

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las vías marcaron una importancia para la sociedad, tanto desde el punto de vista técnico, constructivo y conservativo, en donde fue desarrollándose diversos métodos para la construcción de caminos, a través de ellos se lleva a cabo las interrelaciones económicas, sociales, culturales, etc. Razón por la cual se hace necesario contar con estrategias y seguimientos a los pavimentos para observar el estado en el que se encuentran.

Los pavimentos son diseñados para soportar de manera adecuada los esfuerzos transmitidos a la superficie de rodadura, así mismo deberán soportar los diferentes cambios climáticos y las condiciones de drenaje.

La vida útil de un pavimento está sujeto al mantenimiento que significa considerar dos aspectos, los cuales sus propios nombres los describen, los mantenimientos correctivos que representan costos más relevantes con relación a los mantenimientos preventivos.

Es por esto que debemos tener en cuenta que es muy importante para la ciudad de Tarija, que se cuente con vías en un buen estado, que permita tener pavimentos en buenas condiciones confortables en las diferentes zonas urbanas.

Este trabajo tiene como objetivo definir las condiciones superficiales y estructurales de un pavimento flexible en las avenidas Guillermo Beltrán - San Luis, aplicando los métodos de Índice de condición de pavimento (PCI), índice de serviciabilidad de pavimento (PSI) y el índice internacional de rugosidad (IRI), para poder identificar los deterioros que se presenta en el pavimento y la evaluación estructural por el método de la viga de Benkelman y así poder evaluar el estado actual en el que se encuentra el pavimento.

Este tipo de trabajo es importante ya que el desarrollo de este proyecto conlleva a un proceso de inspección visual, el cual se obtendrá un informe teórico con el propósito que sirva como guía para poder examinar, observar el estado que se presenta el pavimento.

1.2. Situación problémica

Las avenidas Guillermo Beltrán - San Luis, se volvieron muy transitadas, debido al crecimiento poblacional. Es una avenida de gran importancia debido a que es un único acceso hacia los cuarteles y/a diferentes barrios que conforma el distrito, como también es una vía alternativa hacia algunas comunidades como San Jacinto Norte. Este tramo presenta deterioros muy significativos el cual puede afectar la transitabilidad de los vehículos.

Al no proceder con esta evaluación ocasionará que no se pueda determinar el estado actual en el que se encuentra el tramo de estudio, en donde los deterioros podrían empeorar con el tiempo, y podría significarse mayor costo de mantenimiento vial.

Se plantea realizar una evaluación superficial y estructural con los métodos del PCI, PSI, IRI y viga Benkelman, y así poder diagnosticar el estado actual del pavimento flexible y poder dar una solución con el fin de brindar comodidad para los vehículos.

1.2.1. Problema

¿Cómo se puede determinar el deterioro superficial y estructural del pavimento flexible de las avenidas Guillermo Beltrán - San Luis?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

El estado del pavimento flexible se lo puede determinar empleando una inspección visual como así también de manera manual para la evaluación tanto superficial como estructural, con el objetivo de obtener respuestas sobre el estado y el comportamiento del pavimento flexible, como también evaluar las fallas que fueron ocasionados por diferentes causas, como ser por aspectos climáticos, tráfico, etc.

Se realizó una inspección visual en las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis en la cual se pudo observar que presenta deterioros relevantes.

Es necesario realizar una evaluación superficial y estructural para conocer el estado actual del pavimento flexible.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

Los datos de la evaluación se mantendrán vigentes hasta que las condiciones de las vías cambien.

Las avenidas Guillermo Beltrán - San Luis, se encuentran en la provincia cercado en el departamento de Tarija, pertenecen al distrito 11 formando parte el barrio San Luis y la comunidad de San Jacinto Norte, la longitud estimada para la evaluación será de 10 km.

1.3. Justificación

Aplicar los conocimientos adquiridos por el estudiante, relacionados con el tema propuesto. Además, investigar métodos de evaluación de pavimentos para aplicarlo durante el desarrollo del proyecto, para el cual se consideró la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), como también, documentos de evaluación y guías, con el propósito de evitar errores, como también obtener los objetivos propuestos.

Durante los últimos años, se pudo observar el incremento vehicular en la ciudad de Tarija, es por eso que se debe de dar importancia a las vías, para poder brindar seguridad como también comodidad a los usuarios.

En las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis, el flujo de vehículos 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.

Al ser un tramo considerado y congestionado presenta deterioros a lo largo del tramo, que puede afectar a los usuarios y provocar daños a los vehículos, como también accidentes.

Es por eso que se debe evaluar tanto superficial como estructural el estado en el que se encuentra el pavimento flexible y dar una pronta solución para garantizar a los beneficiarios comodidad y transitabilidad de la misma.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el deterioro superficial y estructural del pavimento flexible de las avenidas Guillermo Beltrán - San Luis, empleando los métodos, PCI, IRI, PSI para así poder establecer un plan de mejoras del pavimento de mantenimiento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las unidades y el intervalo de muestreo para realizar la evaluación superficial con método PCI.
- Medir las fallas existentes en cada una de las unidades de muestreo del pavimento flexible del tramo para determinar la condición superficial del pavimento.
- Obtener el valor de las irregularidades que existen en el pavimento mediante el equipo rugosímetro de Merlín y determinar Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
- Correlacionar los valores obtenidos del IRI para obtener el PSI y encontrar la serviciabilidad del pavimento.
- Obtener datos de deflexiones generadas en la estructura del pavimento flexible mediante la aplicación del instrumento viga Benkelman.
- Realizar un análisis de los resultados obtenidos.
- Proponer alternativas de solución para la conservación del pavimento.

1.5. Hipótesis

Con los métodos de evaluación superficial y estructural se determinará el estado regular que presenta el pavimento actual, con un plan de mantenimiento adecuado que permitirá prolongar una mayor vida útil del pavimento de las avenidas Guillermo Beltrán y San Luis.

1.6. Operacionalización de las variables

1.6.1. Variable independiente

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Situación actual del pavimento	Estado en el que se encuentra un sistema de pavimento en una estructura vial existente.	Evaluación superficial	Porcentaje [%]	Mediante los métodos del PCI, PSI, IRI.
		Evaluación estructural	mm	Uso de método no destructivo (Viga Benkelman).

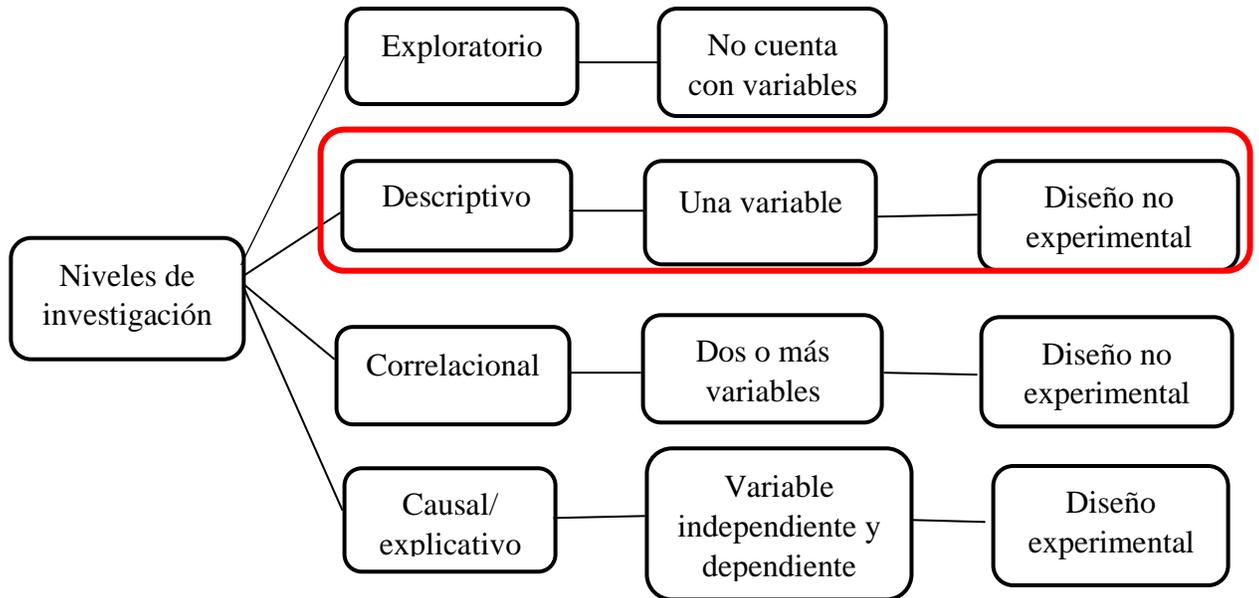
Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Variable dependiente

- Método del PCI (Índice del Condición del Pavimento).
- Método del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).
- Método del PSI (Índice de Serviciabilidad de Pavimento).
- Viga Benkelman.

1.7. Identificación del tipo de investigación

La presente investigación tiene un diseño no experimental del tipo descriptivo, que presenta una sola variable, debido a que se analizara la situación actual del pavimento, mediante métodos ya mencionados, con la finalidad de cumplir con el objetivo y poder brindar alternativas de soluciones para mejorar la condición actual del pavimento si es necesario.

Gráfica 1: Niveles de investigación

Fuente: Elaboración propia

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1. Unidad de estudio

Estado actual del pavimento flexible en las avenidas “Guillermo Beltrán – San Luis”.

1.8.2. Población

Métodos de evaluación superficial y estructural.

Tabla 2: Población

Población	
Evaluación superficial	Evaluación estructural
<ul style="list-style-type: none"> • VIZIR (Inspección visual de daños en carreteras). • IFI (Índice internacional de fricción) • PCI (Índice de condición de pavimento) • IRI (índice de condición de rugosidad) • PSI (Índice de serviciabilidad de pavimento) 	<ul style="list-style-type: none"> • Deflectometro de impacto. • Georadar. • CBR • Viga Benkelman

Muestra

Fuente: Elaboración propia

1.8.3. Muestra

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

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

Se dividirá el tramo total de la superficie en secciones homogéneas aplicando los métodos mencionados con la finalidad de representar los deterioros existentes.

1.9. Métodos y técnicas empleadas

1.9.1. Métodos

- PCI
- IRI
- PSI
- Viga Benkelman

1.9.2. Técnicas

Los instrumentos que se utilizaron para los diferentes métodos son:

- **IRI**
 - Rugosímetro de Merlín
 - Planillas de datos
- **PCI**
 - Regla graduada
 - Tiza o pintura para marcar
 - Planillas de datos
 - Cámara fotográfica
 - Cinta métrica
- **Viga Benkelman**
 - Volqueta de 8,2 toneladas de carga
 - Viga Benkelman

1.10. Procesamiento de la información

Se realizó una evaluación de los resultados para conocer el estado del pavimento.

1.11. Alcance de la investigación

El alcance del proyecto se encuentra en el departamento de Tarija – provincia Cercado, distrito 11, Sus coordenadas de inicio son: 21°55'S, 64 °72' W. A una altitud de 1895,7m. Sus coordenadas de final del tramo son: 21°61'S, 64 °71' W. A una altitud de 1890,1m.

El proyecto se refleja en el trabajo de evaluación del estado actual. Para la evaluación superficial y evaluación estructural.

Se realizará una inspección visual en ambas calzadas, de este modo se determinará un diagnóstico de los tramos más deteriorados, mismos serán seccionados donde se analizará cada una las fallas que se logre observar, y de este modo realizar ensayos que indiquen el estado superficial y estructural del tramo.

La evaluación superficial del tramo será por los métodos del pavimento, PCI (Índice de Condición del Pavimento), IRI (Índice Internacional de Rugosidad) y el PSI (índice de serviciabilidad).

La evaluación estructural del tramo se realizará mediante el ensayo de la Viga Benkelman, este ensayo mide la restitución de las deflexiones del pavimento, a partir de estas mediciones se obtienen valores de deflexiones máximas y radios de curvatura.

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y
ESTRUCTURAL DEL
PAVIMENTO

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

2.1. Pavimento

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

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas. (Carahuatay, 2015)

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él. (Carahuatay, 2015)

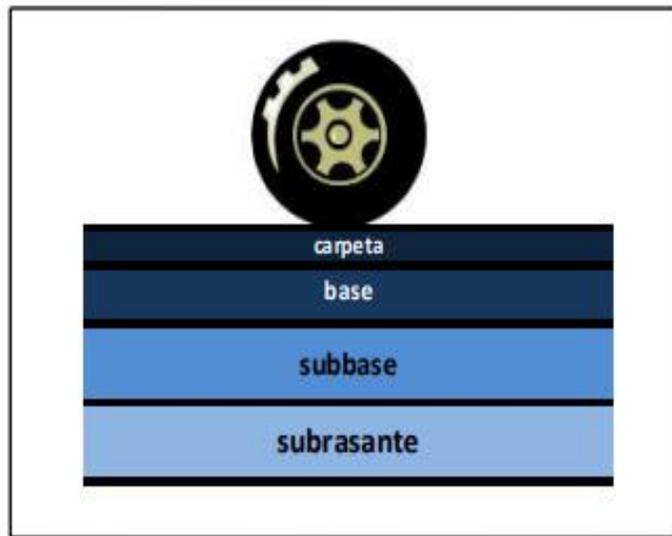
Un pavimento debe cumplir las siguientes funciones:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial apta para la velocidad prevista de circulación de los vehículos, puesto que esto tiene influencia directa en la seguridad vial.
- Ser resistente al desgaste generado por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Ser durable.
- Ser económico.

- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- Poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito

2.1.1. Estructura de un pavimento

Figura 1: Paquete estructural



Fuente: Edgar D. Rodríguez V. 2009

2.1.2. Clasificación de pavimentos

La diferencia entre la rigidez y flexibilidad de los pavimentos está ligeramente asociada al enfoque práctico de estas estructuras debido que es subjetivo precisar cuándo un pavimento rígido se comporta de forma flexible y cuándo un pavimento flexible presenta entre sus características mayor rigidez. Por otro lado, podemos establecer diferencias marcadas entre los pavimentos ya que no todos están compuestos por los mismos materiales. Básicamente podemos encontrar los siguientes tipos de pavimentos. (Villar, 2020)

Pavimentos flexibles

Es un tipo de pavimento que cuenta con una capa de asfalto sobre su superficie, sobre la cual recaen directamente las cargas de los vehículos que provocan una serie de

deformaciones tanto en la superficie como en las capas inferiores. Los diferentes esfuerzos a los que está sometido el pavimento provocan una serie de fisuras debido a la fatiga producida por repetidas cargas de tránsito, además de ello también se encuentran los hundimientos por el exceso de carga y las ondulaciones longitudinales por la variación constante de carga. (Villar, 2020)

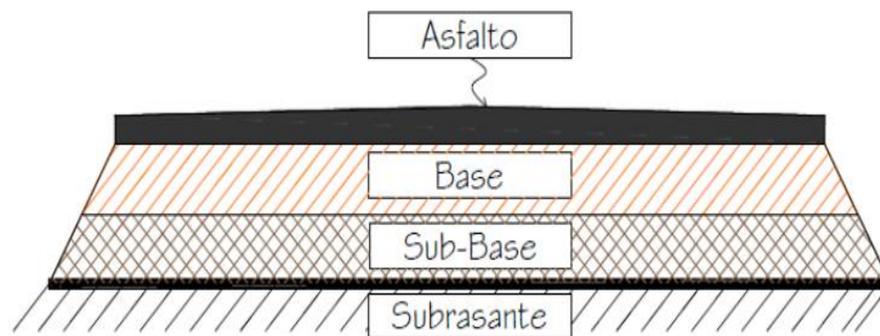
-Carpeta asfáltica.

-Base.

-Sub-base

Todas estas capas se construyen sobre la capa subrasante.

Figura 2: Estructura de un pavimento flexible



Fuente: Carrillo, 2019

Esta estructura se diseña según condiciones especiales, los principales parámetros de diseño de un pavimento por métodos racionales son:

- Número de ejes o vehículos que pasan por la vía.
- Módulos elásticos de las capas que conforman el pavimento.
- Temperatura del proyecto.
- Espesores de las capas.

Este tipo de pavimento llamado flexible, se diseña para un determinado número de repeticiones de carga, y alcanzar este número de repeticiones, se espera que el pavimento

se fatigue y falle, este fallo del pavimento se demuestra con la presencia de fisuras y grietas en la parte superficial. (Villar, 2020)

Pavimento semirrígidos

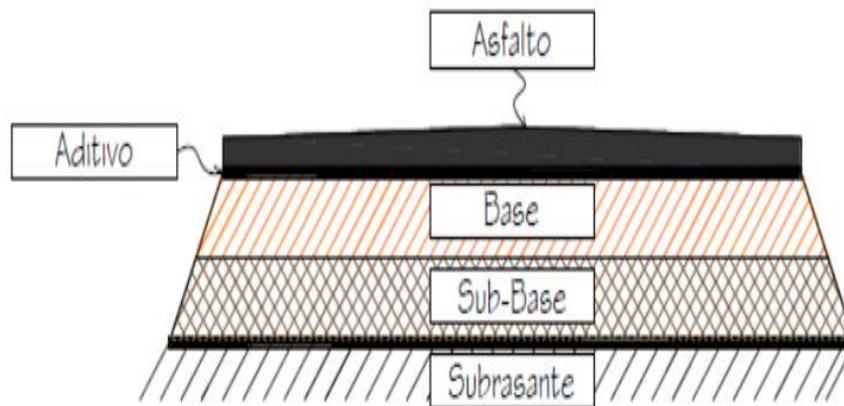
Los pavimentos semi-rígidos contienen la misma estructura que los flexibles, con la variación que se rigidiza artificialmente una de las capas con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; incrementando la capacidad portante del suelo. Dentro de este tipo están incluidos los pavimentos compuestos, los cuales combinan tipos de pavimentos flexibles y rígidos, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. (Carrillo, 2019)

El **pavimento semirrígido** se construye de forma muy sencilla. Una vez que se alisa y se compacta el terreno sobre el que va a ir la vía, se instalan las placas de cemento portland. Este es el compuesto más empleado para crear pavimentos rígidos, pero también para ser la base de aquellos que van a ser semirrígidos. Sobre las placas de hormigón, se aplicará una cobertura asfáltica similar a la que se emplea en las carreteras que están hechas de pavimentos flexibles.

Algunas ventajas que presenta el pavimento semirrígido son:

- Excelente capacidad estructural
- Elevada vida de servicio.
- Ausencia de fatiga en capas bituminosas.
- Deformaciones muy reducidas en la capa base.

Figura 3: Estructura de un pavimento semi- rígido



Fuente: Carrillo, 2019

Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Vergara, 2015)

La sección transversal de un pavimento rígido está constituido por:

- Losa de concreto.
- Capa de sub-base.

Figura 4: Estructura de un pavimento rígido



Fuente: Carrillo, 2019

Hay que tomar en cuenta diversos factores para el diseño de los pavimentos rígidos, por ejemplo cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, se recurre a la utilización de materiales seleccionados de mejor calidad, o bien a su tratamiento con productos tales como cemento portland, cal, asfaltos; dependiendo su selección de aspectos prácticos y económicos.

Pavimento híbridos o articulados

Por último, tenemos a los pavimentos denominados articulados, cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concretos prefabricados, iguales entre sí y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante. (Carrillo, 2019)

Ventajas

Una de las mejores características del pavimento articulado es que tiene la capacidad de ser muy económico en su instalación y en su mantenimiento. Siempre que se haga un uso adecuado del mismo, estos suelos pueden mantenerse intactos durante décadas evitando que haya problemas asociados con el desgaste normal. Por ejemplo, espacios como las calles peatonales de las grandes ciudades son un espacio ideal para colocar este suelo.

