

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La evaluación es una primera aproximación al problema que presentan los pavimentos que están deteriorados y que no ofrecen las condiciones de comodidad y confort adecuadas para el usuario, siendo un aporte a los sistemas de conservación de pavimentos, ya que generalmente no se sabe porque se produce un estado de falla o el apareamiento de un defecto, lo que hace que la obra de mantenimiento o de conservación no sea el adecuado y vuelva a aparecer el defecto sin explicación alguna.

La realización de una evaluación de un pavimento flexible implica la observación y cuantificación de las características superficiales y estructurales del pavimento (paquete estructural), desde el momento que el pavimento se pone en servicio.

Este tipo de evaluaciones debe basarse en:

- Evaluar objetivamente y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- Utilizar métodos y equipos adecuados para realizar la evaluación.
- Evaluar las deflexiones a lo largo del tramo, verificando si supera la deflexión admisible.

El desarrollo del trabajo consiste en dar una introducción al tema de las fallas y deterioros en pavimentos flexibles, indicando sus características, exigencias, prioridades, esfuerzos a los que se ven solicitados tanto por defecto del tránsito, como por el ambiente, todo esto para determinar los posibles agentes patógenos que pueden afectar el comportamiento de los pavimentos, estos agentes son diferenciables en endógenos y exógenos para poder determinar la naturaleza de la falla.

Una de las grandes preocupaciones de los administradores e ingenieros de infraestructura vial es el mantenimiento de los pavimentos. La preservación del valor del patrimonio de las áreas pavimentadas depende, fundamentalmente, del mantenimiento de rutina.

Los pavimentos en buenas condiciones proporcionan además de menores costos, mayor seguridad a los usuarios, a conservación y restauración es un factor importante a ser considerado. La falta de mantenimiento significa desperdiciar inversiones realizadas anteriormente. El mantenimiento de pavimentos equivale a un costo de conservación, el gasto realizado para el mantenimiento de pavimentos a lo largo del tiempo, será compensado, pues, la no conservación de ellos trae consigo costos mayores que muchas veces no pueden ser considerados en las inversiones anuales, para que los pavimentos de una carretera o vía puedan funcionar de forma segura, suave y sin que ocurra fenómenos inadecuados en la interacción movilidad/pavimento.

A lo largo de la vida útil de un pavimento se van presentando distintos grados de deterioro debido a múltiples causas, principalmente a la acción del tránsito y a las condiciones climáticas entre otros, lo que hace necesario llevar a cabo trabajos de conservación con el fin de mantener en buen estado tanto la superficie de rodamiento como la capacidad estructural para la que fue diseñado, minimizando los sobrecostos de operación en los que incurriría el transporte al transitar por carreteras en mal estado superficial.

Los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura, frecuentemente corresponde a problemas constructivos y difícilmente se pueden clasificar como deterioros.

La estrategia de conservación, constituye una parte integral en el diseño de pavimento, que en ningún caso puede obviarse.

Este trabajo está destinado a realizar dicha evaluación del pavimento flexible en el tramo TOMATITAS– LA VICTORIA.

1.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Se define al pavimento como la estructura formada por varias capas superpuestas, relativamente horizontales, de varios centímetros de espesor y distinto materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas de apoyan sobre la subrasante o terreno natural, la cual ha de soportar las cargas ocasionadas por el tráfico.

También se puede definir como un conjunto de materiales seleccionados que reciben en diferente grado la carga de los vehículos que transitan y las transmiten a las capas inferiores distribuyéndolas con uniformidad.

Los pavimentos están clasificados de acuerdo a las características de su capa superficial o capa de rodadura, teniéndose los siguientes:

- Pavimento rígido
- Pavimento flexible
- Pavimento mixto

Componentes:

Los pavimentos flexibles están conformados por las siguientes capas:

La **Subrasante** o terreno de fundación es la capa o asiento sobre la que está apoyado todo el pavimento cuyo espesor depende precisamente de las características físico-mecánicas que tiene la capa subrasante.

La **Sub base** es la capa de material que se construye directamente sobre la subrasante y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la mayoría de los casos de depósitos cercanos a la obra.

La **Base** es la capa de material que se construye sobre la sub base, en caso de ausencia de esta, sobre la subrasante llamada también terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub base.

La **Carpeta asfáltica**, que constituye la capa de rodadura, es de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base y soporta directamente las solicitaciones del tráfico.

La infraestructura vial es un componente de gran importancia dentro del patrimonio de una nación, considerando su vinculación directa con el desarrollo social y económico, pues permite la comunicación e interrelación entre centros poblados, así como el intercambio de bienes y servicios.

En este orden de ideas, la estructura de pavimento -como parte de la infraestructura vial- juega un papel preponderante, ya que su objetivo es ofrecer a los usuarios un rodaje cómodo, seguro y económico.

El pavimento es una de las pocas estructuras civiles que tiene un período de diseño finito, por lo que su falla está prevista al término de ésta. Esto significa que durante el período de vida de una estructura de pavimento, la misma iniciará un proceso de deterioro tal que al final de su vida útil manifestará un conjunto de fallas que reducirán su calidad de rodaje y en definitiva incrementarán los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento por parte de Agencia responsable.

La calidad del pavimento se analiza determinando la regularidad superficial, que tiene que ver con las irregularidades verticales acumuladas a lo largo de un km, con respecto a un plano horizontal en un pavimento. Estas se deben principalmente a dos causas: la primera, al procedimiento constructivo, y la segunda al daño producido a la carretera misma por el tránsito vehicular. En ocasiones, dichas irregularidades son una combinación de ambas: así por ejemplo, las diferentes capas que constituyen un pavimento suelen presentar afectaciones debido a asentamientos o acomodos de los materiales que las constituyen, y son función de las cargas que circulan por el pavimento. También pueden tener su origen en un deficiente proceso constructivo.

Independientemente del proceso de deterioro “natural” en toda estructura de pavimento, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación de las mismas, prácticamente desde el inicio de su período de diseño, con el objeto de reducir el impacto que las diferentes fallas pueden afectar a la estructura y de esta manera optimizar los recursos disponibles para una eventual rehabilitación, sin necesidad de ejecutar trabajos de reconstrucción de la estructura.

Cabe destacar, que en el proceso de deterioro de una estructura de pavimento, en especial del pavimento flexible, el tránsito o solicitaciones de carga representa una de las principales variables que inducen la fatiga de la estructura, es por ello que el presente Manual se inicia discutiendo los conceptos básicos referentes al análisis e interpretación de la información de tránsito. Seguidamente el Manual presenta una

descripción de las diferentes fallas que afectan al pavimento flexible, destacando sus orígenes, magnitud y severidad, para luego presentar y discutir uno de los indicadores para la evaluación de fallas presentes en el pavimento, como es el Índice de Condición del Pavimento (PCI) de uso reconocido a nivel internacional.

El momento en el cual se puede optimizar la inversión económica en trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, incrementando considerablemente su vida útil, es el objetivo primordial de la evaluación de todo pavimento en servicio.

Para ello existen principalmente dos tipos de evaluación de pavimentos. La primera de éstas corresponde a la evaluación superficial, la cual no es más que la ejecución de mediciones que permitan determinar las características superficiales del mismo, traducidas en parámetros como: textura, rugosidad, fricción, etc., que tienden a evaluar la calidad de rodaje del pavimento, la cual, a pesar de estar asociada con su capacidad estructural, no necesariamente es un indicativo de ésta, en vista que pueden existir sectores con buena calidad de rodaje y sin embargo poseer una estructura débil, que con el paso de la carga se fatigará y presentará un agrietamiento severo.

El segundo tipo de evaluación es la estructural, la cual permitirá medir distintos parámetros, tales como: fallas presentes en el pavimento, deflexión superficial, radio de curvatura del cuenco de deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura de pavimento, espesores de cada una, su condición, etc.

La evaluación de pavimentos es una tarea muy importante, que cada institución dedicada al mantenimiento y conservación de las vías (caminos, calles, autopistas) debe realizar, con el único propósito de detectar las posibles fallas o anomalías que pudiera presentar una determinada vía, para luego ser la mejor alternativa de solución en caso de necesitarla, de tal forma poder seguir dando una continuidad de operación a dicha vía.

Con el transcurso del tiempo y bajo la acción del tráfico, los pavimentos empiezan a presentar deterioros, aunque a menudo el origen de los daños aparentes está en defectos de ejecución.

Al estar en operación una obra vial, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van presentando al principio, pueden ser pequeños, pero con el transcurso del tiempo pueden ser la causa de problemas serios en la obra vial, que aceleren su falla, por lo que para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure la vida útil del proyecto.

En la literatura especializada de pavimentos, los fines didácticos perseguidos orientan el ordenamiento de los deterioros atendiendo a sus causas y origen, más que a los labores para su corrección. Los deterioros de pavimentos se han agrupado en tres grandes categorías: los de superficie, los de estructura y los que se encuentran su origen en la construcción. Los deterioros dentro de las grandes categorías se agrupan a su vez en las subcategorías de:

Los de superficie:

- Desprendimientos
- Alisamientos
- Exposición de agregados.
- Los de estructura:
 - Deformaciones
 - Agrietamientos.
 - Por defectos constructivos:
 - Instalaciones.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El problema que se trata en la presente evaluación, es el diagnóstico de deterioros y fallas que presenta el pavimento flexible. Debe tenerse en cuenta que el pavimento desde su puesta en servicio, va a sufrir el deterioro de sus características iniciales, a fin de poder prestar un servicio adecuado a los usuarios, resultan imprescindibles actuaciones de conservación.

En este sentido, se planteó aplicar métodos de evaluación “no destructivos”, con la finalidad de cuantificar las fallas y niveles de deterioro que presenta el tramo de estudio.

El tramo Tomatitas – La Victoria, es de vital importancia; debido al flujo vehicular que transita por la zona, mas referida al sector productivo del agro en la región de Tarija y al turismo. Debido a la incidencia del tráfico pesado en la zona es preciso realizar una evaluación periódica a la vía para plantear alternativas de mantenimiento y conservación.

El tema de mantenimiento de carreteras departamentales y urbanas es un trabajo que no se lo puede obviar ya que éste proporciona al usuario entre muchas cosas seguridad, confort, velocidad, reduce el desgaste de vehículos, etc. Para esto es de vital importancia hacer una evaluación de los mismos, la cual nos puede mostrar el estado actual de la vía; para así planificar el tipo de mantenimiento. Este es un tema que necesariamente se lo debe efectuar por el hecho que dejarlo al margen, a largo plazo podría acarrear serios daños al pavimento lo cual significaría mayor costo en cuanto a la conservación se refiere.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Situación problemática

En el transcurso de la vida útil del pavimento se van presentando distintos grados de deterioro y fallas debido a múltiples causas; principalmente a la acción del tránsito y a las condiciones climáticas, entre otros; lo que hace necesario llevar a cabo trabajos de conservación con el fin de mantener en buen estado tanto la superficie de rodamiento como la capacidad estructural para lo cual fue diseñado.

En el tramo vial Tomatitas – La Victoria; la vía presenta una serie de fallas y deterioro en gran parte de su recorrido. Se encuentra en una región húmeda de vegetación abundante, de terreno expansivo con presencia de materia orgánica.

Los defectos que presenta un pavimento disminuyen la comodidad del usuario y la vida de servicio, que frecuentemente se deben a defectos constructivos y en algunos casos a deterioro por el tránsito vehicular.

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

Problema

¿De qué manera una evaluación en el pavimento flexible puede cuantificar las fallas estructurales y nivel de deterioro que presenta el mismo, para brindar soluciones alternativas?

1.5 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo Tomatitas – La Victoria; para plantear alternativas de solución para un mantenimiento adecuado.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar el deterioro físico del pavimento flexible.
- Clasificar las patologías que se presentan en el pavimento flexible de acuerdo a la gravedad de las mismas.
- Analizar el estado del pavimento flexible mediante la tipología, evaluación de patologías.
- Aplicar la metodología de Índice de Condición de Pavimento en el tramo de estudio
- Determinar las deflexiones en el pavimento flexible mediante la Viga de Benkelman.
- Determinar la deflexión admisible del tramo de estudio.
- Comparar las deflexiones medidas con la deflexión admisible.

1.6 HIPÓTESIS

Si se realiza la evaluación de las fallas de índole estructural y superficial, a lo largo de un tramo, se podrá determinar el estado actual de la vía; en base a indicadores de condición de pavimento y deflexión del pavimento; después de un periodo de funcionamiento; para su posterior tratamiento, mejoramiento y/o mantenimiento.

1.6.1 Definición de variables

Variables independientes:

- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)
- Método de deflexiones Viga de Benkelman

Variables dependientes:

- Evaluación Superficial
- Evaluación Estructural

1.6.2 Conceptualización y operacionalidad de variables

Variables independientes:

- PCI: (Pavement Condition index). El método determina el Índice de Condición del Pavimento en base a información obtenida de una inspección visual. Este índice ayuda al ingeniero en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación. Es un número que viene dado en función a tipo de falla, severidad de las fallas y la densidad de las mismas en porcentaje por m².
- Método de deflexiones Viga de Benkelman. En pavimentos flexibles la Viga Benkelman no mide la deformación en forma directa, sino a través de la recuperación que experimenta el pavimento durante el proceso de descarga, cuando el camión se desplaza hacia delante. Para pavimentos flexibles se utiliza el Modelo Matemático de Hogg, teniendo presente el concepto de la Deflexión Admisible.

