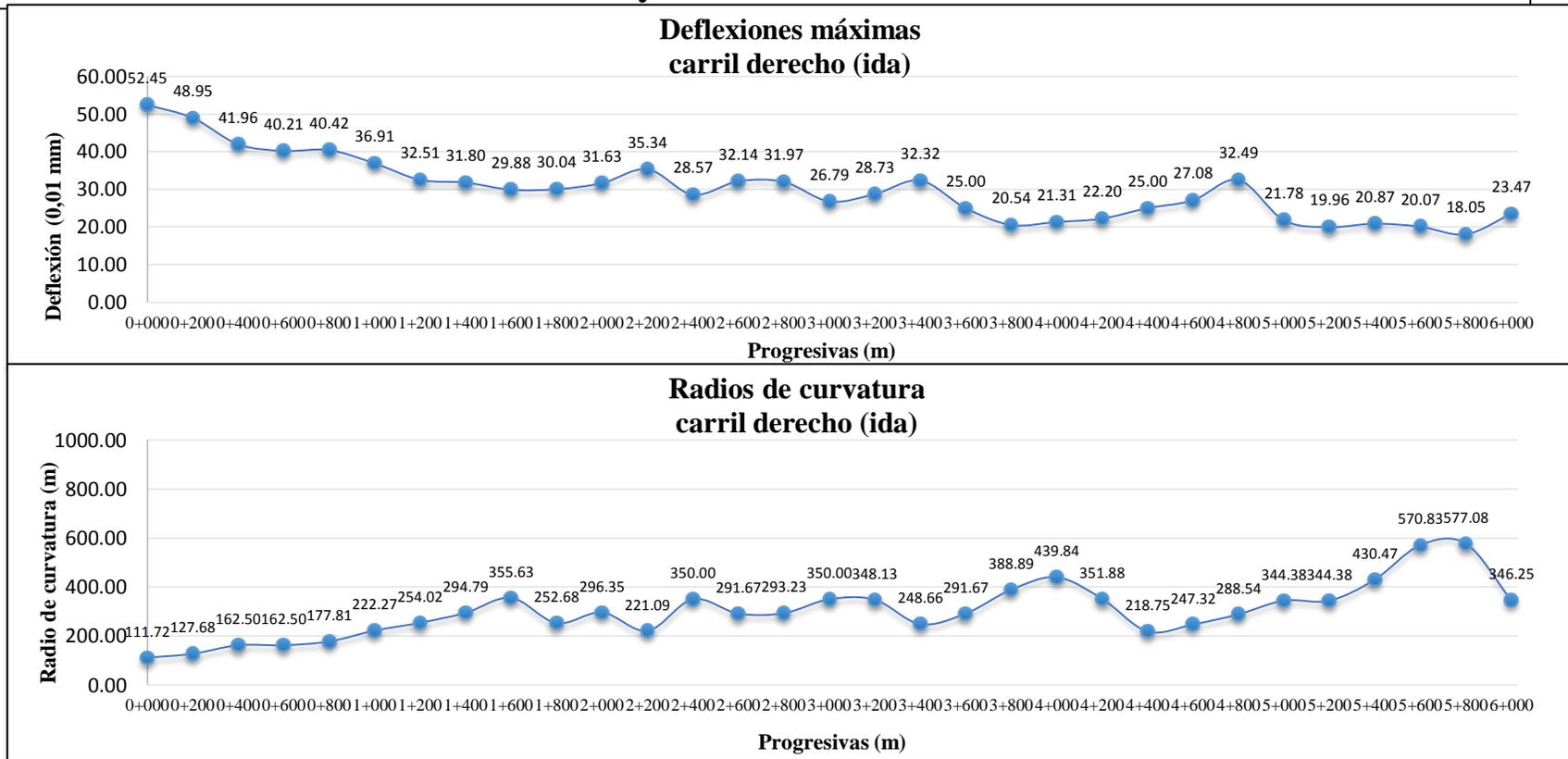
Número de muestras	31	31	31
Sumatoria	930.43	560.56	9360.99
Promedio (x):	30.01	18.08	301.97
Deflexión mínima	18.05	10.71	111.72
Deflexión máxima	52.45	24.48	577.08
Desviación estándar (s)	8.49	4.28	109.63
Varianza (s ²)	72.05	18.28	12018.07
Coficiente de var.	28.28	23.64	36.30
Error medio de la media (ex)	1.52	0.77	19.69
Error probable (ep)	2.99	1.51	38.59
Valor aceptado sup.	49.64	27.97	555.43
Valor característico	46.65	26.46	516.84