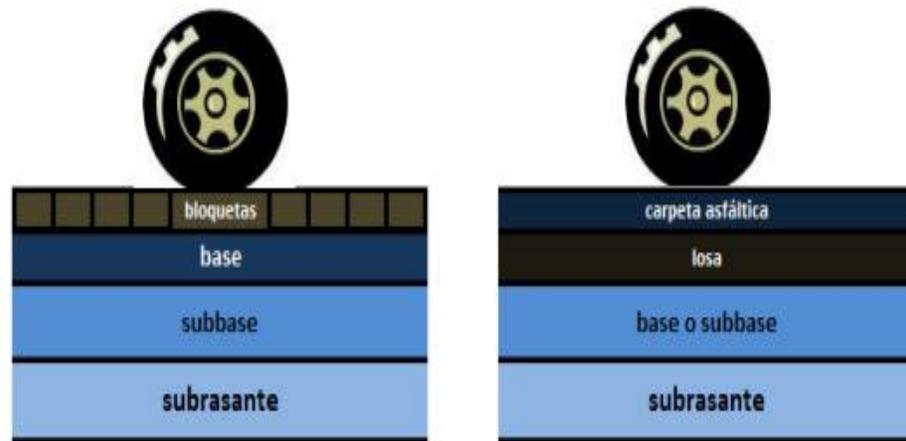
No hay que olvidar que la segunda ventaja de este pavimento es que es muy estético. Al estar hecho de pequeñas piezas, se pueden crear dibujos y otros elementos decorativos, lo que es imposible con otros tipos como el flexible o el rígido.

Desventajas

Como es evidente, este tipo de pavimento también cuenta con algunos aspectos negativos que no se deben perder de vista.

Por ejemplo, se trata de una superficie que no soporta bien ni el tráfico pesado ni el de grandes velocidades. En este último sentido, los vehículos que circulen sobre el pavimento articulado notarán vibraciones fruto de las irregularidades de las juntas que forman esta superficie, lo que puede llegar a ser peligroso para la mecánica del vehículo y muy incómodo. Esta es la principal desventaja de este pavimento. Por ello solo se usa en espacios residenciales y peatonales en los que el tráfico a motor va a ser mínimo.

Figura 5: Pavimento híbrido



Fuente: Edgar D. Rodríguez V. 2009

2.2. Pavimento flexible

El trabajo de la presente tesis está referido a pavimentos flexibles, por lo que se explicará a detalle las capas que lo constituyen y su comportamiento frente a solicitudes externas. Como se vio en la clasificación de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos.

Se denomina Pavimento flexible a aquel cuya estructura total se defleca o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de Pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras. (Vergara, 2015)

2.2.1. Características del pavimento flexible

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa , que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y subbase; sin embargo es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior. (Vergara, 2015)

- Carpeta o capa de rodadura:** Es la capa más superficial y tiene como principal función proporcionar una superficie segura, cómoda y estable en el tránsito vehicular; además de actuar como capa impermeable para impedir la infiltración de agua en la estructura del pavimento. Puede estar compuesta por uno o varias capas asfálticas

- Base:** Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de Superficial y es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la subbase y a la subrasante. En general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).

- Capa sub-base:** Se considera una capa netamente económica, debido a que el contenido de sus materiales son muy asequibles y económicos. Tiene la función de actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, puesto que impide la penetración de materiales finos de la subrasante así, como la ascensión capilar.

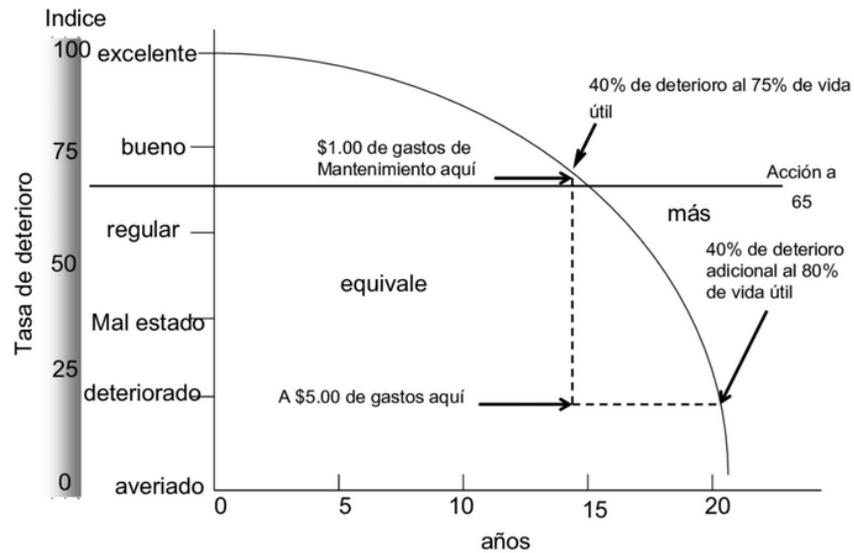
Ciclo de vida de los pavimentos

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

- **Construcción:** El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural.
- **Deterioro imperceptible:** El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe, pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual este alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.
- **Deterioro acelerado:** Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.
- **Deterioro total:** Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumentan y la vía se hace intransitable para autos.

Los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la siguiente figura 6 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

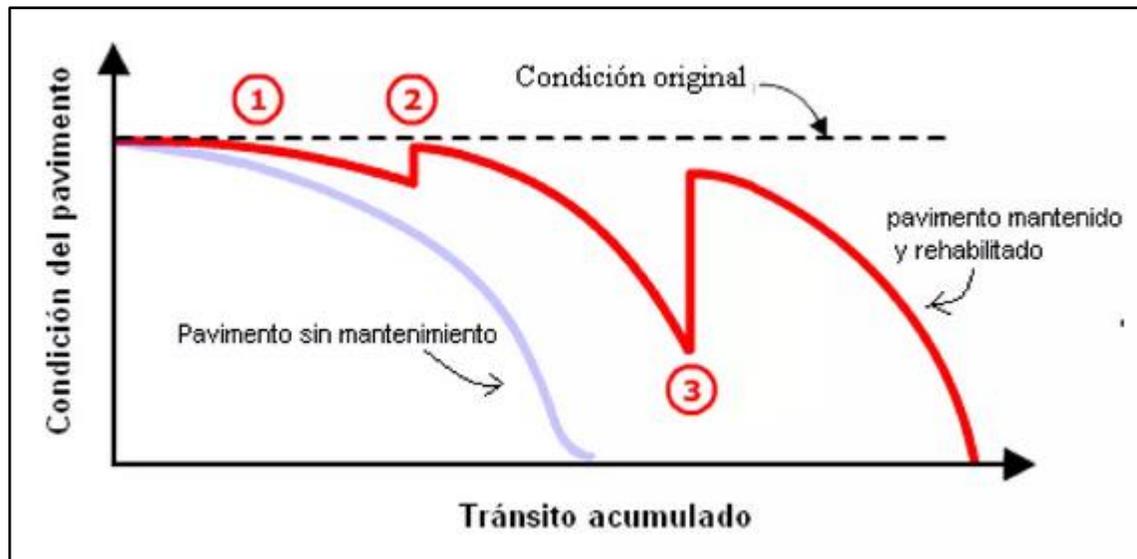
Figura 6: Ciclo de vida de un pavimento



Fuente: https://engineering.purdue.edu/~ce361/LECTURE/Lrigid_pms.html

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo, existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento.

Figura 7: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación



Fuente: Corros, 2019

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificaron tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último, en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento. En el siguiente punto se desarrollará el tema de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

2.2.2. Duración de un pavimento flexible

Para Pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición de otra capa. En general la duración óptima debería estar diseñada para un período de 20 años. Cuanto mayor sea el módulo que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub-base o suelo de apoyo.

2.3. Evaluación superficial

El pavimento constituye una de las partes más importantes de las carreteras, tanto desde el punto de vista técnico, como del económico, y de valoración de los usuarios, que mayoritariamente lo clasifican por el estado de esta estructura. Generalmente una vez terminado es habitual distinguir aspectos en su calidad.

La calidad funcional es aquella que está directamente ligada al confort y la comodidad de los usuarios en función de las características de la superficie del pavimento, que está en contacto con los neumáticos de los vehículos.

Desde un punto de vista general, la capa de rodadura debe ser, cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo a los vehículos y facilitar la evacuación rápida del agua de su superficie. (Construcción de la Infraestructura del transporte, 2010)

2.3.1. Metodo de PCI (Indice de condicion de pavimento)

El índice de condición del pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación.

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 el Cuadro 1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Vásquez, 2002)

Tabla 3: Escala de clasificación del PCI

Valor del PCI		Evaluación
De	A	
85	100	Excelente
70	85	Muy bueno
55	70	Bueno
40	55	Aceptable
25	49	Pobre
10	25	Muy Pobre
0	10	Fallado

Fuente: Procedimiento Estandar PCI según ASTM D 6433 – 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. (Vásquez, 2002)

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento. (Carrillo, 2019)

En términos generales, la evaluación superficial del pavimento asfáltico mediante el método PCI se determina por 3 etapas fundamentales, la primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican y se recolectan los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos, la segunda pertenece al registro de los daños en formatos adecuados, y en la última etapa se procesa la información y se establece el estado de cada sección del pavimento. (Cajo, 2021).

2.3.2. Aplicación del método PCI

Con la aplicación del Método PCI tenemos como finalidad determinar lo siguiente:

- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).

Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar solicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.

- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio. (Vergara, 2015)

2.3.3. Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este manual para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos

Equipo

- 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.

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.

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. (Vásquez, 2002)

2.3.4. Cálculo del PCI

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.

El cálculo del PCI comprende las siguientes etapas:

A. Etapa 1. Cálculo de los valores deducidos (VD):

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

B. Etapa 2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

Si ninguno ó 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 se seguirán con los pasos que continúan.

Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente Ecuación:

$$m_i = 1,00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos”.

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

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.

C. Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2,0.
- Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- Determine el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- Reduzca a 2,0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y repita las etapas anteriores hasta que q sea igual a 1.
- El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

D. Etapa 4.

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

$$PCI = 100 - CDV_{MAX}$$

Donde:

PCI= Índice de condición del pavimento.

CDV_{MAX} =Máximo valor deducido

2.3.5. Fallas y niveles de severidad

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y funcionales. Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: 1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desintegración de pavimentos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas.

A continuación, se explican 18 de las fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles, y que están también consideradas dentro del método PCI.

1) Piel de cocodrilo

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

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

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

Opciones de reparación

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

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

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción

Figura 8: Piel de cocodrilo



Fuente: Elaboración propia

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).

Figura 9: Exudación

Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

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.

Figura 10: Agrietamiento en bloques



Fuente: Elaboración propia

Abultamientos y hundimientos

Descripción: Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues estos últimos

son causados por pavimentos inestables. Los abultamientos, por otra parte, pueden ser causados por varios factores, que incluyen:

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

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies lineales (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.

Figura 11: Abultamientos y hundimientos



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

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.

Figura 12: Corrugación



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

4) 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.

Figura 13: Grieta de borde



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

5) Fisuras de reflexión de junta (de losas de concreto Longitudinales o transversales)

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.

Figura 14: Fisuras de reflexión de junta



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

6) 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.

Figura 15: Fisuras de reflexión de junta



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

7) Fisuras 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, rodeadas 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. 2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.
- Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Figura 16: Fisuras longitudinales y transversales



Fuente: Elaboración propia

8) Parches y parches de cortes utilitarios

Descripción: Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa 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.

Figura 17: Parcheo

Fuente: Elaboración propia

9) Agregado pulido

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.

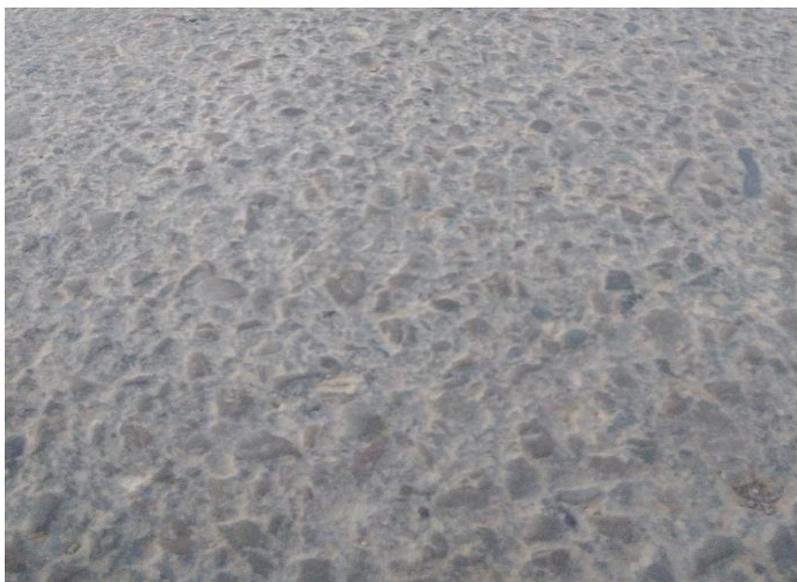
Medida

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, fresado y sobrecarpeta.

Figura 18: Agregado pulido



Fuente: Elaboración propia

10) 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 a la tabla n°4.

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 4: 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: Ing. Esp. Luis R. Vásquez 2002

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

Figura 19: Huecos



Fuente: Elaboración propia

11) 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.

Figura 20: Ahuellamiento



Fuente: Edgar D. Rodríguez. 2009

12) Fisura parabólica o por deslizamiento

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.

Figura 21: Fisura parabólica



Fuente: Elaboración propia

13) 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.

Figura 22: Hinchamientos



Fuente: Elaboración propia

2.4. Método del índice internacional de rugosidad (IRI)

Una buena regularidad de la superficie de los pavimentos brinda condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios de las vías. Una mala regularidad, además de afectar los aspectos anteriores, refleja daños y deterioro de carácter funcional y estructural de los pavimentos que influyen negativamente en su estado de condición y vida útil. El Índice de Regularidad Internacional (IRI) surgió como una necesidad de unificar los criterios para la medición de la regularidad superficial de las carreteras, constituyéndose hoy en día en uno de los parámetros de mayor aceptación y utilización para medir el deterioro superficial de los pavimentos. Para la ingeniería en carreteras, el IRI es un indicador fundamental, el cual permite valorar la calidad del estado de los pavimentos, siendo utilizado tanto para el diseño como para la planificación de la conservación y mantenimiento de los mismos.

Para obtener este valor se utilizan disímiles equipos y procedimientos, los cuales se clasifican en dependencia de su precisión. (Martínez, 2018)

2.4.1. Equipos para la medición del IRI

Tabla 5: Equipos para la medición del IRI

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

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

2.4.2. Método IRI con el rugosímetro de Merlín

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

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

Figura 23: Equipo para la medición de la rugosidad superficial con Merlín

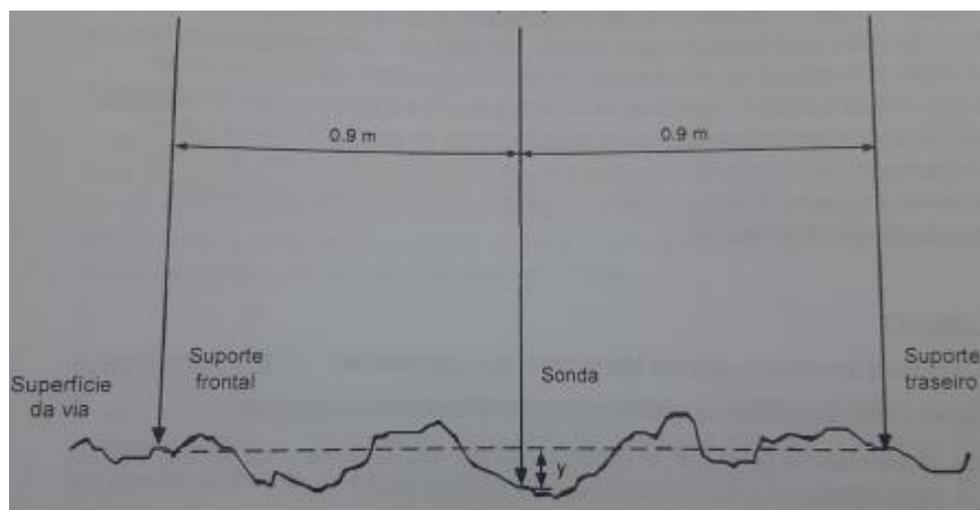


Fuente: Elaboración propia

Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín

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

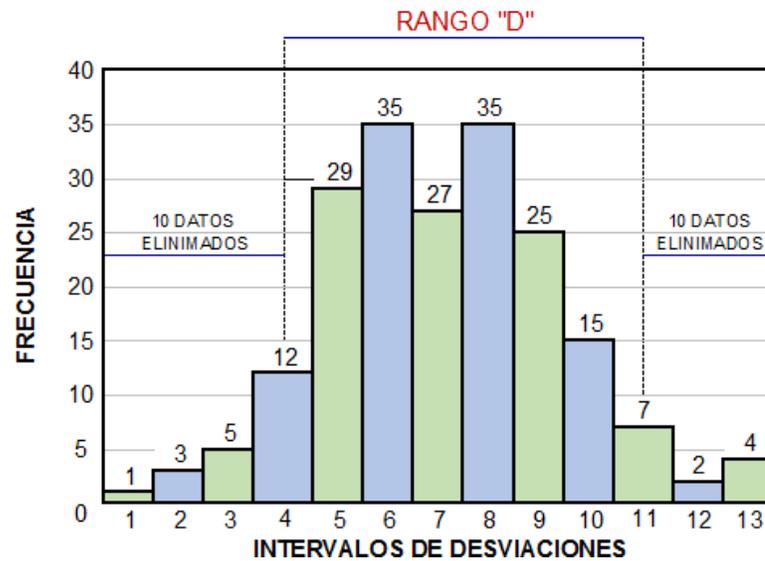
Figura 24: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio



Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú.

Histograma de la distribución de frecuencias.

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

Figura 25: Histograma de la distribución de frecuencias

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

Correlaciones D versus IRI

A partir de las investigaciones por encargo del banco mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI. Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlín con el índice de rugosidad internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

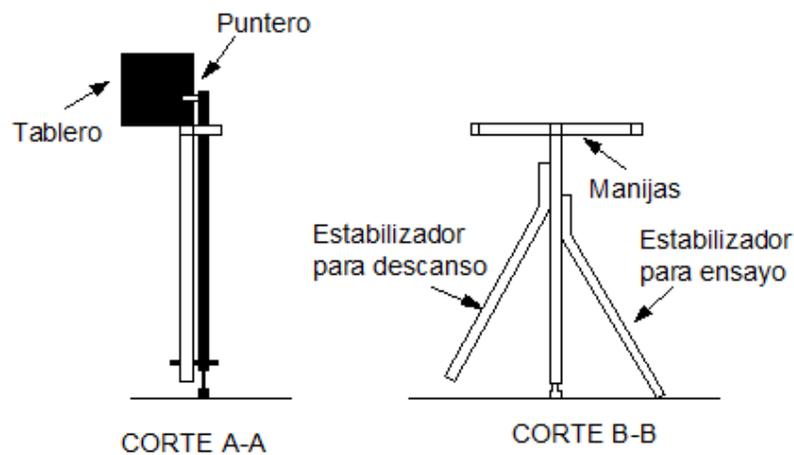
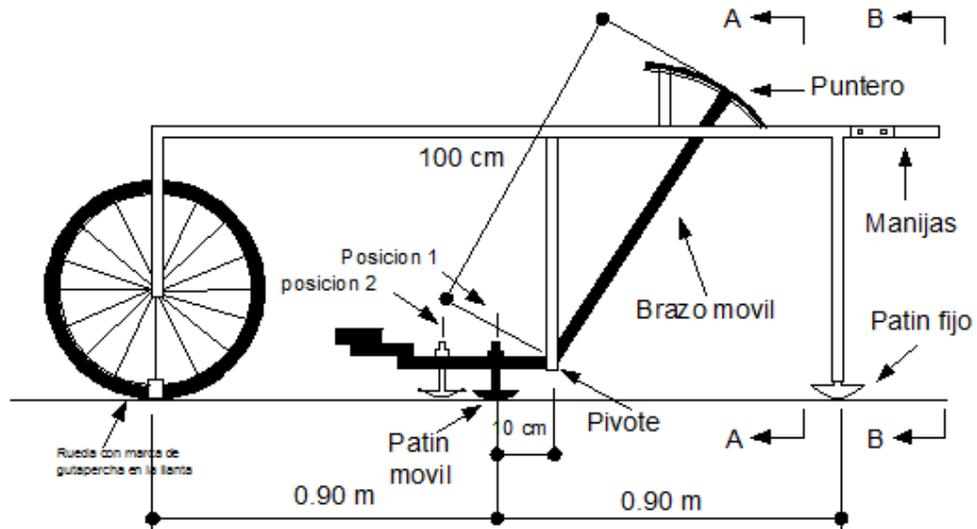
Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$ entonces $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D \dots\dots (1)$

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

La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del banco mundial en el año 1982; la segunda ecuación es el resultado de las investigaciones en el Perú, la cual debe ser aplicada a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.

Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín

Figura 26: Esquema del rugosímetro Merlín.



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

Cálculo del índice de rugosidad internacional

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

La determinación analítica de la rugosidad se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayer, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. Esta correlación se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en el año de 1982.

Se tiene así la expresión: La ecuación original AASHTO para la determinación del Índice de Serviciabilidad de Pavimentos Flexibles es la siguiente para encontrar D.C.

- **Cálculo de frecuencia**

$$DC = \frac{EP * 10}{(LI - LF) * 5}$$

Donde

EP= Espesor de la pastilla

LI= Posición inicial del puntero

LF=Posición final del puntero

- **Cálculo del IRI**

$$R = 0,593 + 0,0471 * Dc$$

Donde

R=Rugosidad en IRI (International Rough Ness Index en m/km)

Dc= Índice de frecuencia

2.5. Índice de serviciabilidad presente (PSI)

El índice de Serviciabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene; por el contrario, si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy alta.

Tabla 6: Rango de calificación del PSI

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

Fuente: Manual PSI

Relación entre PSI e IRI

Una vez obtenido el índice de regularidad internacional, los investigadores en busca de obtener un valor de Serviciabilidad (PSI) actual, decidieron correlacionar al IRI con el PSI.

El modelo empleado por el HDM III, creado en 1987 por Paterson, se dedujo en sitios como Brasil, Texas, Sudáfrica y Pennsylvania y se obtuvo la siguiente ecuación para correlacionar los valores de IRI y PSI:

$$PSI = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5,5}}}$$

Como la rugosidad es el factor que más afecta la Serviciabilidad en las ecuaciones originales de la AASHO Road Test, los investigadores Dujisin y Arroyo propusieron la siguiente ecuación:

$$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0,5})$$

Investigaciones realizadas por William Paterson (1987) correlacionan el IRI Y el PSI con la siguiente ecuación:

$$PSI = 4,182 - 0,455(IRI)$$

Con estas ecuaciones se puede verificar la correcta correlación entre ambos parámetros de evaluación de carreteras.

2.6. Evaluación estructural

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función de demanda de tráfico.

En general la evaluación estructural está comprendida por la auscultación estructural y el retro cálculo, entendiendo por auscultación estructural las técnicas de recolección de información del pavimento (deflexiones) y la segunda la aplicación de la metodología a utilizar para definir los resultados finales de la evaluación estructural. (Ecarahuatay, 2015)

2.6.1. Métodos indirectos de evaluación estructural

Son aquellos métodos con los cuales se logra determinar la capacidad estructural del pavimento, sin tener que dañar la estructura, dichos métodos se basan en hipótesis y modelos matemáticos.

Estos métodos se realizan por medio de metodologías conocidas tales como no destructiva "NDT" (non destructive test), que se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de los pavimentos. Dicha metodología se fundamenta en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones encierra una valiosa información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante, por lo que se puede mencionar que la metodología de evaluación estructural por medio de NDT, es un proceso de diseño inverso (retrocalcula) ya que se utiliza la respuesta del sistema (pavimento-subrasante) para establecer sus características estructurales.

Al definir el término deflexión, lo más acertado sería considerarlo como la medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento, al paso de una carga en función del tipo y del estado del pavimento. El cuenco de deflexiones se define como el conjunto de deflexiones que se producen entre el punto de aplicación de la carga en un pavimento y sus alrededores. (Ecarahuatay, 2015)

De forma general, hay tres tipos de equipo para determinar las deflexiones del pavimento según metodologías no destructivas los cuales son:

- Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.
- Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias.
- Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas de impacto.

Para cualquiera de ellos el principio es el mismo y consiste en aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y medir las deflexiones. (Ecarahuatay, 2015).

Para el presente proyecto se tomará en cuenta la medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.

2.6.2. Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas

Corresponde a la primera generación, básicamente originada con el desarrollo de la viga Benkelman. Estos equipos tipo viga, proveen la medida de deflexión en un punto, bajo una carga estática o de movimiento lento.

Este equipo determina deformaciones del pavimento frente a las solicitaciones de carga provenientes de un vehículo cargado. Las ruedas duales de un eje trasero de un vehículo que transmite una carga de 8,2 toneladas y el equipo Viga Benkelman posicionado para efectuar las mediciones de deformaciones.

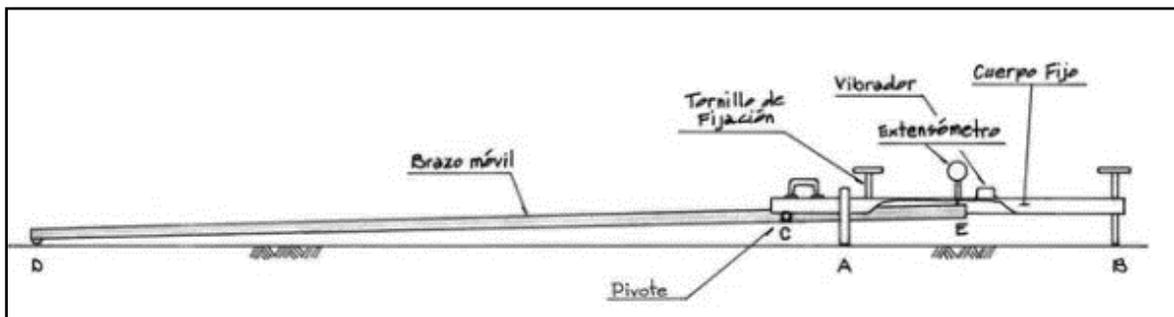
Para los modelos matemáticos, la interpretación de deflexiones que se integran para definir la deformada de la superficie del pavimento, se realiza con una viga Benkelman de brazo simple, de la cual se registran cinco lecturas en el dial de deformación para una sola estación. Los valores se integran atendiendo modelos matemáticos de Hogg. Se establecen módulos de elasticidad de la parte estructural del pavimento y del material de subrasante. Las comparaciones se efectúan hasta llegar a especular la capacidad de soporte de la subrasante o determinar el valor de CBR. Las deflexiones determinadas, deben ser corregidas por temperatura que presente la carpeta asfáltica. (Ecarahuata, 2015).

2.6.3. Viga Benkelman

Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién 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.

La viga consta esencialmente de dos partes: un cuerpo fijo que se ubica directamente sobre el terreno mediante tres apoyos, dos delanteros fijos (A) y un tercero posterior regulable (B). Así como de un cuerpo móvil el cual consta de dos brazos móviles acoplados al cuerpo fijo a través de una articulación o pivote (C), uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno (D) entre las dos llantas del eje trasero, y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (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 o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

Figura 27: Esquema viga Benkelman



Fuente: Ing. Hoffman y Del Águila - Estudios de evaluación estructural de pavimentos

Consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador. Este equipo debe ser usado con un camión cargado, normalmente con 80 KN en un eje, con llantas duales infladas a una presión de 0,48 a 0,55 Mpa (70 a 80 Psi). Las mediciones se

realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se retira. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador.

2.6.4. Ensayo viga Benkelman

2.6.4.1. Equipo requerido

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

- **Deflectómetro**, viga Benkelman, con relación de brazos 1:2
- **Camión cargado**, con ejes traseros de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- **Vehículo auxiliar**, para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- **Balanza portátil**, para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- **Accesorios de medición** y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.)

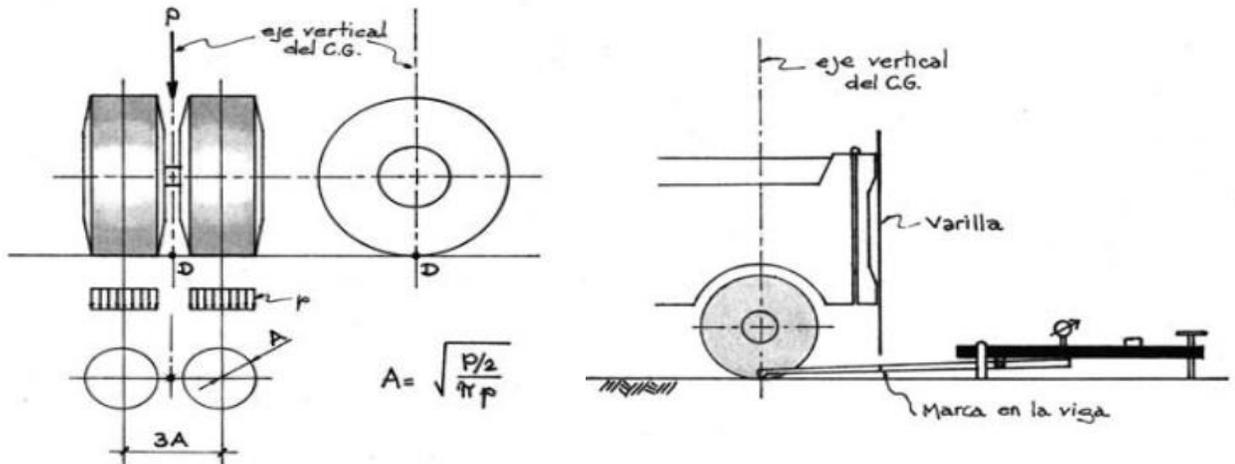
2.6.5. Procedimiento de la medición y cálculo

- Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8,2 ton (18000 lb) puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.
- Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.
- Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.
- Centrado del extremo delantero de la viga Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del Par de ruedas.
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el "0" con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.
- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, recomendada es de 1(cm/seg). Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,25 m. y

Cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (>5 m). Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.

- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo.

Figura 28: Esquema y principio de operación de la viga Benkelman



Fuente: Ing. Hoffman y Del Águila - Estudios de evaluación estructural de Pavimentos

Cálculo de la deflexión máxima

$$D_o = K * (L_f - L_o)$$

Donde:

D_o = Deflexión máxima.

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

L_o = Lectura inicial.

L_f = Lectura final.

Deflexión a los 50 cm:

$$D50 = K * (LF - L50)$$

Donde:

D50= Deflexión a 50 cm.

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

L50= Lectura a 50 cm de la posición inicial.

Lf= 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:

$$D20 = \frac{Dt}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

Donde:

D20= Deflexión a la temperatura standard (20°C).

Dt= Deflexión a la temperatura t.

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

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

e= Espesor de la carpeta asfáltica.

Cálculo del radio de curvatura:

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

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

Donde:

R_c= Radio de curvatura en (m).

D_o= Deflexión máxima.

D₅₀= Deflexión a 0,50 m.

El comportamiento estructural del pavimento en las avenidas “Guillermo Beltrán – San Luis” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

- 100 < R_c < 500
- D_o < D_c

I. Marco referencial

-TARRILLO Q. 2020 aplicaron del método PCI para determinar el estado y el adecuado plan de mantenimiento para el pavimento flexible entre el km 4+500 al km 7+500 de la vía de acceso al centro poblado Montegrande, Reque, Chiclayo.

Se ha realizado esta investigación registrando una serie de datos de forma observacional, con análisis estadístico y descriptivo lo cual nos brinda un enfoque cuantitativo con el que se busca medir el estado del pavimento y clasificarlo según la escala del método PCI para así llegar a los objetivos planteados.

Por lo tanto, se obtiene un PCI general de 44,22 que representa un estado de pavimento flexible de una condición REGULAR.

Luego de haber obtenido los resultados de la presente investigación podemos concluir que la hipótesis general es válida debido que aplicando el método PCI se obtuvieron los datos que nos permitieron ordenar y sistematizar la información con el fin de llegar a determinar el estado y el adecuado plan de mantenimiento para el tramo seleccionado de la vía.

De acuerdo con los resultados de la investigación, se puede afirmar que aplicando el método PCI en la inspección del pavimento flexible se determinaron los parámetros de evaluación correspondientes entre ellos el tipo de falla de mayor incidencia, la cual fue el desprendimiento de agregados con un 29,95 por ciento de incidencia en todo el tramo del pavimento evaluado.

La condición del pavimento flexible entre el km 4+500 al 7+500 de la vía de acceso al Centro Poblado Montegrande, es de estado regular con un PCI general de 44,22.

-CARRILLO ZAMBRANO DIAZ, NESTOR ALFONSO. Evaluación superficial del pavimento flexible de la calle Manuel Arteaga entre la calle Pascual Saco y la calle Los Naranjos, por el método del PCI, distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, región de Lambayeque.

Se escoge un pavimento a evaluar, la cual estará divididas en unidades de muestreo, es decir por áreas. Luego se procede a realizar la recolección de datos, mediante el levantamiento de las fallas existente para proceder a un análisis de estos. Luego se evaluaron los resultados y se propondrá alternativas de solución con la propuesta de un presupuesto de rehabilitación. Se finalizará con las conclusiones respondiendo a las interrogantes planteada en el problema de investigación.

Según los resultados obtenidos de la evaluación de Índice de Condición de Pavimento en la Avenida Manuel Arteaga vemos que se obtiene en promedio un PCI de calificación bueno, pero se deberán tomar acciones de mantenimiento o rehabilitación en zonas de pavimento donde se haya obtenido un valor de PCI bajo.

Arteaga, resultado igual a 68, es decir, que el estado real del pavimento de la vía analizada, es bueno.

Esto ayudó a que el PCI tenga un estado bueno porque estas fallas no afectan al tránsito normal de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad.

-BACH. CANTUARIAS 2017. Aplicación del método PCI para la evaluación superficial del pavimento flexible de la avenida Camino Real de la urbanización la rinconada del distrito de Trujillo.

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo obtener un indicador que permita precisar la degradación o condición del pavimento flexible, esto se obtiene realizando la Aplicación del Método PCI para la Evaluación Superficial del Pavimento Flexible La metodología a realizarse será del tipo Descriptivo / No Experimental; aplicando la metodología según la Norma ASTM D6433-03 Donde analizaremos el tipo de daños, la severidad y densidad o cantidad en la auscultación del pavimento flexible . Al evaluar la avenida Camino Real de forma aleatoria obtuvimos que el Índice de Condición del Pavimento (PCI) promedio es de 82,56 y se encuentra en estado ó condición “MUY BUENO”. Mientras que, evaluando todas las unidades de muestra de la vía en estudio, se determina que el Índice de Condición del Pavimento de la avenida Camino Real es de 87,52 y se encuentra en estado ó condición “Excelente”

II. Marcos normativo

Para la presente evaluación se considerará la norma AASTHO (American Association of State Highways and Transportation Officials) para una guía de procedimiento.

- Para una guía del procedimiento del PCI, se empleará la norma ASTM D6433-03.
- Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de rugosidad internacional), se empleará la norma ASTM-95.
- Para el procedimiento de la Viga Benkelman se tomará en cuenta la norma ASTM D-4695.

También se tomará en cuenta los manuales, “Manual De Diseño De Conservación Vial, volumen 5”, “Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación, de la República Dominicana” y “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles de Bogotá D.C.”

CAPÍTULO III
RELEVANTAMIENTO DE LA
INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

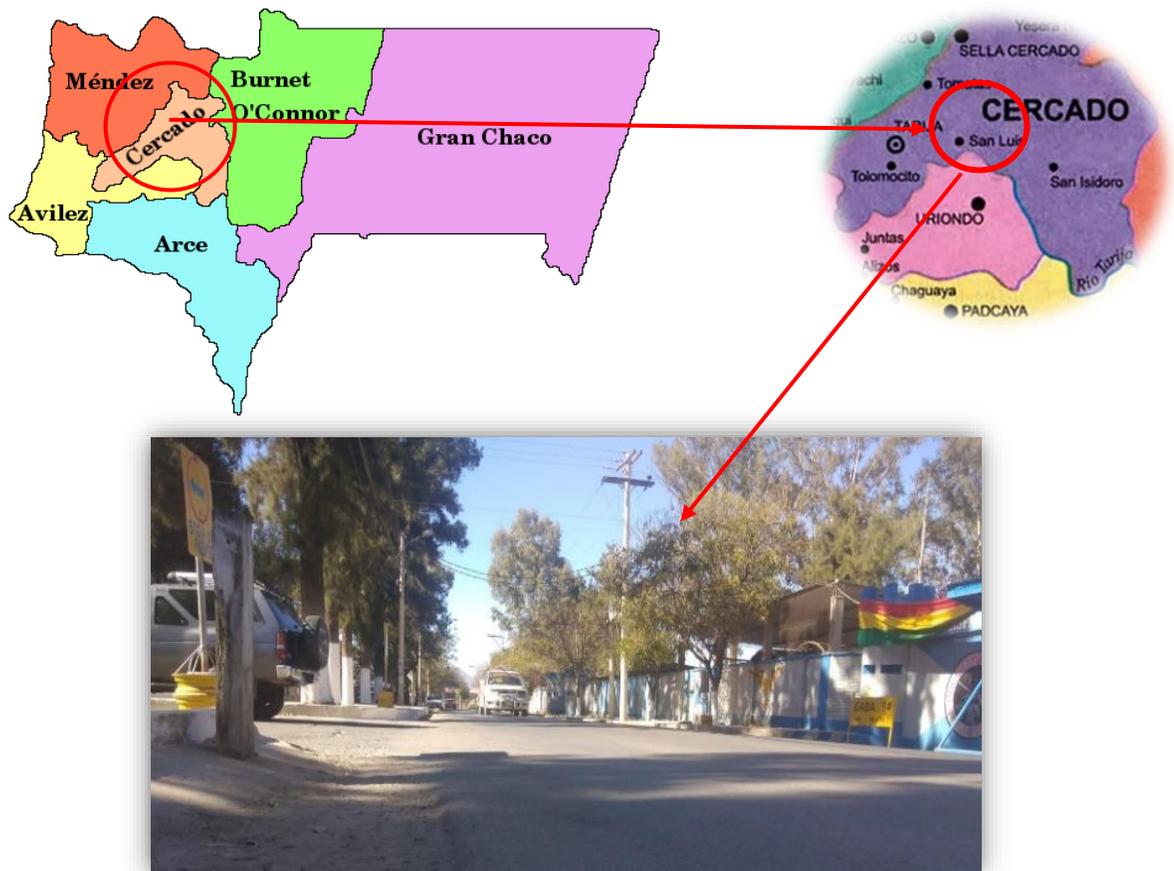
3.1. Ubicación

El tramo en estudio se encuentra en la provincia de Cercado, al Suroeste del departamento de Tarija, en el distrito 11. Las características técnicas son:

- Carpeta asfáltica de 5cm.
- Longitud 10 kilómetros.
- La conformación de un paquete estructural de capa sub rasante, sub base, base y carpeta asfáltica.