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Evaluación Superficial – Estructural. La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

VARIABLES INDEPENDIENTES:

Cuadro 1.1: Operacionalidad de variables independientes

Variable normal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración teórica
Método Índice de Condición de Pavimento	El Índice de Pavimentos, es un valor que define la evaluación operacional de una sección de pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> -Tipo de falla -Severidad de la falla -Densidad de las fallas 	Clasificación de PCI	Coeficiente adimensional Rangos PCI 100 – 85 excelente 85 – 70 muy bueno 70 – 55 bueno 55 – 40 regular 40 – 25 malo 25 – 10 muy malo 10 – 0 pésimo
Método de deflexiones	Permite conocer el estado estructural del pavimento mediante las deflexiones producidas por una carga móvil a lo largo del tramo en observación.	Tipo de evaluación no destructiva	Recuperación del pavimento después de una carga aplicada	Comparación de las deflexiones del tramo en estudio y la deflexión admisible

Fuente: Elaboración propia

Variables dependientes:

Cuadro 1.2: Operacionalidad de variables dependientes

Variable normal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración teórica
Evaluación Superficial	Es la clasificación visual realizada al deterioro a lo largo de la vía; para lo cual es recomendable dividir en secciones parciales de aproximadamente 200 m ² .	Valoración cualitativa	Valoración Cuantativa	ASTM D6433-03
Evaluación Estructural	Es un método no destructivo de evaluación estructural	Lectura in situ	Deflexiones Radio de curvatura	ASTM D4995-03

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS

Se define al pavimento como la estructura formada por varias capas superpuestas, relativamente horizontales, de varios centímetros de espesor y distintos materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante o terreno natural, la cual ha de soportar las cargas ocasionadas por el tráfico.

También se puede definir como un conjunto de materiales seleccionados que reciben en diferente grado la carga de los vehículos que transitan y las transmiten a las capas inferiores distribuyéndolas con uniformidad.

Según AASHTO (1993) existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del Usuario.

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

Los pavimentos están clasificados de acuerdo a las características de su capa superficial o capa de rodadura, teniéndose los siguientes:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento mixto
- Pavimento articulado

2.1.1 Pavimento flexible

Pavimentos flexibles se denominan los que la estructura total del pavimento se deflecta o flexiona, un pavimento flexible se adapta a las cargas. Este tipo de pavimentos son de amplio uso en zonas de tráfico.

La estructura de **pavimento flexible** está compuesta por varias capas de material. 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 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.

a) 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. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 a 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil o de servicio. 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.

b) Componentes

Los pavimentos flexibles están conformados por las siguientes capas:

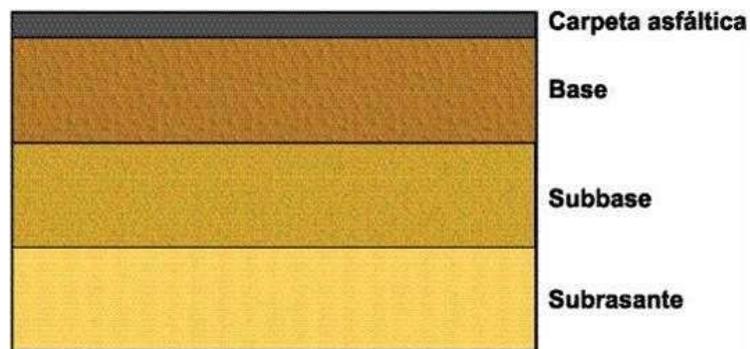
La **Subrasante** o terreno de fundación es la capa o asiento sobre la que está apoyado todo el pavimento cuyo espesor depende precisamente de las características físico-mecánicas que tiene la capa subrasante.

La **Sub base** es la capa de material que se construye directamente sobre la subrasante y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la mayoría de los casos de depósitos cercanos a la obra.

La **Base** es la capa de material que se construye sobre la sub base, en caso de ausencia de esta, sobre la subrasante llamada también terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub base.

La **Carpeta Asfáltica**, que constituye la capa de rodadura, es de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base y soporta directamente las solicitaciones del tráfico.

Figura 2.1: Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible



Fuente: GP Maintenance Solutions “Asphalt Repair & Maintenance”

En la figura anterior, se presenta, solamente, la sección típica más utilizada de un pavimento flexible, pero, esto no quiere decir que sea la única alternativa. Asimismo, dependiendo de la calidad de, suelo de la subrasante, puede decidirse no disponer de una subrasante mejorada o también, es posible disponer solo de la capa base, etc.

c) Características y propiedades del pavimento flexible

Los pavimentos flexibles reciben esa denominación porque entre sus características son estructuras con capacidad de deformarse sin romperse desde las capas inferiores hasta la capa de rodadura dentro de los límites de esfuerzo a lo que es sometida.

Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base granular y de la capa sub-base. Las cuales permiten:

- Resistencia al deslizamiento
- Regularidad superficial

- Permeabilidad
- Drenabilidad
- Resistencia a la rodadura
- Color y propiedades ópticas reflexivas
- Resistencia al ataque de aceites y combustibles
- Limpieza

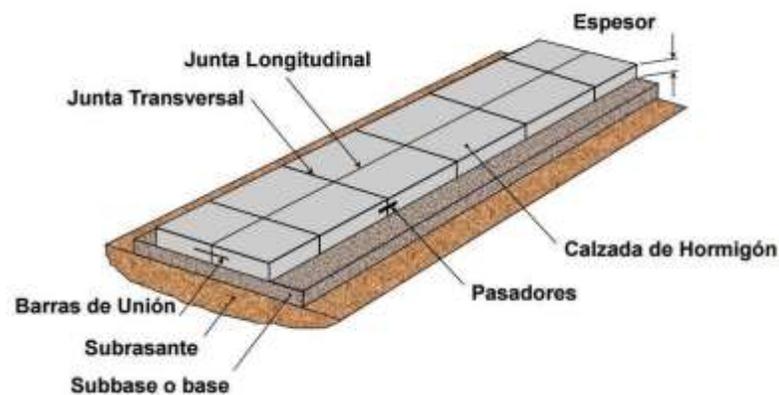
Con lo cual se obtiene seguridad y comodidad.

2.1.2 Pavimento rígido

Llamado también pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto que algunas veces presentan acero de refuerzo, esta losa va sobre una base granular y sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores.

El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de losas.

Figura 2.2: Esquema típico del paquete estructural de un pavimento rígido.



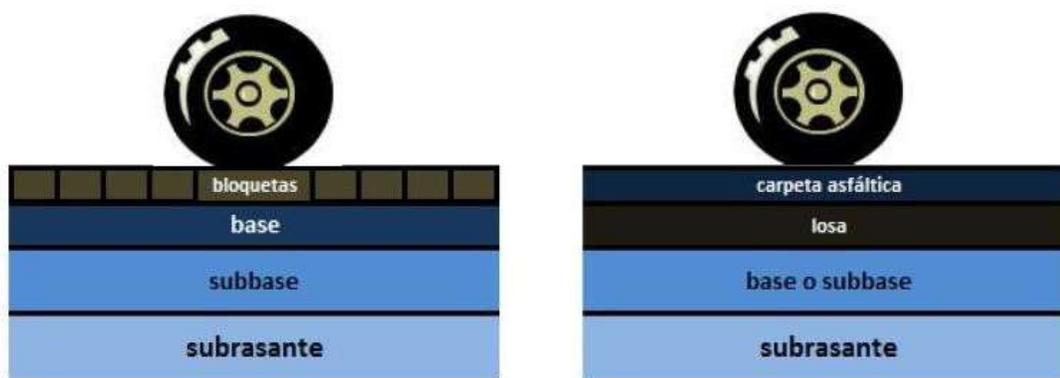
Fuente: American Concrete Pavement Association (ACPA)

2.1.3 Pavimento mixto

Llamado también pavimento híbrido, es una combinación de flexible y rígido, se colocan bloques de concreto prefabricado en lugar de la carpeta asfáltica. El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que los bloques producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

Otro tipo de pavimentos mixtos son aquellos pavimentos de superficie asfáltica construidos sobre pavimento rígido. Este pavimento, trae consigo un tipo particular de falla, llamada fisura de reflexión de junta.

Figura 2.3: Esquema típico del paquete estructural de pavimentos mixtos



Fuente: Cálculo del Índice de Condición de Pavimento Flexible. Rodríguez Velásquez, E. (2009)

2.1.4 Pavimento articulado

Los caminos empedrados son muy comunes en los países andinos, especialmente en Bolivia, donde su aplicación es generalizada, especialmente en aquellos caminos que sirven fundamentalmente a comunidades rurales.

Este tipo de pavimento flexible, consiste en la colocación de una carpeta asfáltica, sobre una base de piedra. En nuestra ciudad se vienen ejecutando aproximadamente desde el año 1990, debido a su economía de construcción a comparación de un pavimento flexible con las bases granulares.

Estos sistemas constructivos emplean una gran cantidad de mano de obra, especialmente no calificada, lo que garantiza el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes, quienes son contratados como parte de las cuadrillas de construcción, con la consecuente transferencia de tecnología y conocimiento, así como el mejoramiento de los niveles de ingreso por las remuneraciones que reciben.

Está conformado por dos capas, la base y la carpeta asfáltica, como capa de rodadura, la base está compuesta por el empedrado, y la de rodadura es una carpeta asfáltica.

Condiciones técnicas:

El pavimento articulado presenta como principales generalidades las siguientes:

- Es un pavimento flexible
- No es monolítico
- La fricción entre las piedras, ayuda a soportar la carga que transmiten las llantas a la rodadura (necesidad de rellenar las juntas);
- No existe un método de diseño científico;
- La experiencia de las comunidades es importante en la construcción;
- Se utiliza en caminos de tráfico promedio diario (TPD) no mayor a 200 vehículos, con un componente de hasta 30% de camiones y autobuses; puede emplearse en caminos con tráfico de hasta 250 vehículos diarios, cuando se tenga la certeza que no solo circularán vehículos de más de 10 tn.

Pese a que se considera al empedrado como un pavimento flexible, pues se acomoda de acuerdo a las deformaciones que presenta la subrasante, ninguno de los métodos de diseño de pavimentos flexibles se adapta o puede ser aplicado rigurosamente, ya que su comportamiento es distinto. Las deformaciones plásticas o permanentes, que en cualquier pavimento flexible produciría grietas, en los empedrados producen ondulaciones, fenómeno que se mantiene inalterable mientras la ondulación permite un reacomodamiento de las piedras a los nuevos niveles que el tráfico va definiendo.

La experiencia con empedrados existentes, demuestra que las ondulaciones presentadas, no disminuyen sensiblemente el nivel de servicio original luego de 30 o

40 años de servicio del camino. Existen varios factores que inciden en la duración de los pavimentos articulados, estos factores principalmente son: la calidad de la subrasante o suelo de soporte o cimentación del empedrado, la calidad de la piedra, la buena ejecución del empedrado, la eficiencia del drenaje superficial, la cantidad y distribución del tráfico y un plan adecuado de conservación y mantenimiento.

Debido a que los empedrados se los construye directamente sobre la subrasante o suelo natural, la selección de una adecuada subrasante es tan importante como la ejecución en sí del empedrado, ya que para la ejecución de este tipo de rodadura no se prevé la colocación de capas de mejoramiento o material granular.

Los suelos que prestan mejores condiciones para la ejecución de empedrados son los limos, limos arcillosos o arcillas de baja compresibilidad. Estos son suelos con baja sensibilidad, lo que garantiza la duración del empedrado en épocas invernales. Estos suelos deben poseer características adecuadas de soporte, medidas con indicadores de resistencia del suelo como el CBR (California Bearing Ratio).

La piedra es el material principal para la ejecución de estos trabajos, por lo que la identificación de minas o fuentes de materiales adecuadas a una distancia aceptable del centro de gravedad del proyecto garantiza el éxito del trabajo con un buen estándar económico.

El mejor material se lo puede obtener en terrazas aluviales, localizadas a lo largo de las orillas de los ríos, en estos sitios se depositan grandes cantidades de cantos rodados, ahí la explotación se la puede realizar inclusive manualmente, obteniendo la máxima eficiencia en la explotación, además de lograr una altísima ocupación de mano de obra.

Esta superficie, al estar constituida de cantos rodados o piedra partida, debe cumplir condiciones mínimas que garanticen la eficiencia del empedrado. Las principales características físico – mecánicas del canto rodado o piedra son:

Cuadro 2.1: Características físico – mecánicas del material de empedrado

Características	Valor requerido
Pérdida por abrasión en maquina de los Angeles (500 revoluciones)	< = 40%
Pérdida de peso mediante ensayo de durabilidad luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio	< = 12%
Densidad mínima	2,3 gr/cm ³
Diámetro mínimo para empedrado	8 cm
Diámetro máximo para empedrado	12 cm
Diámetro mínimo para maestra o cordones maestros	12 cm
Diámetro máximo para maestra o cordones maestros	15 cm

Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados.

Debido a la necesidad de contar con subrasantes adecuadas y un diseño geométrico del camino que garanticen una adecuada funcionalidad, se establecen las siguientes características:

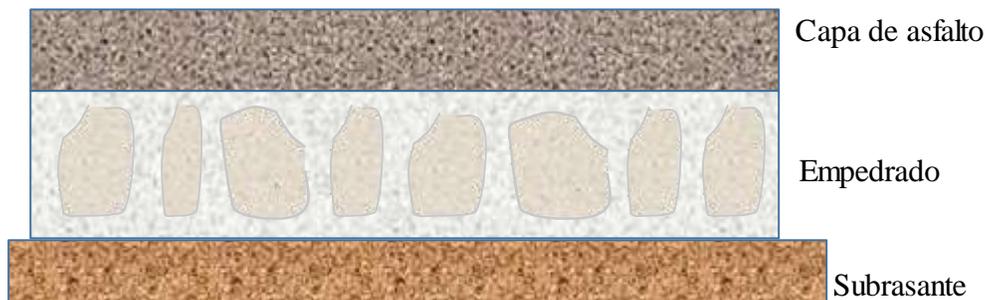
Cuadro 2.2: Características técnicas de la subrasante y del diseño geométrico

Características	Valor requerido
Tipo de suelo clasificación SUCS	ML o CL
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A4 o A6
CBR mínimo	6%
CBR recomendado	8 %

% de comactación de la subrasante luego de la re conformación (relación a proctor modificado)	$\geq 95\%$
Bombeo de calzada	3 – 4%
Gradiente longitudinal mínima	0,5%
Gradiente longitudinal máxima	15%
Máximo longitud de tramo con pendiente $\geq 15\%$	500 m

Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados.