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 9. Deflexiones máximas y radios de curvatura carril derecho.
Evaluación estructural del tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Medición de las deflexiones por el método de la viga Benkelman

Gráficas de deflexiones y radios de curvatura en todo el tramo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 37. Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo.
Evaluación estructural del tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

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:	11/05/2019						
(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 0.01 mm	L- a 50cm 0.01 mm	L- a 100cm 0.01 mm	L- a 150cm 0.01 mm	L- a 200cm 0.01 mm	L- a 700cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Am b °C	Asfalto °C	
1	0+000	0	30	22	22	32	58	58.00	28.00	104.17	50.70	24.48	119.17	29.0	44.0	6.0
2	0+200	0	28	26	25	30	56	56.00	28.00	111.61	49.47	24.73	126.34	29.0	42.0	6.0
3	0+400	0	24	16	24	28	54	54.00	30.00	130.21	47.70	26.50	147.40	29.0	42.0	6.0
4	0+600	0	15	18	22	22	40	40.00	25.00	208.33	35.71	22.32	233.33	29.0	40.0	6.0
5	0+800	0	18	15	18	20	42	42.00	24.00	173.61	37.10	21.20	196.53	29.0	42.0	6.0
6	1+000	0	14	14	18	20	36	36.00	22.00	223.21	31.63	19.33	254.02	29.0	43.0	6.0
7	1+200	0	12	15	16	18	32	32.00	20.00	260.42	28.12	17.57	296.35	29.0	43.0	6.0
8	1+400	0	12	12	12	14	34	34.00	22.00	260.42	30.20	19.54	293.23	29.0	41.0	6.0
9	1+600	0	9	14	14	14	24	24.00	15.00	347.22	21.31	13.32	390.97	29.0	41.0	6.0
10	1+800	0	12	16	18	20	28	28.00	16.00	260.42	25.00	14.29	291.67	29.0	40.0	6.0
11	2+000	0	13	8	12	22	32	32.00	19.00	240.38	28.27	16.78	272.12	29.0	42.0	6.0
12	2+200	0	16	16	15	18	38	38.00	22.00	195.31	33.39	19.33	222.27	29.0	43.0	6.0
13	2+400	0	12	9	14	15	32	32.00	20.00	260.42	28.42	17.76	293.23	29.0	41.0	6.0
14	2+600	0	10	12	13	10	34	34.00	24.00	312.50	30.36	21.43	350.00	29.0	40.0	6.0
15	2+800	0	10	8	8	10	36	36.00	26.00	312.50	31.97	23.09	351.88	29.0	41.0	6.0
16	3+000	0	12	10	8	12	34	34.00	22.00	260.42	30.04	19.43	294.79	29.0	42.0	6.0
17	3+200	0	8	15	14	15	30	30.00	22.00	390.63	26.93	19.75	435.16	29.0	39.0	6.0
18	3+400	0	12	10	16	18	35	35.00	23.00	260.42	31.42	20.65	290.10	29.0	39.0	6.0
19	3+600	0	8	13	18	16	26	26.00	18.00	390.63	23.21	16.07	437.50	29.0	40.0	6.0
20	3+800	0	12	10	10	14	30	30.00	18.00	260.42	27.08	16.25	288.54	29.0	38.0	6.0
21	4+000	0	10	13	10	12	26	26.00	16.00	312.50	23.34	14.36	348.13	29.0	39.0	6.0
22	4+200	0	12	10	6	12	26	26.00	14.00	260.42	23.09	12.43	293.23	29.0	41.0	6.0