Comunica las zonas como: Temporal, San Jacinto Norte, San Jacinto Sub, Tablada.

Figura 29: Ubicación del tramo



Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Inicio del tramo del proyecto



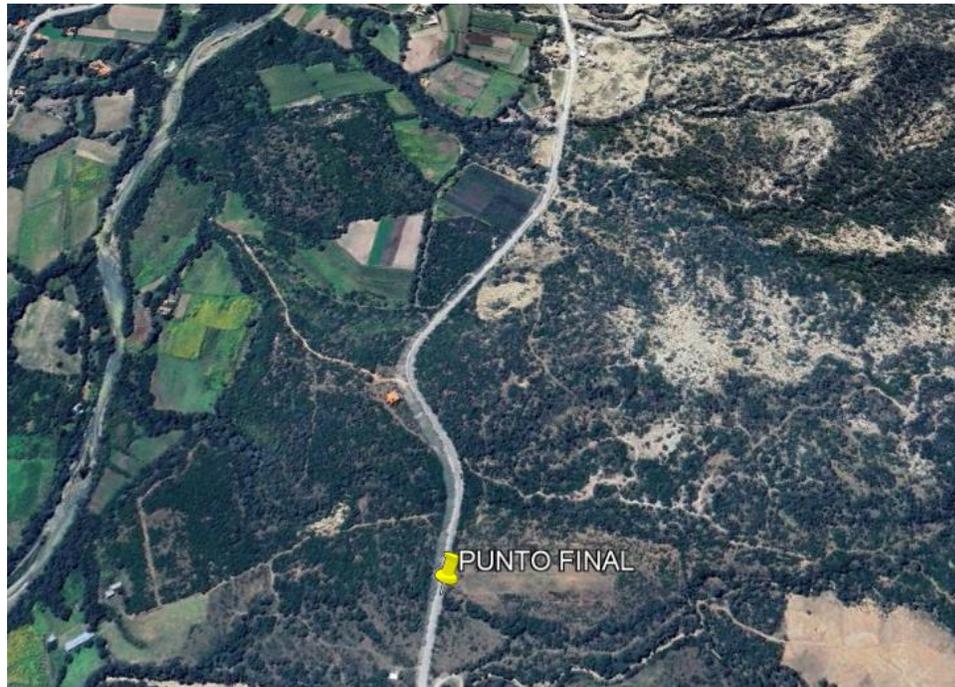
Fuente: Foto satelital Google Earth.

Figura 31: Punto de inicio del tramo



Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Final del tramo del proyecto

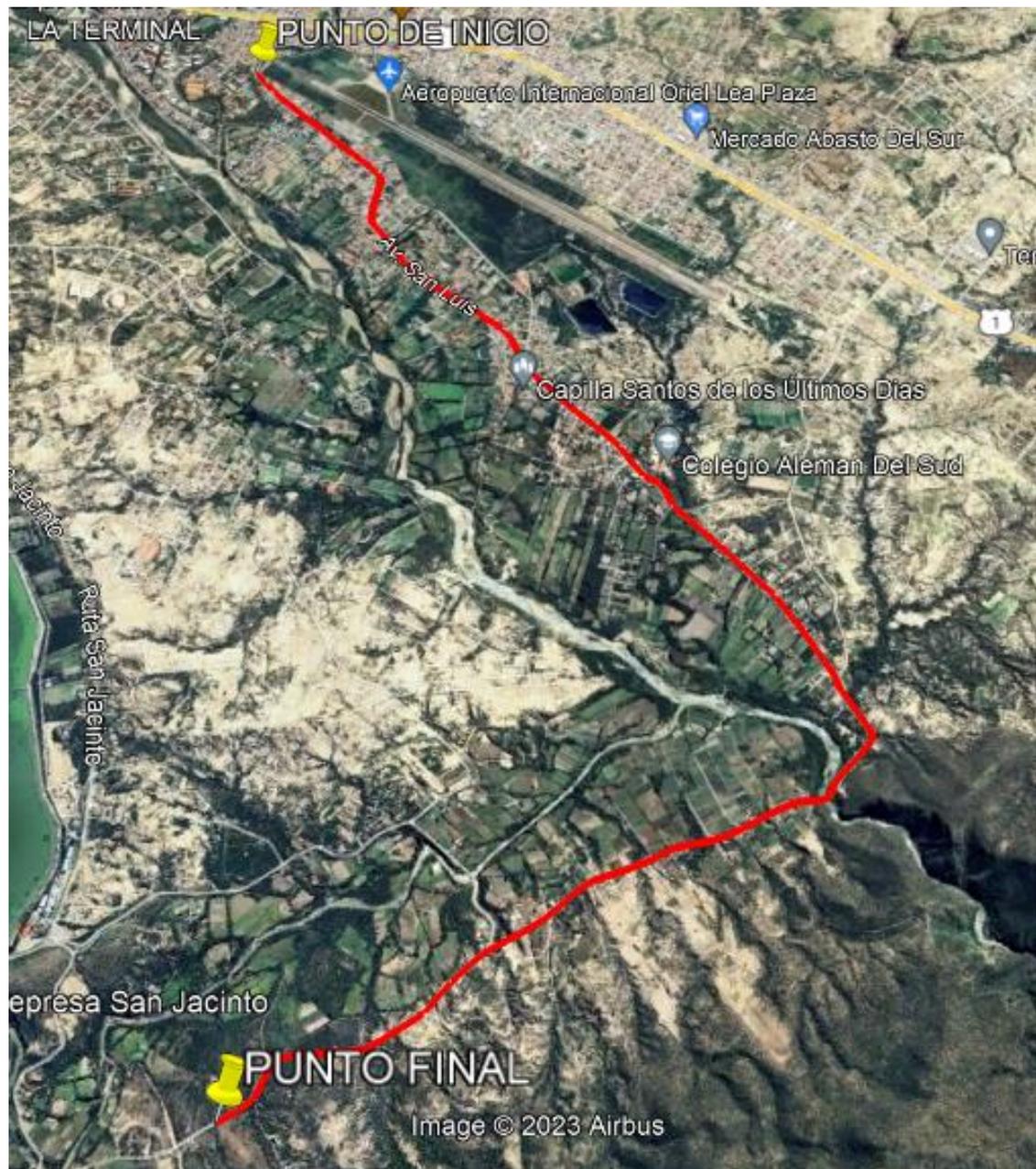


Fuente: Foto satelital Google Earth

Figura 33: Punto de final del tramo



Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Foto satelital del tramo

Fuente: Foto satelital Google Earth

Longitud total de tramo: 10 km.

Coordenadas del punto de inicio: 21,55'S64, 72"W

Coordenadas del punto final: 21,61'S64, 71"W

3.2. Antecedentes del tramo de estudio

A continuación, se dará una explicación general de la zona en estudio, donde se llevó a cabo la inspección visual, evaluación estructural, con el fin de conocer el lugar de trabajo y tener en cuenta las características de tránsito del pavimento evaluado.

Se inspeccionó las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis. Se pudo observar la existencia del deterioro en el pavimento. Mediante el presente trabajo se pretende adoptar medidas adecuadas de reparación y mantenimiento para una conservación, prevención del pavimento de dicho tramo.

3.3. Relevamiento de información

Capa de rodadura

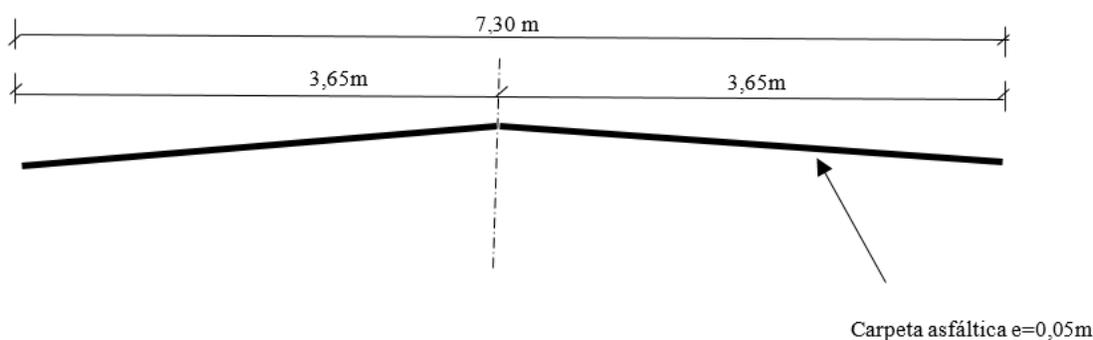
En la siguiente tabla se muestra el paquete estructural que presenta las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis.

Tabla 7: Paquete estructural de los tramos

Tramo	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa sub base	Espesor de la sub rasante
Guillermo Beltrán	10 cm	15 cm	20 cm	20 cm
San Luis	5 cm	15 cm	20 cm	25 cm

Fuente: Sub gobernación de Tarija-Cercado

Figura 35: Sección transversal tramo Guillermo Beltrán – San Luis.

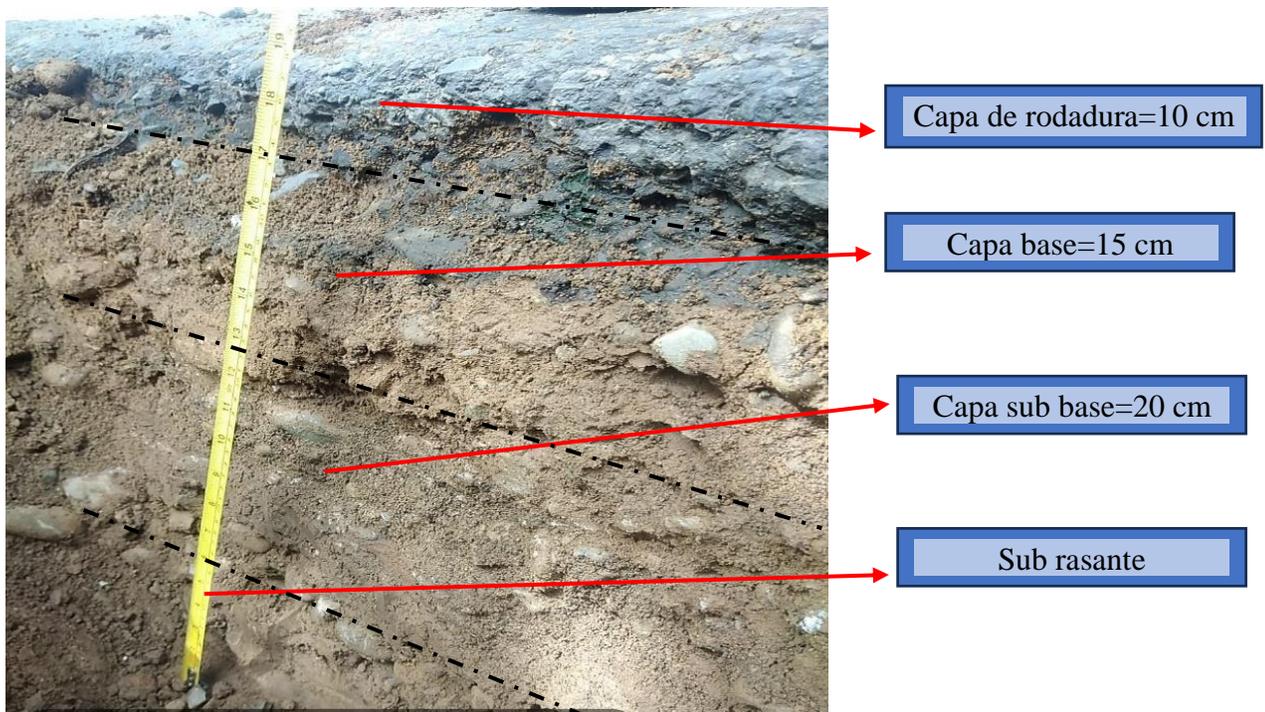


Fuente: Elaboración propia

Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 0+800 en la avenida Guillermo Beltrán y en la progresiva 2+600 en la avenida San Luis, 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, resultados que se encuentran en ANEXO VI.

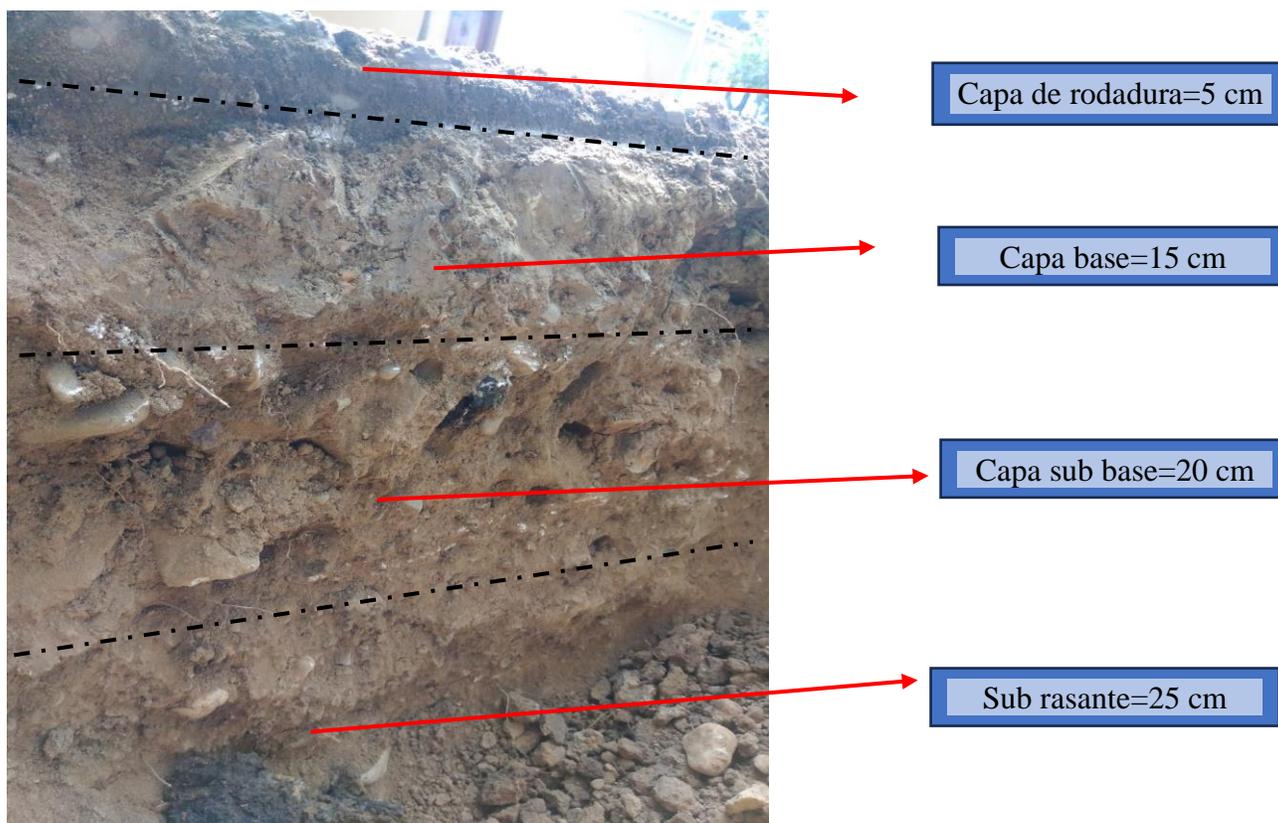
Todos estos ensayos se los realizó a objeto de investigación y comprobación de dicha carpeta estructural del pavimento flexible.

Figura 36: Espesores paquete estructural del tramo Guillermo Beltrán



Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Espesores paquete estructural del tramo San Luis



Fuente: Elaboración propia

3.4. Evaluación superficial del tramo

La evaluación superficial del tramo Guillermo Beltrán – San Luis se efectuó por los métodos no destructivos PCI, IRI e PSI que se detallan a continuación.

3.4.1. Aplicación del método PCI

A continuación, se tomarán los siguientes parámetros propuestos por la norma ASTM-D6433.

3.4.1.1. Unidades de muestreo

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

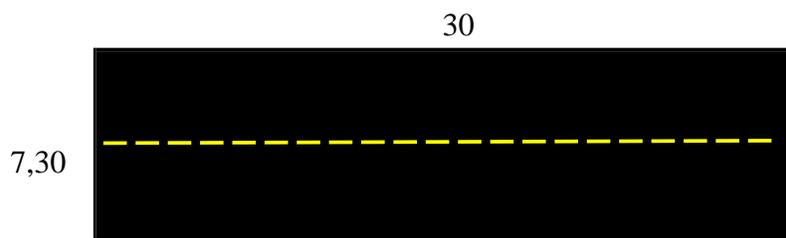
que 7,30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$. En la tabla 8 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 8: 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 de diseño de la Evaluación de la Condición de pavimentos

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento flexible de las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis es de 7,30m. Guiándonos atreves de la tabla N°8, se adoptó la longitud de la unidad de muestreo 30,00 m para cada área, por tanto, se tiene 334 unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 219 m^2 que están dentro del rango establecido en el PCI.



3.4.1.2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación

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

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

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

$$n = \frac{334 * 10^2}{\frac{3^2}{4} * (334 - 1) + 10^2}$$

$$n = 39,33$$

3.4.1.3. Selección de las unidades de muestreo para la inspección

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

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

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

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

$$i = \frac{334}{39,33}$$

$$i = 8$$

Con el intervalo (i) igual a 8, se procedió a identificar la unidad de muestra inicial que fue el número 2; se empezó por esta ya que las otras unidades estaban sin fallas, luego ya se fueron inspeccionando las siguientes unidades de muestra cómo se mencionó anteriormente sumando la inicial más el intervalo de muestreo hasta realizar todas las unidades de muestreo necesarias.