Figura 2.4: Perfil Transversal de pavimento articulado



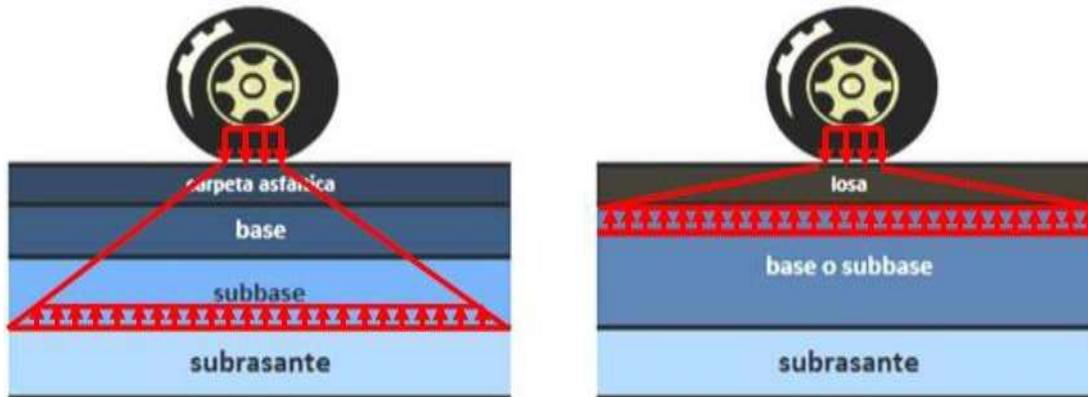
Fuente: Elaboración propia

2.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS

Desde el punto de vista de diseño; los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema; los pavimentos rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas.

Figura 2.5: Comportamiento estructural de los pavimentos flexible y rígido



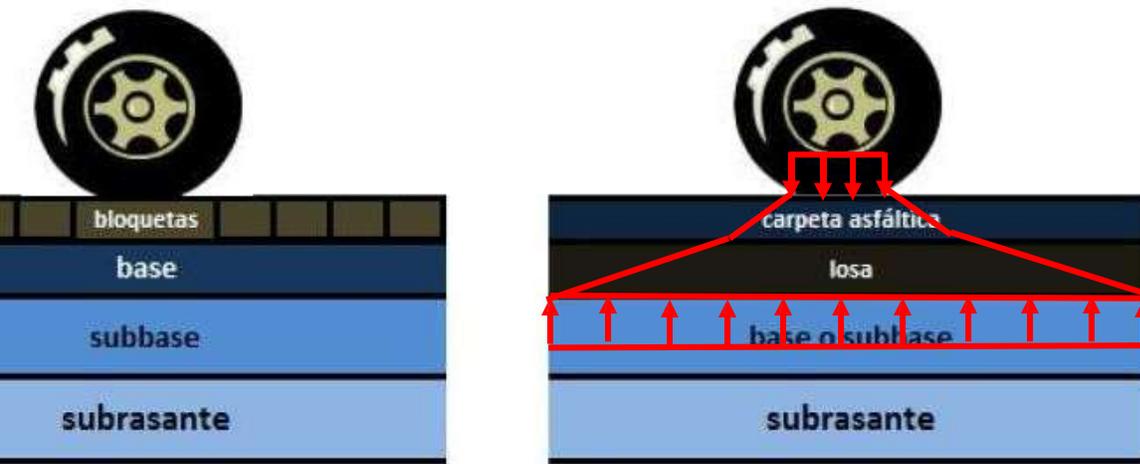
Fuente: Cálculo del Índice de Condición de Pavimento Flexible. Rodríguez Velásquez, E. (2009)

En un pavimento flexible las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores. Los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.

En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables. Las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Un factor que influye en el comportamiento de los pavimentos es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles, y el hecho que las cargas actuantes sean repetitivas afectan a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que en el caso de los pavimentos flexibles, este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas.

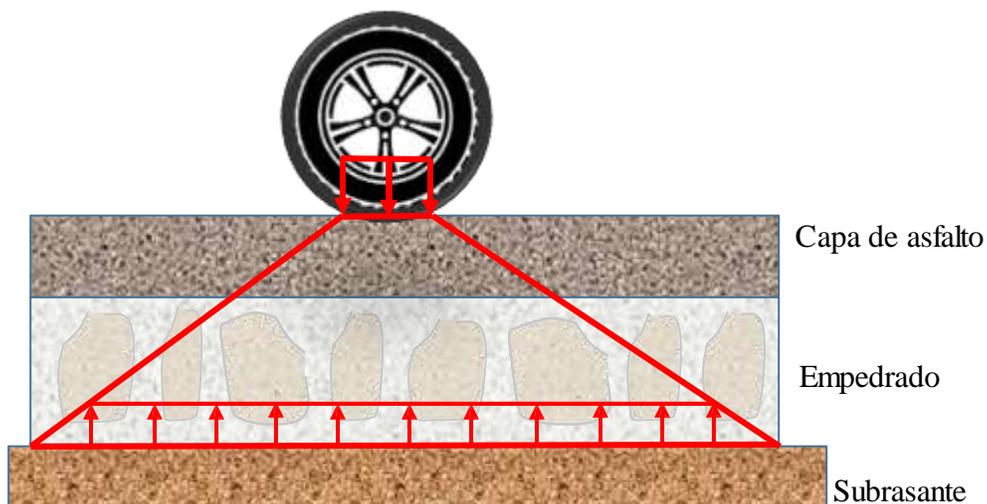
Figura 2.6: Comportamiento estructural de los pavimentos mixtos



Fuente: Cálculo del Índice de Condición de Pavimento Flexible. Rodríguez Velásquez, E. (2009)

En los pavimentos mixtos, la carpeta asfáltica es la que absorbe parte de la carga y la distribuye a la losa de concreto, la cual asume la totalidad de la carga y distribuyéndola uniformemente a las capas estructurales inferiores a la losa.

Figura 2.7: Comportamiento estructural de los pavimentos articulados



Fuente: Elaboración propia

Estructuralmente hablando, el pavimento articulado se comporta como un pavimento flexible, debido a que la capa de asfalto absorbe la carga y la transmite uniformemente a las capas inferiores; pero a cierto periodo de su vida útil, la estructura en sí disminuye la capacidad de recuperación tras las deformaciones plásticas lo que conlleva a producir ondulaciones a lo largo del tramo.

2.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

Existen dos tipos de evaluación de pavimentos:

- Evaluación Superficial
- Evaluación Estructural

2.3.1 Evaluación Superficial

Es el análisis o control de calidad en la capa de rodadura que puede ser de asfalto o de concreto, en este caso, de pavimento flexible. Este tipo de evaluación califica las deficiencias que tiene el pavimento en su parte superficial, lo que conlleva inspeccionar los defectos o fallas que se presentan. El proceso para la identificación de fallas se lo realiza a través de un registro de cuantificación de daños que tiene su categorización y clasificación que demostrará el estado real de la vía.

El trabajo de la evaluación superficial de un pavimento flexible, implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento, vale decir la capa asfáltica, desde el momento que este pavimento se pone en servicio.

Este tipo de evaluación debe basarse en:

- Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.

- Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

2.3.2 Evaluación Estructural

La evaluación estructural de los pavimentos trata de evaluar a todo el conjunto de las capas constituyentes del pavimento.

Las características estructurales de un pavimento flexible están relacionadas con los materiales empleados en las capas del firme o pavimento, y los respectivos espesores de estas capas.

Las diferentes deformaciones que pueden presentar estas capas, da lugar a discontinuidades de deformaciones en ellas, por lo que el proyecto o construcción de una capa ha de armonizarse con el de las restantes a fin de conseguir un buen comportamiento estructural conjunto.

Dicho lo anterior se puede decir que la evaluación estructural es el estudio del funcionamiento de las diferentes capas que componen el pavimento a causa del sometimiento de cargas a la que es expuesto. Aunque es difícil detectar a simple vista la falla del funcionamiento es posible obtener un resultado real de la vía a través del análisis de deflexiones. Los fenómenos de alabeo y la ondulación son una posible causa de que el pavimento esté sufriendo un mal estado estructural.

Dicha evaluación estructural se la realiza tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- Deflexiones de Benkelman
- Evaluación de materiales
- Número estructural
- Tránsito o tráfico vehicular
- Factor regional.

(En el presente trabajo se contempla la medición de la capacidad de recuperación del pavimento flexible, tras la solicitación de una carga, a partir la medición de las deflexiones).

2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

En la actualidad existen varios métodos para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible, en el presente proyecto haremos mayor énfasis en el método de Índice de Condición del Pavimento PCI.

2.4.1 Método de evaluación IRI Índice de Regularidad Internacional

El IRI es el Índice de Rugosidad Internacional, el cual es un método para el cálculo de las rugosidades en las carreteras, aplicado el método se puede conocer la comodidad del tránsito.

El grado de deterioro de la regularidad superficial, además de estar relacionado con la sección estructural, lo acelera al paso de los vehículos, ya que éstos aumentan la carga dinámica produciendo esfuerzos tangenciales y verticales.

2.4.1.1 Regularidad

La regularidad superficial se refiere a la aproximación del perfil real al teórico, aquel que en un vehículo en marcha no se produce aceleraciones verticales.

Las deformaciones que se presentan en la superficie del pavimento afectan la seguridad y comodidad del usuario, causando movimientos en el vehículo y aceleraciones verticales en los viajeros (cabeceos y balanceos) mientras mayor sea la velocidad; además de poder producir acumulaciones de agua superficial y originar hidroplaneo o producir peligrosidad al usuario que circula a alta velocidad, ya que los movimientos del vehículo pueden producir despliegues de la carretera, con la consiguiente pérdida de adherencia neumático - pavimento.

2.4.1.2 Índice de Regularidad Internacional

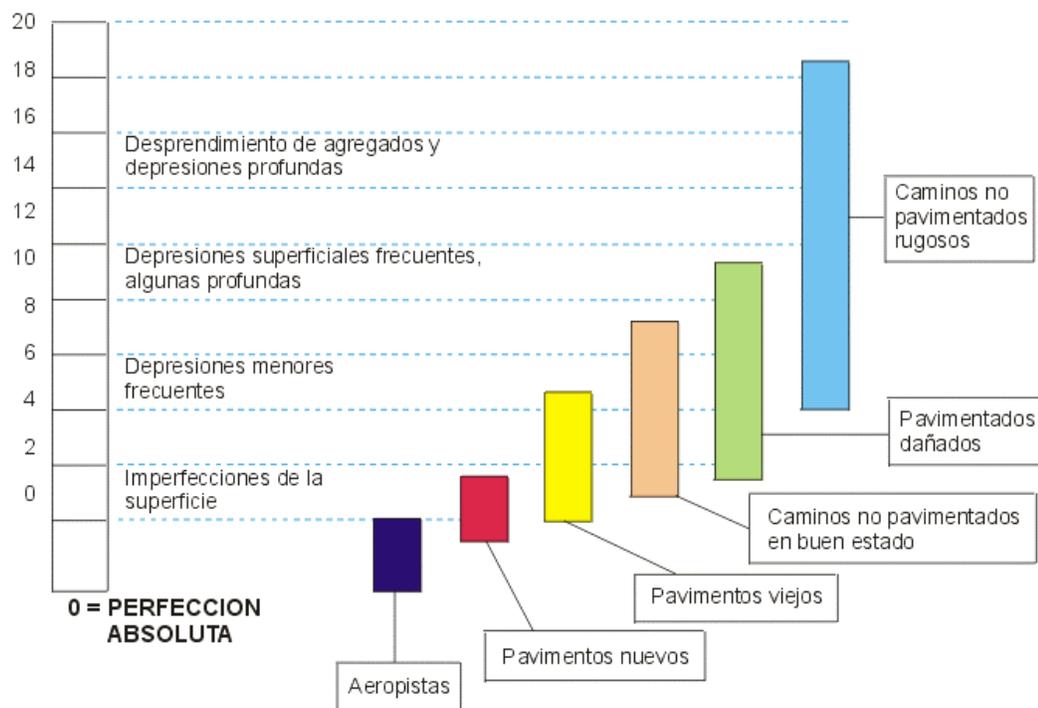
La irregularidad o rugosidad de la superficie de un camino refleja adecuadamente el grado de comodidad del tránsito; se ha desarrollado una gran variedad de equipos

para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), y fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986.

Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para no pavimentados la escala se puede extender hasta el valor 20. En el siguiente cuadro se presenta una clasificación que hace el Banco Mundial de las carreteras y aeropistas, dependiendo de los valores típicos del IRI, según las experiencias obtenidas en diversos países.

Cuadro 2.3: Escala de clasificación del IRI

IRI = (m/km = mm/m)



Fuente: Cuadro clasificador de Pavimentos. Banco Mundial

2.4.2 Método de evaluación PSI Índice de Serviciabilidad Presente

El PSI es el Índice de Servicio Presente es la comodidad de la condición del pavimento dentro de los límites prescritos como: muy bueno, bueno, regular, pobre y muy pobre, son las escalas de medida que dependerán del Índice de Rugosidad Internacional.

2.4.2.1 Serviciabilidad

El concepto de serviciabilidad se orienta a evaluar su capacidad de proporcionar, en opinión del usuario, una transitabilidad suave y confortable, siendo un indicador que permite evaluar la condición del pavimento en un determinado momento.

La serviciabilidad es la facultad de una sección específica del pavimento para servir al tráfico hasta sus condiciones finales. Hay dos procedimientos para determinar la serviciabilidad. Un método es usando el Índice de Servicio Presente (Present Serviciability Index, PSI) basado en la rugosidad y la condición del pavimento. El otro método es usando un índice de rugosidad basado sólo en la rugosidad.

El concepto serviciabilidad, fue desarrollado durante el AASHO Road Test (1957). La inclusión de la serviciabilidad como un factor de diseño de pavimentos fue un excelente aspecto del método de diseño AASHO.

2.4.2.2 Índice de Serviciabilidad Presente

Es una combinación matemática de valores obtenidos de ciertas dimensiones físicas como para predecir la condición de los pavimentos dentro de límites prescritos. Es una medida de la rugosidad superficial del pavimento y esta medida en una escala de 0 a 5, siendo 5 una superficie absolutamente liso. Este PSI es medido de la rugosidad en un momento particular durante la vida de servicio del pavimento.