23	4+400	0	16	14	16	18	30	30.00	14.00	195.31	26.79	12.50	218.75	29.0	40.0	6.0
24	4+600	0	12	14	12	12	28	28.00	16.00	260.42	25.55	14.60	285.42	29.0	36.0	6.0
25	4+800	0	10	10	12	14	34	34.00	24.00	312.50	31.02	21.90	342.50	29.0	36.0	6.0
26	5+000	0	10	2	8	10	22	22.00	12.00	312.50	19.96	10.89	344.38	29.0	37.0	6.0
27	5+200	0	9	6	10	12	24	24.00	15.00	347.22	22.02	13.76	378.47	29.0	35.0	6.0
28	5+400	0	10	6	4	8	25	25.00	15.00	312.50	22.69	13.61	344.38	29.0	37.0	6.0
29	5+600	0	8	7	10	12	22	22.00	14.00	390.63	20.07	12.77	428.13	29.0	36.0	6.0
30	5+800	0	7	4	6	8	23	23.00	16.00	446.43	20.76	14.44	494.64	29.0	38.0	6.0
31	6+000	0	12	6	6	8	28	28.00	16.00	260.42	25.69	14.68	283.85	29.0	35.0	6.0

Tratamiento estadístico:

Cálculo deflexión característica (Dc):

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

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio =	29.3
Ds = Desviación standard =	8.0
t = constante de probabilidad al 95% =	1.96

$$Dc = 45.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

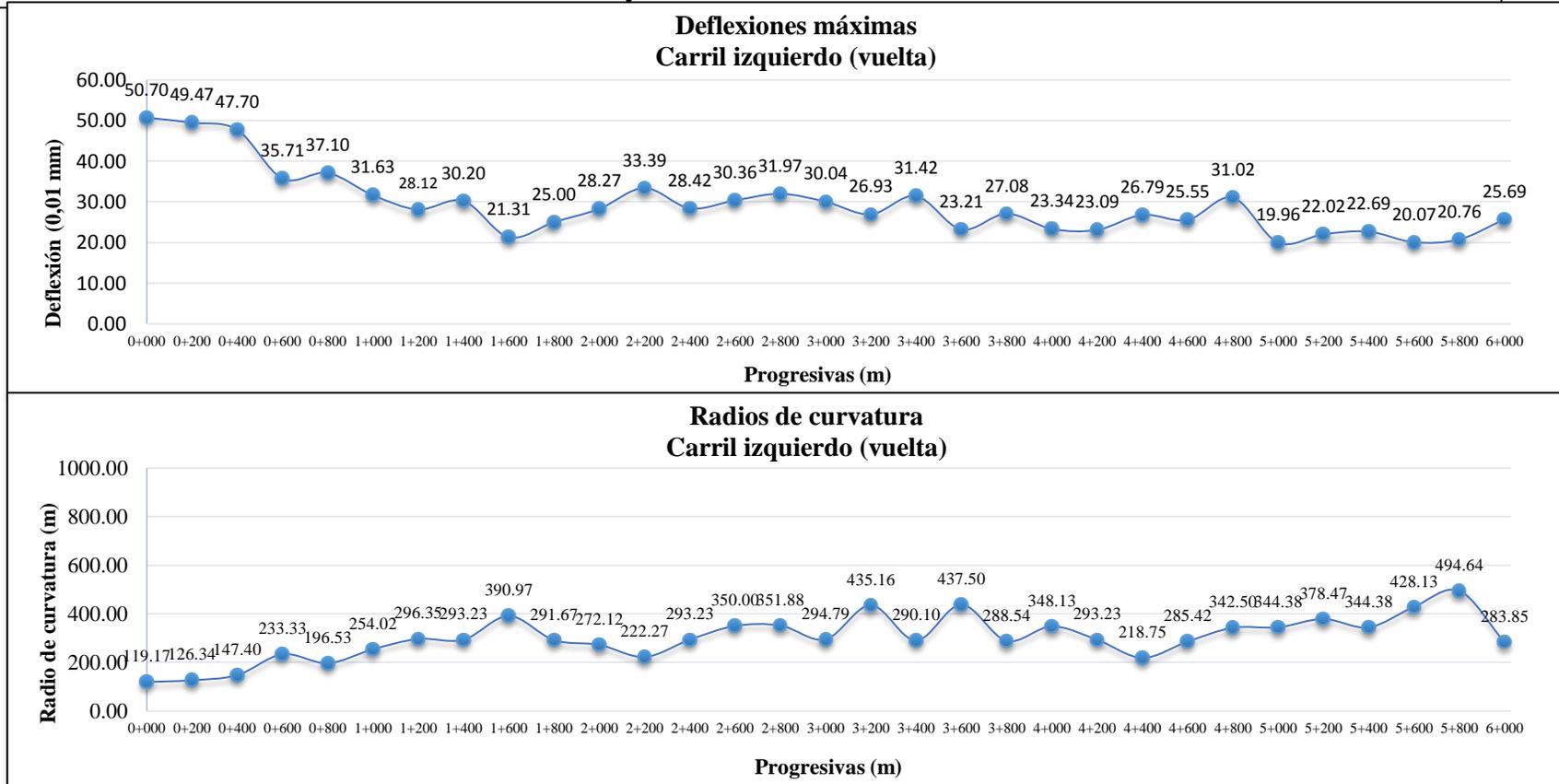
Número de muestras	31	31	31
Sumatoria	909.01	549.78	9346.45
Promedio:	29.32	17.73	301.50
Deflexión mínima	19.96	10.89	119.17
Deflexión máxima	50.70	26.50	494.64
Desviación estándar	8.02	4.19	88.86
Varianza	64.24	17.54	7895.83
Coefficiente de var.	27.33	23.62	29.47
Error medio de la media (ex)	1.44	0.75	15.96
Error probable (ep)	2.82	1.47	31.28
Valor aceptado sup.	47.85	27.42	506.94
Valor característico	45.03	25.94	475.66