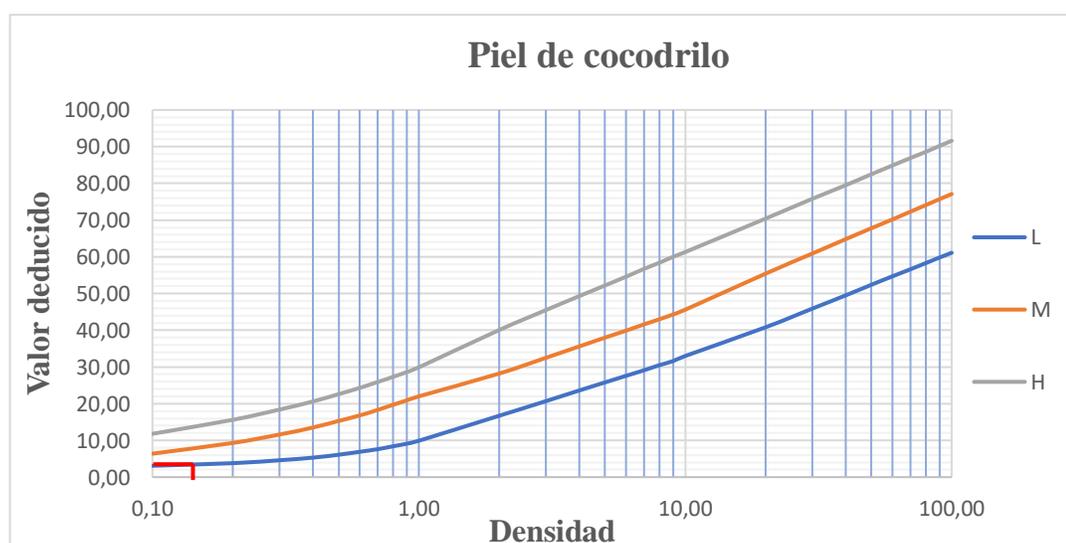
3.4.1.4. Procedimientos del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

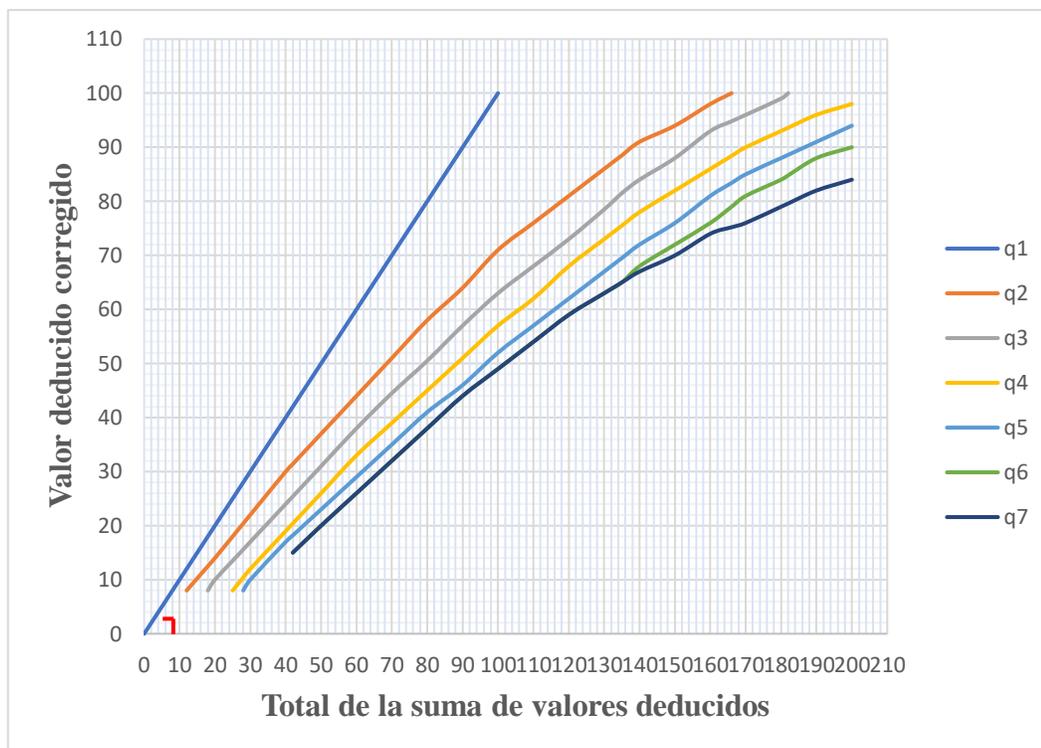
Al concluir con las inspecciones de dicho tramo, se recolectó la información de las fallas que existen en las unidades de muestreo, con los grados de severidad.

A continuación, se muestra un ejemplo de los datos que se recopilaron de la unidad de muestra número 2 con las progresivas de inicio 0+030, progresiva final 0+060:

Tabla 9: Ejemplo de relevamiento de fallas

Metodo del PCI (Índice de condición del pavimento)						
Hoja de registro						
Nombre de la vía: Guillermo Beltrán – San Luis				Esquema: 		
Ejecutor: Edson Rodrigo Mamani Jirón						
Sección: 0+030 – 0+060						
Fecha: 15/08/2023						
Área: 219 m ²						
Fallas		Unidad de medida	Fallas		Unidad de medida	
1. Piel de cocodrilo		m ²	11. Parches		m ²	
2. Exudación		m ²	12. Agregado pulido		m ²	
3. Fisuras en bloque		m ²	13. Huecos		#	
4. Abultamientos y hundimientos		m ²	14. Ahuellamiento		m ²	
5. Corrugación		m ²	15. Desplazamiento		m ²	
6. Depresión		m ²	16. Fisura parabólica		m ²	
7. Fisura de borde		m	17. Hinchamiento		m ²	
8. Fisura de reflexión de junta		m	18. Desprendimiento de agregados		m ²	
9. Desnivel carril-berma		m	19. Cruce de puentes		m ²	
10. Fisuras longitudinales y transversales		m				
Falla	Severidad	Cantidad		Total	Densidad	Valor deducido
1	L	0,30		0,30	0,14	3,36
4	L	0,15		0,15	0,07	0,00
10	L	2,06	1,20	3,26	1,49	0,00





Nro.	Valor deducido			Total	q	VDC
	1	2	3			
1	3,36			3,36	1,00	3,36

Máximo valor deducido corregido	
CDV _{max} =	3,36

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

$$\text{PCI} = 96,64$$

Condición del pavimento	Excelente
--------------------------------	-----------

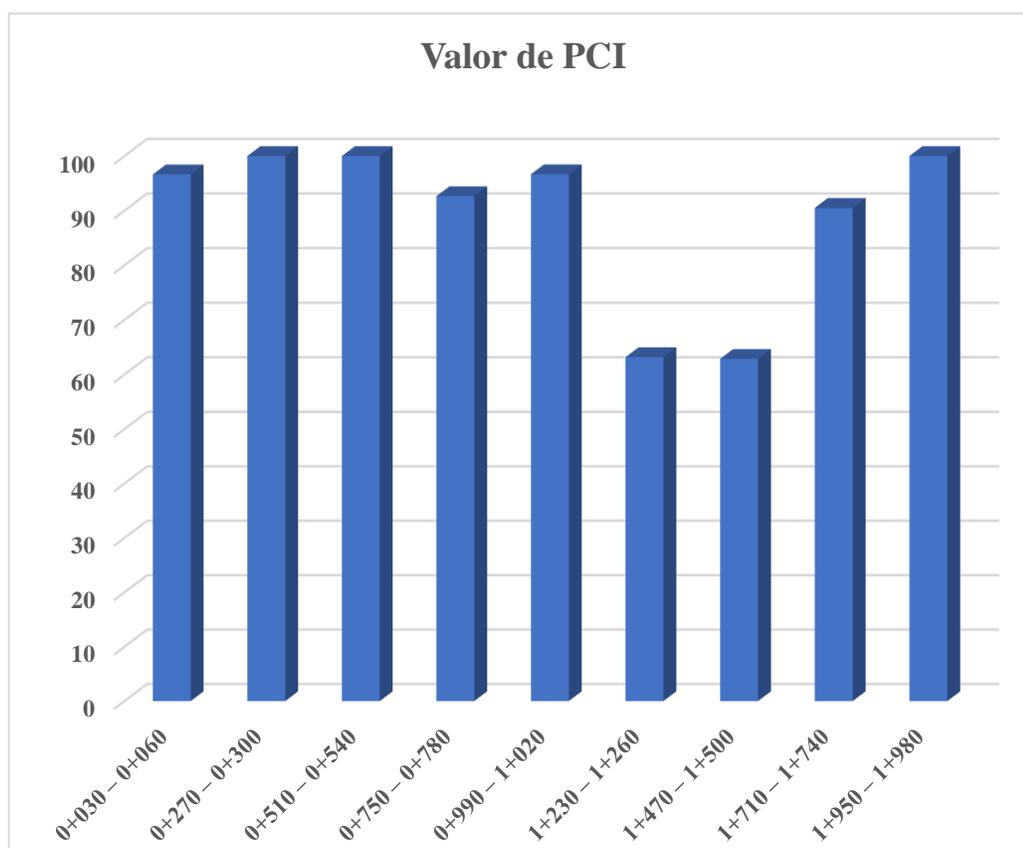
Una vez registrada la información levantada, se procede a calcular las densidades y los valores deducidos para luego poder obtener el valor de la calificación del PCI que presenta cada muestra, dicho procedimiento se mostrará detalladamente en el ANEXO 1.

Tabla 10: Condición del pavimento tramo 1

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresiva inicial -final	Valor del PCI	Calificación
2	0+030 – 0+060	96,64	Excelente
10	0+270 – 0+300	100,00	Excelente
18	0+510 – 0+540	100,00	Excelente
26	0+750 – 0+780	92,65	Excelente
34	0+990 – 1+020	96,66	Excelente
42	1+230 – 1+260	63,16	Bueno
50	1+470 – 1+500	62,85	Bueno
58	1+710 – 1+740	90,50	Excelente
66	1+950 – 1+980	100,00	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2: Panel de fallas en tramo 1



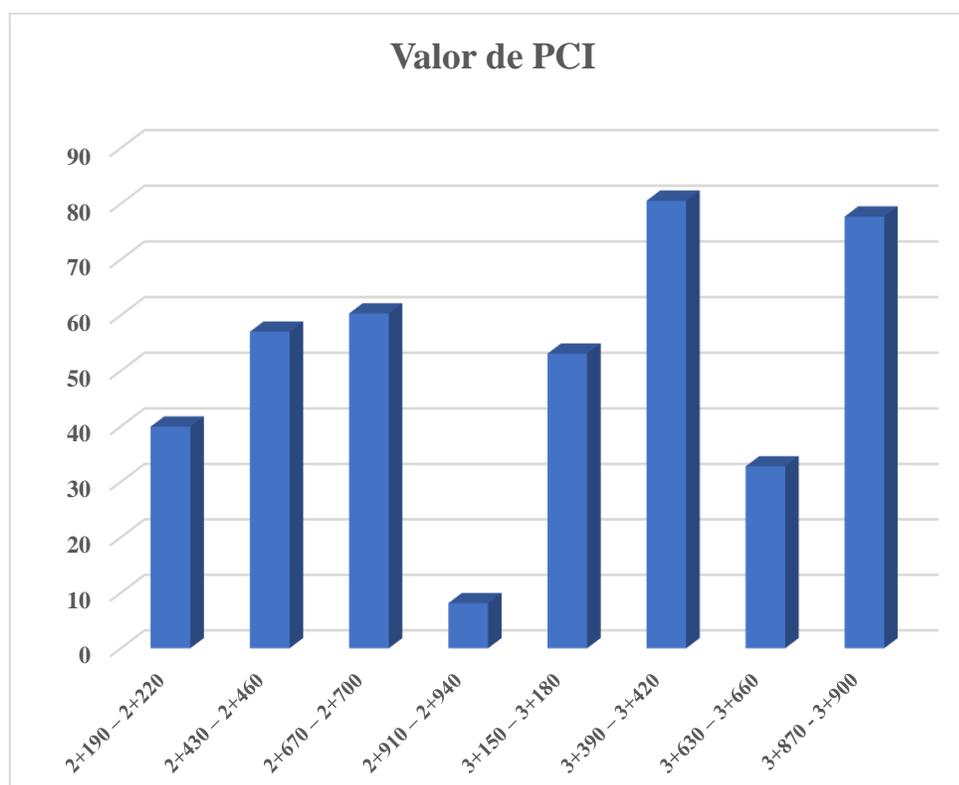
Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Condición del pavimento tramo 2

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
74	2+190 – 2+220	39,95	Malo
82	2+430 – 2+460	57,01	Bueno
90	2+670 – 2+700	60,29	Bueno
98	2+910 – 2+940	8,13	Fallado
106	3+150 – 3+180	53,08	Regular
114	3+390 – 3+420	80,54	Muy bueno
122	3+630 – 3+660	32,77	Malo
130	3+870 - 3+900	77,69	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3: Panel de fallas en tramo 2



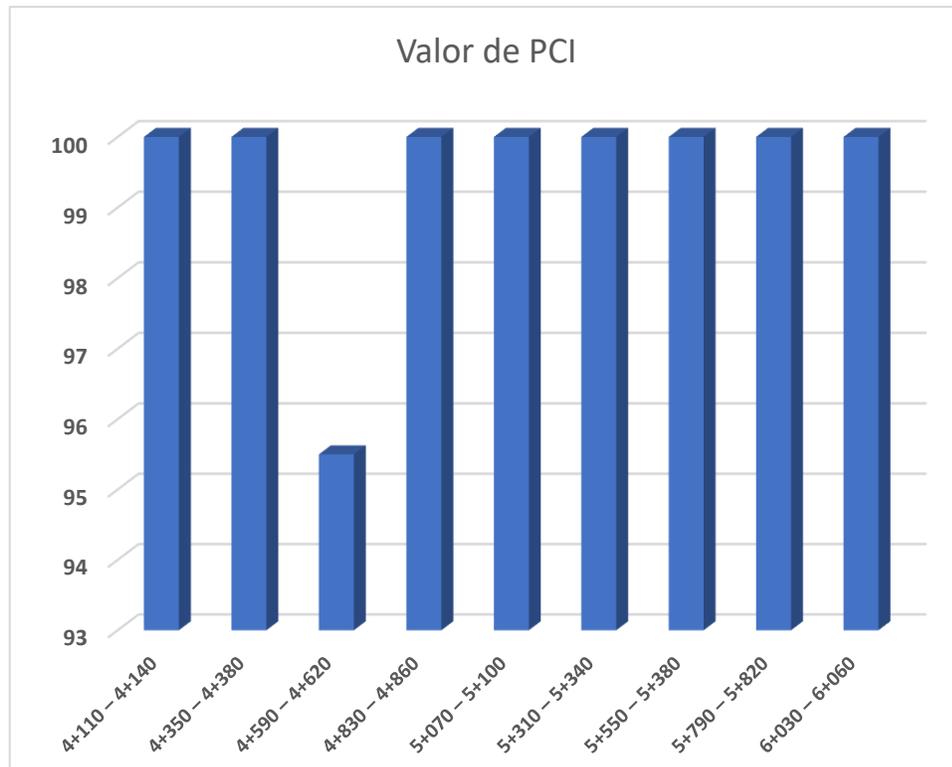
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Condición del pavimento tramo 3

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
138	4+110 – 4+140	100,00	Excelente
146	4+350 – 4+380	100,00	Excelente
154	4+590 – 4+620	95,50	Excelente
162	4+830 – 4+860	100,00	Excelente
170	5+070 – 5+100	100,00	Excelente
178	5+310 – 5+340	100,00	Excelente
186	5+550 – 5+380	100,00	Excelente
194	5+790 – 5+820	100,00	Excelente
202	6+030 – 6+060	100,00	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4: Panel de fallas en tramo 3



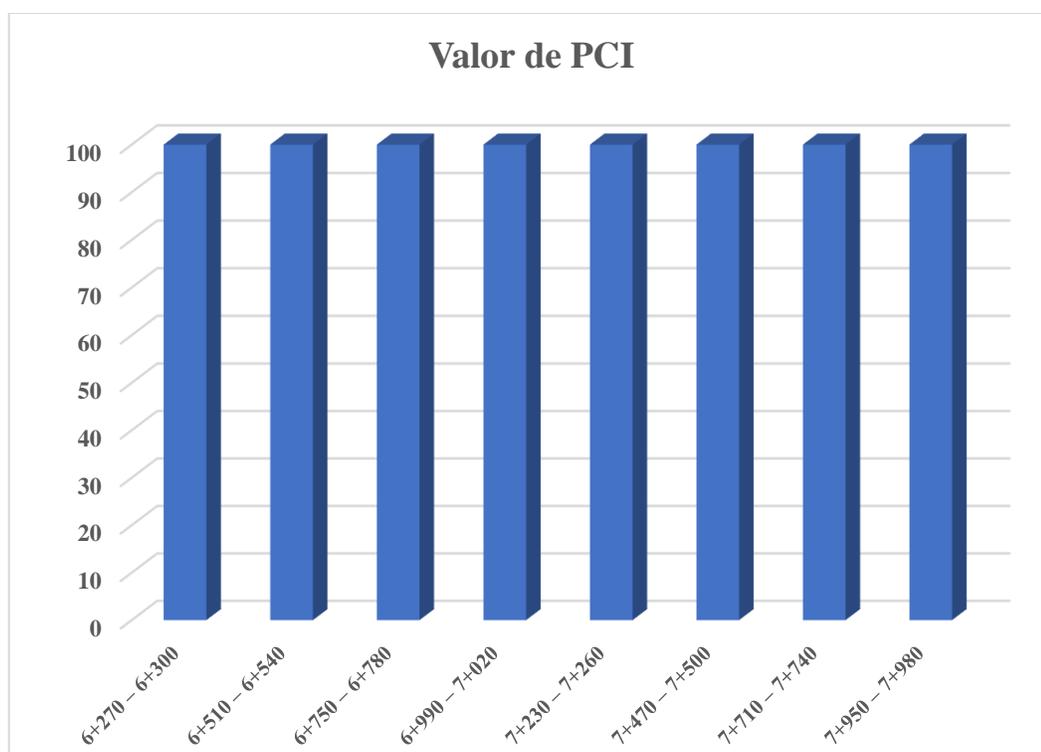
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Condición del pavimento tramo 4

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
210	6+270 – 6+300	100,00	Excelente
218	6+510 – 6+540	100,00	Excelente
226	6+750 – 6+780	100,00	Excelente
234	6+990 – 7+020	100,00	Excelente
242	7+230 – 7+260	100,00	Excelente
250	7+470 – 7+500	100,00	Excelente
258	7+710 – 7+740	100,00	Excelente
266	7+950 – 7+980	100,00	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5: Panel de fallas en tramo 4



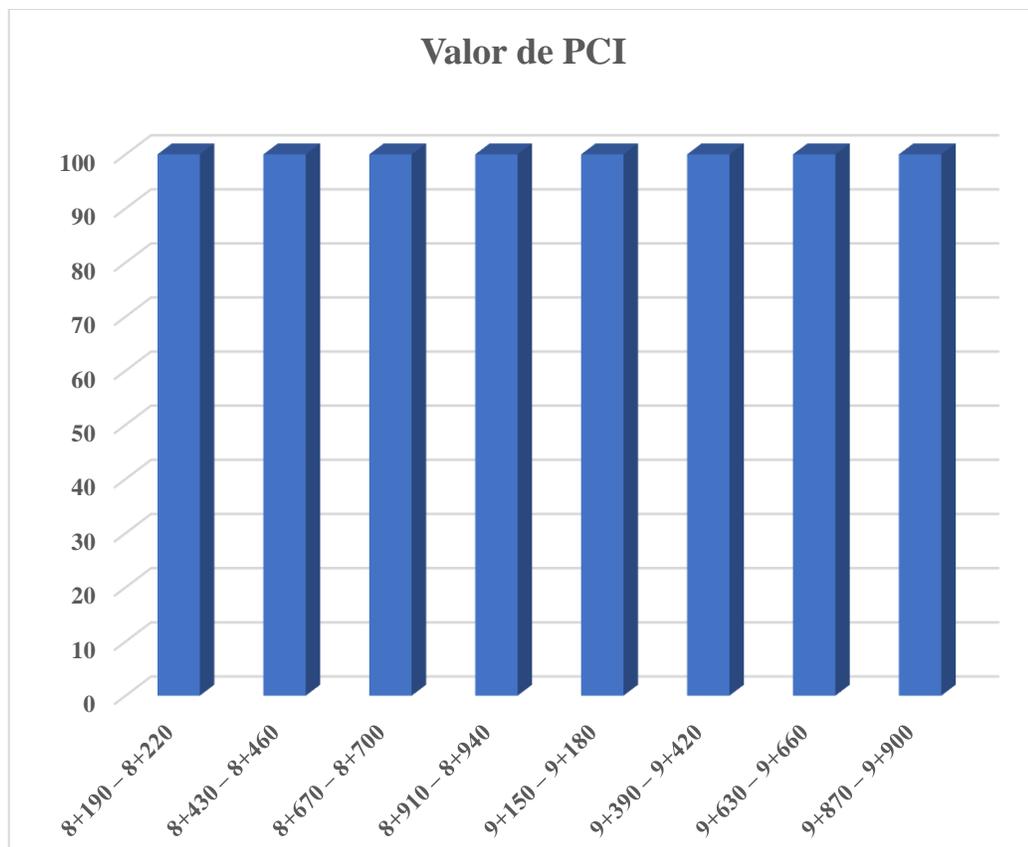
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Condición del pavimento tramo 5