Cuadro 2.4: Clasificación del PSI

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5,0 – 4,0	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos o casi nuevos son lo suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpetados durante el año de inspección se clasifican como muy buenos.
4,0 – 3,0	Buena	Los pavimentos de esta clase entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden comenzar a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.
3,0 – 2,0	Regular	En ésta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito.
2,0 – 1,0	Mala	Los pavimentos de esta categoría se han deteriorado al punto de afectar la velocidad de tránsito.
1,0 – 0,0	Muy Mala	Los pavimentos de ésta categoría se encuentran en una situación de extremo

		deterioro. Los caminos presentan velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.
--	--	---

Fuente: AASHO 1662

2.4.3 Método de evaluación PCI (Pavement Condition Index) Índice de Condición del Pavimento

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. por M.Y. Shahin y S.D. Khon y publicado en 1978; con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el departamento de defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación, conocida como procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El método 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.

El cálculo se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente.

Este método de evaluación superficial se caracteriza por no requerir ningún equipo especial o sofisticado para la evaluación; por suministrar información confiable sobre

las fallas que presenta el pavimento, su severidad y la condición final que éste presenta; por su empleo que no resulta ser complejo; porque es un método estándar y más detallado para evaluar pavimentos y por ser la base para determinar necesidades de mantenimiento o rehabilitación del pavimento.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas 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: el procedimiento es enteramente manual y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada.

En líneas generales el procedimiento consiste en dividir la vía en estudio en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodamiento, así por ejemplo en el caso de carreteras con capa de rodamiento asfáltica y ancho menor de 7.30 m. se tiene que el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango entre $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.

2.4.3.1 Índice de Condición del Pavimento

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

Esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado faldado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Cuadro 2.5: Escala de clasificación de PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno

70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Procedimiento estándar 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.

2.4.3.2 Procedimiento de medición del PCI

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican cuidadosamente los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. En la Tabla 2.1, se ilustra el formato adoptado para el presente trabajo, y una segunda etapa que será el cálculo.

Medio (M): las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; las elevaciones o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad.

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

a) Unidades de muestreo

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

Cuadro 2.6: Longitudes de unidades de muestreo

Ancho de calzada	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,00	46,00
5,50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30 (máx.)	31,50

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, Abril 2006.

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 $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud para el cálculo.

b) Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

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

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación líneas abajo, la cual produce un estimado del $PCI \pm 5$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{(N * \sigma^2)}{e^2}$$

$$4 * (N - 1) + \sigma^2$$

Donde:

n = Número mínimo de secciones a muestrear

N = Número total de secciones en el tramo en estudio (área total/área de sección)

e = Error admisible en la estimación del PCI, normalmente 5%

s = Desviación estándar del PCI entre las secciones medidas, normalmente se asume un valor de 10%, cuando no se conoce.

c) Selección de las unidades de muestreo para 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 siguiente ecuación:

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

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible

n = Número mínimo de unidades para evaluar

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

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

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

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

Para la evaluación del tramo Tomatitas – La Victoria, se consideró realizar la totalidad de las muestras debido a que las unidades de muestreo no eran significativas en relación a la longitud total del tramo.

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 del Manual de Daños, para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a) 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.

b) Procedimiento

Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

- 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.

c) Seguridad

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

2.4.3.3 Metodología para el cálculo del PCI

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

El cálculo del PCI debe realizarse con la información obtenida en la inspección de campo. El cálculo puede realizarse de manera manual o computarizada.

Paso 1. Determinación de los valores deducidos (VD):

1. a. Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlo en la columna TOTAL, del formato inventario de danos. El daño puede medirse en área, longitud o por numero según el tipo de falla.
1. b. Dividir la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo, y exprese el resultado como porcentaje, esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado dentro de la unidad de estudio.
1. c. Determinar el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante el uso de las curvas denominadas “Valor deducido del daño”.

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

2. a. Si ninguno o tan solo uno de los “Valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor deducido total” en lugar del mayor “Valor deducido corregido”, CDV, obtenido en la etapa 3. De lo contrario deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.
2. b Listar los valores deducidos individuales de mayor a menor.
2. c Determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1,00 + (100 - HDV_i)$$

Donde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos”.

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

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

Paso 3. Calculo del “máximo valor corregido”, CDV

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo.

3. a. Determinar el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.
3. b. Determinar el “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
3. c. Determinar el CDV con q y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al pavimento.
3. d. Reducir a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repetir las etapas 3.a a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
3. e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso.

Paso 4. Calcular el PCI de la unidad restando de 100 es máximo CDV obtenido en la etapa 3.

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

PCIs = PCI de la sección del pavimento

PCIR = PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas

PCIA = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

N = Número de unidades de muestreo en la sección

A = Número de unidades de muestreo adicionales

2.4.3.5 Criterios a considerar en la inspección de fallas

A continuación se detallan algunos criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

1. Si el agrietamiento tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurren en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.
2. Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.
3. El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.
4. Si una fisura no tiene un mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con diferente nivel de severidad debe ser registrada en forma separada. Sin embargo, si los diferentes niveles de severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.
5. Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, ésta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.
6. Se dice que una falla está desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

2.5 MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural de un pavimento consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – sub rasante en una estructura vial

existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para cuantificar y establecer las necesidades de refuerzo.

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

2.5.1. Evaluación estructural deflectométrica

Las medidas deflectométricas se han usado desde hace mucho tiempo para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, in situ. Este método usa la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento – sub rasante bajo una carga dada y nos proporcionan de información.

Para interpretar esta información en forma cuantitativa, en un pavimento flexible se compara al pavimento – sub rasante con un modelo matemático, utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema. Se puede decir que esta metodología es inversa al proceso de diseño, ya que utilizamos del sistema para establecer las carreteras estructurales.

Al realizar los ensayos en el mismo pavimento, esta metodología nos muestra el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas estructurales y sub rasante) y estos ensayos pueden ser realizados en cualquier momento de su vida, sin destruirla; siendo esta una de las características de la evaluación por métodos no destructivos.

2.5.2 Viga de Benkelman

Es un instrumento de ensayo que sirve para realizar ensayos con la aplicación de esta nos indica las deflexiones en carreteras, vías, etc. El cual está compuesta de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante esta soportada por tres apoyos

que descansan en la superficie del pavimento; la parte móvil, constituida por el brazo de medida está conectada a la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento, en el punto donde se requiere medir la deflexión. El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante. El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada “Constante de la Viga”.

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.

El Ensayo de la Viga de Benkelman, se encuentra normado por la ASTM D-4995-03.

2.5.3 Factores que influyen en las deflexiones

2.5.3.1 Cargas

La magnitud y duración de carga tiene una gran influencia en la deflexión del pavimento. Es deseable que el mecanismo de la evaluación no destructiva sea aplicando una carga en el pavimento similar a la actual carga de diseño. Aunque se pueda simular la magnitud de la carga de diseño, a veces no se puede con la duración o frecuencia.

2.5.3.2 Clima

La temperatura y la humedad son dos factores climáticos que afectan la deflexión del pavimento. En los pavimentos de asfalto las altas temperaturas producen que la carpeta de asfalto se ablande y se incremente la deflexión. En los pavimentos de concreto la gradiente térmica influye en la forma de cambio global significativamente en las deflexiones cerca de las juntas y fallas. Las medidas tienen variación si son medidas en la noche, temprano en la mañana o en la tarde.

2.5.3.3 Condición del pavimento

La condición del pavimento tiene un significativo efecto en las medidas de las deflexiones. En pavimentos de asfalto las deflexiones obtenidas en áreas con fallas y ahuellamientos son normalmente más altas que aquellos libres de esfuerzos. Para pavimentos de concreto las fallas en las juntas incrementan las mediciones de deflexiones. Las deflexiones tomadas cerca o encima de una alcantarilla pueden ser mucho más altas, y las secciones de los pavimentos en corte o en relleno pueden mostrar significativamente diferentes deflexiones. Estas condiciones deben ser consideradas cuidadosamente cuando se selecciona el lugar de evaluación.

2.5.4 Equipo y metodología para la medición de deflexiones

La metodología empleada en el presente capítulo está basada en la interpretación de curvas de deflexiones medidas con la Viga Benkelman.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 8, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

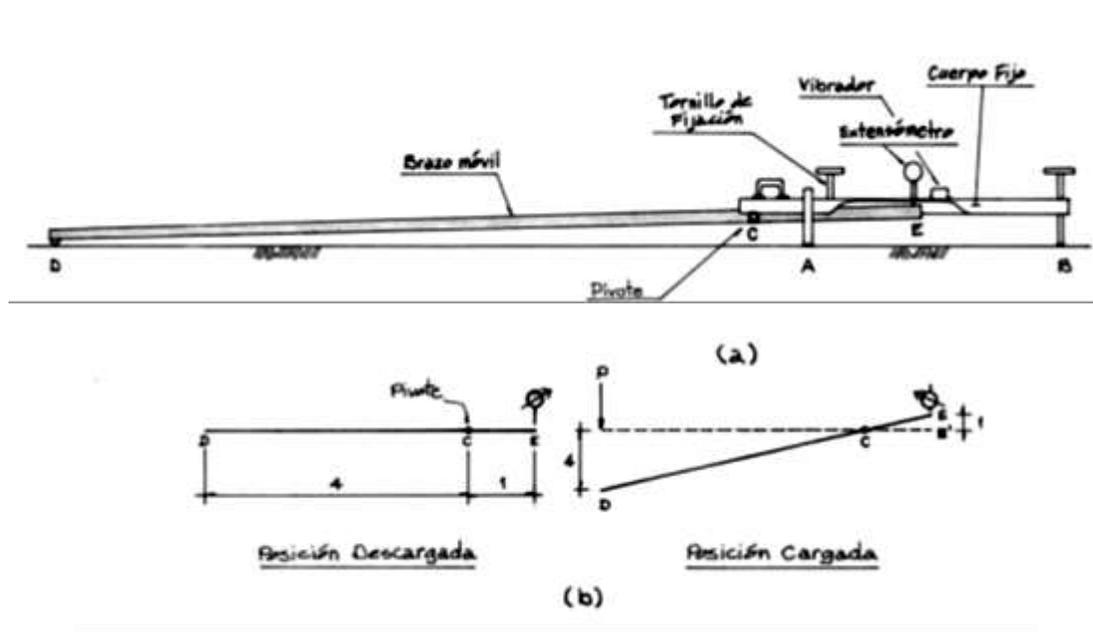
Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB,

determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

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

Figura 2.8: Esquema y principio de operación de la Viga de Benkelman

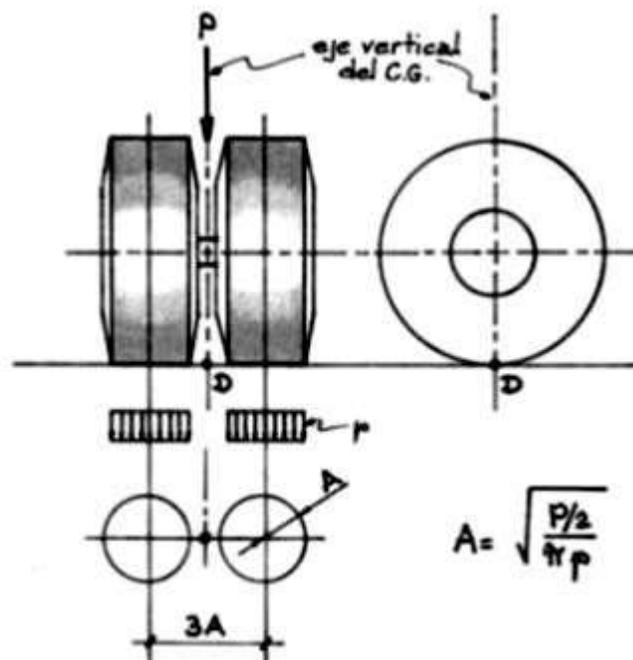


Fuente: Medición de deflexiones de Viga de Benkelman ASTM D4596-03

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión y presión de inflado de 5.6 kg/cm² (80 lb/pulg²).

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (Ver figura 2.9).

Figura 2.9: Configuración geométrica del sistema de carga



Fuente: Medición de deflexiones de Viga de Benkelman ASTM D4596-03

Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado, registrando la lectura correspondiente del extensómetro

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable. También es

necesario registrar una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (Aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

2.5.4.1 Equipo requerido

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

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

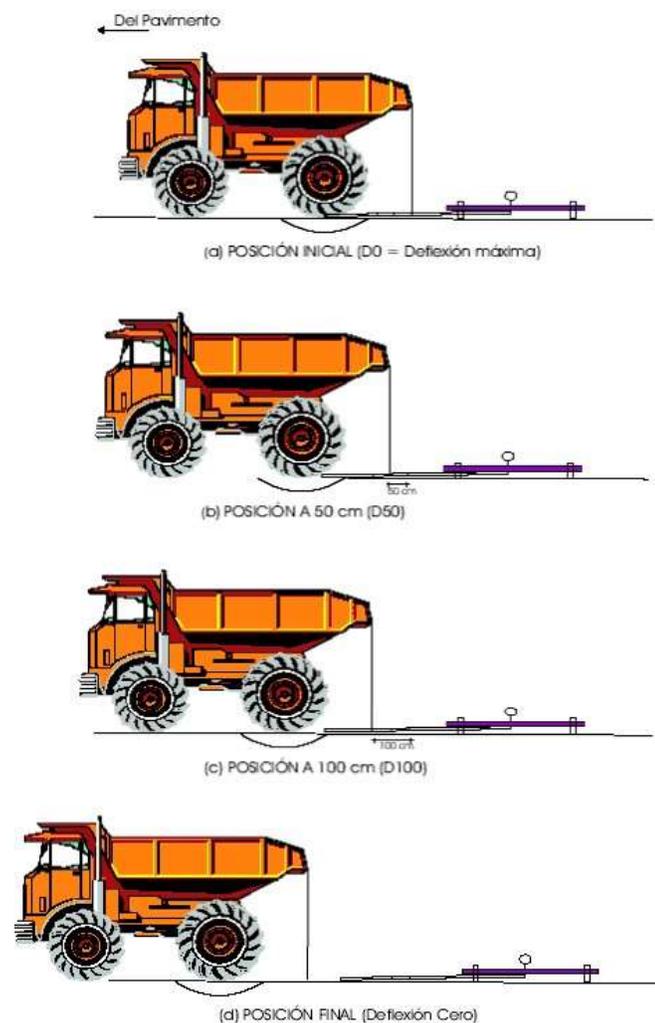
2.5.4.2 Procedimiento de la medición

- 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 de Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas (Ver figura 2.9).
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 0 200.
- 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, la velocidad recomendada es de 1cm/seg.

- Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0.25m. 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

En pavimentos flexibles la Viga de Benkelman no mide la deformación en forma directa, sino a través de la recuperación que experimenta el pavimento durante el proceso de descarga, cuando el camión se desplaza hacia delante (Ver Figura 2.10).

Figura 2.10: Esquema de aplicación de la Viga de Benkelman



Fuente: Evaluación Estructural de Fallas del Pavimento Flexible por el Método no Destructivo en la Carretera Puno – Ilave. Portillo, Guido

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas.

Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias de 50 metros, o a criterio del proyectista; de tal manera que los registros sean representativos de las condiciones generales del pavimento.

2.5.4.3 Metodología de cálculo

1. Cálculo de la deflexión máxima

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

Donde:

D_o = Deflexión máxima

K = Constante de la Viga de Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración ($k=1$)

L_o = Lectura inicial

L_f = Lectura final

2. Deflexión media a la distancia

$$D_{25} = K(L_{25} - L_f)$$

Donde:

D_{25} = Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0.25 m)

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

L_{25} = Lectura a 0.25m de la posición inicial

L_f = Lectura final

3. Corrección por temperatura

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

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

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

Donde:

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

D_t = Deflexión a la temperatura t

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

t = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e = Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

4. Corrección por estacionalidad

La correcta medición de las deflexiones debería ser en época de lluvias, puesto que el grado de saturación de los suelos tiene influencia directa en la deformación de los suelos, si los ensayos se realizan en época seca deben ser corregidos para simular tal condición. Para fines prácticos se recomienda el uso de los siguientes factores de corrección que dependen del tipo de suelo de subrasante y la época del año en el que se realiza el ensayo.

Cuadro 2.7: Coeficientes de estacionalidad

Naturaleza del suelo de la subrasante	Lluvias	Intermedio	Seco
Suelos arenosos y permeables	1,00	1,00 a 1,10	1,10 a 1,30
Suelos arcillosos e impermeables	1,00	1,30 a 1,50	1,50 a 1,80

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras. Alfonso Montejo Fonseca

5. 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.

$$R_c = \frac{6250}{K * (D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R_c = Radio de curvatura (m)

D_0 = Deflexión máxima corregida

D_{25} = Deflexión a 0.25 m corregida

e = Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

6. Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la deflexión admisible se calcula por medio del criterio de Yang H. Huang:

$$\sigma_{adm} = 26,32202 * N^{-0,2438}$$

Donde:

σ_{adm} = Deflexión admisible (mm)

N = Número total de ejes equivalentes a 8.2 Ton (18000Lb)

El pavimento sujeto a evaluación tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia de la subrasante, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

$$D_o < D_{adm}$$

El comportamiento del pavimento evaluado o sometido a evaluación se podrá calificar como satisfactorio siempre que se cumpla que:

- a) Los valores de radio de curvatura calculados son mayores de 100 m

$$R_c > 100m$$

- b) El radio de curvatura promedio está comprendido entre 100-500 m.

$$100 < R_c < 500$$

CAPÍTULO III

CÁLCULO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 ANTECEDENTES

El tema de la existencia y estado de las carreteras es uno de los problemas que está permanentemente presente en el diario vivir de las personas, tanto por la necesidad de traslado de personas por motivos laborales, educacionales, de esparcimiento o de acceso a establecimientos de salud, como por motivos productivos que implica la movilización de carga desde un origen productivo a o destino de consumo (o intermedio).

Debido a la importancia de la conservación de los accesos vecinales/comunales; nos vemos obligados a realizar una cuantificación periódica de los daños tanto visuales como estructurales, que inciden en la calidad de servicio que presta la vía en estudio

El tramo Tomatitas – La Victoria comunica a las comunidades de Cadillar, Rincón de La Victoria, Coimata, Tomatitas; con la provincia de Cercado.

La fase de la construcción del tramo data del año 1994, año en el que se realizó la apertura del camino y el ripiado del mismo; para su posterior empedrado.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Figura 3.1: Ubicación



Fuente: Elaboración propia

La comunidad de la Victoria se encuentra ubicada en la Primera sección de la Provincia de Méndez del departamento de Tarija, forma parte del distrito 2 denominado Tomatitas, que comprende 10 comunidades, distante a 14 Km. de la ciudad de Tarija.

El tramo en estudio se encuentra entre las coordenadas:

- Latitud Sur: $64^{\circ} 45' 40''$ a $64^{\circ} 48' 06''$
- Longitud Oeste: $21^{\circ} 29' 56''$ a $21^{\circ} 31' 03''$
- Altitud: 2011 m.s.n.m.

El tramo “Tomatitas – La Victoria” tiene una longitud de 5,260 Km, tiene inicio en la progresiva 0+000 en el puente Mariscal Antonio José de Sucre, en Tomatitas, y concluye en la progresiva 5+260, en la comunidad de La Victoria.

Figura 3.2: Imagen satelital de la zona de estudio



Fuente: Google Earth

3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

Cuadro 3.1: Parámetros de diseño

Descripción	Tipo	Características	Mínimo	Máximo
Categoría del camino	IV			
Volumen TPD		Menor a 200		
Control de accesos		Sin control		
Calzada y carriles		Dos		
Topografía		Montañosa		
Velocidad directriz			40 km/h	
Peralte máximo				6%
Radio mínimo			10 m	
Pendiente máxima en rectas				10%

Distancia mínima de visibilidad			20m	
Valor de K convexas		100 – 100		
Valor de K cóncavas		200 - 200		
Ancho de los carriles de circulación				3 m
Tipos de pavimento recomendable	Pavimento flexible			
Ancho de plataforma				7 m
Pendiente de la vía				6%
Gradiente transversal			2%	5%
Talud de corte H/V			Vertical	Vertical
Talud de relleno H/V			1:1	1:1
Espesor de la capa de pavimento				4 cm

Fuente: Estudio TESA “Construcción Camino Centro La Victoria”

Capa de rodadura:

Según la información recabada en la alcaldía del municipio de San Lorenzo, la capa rodadura del tramo “Tomatitas – La Victoria” es un tratamiento superficial triple con un espesor de 3 cm sobre base de empedrado. El cual fue construido en dos fases; primeramente el tramo Tomatitas cruce La Victoria en el año 2007, y el siguiente tramo cruce La Victoria – La Victoria en el año 2014.

Para corroborar el espesor de la capa de rodadura, se realizó un sondeo en la progresiva 1+000 y se pudo corroborar que el espesor de la misma es de 3 cm.

Figura 3.3: Espesor de la capa de rodadura



Fuente: Elaboración propia

3.4 RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Subrasante:

A lo largo del recorrido del tramo se observó tres tipos de estrato de suelo, por lo cual se procedió a realizar sólo 3 calicatas. Se realizó sondeos en las progresivas 0+600, 1+800 y 5+260 para determinar las capas anteriores a la carpeta asfáltica, y se evidenció que se encuentra sobre una base de empedrado, la misma sobre una capa de ripiado de 0.20 metros de altura.

En una carretera construida se realizan las calicatas se realizan para verificar el paquete estructural, capa de rodadura, capa base, sub base, subrasante mejorada, subrasante

natural o terreno de fundación. El efecto o presión que realiza la llanta de una movilidad al transitar por una vía alcanza una profundidad de 0.60 a 1.00 m.

El presente proyecto de aplicación tomó como referencia el Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos (publicado en Managua, Nicaragua), el cual indica que para caminos rurales de bajo volumen de tráfico es recomendable realizar calicatas con una profundidad mínima de 1.20 a 1.50 metros. Razón por lo cual se removió primeramente la capa de ripiado de 0.20 metros, la profundidad de las calicatas son de 1.00 metros desde la subrasante natural y a 1.20 metros desde el firme sobre el que se asienta el empedrado.

Por tratarse de la aplicación de métodos de evaluación “no destructivos”, se procedió a localizar las calicatas en las secciones donde la carpeta asfáltica era totalmente inexistente, verificando visualmente las variaciones del estrato de suelo a lo largo del tramo.

Se procedió a extraer la muestra de la subrasante natural para analizar en el laboratorio realizando los siguientes ensayos como ser Granulometría, Límites de Atterberg, Clasificación, Proctor y CBR (Capacidad de Soporte), para realizar los ensayos mencionados en el laboratorio se desarrollaron de la siguiente manera:

Figura 3.4: Extracción de subrasante natural



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5: Extracción de subrasante natural



Fuente: Elaboración propia

- **Granulometría**

El procedimiento para realizar la granulometría de los materiales de la subrasante mejorada, en primer lugar se cuarteo las muestras y se procedió a secar el material por el lapso de 24 horas, para posteriormente tamizar el material separado en la serie de tamices desde el tamiz 3" a N°10 y el pasante se hizo la granulometría por el método lavado obteniendo los pesos retenidos con los cuales se obtuvo la curva granulométrica para la subrasante.

Figura 3.6: Ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración propia

- **Límites de Atterberg**

Para realizar este ensayo, se requirió 500 gramos del material seco que haya pasado el tamiz N°40; con la finalidad de determinar el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad respectivo de cada muestra de suelo.

Figura 3.7: Ensayo de Límites de Atterberg



Fuente: Elaboración propia

- **Clasificación de los materiales**

Con los datos obtenidos previamente, se procedió a clasificar el suelo de la subrasante, por el método de clasificación AASHTO.

- **Proctor (compactación estándar y modificada)**

Se realizó el ensayo de Proctor T-180 para la muestra con material grueso, con la finalidad de obtener la densidad máxima y humedad óptima de los materiales; los datos obtenidos son imprescindibles para la realización del ensayo de Capacidad Portante del Suelo, o por sus siglas en inglés (CBR).

Figura 3.8: Ensayo de Proctor T-180



Fuente: Elaboración propia

- **CBR (Capacidad Soporte del Suelo)**

Este ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

Figura 3.9: Compactación para CBR



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10: Lecturación con extensómetro



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del número de ejes equivalentes

Para obtener el número del eje equivalente se realizó el levantamiento de la información para obtener el tráfico que transita actualmente por el tramo Tomatitas – La Victoria, para esta información se aforó por 3 días y en las horas de 8:00 a 16:00, este aforo se realizó en la progresiva 1+800 (Cruce La Victoria – Coimata), tomando en cuenta que es el único ingreso del tramo, considerando el conteo de Automóviles, Buses de Transporte Público y Camiones de Eje Simple y Camiones de Eje Doble, posteriormente se realizó el cálculo del número de ejes equivalentes mediante la siguiente ecuación formulada por el Método AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles:

$$ESALs = ESAL_0 * D_d * D_l * (1 + r)^n$$

Donde:

ESALs = Número de ejes equivalentes para un periodo de análisis

ESAL₀ = Repeticiones de ejes de carga equivalente actual

D_d = Factor de distribución direccional, por lo general se considera 0.5

D_l = Factor de distribución de carril, por lo general se considera 1.0

r = Tasa de crecimiento actual

n = Periodo de diseño

3.5 EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRAMO DE ESTUDIO

Para la evaluación superficial del tramo “Tomatitas – La Victoria” se evaluó por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento) de acuerdo a la norma ASTM D6433-03, cuyo procedimiento se detalla a continuación:

3.5.1 Procedimiento de Evaluación de Condición de Pavimento (PCI)

Se detallará la metodología aplicada para la evaluación superficial del tramo “Tomatitas – La Victoria”, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI, Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento, ya que el método PCI permitirá conocer el estado de la superficie del tramo, este método al ser moroso y requerir mucho tiempo para realizarlo en el fundamento teórico se menciona solamente seleccionar cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo, pero para el presente estudio se realizó el relevamiento de fallas en todo el tramo desde progresiva 0+000 a 5+260, con la finalidad de obtener resultados 100% confiables.

3.5.2 Unidades de muestra

Cuadro 3.2: Longitudes de unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,00	46,00
5,50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30 (máx.)	31,50

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) Para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, Abril 2006.

El ancho de la calzada del tramo “Tomatitas – La Victoria”, es variable de acuerdo al siguiente cuadro:

Cuadro 3.3: Descripción de ancho de calzada

Tramo	Progresiva Inicio	Progresiva Fin	Ancho de Calzada
Tomatitas - Cadillar	0+000	1+000	6,50 m.
Cadillar – Cruce La Victoria	1+000	2+000	7,00 m.
Cruce Cadillar – La Victoria	2+000	3+500	10,00 m.
La Victoria – Puente La Victoria	3+500	5+260	7,00 m.

Fuente: Elaboración propia

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento en el tramo “Tomatitas – La Victoria”, se procedió a dividir en secciones de acuerdo al Cuadro 3.2.

Cuadro 3.4: Descripción de unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)	Área de muestreo (m ²)
6,50	35	227,50
7,00	32	224,00
10,00	20	200,00
7,00	32	224,00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, para el ancho de calzada de 6,50 m, por fines prácticos se optó por tomar una longitud de muestreo de 35 metros.

Las unidades de muestreo están comprendidas entre el rango de 230 ± 93 m².

De acuerdo a las áreas de sección establecidas para la evaluación superficial, se inspeccionó minuciosamente la totalidad del tramo tanto en el carril de ida como el de vuelta. La primera unidad de muestra se inició a partir de la progresiva 0+000 y así sucesivamente, para tener la información de todo el tramo se evaluaron 29 unidades de muestra con sección de 227 m², 86 unidades de muestra con sección de 224 m², 75 unidades de muestra de 200 m² y una unidad de muestra de 56 m².

3.5.3 Cálculo del Índice de Condición de Pavimento (PCI)

Se inspeccionó cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas, para cuantificar el tipo de fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, en base a la Tabla 3.1, en donde se registró el tipo de falla observada de acuerdo a su severidad y su unidad de medida.