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 10. Deflexiones máximas y radios de curvatura carril izquierdo.
Evaluación estructural del tramo "Cruce barrio los Laureles - Monte Centro"

Medición de las deflexiones por el método de la viga Benkelman

Gráficas de deflexiones y radios de curvatura en todo el tramo



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Tratamiento estadístico

Carril derecho

Estadística descriptiva

$$n = 31$$

$$\bar{x} = 30.01$$

$$R = 52.45 - 18.05 = 34.4$$

$$N^\circ = 1 + 3.332 * \log(n) = 6.00$$

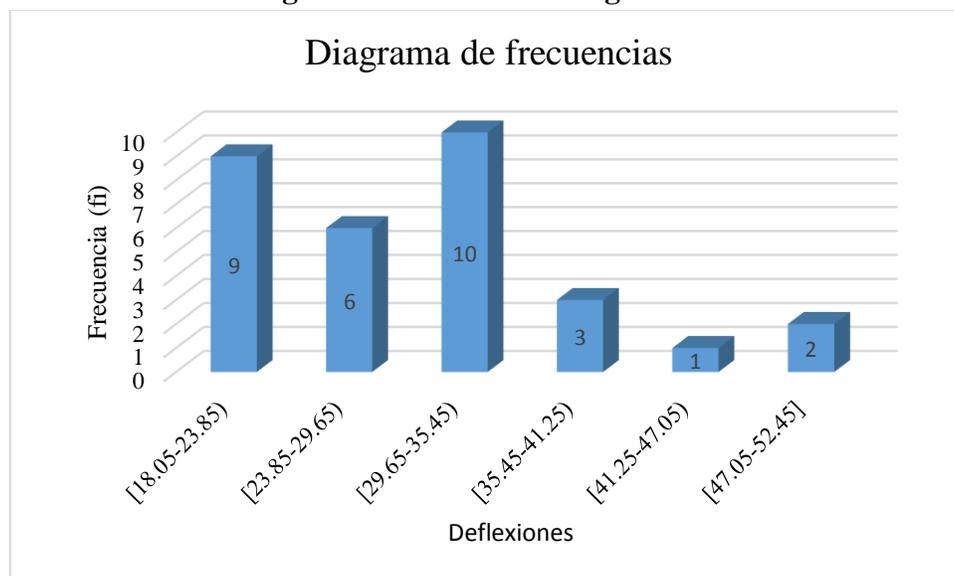
$$a = 5.80$$

Tabla 4. 39. Tabla de frecuencias viga Benkelman carril derecho.

n	Intervalos de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	[18.05-23.85)	9	9/31	0.29	29
2	[23.85-29.65)	6	6/31	0.19	19
3	[29.65-35.45)	10	10/31	0.32	32
4	[35.45-41.25)	3	3/31	0.1	10
5	[41.25-47.05)	1	1/31	0.03	3
6	[47.05-52.45]	2	2/31	0.07	7
	Σ	31	1	1	100

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. 11. Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril derecho.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencial

Número de muestras	31	31	31
Sumatoria	930.43	560.56	9360.99
Promedio (x):	30.01	18.08	301.97
Deflexión mínima	18.05	10.71	111.72
Deflexión máxima	52.45	24.48	577.08
Desviación estándar (s)	8.49	4.28	109.63
Varianza (s ²)	72.05	18.28	12018.07
Coefficiente de var.	28.28	23.64	36.30
Error medio de la media (ex)	1.52	0.77	19.69
Error probable (ep)	2.99	1.51	38.59
Valor aceptado sup.	49.64	27.97	555.43
Valor característico	46.65	26.46	516.84

Cálculo deflexión característica (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio =	30.0
Ds = Desviación standard =	8.5
t = constante de probabilidad al 95 % =	1.96

$$Dc = 46.65 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Prueba de hipótesis

Cálculos estadísticos

Nivel de significancia			
5%	Valor de la media (\bar{x})	en Ho:	$H_0: \bar{x} \geq u$ (30.01 \geq 46.65) $H_1: \bar{x} < u$ (30.01 < 46.65)
$\alpha=0.05$			
Tipo de contrastación de la hipótesis	30.01		Valor teórico (u) = 46.65 Desviación estándar de la muestra = 8.49 Tamaño de la muestra = 31.00
Menor que			Desviación estándar de la media muestral = 1.52 Valor tabular: Dist.Normal = -1.96

Determinación de la hipótesis	Tipo de contrastación de la hipótesis:	Menor que
Ho: Media 30.01	Caso I : Si el tamaño de muestra es grande (n >= 30)	
H1: Media 30.01	Estadístico de Prueba $Z_p = \frac{media - u}{G/\sqrt{n}} = $	-10.91
	Si $Z_p = -10.91 > Z_c = -1.96$	Aceptamos Ho
	Si $Z_p = -10.91 < Z_c = -1.96$	Rechazamos Ho

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (Ho), por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Conclusión: Gracias a la prueba de hipótesis se puede afirmar que el contenido promedio de cada deflexión es menor de 46.65, con un nivel de significancia (α) de 5 %.

Carril izquierdo

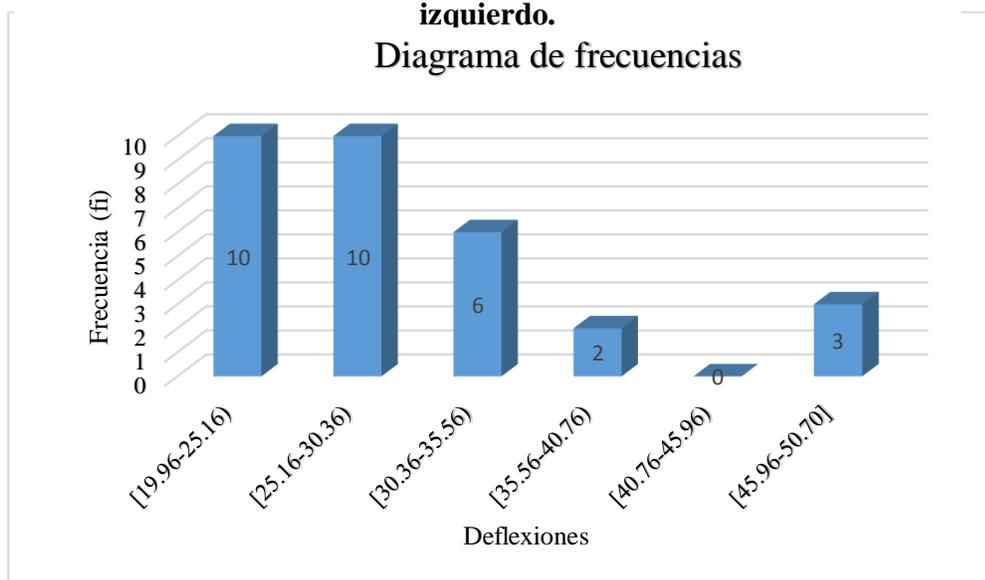
Estadística descriptiva

$$\begin{aligned}
 n &= 31 \\
 \bar{x} &= 29.32 \\
 R &= 50.70 - 19.96 = 30.74 \\
 N^\circ &= 1 + 3.332 * \log(n) = 6.00 \\
 a &= 5.20
 \end{aligned}$$

Tabla 4. 41. Tabla de frecuencias viga Benkelma carril izquierdo.

n	Intervalos de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	[19.96-25.16)	10	10/31	0.32	32
2	[25.16-30.36)	10	10/31	0.32	32
3	[30.36-35.56)	6	6/31	0.19	19
4	[35.56-40.76)	2	2/31	0.07	7
5	[40.76-45.96)	0	0/31	0	0
6	[45.96-50.70]	3	3/31	0.1	10
	Σ	31	1	1	100

Gráfica 4. 12. Diagrama de frecuencias de la viga Benkelman carril izquierdo.