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
274	8+190 – 8+220	100,00	Excelente
282	8+430 – 8+460	100,00	Excelente
290	8+670 – 8+700	100,00	Excelente
298	8+910 – 8+940	100,00	Excelente
306	9+150 – 9+180	100,00	Excelente
314	9+390 – 9+420	100,00	Excelente
322	9+630 – 9+660	100,00	Excelente
330	9+870 – 9+900	100,00	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6: Panel de fallas en tramo 5



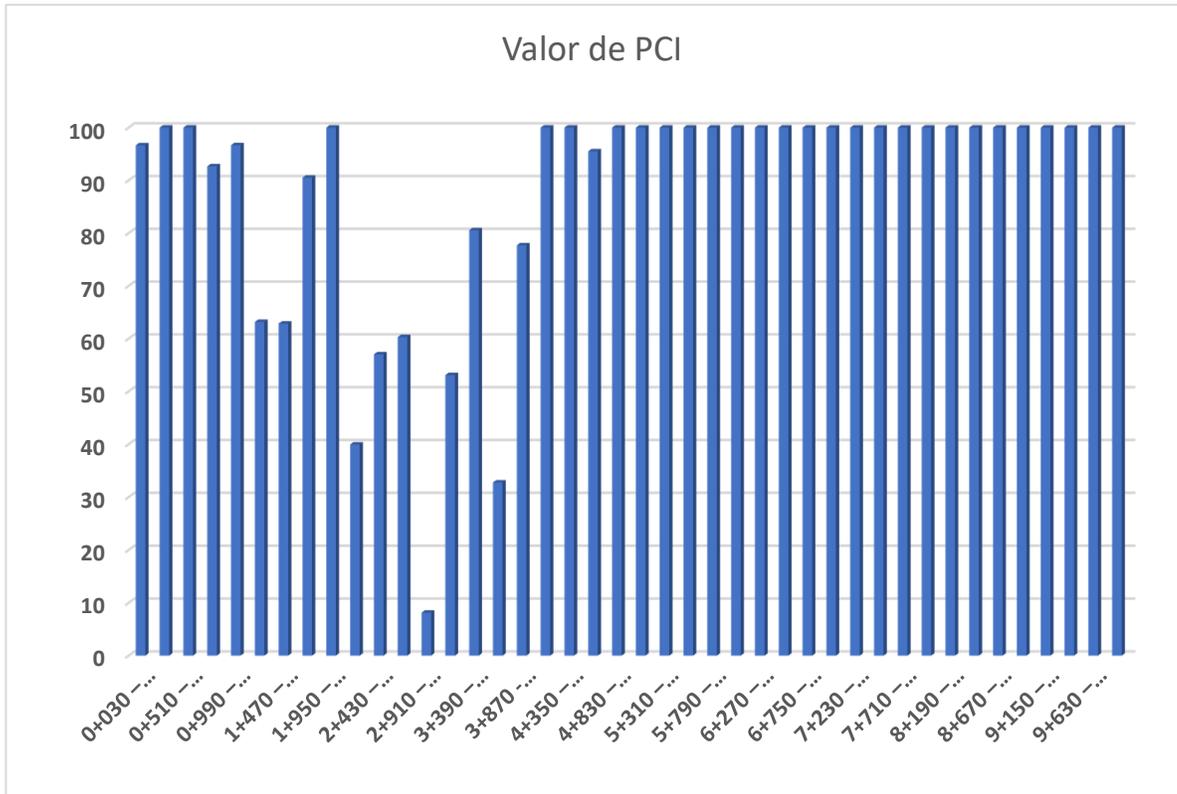
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Condición del pavimento

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresivas. inicial-final	Valor de PCI	Calificación
2	0+030 – 0+060	96,64	Excelente
5	0+270 – 0+300	100,00	Excelente
18	0+510 – 0+540	100,00	Excelente
26	0+750 – 0+780	92,65	Excelente
34	0+990 – 1+020	96,66	Excelente
42	1+230 – 1+260	63,16	Bueno
50	1+470 – 1+500	62,85	Bueno
58	1+710 – 1+740	90,50	Excelente
66	1+950 – 1+980	100,00	Excelente
74	2+190 – 2+220	39,95	Malo
82	2+430 – 2+460	57,01	Bueno
90	2+670 – 2+700	60,29	Bueno
98	2+910 – 2+940	8,13	Fallado
106	3+150 – 3+180	53,08	Regular
114	3+390 – 3+420	80,54	Muy Bueno
122	3+630 – 3+660	32,77	Malo
130	3+870 - 3+900	77,69	Muy Bueno
138	4+110 – 4+140	100,00	Excelente
146	4+350 – 4+380	100,00	Excelente
154	4+590 – 4+620	95,50	Excelente
162	4+830 – 4+860	100,00	Excelente
170	5+070 – 5+100	100,00	Excelente
178	5+310 – 5+340	100,00	Excelente
186	5+550 – 5+380	100,00	Excelente
194	5+790 – 5+820	100,00	Excelente
202	6+030 – 6+060	100,00	Excelente
210	6+270 – 6+300	100,00	Excelente
218	6+510 – 6+540	100,00	Excelente
226	6+750 – 6+780	100,00	Excelente
234	6+990 – 7+020	100,00	Excelente
242	7+230 – 7+260	100,00	Excelente
250	7+470 – 7+500	100,00	Excelente
258	7+710 – 7+740	100,00	Excelente
266	7+950 – 7+980	100,00	Excelente
274	8+190 – 8+220	100,00	Excelente
282	8+430 – 8+460	100,00	Excelente
290	8+670 – 8+700	100,00	Excelente
298	8+910 – 8+940	100,00	Excelente
306	9+150 – 9+180	100,00	Excelente
314	9+390 – 9+420	100,00	Excelente
322	9+630 – 9+660	100,00	Excelente
330	9+870 – 9+900	100,00	Excelente
promedio		88,27	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 7: Panel de fallas en tramo total



Fuente: Elaboración propia

3.4.1.5. Procedimiento de imágenes de PCI (Índice de condición del pavimento)

Figura 38: Progresivas para el PCI

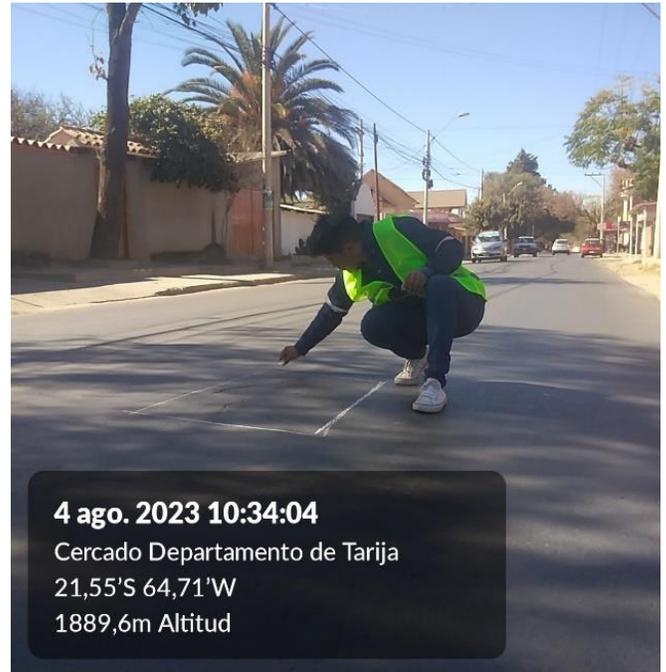


En la imagen se puede observar la marcación de las progresivas para el área de la unidad de muestra determinada a inspeccionar.

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Inspección del tramo

Se debe marcar cada tipo falla existente en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Estudio del tramo con el método PCI

Una vez identificadas las fallas existentes, se procede a medir y registrar las fallas según el tipo de daño en el que se encuentren.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín

A continuación, se detallará el proceso evaluado por el método del IRI.

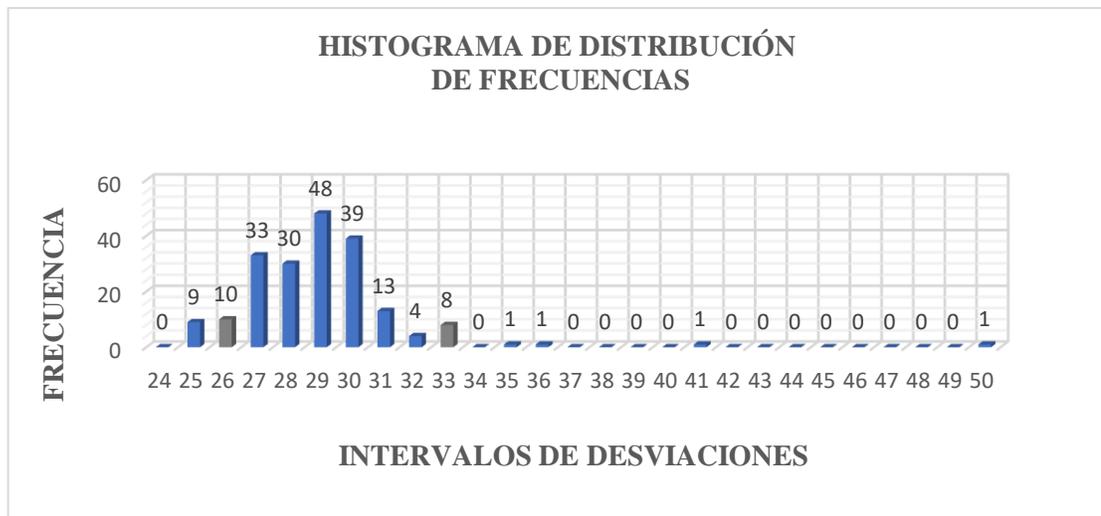
3.4.2.1. Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín

En primer lugar, calibrar del equipo, para proceder a la recolección de las desviaciones del tramo, cada 2 m en un tramo de 400 m, datos que servirán para el cálculo del IRI. Los datos son mostrados en un histograma de frecuencias de 26 desviaciones medidas. Las mediciones con el Merlín se realizaron en cada carril de circulación sobre las dos huellas de circulación de los vehículos.

Progresiva: 0+000 a 0+400

Datos de campo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	25	26	30	28	30	28	28	26	27
2	27	28	28	31	29	29	29	27	26	29
3	26	28	28	30	30	27	29	27	27	28
4	28	27	29	26	26	28	30	30	35	27
5	28	30	29	29	28	30	29	28	29	29
6	27	29	28	27	27	29	29	27	29	29
7	25	26	28	27	29	33	30	33	29	31
8	30	27	29	29	30	31	27	29	30	29
9	30	30	0	28	27	28	29	30	28	29
10	29	30	27	27	30	31	31	26	32	30
11	25	36	30	28	30	30	25	27	26	26
12	29	29	27	29	28	30	27	29	30	27
13	30	30	28	29	30	27	29	29	28	27
14	29	28	29	29	29	27	30	27	0	50
15	29	32	25	29	32	32	30	29	27	29
16	27	30	30	30	29	29	25	31	31	30
17	33	30	30	28	41	31	28	29	33	33
18	27	28	27	31	30	29	29	31	28	28
19	25	25	31	33	28	25	30	28	30	27
20	30	27	31	31	29	33	30	33	27	29



Cálculos y resultados**Cálculo del rango D:**

$$D = \left(\frac{(10 - 1)}{10} + 6 + \frac{(8 - 6)}{8} \right) * 5 \text{ [mm]}$$

$$D = 35,75 \text{ mm}$$

Cálculo factor de corrección f_c :

Donde:

$$f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5} \right) = \left(\frac{(6,2 * 10)}{(25 - 10) * 5} \right)$$

$$E_p = 6,2$$

$$L_i = 25$$

$$L_f = 10$$

$$f_c = 0,83 \text{ mm}$$

Cálculo del rango corregido D_c :

$$D_c = D * f_c = 35,75 * 0,83$$

$$D_c = 29,55 \text{ mm}$$

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

a) $IRI = 0,0485 * D_c$

$IRI < 2,4$

b) $IRI = 0,593 + 0,0471 * D_c$

$2,4 < IRI < 15,9$

$IRI = 0,0485 * 29,55 = 1,43 \text{ m/km}$ → Aplica

$IRI = 0,593 + 0,0471 * 29,55 = 1,98 \text{ m/km}$ → No aplica

IRI=	1,43	m/km	Excelente
------	------	------	-----------

Tabla 16: Rango de rugosidad

Rango de Rugosidad (m/km)	Calificación
0,0 – 2,0	Excelente
2,0 – 3,5	Bueno
3,5 – 5,0	Regular
5,0	Malo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Resultados del IRI de todo el tramo (ida).

Nº	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	0+400	0+800	1,43	Excelente
2	1+200	1+600	1,29	Excelente
3	2+000	2+400	1,70	Excelente
4	2+800	3+200	1,49	Excelente
5	3+600	4+000	1,90	Excelente
6	4+400	4+800	1,67	Excelente
7	5+200	5+600	1,15	Excelente
8	6+000	6+400	1,90	Excelente
9	6+800	7+200	1,47	Excelente
10	7+600	8+000	1,38	Excelente
11	8+400	8+800	1,44	Excelente
12	9+200	9+600	1,29	Excelente
Promedio			1,51	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Resultados del IRI de todo el tramo (vuelta).

Nº	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	10+000	9+600	1,07	Excelente
2	9+200	8+800	1,08	Excelente
3	8+400	8+000	1,09	Excelente
4	7+600	7+200	1,53	Excelente
5	6+800	6+400	2,93	Bueno
6	6+000	5+500	1,38	Excelente
7	5+200	4+800	1,84	Excelente
8	4+400	4+000	3,57	Regular
9	3+600	3+200	1,17	Excelente
10	2+800	2+400	1,91	Excelente
11	2+000	1+600	1,89	Excelente
12	1+200	0+800	2,61	Bueno
13	0+400	0+000	1,91	Excelente
Promedio			1,84	Excelente

Fuente: Elaboración propia

3.4.2.2. Imágenes del ensayo de IRI

Figura 41: Calibración del equipo de Merlín



Se puede observar en la imagen la calibración del equipo Merlín para evitar tomar errores de datos.

Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Equipo de Merlín

Una vez realizado la calibración se procede a la recolección de datos, cada 2 m en un tramo seleccionado de 400 m.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Lectura con el equipo Merlín



Cada distancia recorrida con el equipo Merlín, se debe registrar los valores que marca en la planilla ya tabulada.

Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Aplicación del método del PSI

Se correlacionó el PSI con el IRI (Índice de Regularidad Internacional), tal como muestra en la siguiente expresión.

3.4.3.1. Procedimiento de cálculo PSI

Para determinar la serviciabilidad del pavimento se realizaron mediciones del IRI mediante el método de Merlín. Para ello, se realizó la toma de datos tanto de ida como de vuelta a lo largo de la vía. El rugosímetro de Merlín da como resultado el IRI y el histograma de frecuencias cada 400m, para cada valor de IRI se obtiene el PSI (Índice de serviciabilidad del pavimento) mediante las siguientes ecuaciones:

Conversión del IRI al PSI

Ecuación según William Paterson (1987)	$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0,5})$
Ecuación según D. Dujisin y A.Arroyo (1995)	$PSI = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5,5}}}$
Ecuación según William Paterson (1987)	$PSI = 4,182 - 0,455(IRI)$

A continuación, se muestra un ejemplo del cálculo del PSI con las progresivas de inicio 3+600, progresiva final 4+000:

Prog. 3+600 - 4+000

Con el resultado obtenido mediante el método del IRI se procede a reemplazar en las fórmulas propuestas para el presente proyecto para la obtención del PSI.

IRI	1,90
-----	------

Ecuación		PSI
Ecuación según William Paterson (1987)	$5,85 - (1,68 * 1,90^{0,5})$	3,53
Ecuación según D. Dujisin y A. Arroyo (1995)	$\frac{5}{\frac{1,90}{e^{5,5}}}$	3,54
Ecuación según William Paterson (1987)	$4,182 - 0,455(1,90)$	3,32
PSI promedio		3,46

Rango	Calificación
5,00 – 4,25	Excelente
4,25 – 3,50	Muy Bueno
3,50 – 2,75	Bueno
2,75 – 2,00	Regular
1,25 – 0,50	Muy malo
0,50 – 0,00	Fallado

PSI=	3,46	Bueno
------	------	-------

Se obtuvo un valor promedio de 3,46 para el tramo de la vía, calificándola como una vía Buena.

Tabla 19: Total de datos obtenidos de resultados del PSI

N°	Progresiva		Carril y lado	IRI (m/km)	PSI	Clasificación de serviciabilidad
	Inicial	final				
1	0+400	0+800	Derecho (ida)	1,43	3,73	Muy bueno
2	1+200	1+600	Derecho (ida)	1,29	3,83	Muy bueno
3	2+000	2+400	Derecho (ida)	1,70	3,58	Muy bueno
4	2+800	3+200	Derecho (ida)	1,49	3,71	Muy bueno
5	3+600	4+000	Derecho (ida)	1,90	3,46	Bueno
6	4+400	4+800	Derecho (ida)	1,67	3,60	Muy bueno
7	5+200	5+600	Derecho (ida)	1,15	3,92	Muy bueno
8	6+000	6+400	Derecho (ida)	1,90	3,46	Bueno
9	6+800	7+200	Derecho (ida)	1,47	3,72	Muy bueno
10	7+600	8+000	Derecho (ida)	1,38	3,77	Muy bueno
11	8+400	8+800	Derecho (ida)	1,44	3,74	Muy bueno
12	9+200	9+600	Derecho (ida)	1,29	3,83	Muy bueno
13	10+000	9+600	Izquierdo (vuelta)	1,07	3,97	Muy bueno
14	9+200	8+800	Izquierdo (vuelta)	1,08	3,97	Muy bueno
15	8+400	8+000	Izquierdo (vuelta)	1,09	3,96	Muy bueno
16	7+600	7+200	Izquierdo (vuelta)	1,53	3,68	Muy bueno
17	6+800	6+400	Izquierdo (vuelta)	2,93	2,92	Bueno
18	6+000	5+500	Izquierdo (vuelta)	1,38	3,77	Muy bueno
19	5+200	4+800	Izquierdo (vuelta)	1,84	3,50	Muy bueno
20	4+400	4+000	Izquierdo (vuelta)	3,57	2,62	Regular
21	3+600	3+200	Izquierdo (vuelta)	1,17	3,91	Muy bueno
22	2+800	2+400	Izquierdo (vuelta)	1,91	3,46	Bueno
23	2+000	1+600	Izquierdo (vuelta)	1,89	3,47	Bueno
24	1+200	0+800	Izquierdo (vuelta)	2,61	3,08	Bueno
25	0+400	0+000	Izquierdo (vuelta)	1,91	3,46	Bueno
Promedio					3,60	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

3.5. Evaluación estructural

Para la evaluación estructural se realizó, 25 puntos en el lado izquierdo y lado derecho. Separados cada 400 metros intercalando con las progresivas.

3.5.1 Procedimiento de medición viga Benkelman

El primer paso se verificó si están todos los materiales requeridos. Se efectuó inicialmente la calibración de la viga Benkelman. Se utilizará para el cálculo de las deflexiones, la

constante $k=1$. Para proceder el ensayo se realizó una medición de presión de las llantas de 80 Psi, posteriormente se realizó el peso de la volqueta en una balanza eléctrica. Obteniendo un peso de (8.25) toneladas de capacidad con eje trasero simple y llantas dobles.