Tabla 3.1: Hoja de registro de datos de campo

MÉTODO PCI		ESQUEMA						
ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO								
HOJA DE REGISTRO								
NOMBRE DE LA VIA: Tramo Tomatitas - La Victoria		SECCIÓN:			UNIDAD DE MUESTRA:			
EJECUTOR: Gisela Ibheth Sivila Montes		FECHA:			ÁREA (m ²):			
1.Piel de cocodrilo	6.Depresión	11.Baches y parcheo	16.Deformaciones por empuje					
2.Exudacion	7.Grietas de borde	12.Agregado pulido	17.Grietas de desplazamiento					
3.Grietas de contracción	8.Grietas de reflexion de juntas	13.Huecos	18.Hinchamientos					
4.Elevaciones y hundimiento	9.Desnivel carril-berma	14.Cruce de sumideros de rejilla	19. Disgregación					
5.Corrugación	10.Grietas longitudinales y transversales	15.Ahuellamiento						
FALLA	CANTIDAD					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
TOTAL								

Fuente: Elaboración propia

3.6 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

3.6.1 Procedimiento de medición Viga de Benkelman

Se efectuó inicialmente la calibración de la Viga de Benkelman en el laboratorio de asfaltos de la universidad, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para ser manejado.

Primeramente se procedió a marcar los tramos cada 50 m, tanto para el carril derecho y carril izquierdo; para luego marcar un eje a distancia de 0.60 m del borde de la carpeta.

En cada punto se realizaron lecturas a 0.25 m, 0.50 m, 1.00 m, 1.50 m y 7m.

Para realizar el ensayo con la Viga de Benkelman se procedió a ensamblar la viga, y en cada punto de medición se tuvo que ajustar el tornillo de apoyo principal, de tal manera que el puntero del brazo de la viga esté en contacto con la superficie asfáltica; a altura del eje vertical de las ruedas traseras de la volqueta. El procedimiento se siguió a lo largo del tramo.

Una vez instalado el equipo, se enciende el extensómetro para proceder a lecturar.

En cada tramo es necesario tomar la temperatura del asfalto, también para comprobar la temperatura del asfalto se procedió a realizar una pequeña calicata de 10 cm de profundidad y medir la temperatura.

A continuación se incluye un reporte fotográfico, a modo de ilustrar el ensayo.

Figura 3.11: Procedimiento de ensayo de Viga de Benkelman







Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en campo, fueron tabulados en la siguiente planilla

Tabla 3.2: Hoja de registro de Evaluación Estructural

Análisis deflectométrico										
Registro de campo										
Proyecto:		"EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL TRAMO TOMATITAS - LA VICTORIA"								
Carril:		DERECHO								
Tramo:		0+000 - 5+260			REALIZADO POR : GISELA IBHET SIVILA MONTES					
Segmento	Progresiva	Fecha	Temperatura	Lecturas de campo (0,01 mm)						
N°	(km)		Asfalto °C	L0	L25	L50	L100	L150	L200	L700
1										
2										
3										
4										
5										

Fuente: Elaboración propia

3.7 EVALUACIÓN SUPERFICIAL PCI

3.7.1 Procedimiento de cálculo

Después de recabar con toda la información de la inspección de campo, la información de las fallas presentes en las unidades de muestreo y los grados de severidad fueron registradas en sus respectivas planillas de registro para calcular el PCI, el cálculo del PCI puede realizarse de forma manual o computarizada.

Posteriormente se procedió a determinar por cada falla de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas los valores deducidos VD, los valores deducidos corregidos CDV, el número de valores deducidos (q) mayores que 2, y con el valor deducido total y con el máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente PCI en cada unidad de muestreo de todo el tramo en estudio.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos, para la progresiva 0+000 a la 0+035:

Deben totalizarse cada uno de los tipos de falla y su severidad y registrarlos en las casillas correspondientes. Los daños pueden ser medidos en área o longitud según el tipo de falla y registrados por su número o por su nombre respectivo, ver (Tabla 3.1)

Tabla 3.3: Registro de fallas

Falla	Cantidad						Total
1 L	1,70	2,00	3,75				7,45
10 L	9,50	15,00	6,30	2,00	0,80		33,60
10 M	6,00	4,80	3,65				14,45
10 H	2,20	1,75					3,95
12	2,40	20,00					22,4
13 L	4,00	1,00					5,00
13 M	1,00						1,00
19 H	2,15						2,15
TOTAL							90,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la densidad:

Para la obtención de la densidad se debe dividir cada uno de los totales de cada daño en cada nivel de severidad especificado, entre el área de la unidad de muestreo en la que se trabaja, esta densidad se expresa en porcentaje.

$$\text{Densidad} = \left(\frac{\text{Área tota de falla}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} \right) * 100$$

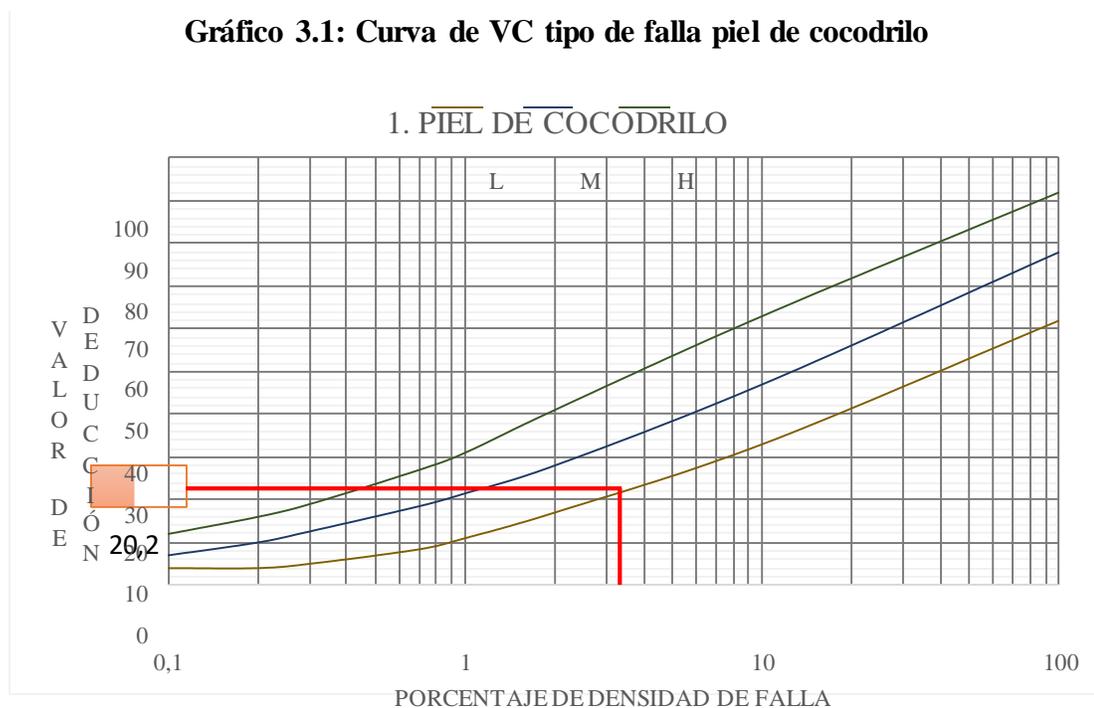
$$\text{Densidad} = \left(\frac{7,45}{227,50} \right) * 100$$

~~$$= 3,27\%$$~~

Cálculo del valor deducido:

Para calcular el “Valor deducido” se determina mediante el uso de las curvas o tablas denominadas “Valor de deducción” de acuerdo con el tipo de falla (ver Anexo 2)

Gráfico 3.1: Curva de VC tipo de falla piel de cocodrilo



Fuente: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots. SHAHIN, Mohamed Y.

Tabla 3.4: Resultado de valor deducido

Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido
1 L	1,70	2,00	3,75			7,45	3,27	20,20
10 L	9,50	15,00	6,30	2,00	0,80	33,60	14,77	0,00
10 M	6,00	4,80	3,65			14,45	6,35	0,00
10 H	2,20	1,75				3,95	1,74	0,00
12	2,40	20,00				22,40	9,85	3,00
13 L	4,00	1,00				5,00	2,20	33,00
13 M	1,00					1,00	0,44	13,00
19 H	2,15					2,15	0,94	17,00
TOTAL						90,00		

Fuente: Elaboración propia

Una vez registrados todos los valores deducidos del área de muestra, debe tomarse en cuenta si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” son mayores que 2, se usa el valor deducido total en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), de lo contrario se colocan en orden descendente los valores deducidos mayores de 2 hasta que se cumpla la igualdad a 1. (Ver Tabla 3.5)

Cálculo del número de ecuaciones “m”:

$$m = 1 + \frac{9 * (100 - VC_{\text{máx}})}{98}$$

$$\frac{9 * (100 - 33)}{98}$$

$$m = 1 +$$



Luego de obtener “m”, que es el número admisible de ecuaciones, se procedió a reordenar los valores deducidos.

Tabla 3.5: Valores deducidos reordenados

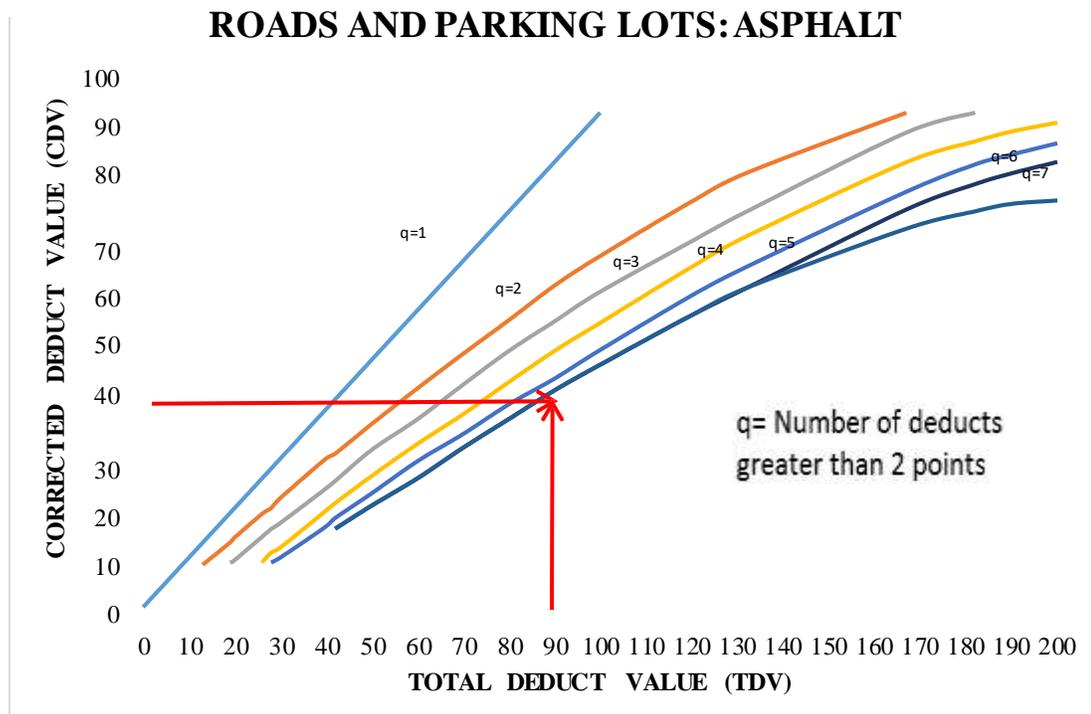
Cálculo del número máximo del valor deducido												
Nº	Valor deducido								Total	q	VDC	
1	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00		90,20	7	40,00	
2	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00		90,20	6	42,00	
3	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00		90,20	5	44,00	
4	33,00	20,20	17,00	13,00	2,00	2,00	2,00		89,20	4	52,00	
5	33,00	20,20	17,00	2,00	2,00	2,00	2,00		78,20	3	50,00	
6	33,00	20,20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		63,20	2	47,00	
7	33,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		45,00	1	45,00	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del valor deducido corregido:

Con los totales de valores deducidos, se determina el Valor Deducido Corregido en las curvas denominadas VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (ver ANEXO II).

Gráfico 3.2: Curvas VDC



Fuente: Pavement Management For Airports, Roads And Parking Lots. SHAHIN, Mohamed Y.

Tabla 3.6: Resultados de valor deducido corregido

Cálculo del número máximo del valor deducido												
N°	Valor deducido								Total	q	VDC	
1	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00			90,20	7	40,00
2	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00			90,20	6	42,00
3	33,00	20,20	17,00	13,00	3,00	2,00	2,00			90,20	5	44,00
4	33,00	20,20	17,00	13,00	2,00	2,00	2,00			89,20	4	52,00
5	33,00	20,20	17,00	2,00	2,00	2,00	2,00			78,20	3	50,00
6	33,00	20,20	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			63,20	2	47,00
7	33,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00			45,00	1	45,00

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de PCI:

Para hallar el valor PCI de la muestra, se elige el máximo VDC para luego restar al PCI de un pavimento de excelente condición (PCI = 100).

Tabla 3.7: Resultado PCI de unidad de muestra 1

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

$$CDV_{max} = 52$$

$$PCI = 48 \quad \text{REGULAR}$$

Fuente: Elaboración propia

El valor de PCI obtenido de la unidad de muestra 1 es igual a 48, de acuerdo a la escala de clasificación PCI, la unidad de muestra se encuentra en estado regular.

Cuadro 3.5: Escala de Clasificación de PCI

Rango	Clasificación
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03

Tabla 3.8: Resultados de PCI de la unidad de muestra N° 1

MÉTODO PCI		ESQUEMA							
ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO		1er Km							
HOJA DE REGISTRO									
NOMBRE DE LA VIA: Tramo Tomatitas - La Victoria		SECCIÓN: 0 + 035				A: 1			
EJECUTOR: Gisela Ibhet Sivila Montes		FECHA: Marzo 2017				ÁREA (m²): 227,500			
1.Piel de cocodrilo	6.Depresión	11.Baches y parcheo	16.Deformaciones por empuje						
2.Exudacion	7.Grietas de borde	12.Agregado pulido	17.Grietas de desplazamiento						
3.Grietas de contracción	8.Grietas de reflexion de juntas	13.Huecos	18.Hinchamientos						
4.Elevaciones y hundimiento	9.Desnivel carril-berma	14.Cruce de sumideros de rejilla	19. Disgregación						
5.Corrugación	10.Grietas longitudinales y transversales	15.Ahuellamiento							
Falla	Cantidad					Total	Densidad	Valor deducido	
1 L	1,70	2,00	3,75			7,45	3,27	20,20	
10 L	9,50	15,00	6,30	2,00	0,80	33,60	14,76	0,00	
10 M	6,00	4,80	3,65			14,45	6,35	0,00	
10 H	2,20	1,75				3,95	1,73	0,00	
12	2,40	20,00				22,40	9,84	3,00	
13 L	4,00	1,00				5,00	2,19	33,00	
13 M	1,00					1,00	0,44	13,00	
19 H	2,15					2,15	0,94	17,00	
TOTAL						90,00	39,56		

Cálculo del número máximo del valor deducido												
Nº	Valor Deducido									Total	q	CDV
1	33,0	20,2	17,0	13,0	3,0	2,0	2,0			90,2	7	40,0
2	33,0	20,2	17,0	13,0	3,0	2,0	2,0			90,2	6	42,0
3	33,0	20,2	17,0	13,0	3,0	2,0	2,0			90,2	5	44,0
4	33,0	20,2	17,0	13,0	2,0	2,0	2,0			89,2	4	52,0
5	33,0	20,2	17,0	2,0	2,0	2,0	2,0			78,2	3	50,0
6	33,0	20,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			63,2	2	47,0
7	33,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			45,0	1	45,0

VALOR DEDUCIDO = 33

$m = 7,15 < 10$ $m \approx 7$

PCI = 100-CDV_{max}

CDV_{max} = 52

PCI = 48

REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Se repite el mismo procedimiento de cálculo para las 190 unidades de muestra restante para el tramo “Tomatitas – La Victoria”. El cálculo de las mismas se encuentra en Anexos (Ver ANEXO III).