Fuente: Elaboración propia.

Estadística inferencia

Número de muestras	31	31	31
Sumatoria	909.01	549.78	9346.45
Promedio:	29.32	17.73	301.50
Deflexión mínima	19.96	10.89	119.17
Deflexión máxima	50.70	26.50	494.64
Desviación estándar	8.02	4.19	88.86
Varianza	64.24	17.54	7895.83
Coficiente de var.	27.33	23.62	29.47
Error medio de la media (ex)	1.44	0.75	15.96
Error probable (ep)	2.82	1.47	31.28
Valor aceptado sup.	47.85	27.42	506.94
Valor característico	45.03	25.94	475.66

Cálculo deflexión característica (Dc):

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

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio =	29.3
Ds = Desviación standard =	8.0
t = constante de probabilidad al 95 % =	1.96

$$Dc = 45.03 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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	29.32
Menor que	

$$H_0: \bar{X} \geq u \quad (29.32 \geq 45.03)$$

$$H_1: \bar{X} < u \quad (29.32 < 45.03)$$

Valor teórico (u) =	45.03
Desviación estándar de la muestra =	8.02
Tamaño de la muestra =	31.00
Desviación estándar de la media muestral =	1.44
Valor tabular: Dist.Normal =	-1.96

Determinación de la hipótesis	
Ho: Media 29.32	
H1: Media 29.32	

Tipo de contrastación de la hipótesis:	Menor que
---	------------------

Caso I : Si el tamaño de muestra es grande (n >= 30)

$$\text{Estadístico de Prueba } Z_p: \quad Z_p = \frac{\text{media} - u}{G/\sqrt{n}} = \mathbf{-10.91}$$

Si $Z_p = -10.91 > Z_c = -1.96$ **Aceptamos Ho**

Si $Z_p = -10.91 < Z_c = -1.96$ **Rechazamos Ho**

Decisión: Se rechaza la hipótesis nula (Ho), por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H1).

Conclusión: Gracias a la prueba de hipótesis se puede afirmar que el contenido promedio de cada deflexión es menor de 45.03, con un nivel de significancia (α) de 5 %.

4.1.4. Análisis de resultados de la evaluación estructural

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro”, se realizara un análisis de ambos carriles continuación:

Carril derecho

En el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de 52.45×10^{-2} mm en la progresiva 0+000 que es mayor al valor de la deflexión característica de 46.65×10^{-2} mm y al valor aceptado superior de 49.64×10^{-2} mm calculados gracias a la estadística, sin embargo se puede observar que ese valor es el único que supera al característico y al valor aceptado superior ya que todos los demás valores de deflexiones están por debajo de estos rangos, también se puede ver que todos los radios de curvatura están dentro de los rangos de valores aceptados excepto solo dos de ellos en las progresivas 5+600 y 5+800 que se pasan con muy poco del valor aceptado.

Carril izquierdo

En el carril izquierdo el valor de la deflexión característica es de 43.03×10^{-2} mm y el del valor aceptado superior es de 47.85×10^{-2} mm, el valor de la deflexión máxima es de 50.97×10^{-2} mm y de la segunda mayor es de 49.47×10^{-2} mm, estas dos deflexiones son las únicas que están por encima de los valores aceptados ya que todas las demás están dentro del rango esperado. También se puede observar que los radios de curvatura en este carril están todos dentro de los valores aceptados de 100-507.

Una vez analizados ambos carriles gracias a las gráficas se puede observar que las mayores deflexiones que de igual manera están dentro de los rangos aceptados se encuentran en los kilómetros 1 y 2, esto podría deberse al mayor flujo vehicular en esos kilómetros debido a que en dichos kilómetros existen paradas de micros y taxis trufis como también unidades educativas y barrios más poblados que generan mayor flujo y carga de tránsito a comparación de los kilómetros siguientes.