Se procedió ensamblar la viga ya que se tiene un brazo desplegable de dos módulos con cual se ajustan con tornillos, posterior se nivela en el apoyo principal con una regla niveladora para lograr que el puntero del brazo de la viga este en contacto mínimo con la superficie asfáltica. Se realizó de igual manera en los siguientes puntos definidos de estudio, En cada punto de ensayo se registraron lecturas a 0,50 – 1,00 – 1,50 – 2,00 m. en los ensayo como se puede observar, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras de la volqueta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta, dejando el otro extremo fijo sobre el pavimento; en cada punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las operaciones descritas a lo largo de ambos tramos de estudio.

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

Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_o = k * (L_f - L_o)$$

$$D_o = 1 * (2 - 0)$$

$$D_o = 2 * 10^{-2} \text{mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

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

$$D_{ot} = \frac{2}{0,001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * (16 - 20^\circ\text{C}) * 5 + 1}$$

$$\text{Dot} = 2,04 \times 10^{-2} \text{mm}$$

Deflexión a 50 cm:

$$\mathbf{D50 = K * (Lf - L50)}$$

$$D50 = 1 * (2 - 2)$$

$$D50 = 0,00$$

Factor de corrección por temperatura:

$$\mathbf{D50t = \frac{D50}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}}$$

$$D50t = \frac{0}{0,001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (16 - 20^{\circ}\text{C}) * 5 + 1}$$

$$D50t = 0,00$$

Radio de curvatura

$$\mathbf{Rc = \frac{6250}{k * (\text{Dot} - D50t)}}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (2,04 - 0)}$$

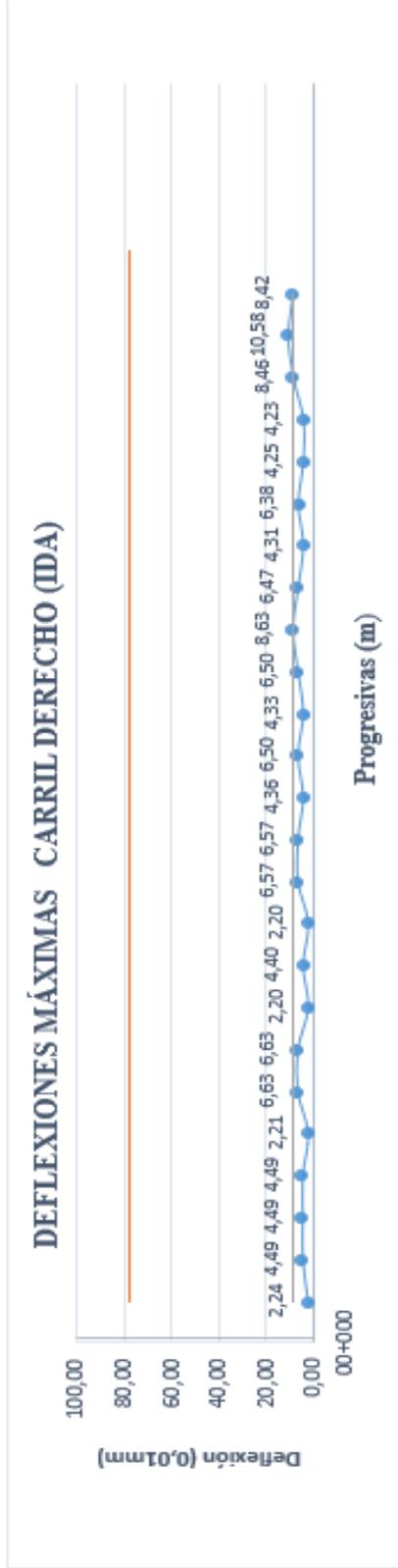
$$Rc = 1531,86$$

Tabla 20: Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida)

(N°)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DÍA							PARÁMETROS DE EVALUACIÓN				PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS				TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb. °C	Asfalto °C				
1	0+000	0	2	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	2,24	0,00	1392,05	24	16	5		
2	0+400	0	2	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	4,49	2,24	1392,05	24	16	5		
3	0+800	0	2	2	4	4	4	4	4,00	2,00	1563	4,49	2,24	1392,05	26	16	5		
4	1+200	0	2	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	4,49	2,24	1392,05	26	16	5		
5	1+600	0	2	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	2,21	0,00	1413,35	30	19	5		
6	2+000	0	2	2	2	2	4	6	6,00	4,00	1563	6,63	4,42	1413,35	30	19	5		
7	2+400	0	2	2	4	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,63	4,42	1413,35	30	19	5		
8	2+800	0	2	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	2,20	0,00	1420,45	32	20	5		
9	3+200	0	2	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	4,40	2,20	1420,45	32	20	5		
10	3+600	0	2	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	2,20	0,00	1420,45	32	20	5		
11	4+000	0	2	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,57	4,38	1427,56	39	21	5		
12	4+400	0	2	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,57	4,38	1427,56	40	21	5		
13	4+800	0	2	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	4,36	2,18	1434,66	40	22	5		
14	5+200	0	2	2	4	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,50	4,33	1441,76	42	23	5		
15	5+600	0	2	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	4,33	2,17	1441,76	42	23	5		
16	6+000	0	2	2	2	2	4	6	6,00	4,00	1563	6,50	4,33	1441,76	42	23	5		
17	6+400	0	2	2	4	4	6	8	8,00	6,00	1563	8,63	6,47	1448,86	42	24	5		
18	6+800	0	2	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,47	4,31	1448,86	43	24	5		
19	7+200	0	2	2	4	4	4	4	4,00	2,00	1563	4,31	2,16	1448,86	43	24	5		
20	7+600	0	2	2	2	2	6	6	6,00	4,00	1563	6,38	4,25	1470,17	45	27	5		
21	8+000	0	2	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	4,25	2,13	1470,17	45	27	5		
22	8+400	0	2	2	2	4	4	4	4,00	2,00	1563	4,23	2,12	1477,27	45	28	5		
23	8+800	0	2	2	2	2	6	8	8,00	6,00	1563	8,46	6,35	1477,27	45	28	5		
24	9+200	0	2	2	8	8	8	10	10,00	8,00	1563	10,58	8,46	1477,27	47	28	5		
25	9+600	0	2	2	4	6	8	8	8,00	6,00	1563	8,42	6,32	1484,38	47	29	5		

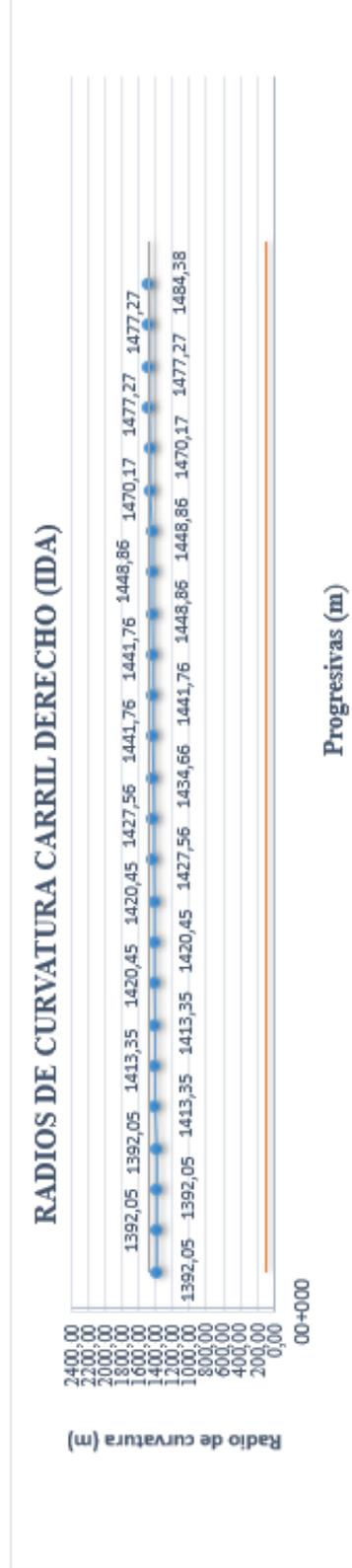
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8: Deflexiones máximas (ida)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 9: Radios de curvatura (ida)



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

Número de muestras	25	25	25
Sumatoria	136,55	82,11	35887,78
Promedio:	5,46	3,28	1435,51
Deflexión mínima	2,20	0,00	1392,05
Deflexión máxima	10,58	8,46	1484,38
Desviación estándar	2,20	2,22	29,23
Varianza	4,84	4,95	854,66
Coefficiente de variación	40,27	67,72	2,04
Valor característico	9,08	6,94	1483,60

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 5,46

Ds = Desviación estándar = 2,20

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

$$D_c = 5,46 + 1,645 * 2,20$$

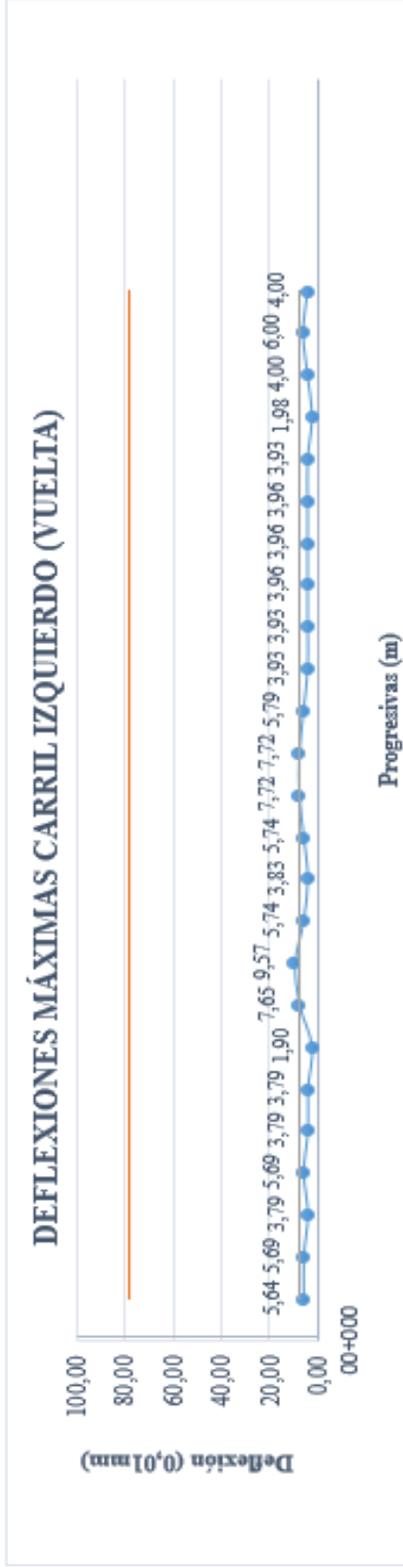
$D_c = 9,08 \times 10^{-2} \text{ mm}$
--

Tabla 21: Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)

(N°)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DÍA						PARAMETROS DE EVALUACION			PARAMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm 0.01 mm	L-50cm 0.01 mm	L-100cm 0.01 mm	L-150cm 0.01 mm	L-200cm 0.01 mm	L-500cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	10+000	0	2	2	2	4	6	6,00	4,00	1563	5,64	3,76	1661,93	37	54	5
2	9+600	0	2	2	2	2	6	6,00	4,00	1563	5,69	3,79	1647,73	37	52	5
3	9+200	0	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	3,79	1,90	1647,73	37	52	5
4	8+800	0	2	2	2	2	6	6,00	4,00	1563	5,69	3,79	1647,73	37	52	5
5	8+400	0	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	3,79	1,90	1647,73	37	52	5
6	8+000	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	3,79	1,90	1647,73	37	52	5
7	7+600	0	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	1,90	0,00	1647,73	37	52	5
8	7+200	0	2	2	4	6	8	8,00	6,00	1563	7,65	5,74	1633,52	37	50	5
9	6+800	0	2	2	2	6	10	10,00	8,00	1563	9,57	7,65	1633,52	37	50	5
10	6+400	0	2	2	2	4	6	6,00	4,00	1563	5,74	3,83	1633,52	37	50	5
11	6+000	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	3,83	1,91	1633,52	36	50	5
12	5+600	0	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	5,74	3,83	1633,52	36	50	5
13	5+200	0	2	2	4	6	8	8,00	6,00	1563	7,72	5,79	1619,32	36	48	5
14	4+800	0	2	2	2	6	8	8,00	6,00	1563	7,72	5,79	1619,32	36	48	5
15	4+400	0	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	5,79	3,86	1619,32	36	48	5
16	4+000	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	3,93	1,96	1590,91	36	44	5
17	3+600	0	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	3,93	1,96	1590,91	35	44	5
18	3+200	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	3,96	1,98	1576,70	35	42	5
19	2+800	0	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	3,96	1,98	1576,70	35	42	5
20	2+400	0	2	2	4	4	4	4,00	2,00	1563	3,96	1,98	1576,70	35	42	5
21	2+000	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	3,93	1,96	1590,91	34	44	5
22	1+600	0	2	2	2	2	2	2,00	0,00	1563	1,98	0,00	1576,70	34	42	5
23	1+200	0	2	2	2	2	4	4,00	2,00	1563	4,00	2,00	1562,50	32	40	5
24	0+800	0	2	2	4	4	6	6,00	4,00	1563	6,00	4,00	1562,50	32	40	5
25	0+400	0	2	2	2	4	4	4,00	2,00	1563	4,00	2,00	1562,50	50	40	5

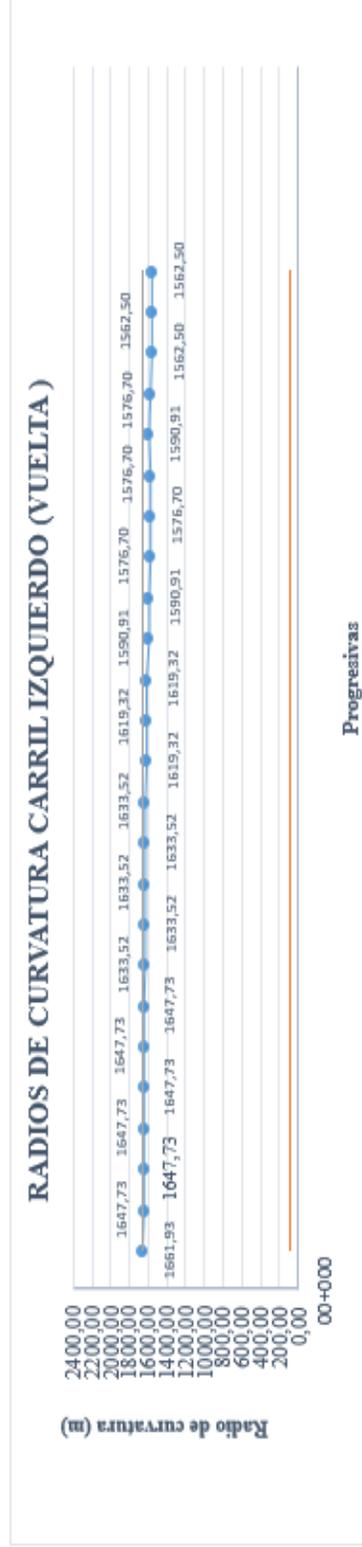
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10: Deflexiones máximas (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 11: Radios de curvatura (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

Número de muestras	25	25	25
Sumatoria	123,71	75,27	40340,91
Promedio:	4,95	3,01	1613,64
Deflexión mínima	1,90	0,00	1562,50
Deflexión máxima	9,57	7,65	1661,93
Desviación estándar	1,82	1,83	33,06
Varianza	3,33	3,37	1092,92
Coefficiente de variación	36,86	60,94	2,05
Valor característico	7,95	6,03	1668,02

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 4,95

Ds = Desviación estándar = 1,82

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

$$D_c = 4,95 + 1,645 * 1,82$$

$D_c = 7,95 \times 10^{-2} \text{ mm}$
--

3.5.2 Imágenes del ensayo con la viga Benkelman

Figura 44: Pasaje de la volqueta en la balanza electrónica



Se realizó el peso de la volqueta en una balanza eléctrica. Obteniendo un peso de (8,25) toneladas de capacidad con eje trasero simple y llantas dobles

Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Calibración del equipo

Se efectuó la calibración de la viga Benkelman.



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Ensayo de la viga Benkelman



23 ago. 2023 8:51:46

Vía sin nombre Cercado Departamento
de Tarija
21,60'S 64,71'W
1880,7m Altitud

Como se puede observar, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras de la volqueta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta

Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Marcado de distancias



En cada punto de ensayo se registraron lecturas a 0,50 – 1 – 1,50– 2 – 5 m

23 ago. 2023 8:59:00

Vía sin nombre Cercado Departamento
de Tarija
21,60'S 64,71'W
1889,1m Altitud

Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Lectura de temperatura



En cada punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las operaciones descritas a lo largo de ambos tramos de estudio

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Evaluación superficial por el método PCI

En la evaluación superficial se determinó lo siguiente:

4.1.1. Resultados parciales del método PCI

Las tablas de resultados de PCI de cada unidad de muestra se describen en el anexo 1.

Los resultados que muestran en la Tabla 15, se puede analizar que los puntos críticos de la evaluación que están bajo el mismo tipo de deterioro que sería, común por mal drenaje, fatiga de la estructura, espesor insuficiente de la capa de rodadura, deformación de la subrasante. Lo cual genera las fallas considerables en el pavimento

Tabla 22: Resultados del tramo evaluado por cada kilómetro.

Tramo de Evaluación	Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
0+030 - 1+020	97,19	Excelente
1+230 - 1+980	79,13	Muy bueno
2+190 - 2+940	41,35	Regular
3+150 - 3+900	61,02	Bueno
4+110 - 4+860	98,88	Excelente
5+070 - 5+820	100,00	Excelente
6+030 - 6+990	100,00	Excelente
7+230 - 7+980	100,00	Excelente
8+190 - 8+940	100,00	Excelente
9+150 - 9+900	100,00	Excelente

Fuente: Elaboración propia

En la Tablas 22, representa los resultados de una evaluación por cada kilómetro y posteriormente una tabla genérica que representa un resultado promedio total del estado en el que se encuentra el tramo evaluado.

Tabla 23: Resultado total del tramo evaluado en general

Tramo de evaluación	Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Progresivas inicial-final	Valor de PCI	Calificación
0+030 - 10+000	88,27	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

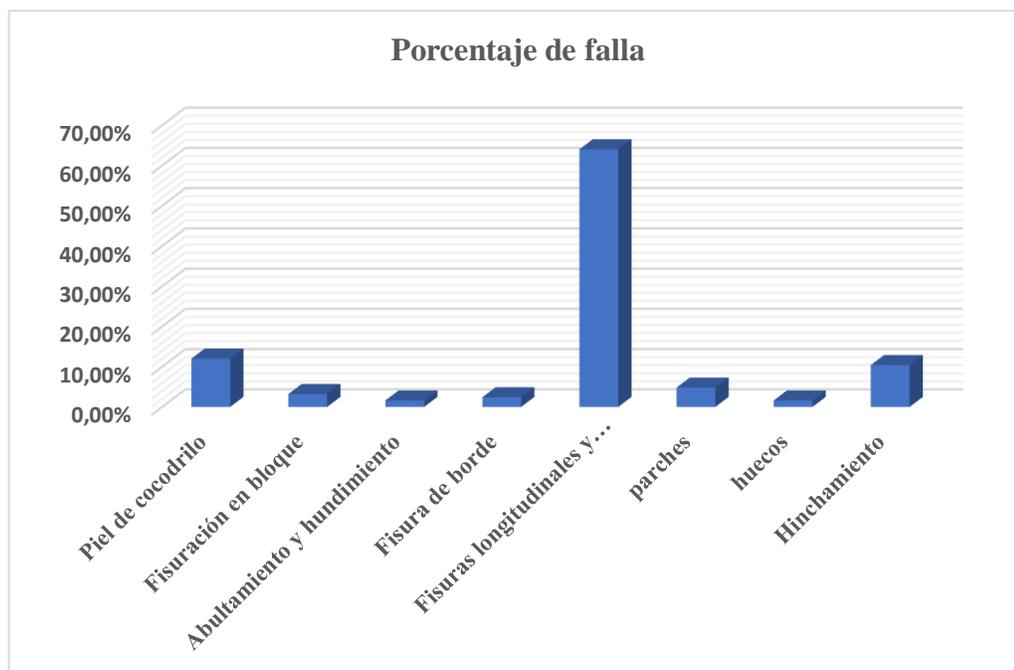
4.1.2. Análisis de resultados del PCI (Índice de condición del pavimento)

La calificación del PCI en los 10 km del tramo, es de 88,27 promedio de todo el tramo, dicho valor se encuentra calificado en una condición de pavimento EXCELENTE, en la gran mayoría de los cálculos daba un PCI=100 por ser un pavimento nuevo, sin embargo, existe tramos en el cual requiere algunos tipos de mantenimientos.