3.8 RESULTADOS PCI c

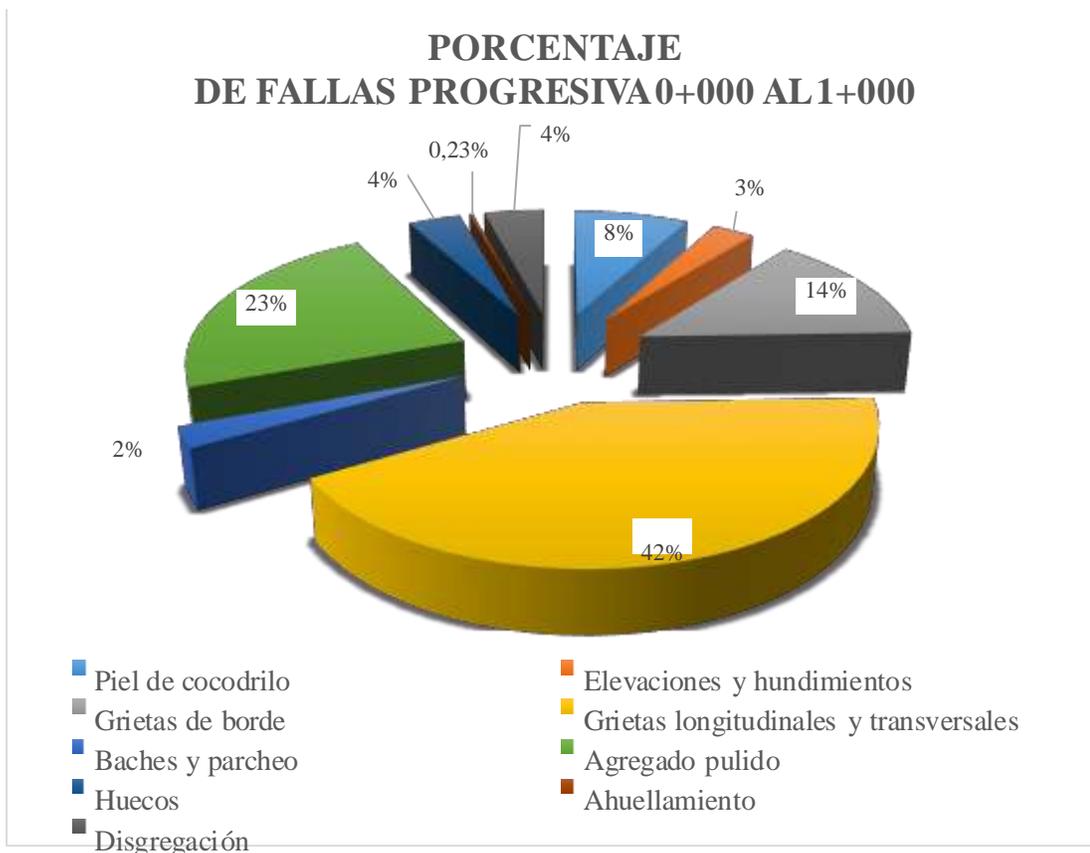
3.8.1 Resultados parciales de porcentaje de falla para cada km evaluado

A continuación se muestran los resultados parciales del porcentaje de falla según su tipo para cada kilómetro de medición:

Tabla 3.9: Porcentaje de fallas del Km 1

Tramo Tomatitas - La Victoria	
Progresiva 0+000 a la progresiva 1+000	
Tipo de falla	% falla
Piel de cocodrilo (m ²)	7,828
Elevaciones y hundimientos (m ²)	2,907
Grietas de borde (m)	13,744
Grietas longitudinales y transversales (m)	42,235
Baches y parcheo (m ²)	2,534
Agregado pulido (m ²)	22,849
Huecos (N°)	3,584
Ahuellamiento (m ²)	0,239
Disgregación (m ²)	4,079

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.3: Representación gráfica porcentual de fallas Km 1

Fuente: Elaboración propia

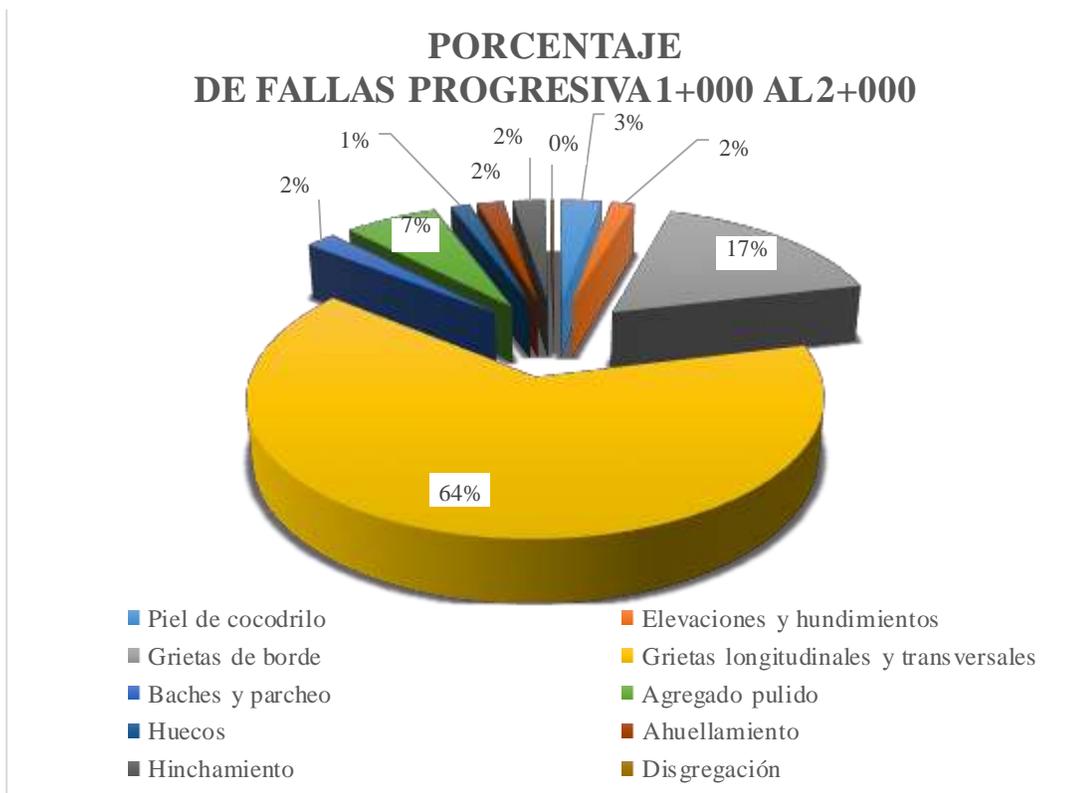
Tabla 3.10: Porcentaje de fallas del Km 2

Tramo Tomatitas - La Victoria	
Progresiva 1+000 a la progresiva 2+000	
Tipo de falla	% falla
Piel de cocodrilo (m ²)	2,844
Elevaciones y hundimientos (m ²)	1,642
Grietas de borde (m)	16,783
Grietas longitudinales y transversales (m)	64,439
Baches y parcheo (m ²)	2,082
Agregado pulido (m ²)	6,496
Huecos (N°)	1,359
Ahuellamiento (m ²)	1,869
Hinchamiento (m ²)	2,270

Disgregación (m ²)	0,216
--------------------------------	-------

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.4: Representación gráfica porcentual de fallas Km 2



Fuente: Elaboración propia

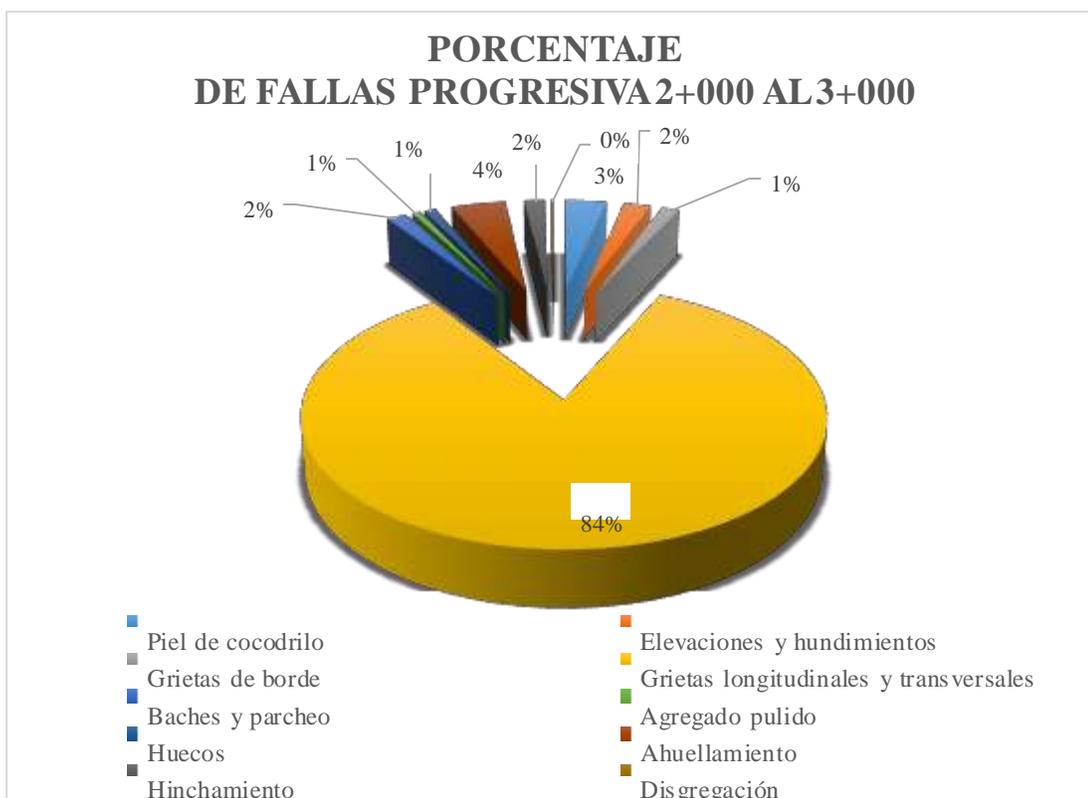
Tabla 3.11: Porcentaje de fallas del Km 3

Tramo Tomatitas - La victoria	
Progresiva 2+000 a la progresiva 3+000	
Tipo de falla	% falla
Piel de cocodrilo (m ²)	3,294
Elevaciones y hundimientos (m ²)	2,153
Grietas de borde (m)	1,411
Grietas longitudinales y transversales (m)	83,877
Baches y parcheo (m ²)	1,583

Agregado pulido (m ²)	0,602
Huecos (N°)	0,945
Ahuellamiento (m ²)	4,274
Hinchamiento (m ²)	1,652
Disgregación (m ²)	0,209

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.5: Representación gráfica porcentual de fallas Km 3



Fuente: Elaboración propia

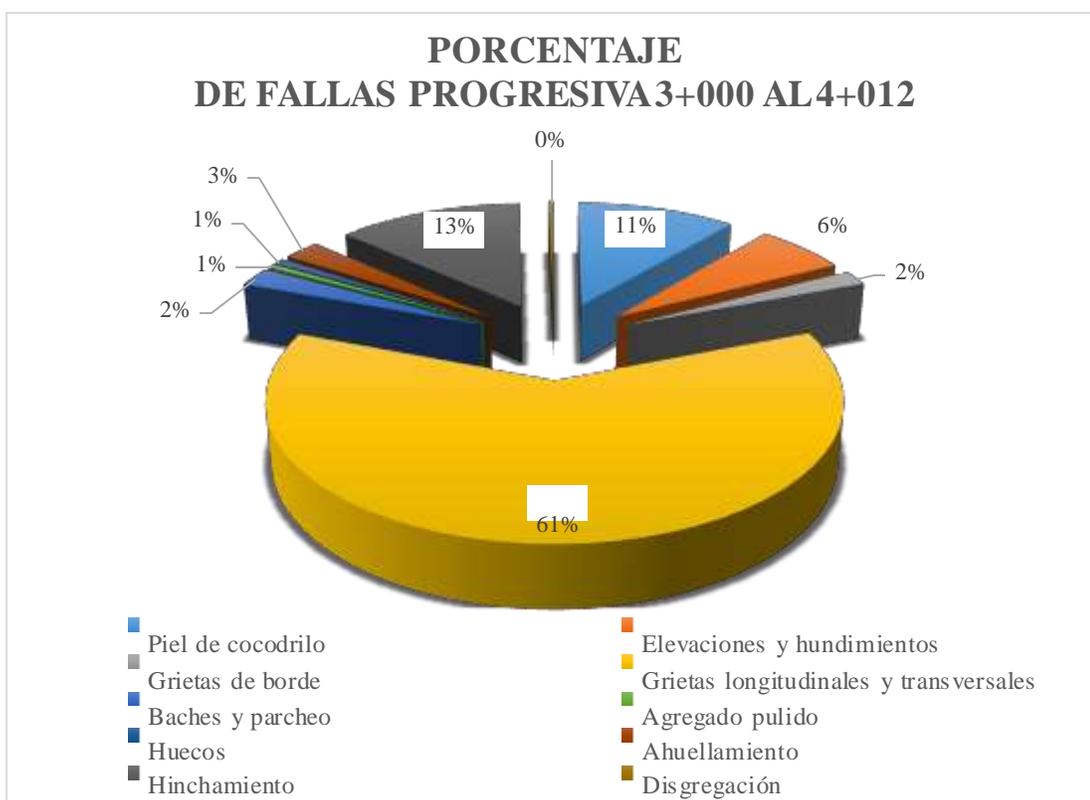
Tabla 3.12: Porcentaje de fallas del Km 4