Para finalizar se puede decir gracias a la prueba de la hipótesis, que la estructura de la vía estudiada se encuentra aún en muy buenas condiciones y es capaz de soportar las solicitudes de tránsito ya que el promedio de todas las deflexiones esta con un valor muy por debajo del característico como se puede ver en la tabla 4.37 y que el 96 % de los resultados está dentro del rango de confianza como también se observar que de acuerdo a

la hipótesis tomada los valores promedio de las deflexiones están por debajo del valor teórico.

Tabla 4. 42. Valores promedio de deflexiones en todo el tramo.

Deflexión promedio de ambos carriles (mm)	Deflexión promedio característica (mm)
29.67×10^{-2}	45.84×10^{-2}

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 43. 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
124	119	5
100%	96%	4%

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Una vez finalizado el trabajo se llegó a las siguientes conclusiones:

- El pavimento flexible del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” está superficialmente en una condición de MUY BUENO según los resultados obtenidos en la evaluación superficial realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03, con un resultado final del PCI de 80.43.
- De los análisis realizados a cada kilómetro en el tramo, se determinó que el kilómetro 1 es el más dañado con un porcentaje de fallas del 48.22 % del total de fallas en los 6 kilómetros, por ende es también el que tiene la peor clasificación de acuerdo al PCI con un valor de 58.41.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento flexible del tramo “Cruce barrio los Laureles – Monte Centro” está estructuralmente en buenas condiciones y con capacidad suficiente de seguir resistiendo las cargas de tránsito solicitadas, ya que sus valores promedio de deflexiones son menores a los teóricos y el 96 % de los resultados de deflexiones y radios de curvatura están dentro del rango de confianza admitido.

$$D_{op} < D_c$$

$$29.67 \times 10^{-2} \text{ mm} < 45.84 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

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

- Las mayores deflexiones obtenidas de la viga Benkelman se encuentran en el kilómetro 1 y a partir de ahí se mantienen valores semejantes en los demás kilómetros de acuerdo a las gráficas de deflexiones finales en el tramo, debido

a que el kilómetro 1 tiene mayor flujo vehicular y por tanto más carga de tránsito que le causa mayor daño a la estructura del pavimento.

- A pesar de que el pavimento flexible esté en buen estado superficial y estructuralmente, se debe realizar las operaciones de mantenimiento recomendadas para alargar su vida útil y prevenir o controlar su deterioro.
- Con la aplicación de una evaluación superficial y estructural se puede determinar el estado de la superficie y estructura de un pavimento flexible, así como también el tipo y cantidad de fallas que presente.
- Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación adecuadas se las debe realizar en función a las fallas y condición del pavimento flexible.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere las siguientes recomendaciones para facilitar la realización de futuros trabajos:

- Solicitar el uso de laboratorio y equipos de manera anticipada, ya que debido a la alta demanda de los mismos por la gran cantidad de estudiantes que la solicitan se vuelve un problema que genera retrasos e inconvenientes en el cronograma previsto.
- Al momento de realizar la toma de datos en la evaluación superficial siguiendo la norma ASTM D6433-03, se deberá llevar el manual de fallas del PCI para realizar una toma de datos adecuada, asimismo se debe contar con colaboradores capacitados y con los equipos de seguridad necesarios para la evaluación en campo.
- Para el pesaje de la volqueta en el ensayo de la viga Benkelman, se lo debe realizar a primera hora de la mañana, ya que se demora bastante tiempo debido a que varios vehículos solicitan dicho pesaje y esto podría generar una pérdida de tiempo, costo.
- En la toma de datos de la evaluación estructural se debe contar con un técnico o colaboradores capacitados, como también con el equipo correctamente armado y el extensómetro bien calibrado, debido a que es muy sensible y de mucha precisión y un mal manejo nos podría brindar datos erróneos.

- Ajustar el tornillo de la viga en cada punto de ensayo y verificar que el puntero del brazo móvil este en contacto con el suelo al momento de realizar las lecturas de las deflexiones.
- Contar con todos los equipos de seguridad necesarios para realizar la evaluación en campo como ser triángulos, conos, chalecos fosforescentes, etc. ya que al ser mayormente tramos de caminos, los vehículos se trasladan a grandes velocidades.