Tabla 24: Porcentaje de fallas más representativas en general

Tipo de falla	% de falla
Piel de cocodrilo	12,00%
Fisuración en bloque	3,20%
Abultamiento y hundimiento	1,60%
Fisura de borde	2,40%
Fisuras longitudinales y transversales	64,00%
parches	4,80%
huecos	1,60%
Hinchamiento	10,40%
Total	100,00%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 12: Panel de fallas en general

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 24 y en la gráfica 12 muestra las fallas predominantes en las avenidas “Guillermo Beltrán – San Luis” que son las fisuras longitudinales y transversales con un 64,00 %, otra falla considerable en el tramo es la falla piel de cocodrilo con un 12,00 %. 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.

Piel de cocodrilo:

El origen de este tipo de falla vendría dado por la fatiga de la carpeta asfáltica que encontrándose bajo acción repetida de las cargas vehiculares darían como resultado la piel de cocodrilo; cabe mencionar que la infiltración es también un factor que sería una causa por la cual estaría suscitando esta patología.

La infiltración efectivamente estaría ocasionando una hidratación al paquete estructural, debido a que en época de lluvias la zona de estudio presentaría un mal desalojo de las aguas precipitadas y bajo la acción de cargas vehiculares en desmedida tendría como consecuencia este tipo de falla.

Fisuras longitudinales y transversales:

Patología que también tiene gran magnitud en el tramo evaluado con un 64,00 % de daño, este tipo de patología probablemente se presenta debido a una junta de carril del pavimento pobremente construida; otro factor a considerar es la contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto. En todo caso lo más probable en este tipo de falla fue el incremento vehicular y con ello ocasionando fisuras pequeñas que acompañadas de precipitaciones hacen que las mismas vayan incrementando su tamaño longitudinal, en gran parte del tramo evaluado se pudo apreciar que este tipo de fallas se debe al deterioro de la carpeta asfáltica.

4.2. Evaluación superficial con el método IRI

En base al análisis de los datos realizados, y a la obtención inadmisible del IRI obtenido para el tramo en estudio se destaca lo siguiente:

4.2.1. Resultados parciales del método IRI

Tabla 25: Resultado del tramo evaluado en general

Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
Inicial	final		
0+000	10+000	1,68	Excelente

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Análisis de los resultados del método IRI.

Para todo el tramo se tiene un IRI= 1,68 m/km que se encuentra entre el rango 0,0-2,0 m/km de un pavimento con calificación EXCELENTE siendo adecuado para el tránsito de los vehículos.

Tabla 26: Clasificación del rango de rugosidad.

Rango de rugosidad (m/km)	Calificación
0,00-2,00	Excelente
2,00-3,50	Bueno
3,50-5,00	Regular
>5,00	Malo

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

4.3. Evaluación superficial con el método PSI

Una vez obtenido la correlación del IRI con el PSI se destaca lo siguiente.

4.3.1. Resultados parciales del método PSI

Tabla 27: Resultado del tramo evaluado en general

Progresiva		IRI (m/km)	PSI	Clasificación de serviciabilidad
Inicial	final			
0+000	10+000	1,68	3,60	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

Rango	Calificación
5,00 – 4,25	Excelente
4,25 – 3,50	Muy Bueno
3,50 – 2,75	Bueno
2,75 – 2,00	Regular
1,25 – 0,50	Muy malo
0,50 – 0,00	Fallado

El nivel de seveciabilidad (PSI), es determinado a través del Índice de rugosidad del pavimento, llegando a un resultado de $PSI = 3,60$. Concluyendo que el nivel de serviciabilidad de las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis, es de condición “MUY BUENA”.

4.4. Análisis de la relación PCI, IRI y PSI

Después de haber realizado los cálculos y llegar a los resultados de los índices que indicarán el estado del pavimento, los mismos están relacionados de acuerdo a sus valores, en el cuadro siguiente mostramos los rangos de comparación de los tres métodos planteados al inicio de este trabajo. Este cuadro es planteado por las normas ASHTO, para poder comparar los resultados obtenidos.

Los rangos que relacionan estos índices van desde un pavimento muy bueno hasta uno que está fallado.

Tabla 28: Rango de relación IRI, PCI, PSI.

IRI (m/km)	PCI	Clasificación	PSI	Descripción
0 – 1,60	90 - 100	Muy bueno, excelente	3,00- 5,00	El pavimento es nuevo.
1,60 –2,80	60 - 90	Bueno	2,50 – 3,00	El pavimento de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones.
2,80 –5,20	40 - 60	Regular	1,00 – 2,50	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.
2,80 –5,20	20 - 40	Muy pobre	10 - 2,50	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones 20-40 mm cada 5 m 10-20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
5,20 –8,80	0 -20	Fallado	0,40 – 1,00	El pavimento está severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales ($\geq 20\text{mm}/3\text{m}$) baches frecuentes (15 – 20 baches cada 50m, 15% de baches).

Fuente: Norma ASTHO

Los parámetros que se basó este proyecto para la evaluación de las avenidas Guillermo Beltrán y San Luis fueron el IRI y el PCI. De tal manera de tener una percepción más clara del estado actual de la vía.

Como resultados de los diferentes métodos empleados, el PCI promedio obtenido es de 88,27, según la norma se clasifica como un tramo EXCELENTE, se tiene un IRI promedio de 1,68, lo que significa que el pavimento de la vía se encuentra en estado EXCELENTE, en función del IRI aplicando las ecuaciones propuestas de correlación entre IRI y PSI, el

valor del PSI es 3,60, nos dice que el pavimento de la vía en función de su Serviciabilidad se encuentra en un estado MUY BUENO.

4.4.1. Diagnóstico general del estado del pavimento

Luego de haber analizado los resultados de las metodologías planteadas y haber clasificado el estado del pavimento para cada metodología, a continuación, se presenta un cuadro resumen con los mismos y se dará el estado final en general para todo el tramo que se hizo el estudio.

Tabla 29: Resultados del PCI, IRI, PSI

Método	Rango	Clasificación
PCI	88,27	Excelente
IRI	1,68	Excelente
PSI	3,60	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de este cuadro que relaciona los tres índices se observa que los tres métodos (PCI, IRI y el PSI), se encuentran en la misma clasificación del estado del pavimento, donde con los rangos de estos valores el estado del pavimento está en EXCELENTE, situación que, si se la puede observar en una simple inspección visual de campo, prueba de ello en el Anexo N° V, se presenta un reporte fotográfico con los daños y fallas superficiales que existen a lo largo de todo el tramo.

4.5. Evaluación estructural con el método viga Benkelman

En la evaluación estructural se determinó lo siguiente.

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

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en el tramo Guillermo Beltrán – San Luis, se pudo realizar un análisis de ambos carriles:

Carril derecho:

En el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de $10,58 \times 10^{-2}$ mm en la progresiva 9+200 que es mayor al valor de la deflexión característica de $9,08 \times 10^{-2}$ mm.

Carril izquierdo:

En el carril izquierdo el valor de la deflexión característica es de $7,95 \times 10^{-2}$ mm y el valor de la deflexión máxima es de $9,57 \times 10^{-2}$ mm.

4.6. Análisis para el tipo de mantenimiento

El objetivo es prevenir que se generen situaciones de deterioro críticas y asegurar al usuario una circulación continua, segura, eficiente, confiable y que cause el menor daño al medio ambiente. El cual estos propósitos se logran a través de la ejecución de una serie de acciones de conservación oportunamente en el tiempo.

Los pavimentos muestran distintas relaciones deterioro-tiempo de acuerdo con la combinación particular de los distintos factores involucrados en el mecanismo de deterioro.

Los tipos de intervención que se realizan sobre la vía, dependen del nivel de deterioro que se encuentra la calzada, este se evalúa mediante el método PCI (Tabla 30).

Tabla 30: Intervención en base a rango PCI

Rango PCI		Tipo de Mantenimiento
100,00	85,00	Mantenimiento rutinario
85,00	70,00	
70,00	55,00	Mantenimiento periódico
55,00	40,00	
40,00	25,00	Rehabilitación
25,00	10,00	Construcción
10,00	0,00	

Fuente: ASTM D6433-07, (2007).

Con lo descrito anteriormente se plantea realizar en las áreas en donde la vía se encuentra en estado Bueno y Muy Bueno; se debe realizar un **Mantenimiento de Tipo Rutinario (MR)** que consiste en realizar un parchado superficial y sellado de grietas.

En las áreas regulares se plantea realizar un tipo de **Mantenimiento Periódico (MP)**, que consiste en ejecutar un sellado asfáltico, tratamiento superficial y/o fresado.

Y para las secciones que se encuentran muy malo, se debe realizar una **Rehabilitación (R)** que puede ser de tipo recapeo y reciclado en frío o caliente. Además, dentro de este tipo de mantenimiento se debe considerar realizar actividades de limpieza de las obras de drenaje, con el fin de evitar la destrucción gradual de la vía.

Luego de haber realizado la evaluación correspondiente y con los tipos de intervenciones descritas se puede indicar que las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis necesitan un **mantenimiento rutinario**, ya que en algunos tramos de las avenidas presentan algunos deterioros.

4.6.1. Descripción de las actividades

Las actividades que se deben realizar en algunos tramos de las avenidas Guillermo Beltrán y San Luis dependen directamente del tipo de intervención al que será sometido.

A continuación, se describe los objetivos de cada una de las actividades que se debe realizar para la intervención de la vía y evitar problemas a futuro, así como también se especifica en qué consiste cada uno de estos.

- **Limpieza de calzada y bermas**

Actividad: Mantenimiento rutinario

Consiste en la remoción de todo material extraño de la calzada y de las bermas, con herramientas manuales, de tal manera que permanezca libre de obstáculos, basuras y demás objetos que caigan y/o sean arrojados en ella. El objetivo es mantener la plataforma libre de materiales sueltos que serían nocivos a la calidad de la vía.

- **Sellado de fisuras y grietas en calzada**

Actividad: Mantenimiento rutinario

Se pudo observar en la progresiva 2+000 – 3+000, es necesario esta actividad, se debe realizar un sellado de grietas y/o fisuras que consiste en la colocación de materiales especiales sobre o dentro de las fisuras o en realizar el relleno con materiales especiales dentro de las grietas. El objetivo de esta actividad es impedir la filtración del agua y la de materiales incompresibles (piedras o materiales duros) dentro de estas aberturas y, de esta

manera, reducir y/o retardar la formación de agrietamientos más severos (piel de cocodrilo y la posterior aparición de baches).

- **Parchado superficial en calzada**

- **Actividad: Mantenimiento rutinario**

El parchado superficial consiste en la reparación de los huecos y el reemplazo de áreas del pavimento que se encuentren deterioradas, actividad en la que es necesario en la avenida San Luis que es el tramo donde se pudo observar mayores deterioros. El principal objetivo de esta actividad es el recuperar las condiciones para una adecuada circulación vehicular (con comodidad, seguridad y rapidez), ayudando a evitar o al menos retardar la formación de daños más severos en el pavimento.

- **Conservación de las señales verticales**

- **Actividad: Mantenimiento rutinario**

Se pudo evidenciar que en el trayecto de las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis no cuenta con la suficiente señalización o existe señalización en muy mal estado, por ende, es muy importante emplear este tipo de actividad, para precaver algún tipo de accidente.

Es necesario realizar el retiro de materiales que impida visualizar claramente la señal y reemplazar algunos elementos de señalización. El objetivo de esta actividad es cumplir la función a la cual fue diseñada e instalada (preventiva, reglamentaria o informativa), a fin de que se conserve claramente visible su mensaje y proporcione a los conductores y peatones la información óptima para que transiten de manera segura.

- **Mantenimiento de marcas permanentes en el pavimento**

- **Actividad: Mantenimiento rutinario**

En la avenida Guillermo Beltrán específicamente por la zona de los cuarteles es necesario realizar las marcas horizontales para una guía mejor para el conductor.

Esta actividad consiste en conservar permanentemente las marcas sobre el pavimento asfáltico, la cual se limita a repintarlas debido a que se han desgastado por el uso y se requiere devolverle a su estado inicial. El objetivo de la actividad es realizar todos los

trabajos necesarios para que se conserven en su mejor condición, con el fin de contribuir con la seguridad vehicular.

- **Conservación de los reductores de velocidad**

Actividad: Mantenimiento rutinario

Existe rompe muelles que requieren un repintado como también nuevos reductores de velocidad la zona de la avenida San Luis por la existencia de unidades educativas, como también en la avenida Guillermo Beltrán para resguardar la seguridad a la zona militar como a los vecinos del lugar.

Este trabajo va a consistir en resanar, reparar y pintar las zonas en donde los reductores de velocidad se encuentren en mal estado.

4.6.2. Cómputos métricos

Tabla 31: Cómputos métricos de mantenimiento

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Limpieza de calzadas y bermas	m ²	366,05
2	Sellado de fisuras y grietas en calzada	m	428,17
3	Parchado superficial en calzada	m ²	203,54
4	Señales verticales	Pza.	13,00
5	Señales horizontales	m ²	576,90
6	Conservación de los reductores de velocidad	m ²	237,75

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3. Costo de la obra

Tabla 32: Presupuesto general

Ítem	Descripción	Unid.	Cantid.	P.U.	Costo Ítems
1	Limpieza de calzadas y bermas	m ²	366,05	49,22	18.025,35
2	Sellado de fisuras y grietas en calzada	m	428,17	36,22	15.508,32
3	Parchado superficial en calzada	m ²	203,54	94,86	19.307,80
4	Señales verticales	Pza.	13	966,87	12.569,31
5	Señales horizontales	m ²	576,90	124,70	71.939,43
6	Conservación de los reductores de velocidad	m ²	237,75	124,70	29.647,43
COSTO= 166.997,64		Ciento sesenta seis mil novecientos noventa y siete con sesenta y cuatro bolivianos.			

Fuente: Elaboración propia

4.7. Aforo vehicular

En la tabla 33 muestra el aforo vehicular livianos, medianos y pesados en los horarios más transitados, se puede analizar que el tipo de vehículo que más circula por las avenidas son los **vehículos livianos**.

Tabla 33: Aforo vehicular en las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis

Av. Guillermo Beltrán – San Luis					
Día	Hora	Público y privado			
		L	M	P	
Lunes	Mañana	6:00 am – 7:00am	316	232	31
	Tarde	12:00pm – 1:00pm	422	296	48
	Noche	6:00pm – 7:00pm	386	224	38
Miércoles	Mañana	6:00 am – 7:00am	281	217	43
	Tarde	12:00pm – 1:00pm	399	278	51
	Noche	6:00pm – 7:00pm	365	263	42
Viernes	Mañana	6:00 am – 7:00am	327	255	51
	Tarde	12:00pm – 1:00pm	419	312	40
	Noche	6:00pm – 7:00pm	402	293	35
Total			3.317	2.370	379

Fuente: Elaboración propia

Referencia: L=Vehículos livianos, M= Vehículos medianos, P= Vehículos pesados

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El pavimento flexible en estudio evaluado mediante el método del PCI se encuentra en condiciones óptimas a nivel promedio con un índice numérico de 88,27 % que proyectado en el rango de calificación de la norma ASTM D6433-03, se encuentra en el intervalo (85–100%) el cual lo califica como Excelente.
- En todo el tramo se tiene un IRI=1,68 m/km que se encuentra dentro del rango de (0,0 – 2,0 m/km) con clasificación “Excelente”.
- Para la obtención del índice de serviciabilidad (PSI) según las ecuaciones propuestas, dio como resultado un PSI= 3,60, calificando así al pavimento como “Muy Bueno”.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento flexible está estructuralmente en buenas condiciones y con capacidad suficiente de seguir resistiendo las cargas de tránsito solicitadas ya que los resultados se encuentran dentro de los rangos aceptables.
- La evaluación del deterioro superficial y estructural de un pavimento flexible depende mucho de la capacidad del evaluador ya que para realizar una evaluación efectiva se tiene que tener conocimiento acerca de los ensayos y métodos de evaluación.
- Hay que hacer notar la gran importancia que tienen los sistemas de evaluación y mantenimientos rutinarios en las vías, ya que estos ayudan a prevenir y mantener nuestras vías en buen estado y así lograr que estas cumplan su ciclo de vida útil, ofreciendo al usuario comodidad, confort y seguridad en su desplazamiento por las mismas evitando elevados gastos en la rehabilitación o llegando al extremo a la reconstrucción.
- El apoyo de los laboratorios y personal capacitado de la UAJMS fueron primordiales a la hora de realizar la evaluación de dicho tramo, ya que se cuenta con todo los equipos y apoyo técnico para realizar una evaluación de un pavimento en nuestra superior casa de estudio.

- Para realizar el mantenimiento adecuado se realizó un presupuesto, un análisis de los precios unitarios y costos de reparación del tramo.
- Se finalizó exitosamente el estudio superficial y estructural de las avenidas Guillermo Beltrán – San Luis, llegando a la conclusión de que ésta se encuentra en condiciones aceptables de transitabilidad. En la clasificación que relaciona las metodologías empleadas en el proyecto, lo ubica como un tramo pavimentado en estado EXCELENTE.
- Al realizar el presente trabajo se pudo aprender el procedimiento correcto para aplicar los métodos de evaluación y servirá como referencia para las personas interesadas en el área.

5.2. Recomendaciones

- Contar con una capacitación intensiva, teórica y práctica sobre la manipulación de los equipos requeridos para dicha evaluación, como también los procedimientos de medición y cálculos establecidos, con la finalidad de evitar contratiempos no programados y así lograr obtener los resultados más satisfactorios posibles.
- Al momento de ir a realizar las mediciones se deben llevar implementos de seguridad, como casco y chaleco vistoso fluorescente.
- Se recomienda realizar una limpieza de escombros que se encuentran a lo largo del tramo, ya que está reduciendo el ancho de vía y es muy peligroso para la circulación vehicular.
- Se recomienda realizar la limpieza de cunetas y alcantarillas de la avenida colindante al área de trabajo de estudio, para evacuar aguas superficiales en temporadas de lluvia.
- Se recomienda, realizar el mantenimiento rutinario y preventivo en los tramos, que presenta deterioros como los hundimientos, depresiones, huecos, grietas de borde, longitudinal y transversal.
- El caso de las grietas, se debe proceder a un resellado de grietas.
- Se recomienda de realizar trabajos de mantenimiento preventivo, también sería recomendable proyectar más puntos de desalojo de aguas pluviales, sobre las áreas o puntos críticos del tramo.

- Se recomienda realizar un aforo para identificar la carga vehicular que transita sobre la vía evaluada y obtener resultados más precisos y actuales para encontrar un espesor óptimo y que se ajuste a la realidad actual.