Tramo Tomatitas - La Victoria	
Progresiva 3+000 a la progresiva 4+012	
Tipo de falla	% falla
Piel de cocodrilo (m ²)	11,078
Elevaciones y hundimientos (m ²)	6,338

Grietas de borde (m)	1,819
Grietas longitudinales y transversales (m)	61,392
Baches y parcheo (m ²)	2,307
Agregado pulido (m ²)	0,477
Huecos (N°)	0,744
Ahuellamiento (m ²)	2,544
Hinchamiento (m ²)	12,926
Disgregación (m ²)	0,374

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6: Representación gráfica porcentual de fallas Km 4



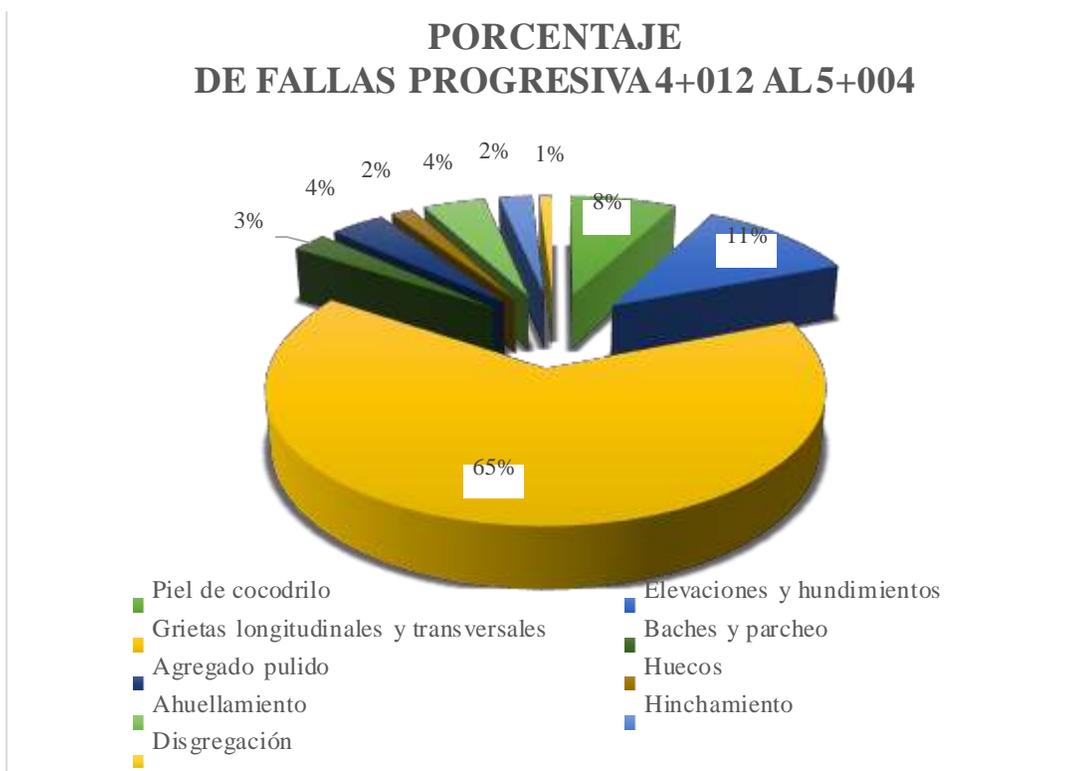
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13: Porcentaje de fallas del Km 5

Tramo Tomatitas - La Victoria	
Progresiva 4+012 a la progresiva 5+004	
Tipo de falla	% falla
Piel de cocodrilo (m ²)	7,645
Elevaciones y hundimientos (m ²)	11,463
Grietas longitudinales y transversales (m)	65,061
Baches y parcheo (m ²)	2,538
Agregado pulido (m ²)	3,933
Huecos (N°)	1,563
Ahuellamiento (m ²)	4,479
Hinchamiento (m ²)	2,384
Disgregación (m ²)	0,934

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7: Representación gráfica porcentual de fallas Km 5



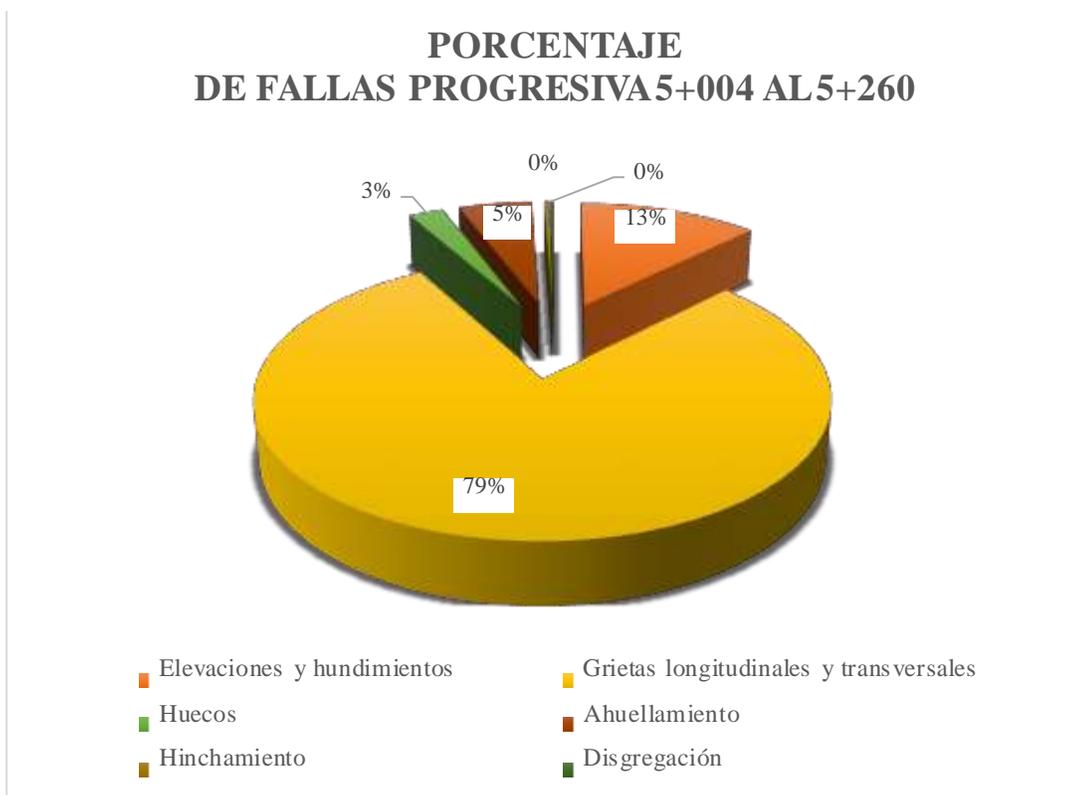
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14: Porcentaje de fallas del Km 6

Tramo Tomatitas - La Victoria	
Progresiva 5+004 a la progresiva 5+260	
Tipo de falla	% falla
Elevaciones y hundimientos (m ²)	12,477
Grietas longitudinales y transversales (m)	79,377
Huecos (N°)	2,424
Ahuellamiento (m ²)	5,132
Hinchamiento (m ²)	0,379
Disgregación (m ²)	0,212

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8: Representación gráfica porcentual de fallas Km 6



Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Resultados PCI según unidades de muestra

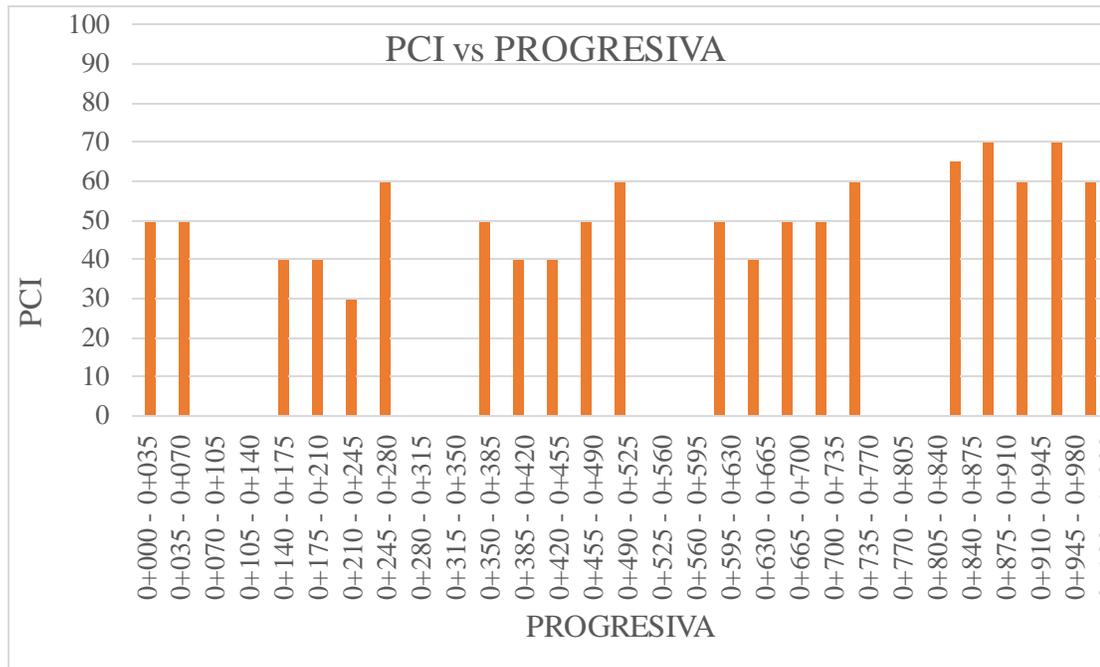
Tabla 3.15: Resultados PCI para Kml

Progresiva	Tramo	Long.	Ancho de calzada	Área	VCD Máx.	PCI	Condición del Pavimento
	N°	m	m	m ²			
0+000 - 0+035	1	35,0	6,5	227,5	52,0	48,0	REGULAR
0+035 - 0+070	2	35,0	6,5	227,5	48,0	52,0	REGULAR
0+070 - 0+105	3	35,0	6,5	227,5	48,0	52,0	REGULAR
0+105 - 0+140	4	35,0	6,5	227,5	52,0	48,0	REGULAR
0+140 - 0+175	5	35,0	6,5	227,5	58,0	42,0	BUENO
0+175 - 0+210	6	35,0	6,5	227,5	53,0	47,0	REGULAR
0+210 - 0+245	7	35,0	6,5	227,5	67,0	33,0	MALO
0+245 - 0+280	8	35,0	6,5	227,5	38,0	62,0	BUENO
0+280 - 0+315	9	35,0	6,5	227,5	58,0	42,0	REGULAR
0+315 - 0+350	10	35,0	6,5	227,5	70,0	30,0	MALO
0+350 - 0+385	11	35,0	6,5	227,5	48,5	51,5	REGULAR
0+385 - 0+420	12	35,0	6,5	227,5	54,0	46,0	REGULAR
0+420 - 0+455	13	35,0	6,5	227,5	58,0	42,0	REGULAR
0+455 - 0+490	14	35,0	6,5	227,5	48,0	52,0	REGULAR
0+490 - 0+525	15	35,0	6,5	227,5	39,0	61,0	BUENO
0+525 - 0+560	16	35,0	6,5	227,5	38,0	62,0	BUENO
0+560 - 0+595	17	35,0	6,5	227,5	38,0	62,0	BUENO
0+595 - 0+630	18	35,0	6,5	227,5	43,0	57,0	BUENO
0+630 - 0+665	19	35,0	6,5	227,5	62,0	38,0	MALO
0+665 - 0+700	20	35,0	6,5	227,5	46,0	54,0	REGULAR
0+700 - 0+735	21	35,0	6,5	227,5	44,0	56,0	BUENO
0+735 - 0+770	22	35,0	6,5	227,5	37,0	63,0	BUENO
0+770 - 0+805	23	35,0	6,5	227,5	40,0	60,0	BUENO
0+805 - 0+840	24	35,0	6,5	227,5	35,0	65,0	BUENO
0+840 - 0+875	25	35,0	6,5	227,5	34,0	66,0	BUENO
0+875 - 0+910	26	35,0	6,5	227,5	27,0	73,0	MUY BUENO
0+910 - 0+945	27	35,0	6,5	227,5	34,0	66,0	BUENO
0+945 - 0+980	28	35,0	6,5	227,5	29,0	71,0	MUY BUENO
0+980 - 1+000	29	35,0	6,5	227,5	33,0	67,0	BUENO

PROGRESIVA 0+000 - 1+000

PROM = 54,08

REGULAR

*Fuente: Elaboración propia***Gráfico 3.9: Representación gráfica de comportamiento de PCI para Km 1***Fuente: Elaboración propia***Tabla 3.16: Resultados PCI para Km 2**

Progresiva	Tramo N°	Long. m	Ancho de calzada			VCD M ²	PCI	Condición del Pavimento
			m	m	m ²			
1+000 - 1+032	30	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO	
1+032 - 1+064	31	32,0	7,0	224,0	31,0	69,0	BUENO	
1+064 - 1+096	32	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO	
1+096 - 1+128	33	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO	
1+128 - 1+160	34	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO	
1+160 - 1+192	35	32,0	7,0	224,0	36,0	64,0	BUENO	
1+192 - 1+224	36	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO	
1+224 - 1+256	37	32,0	7,0	224,0	31,0	69,0	BUENO	
1+256 - 1+288	38	32,0	7,0	224,0	48,0	52,0	REGULAR	

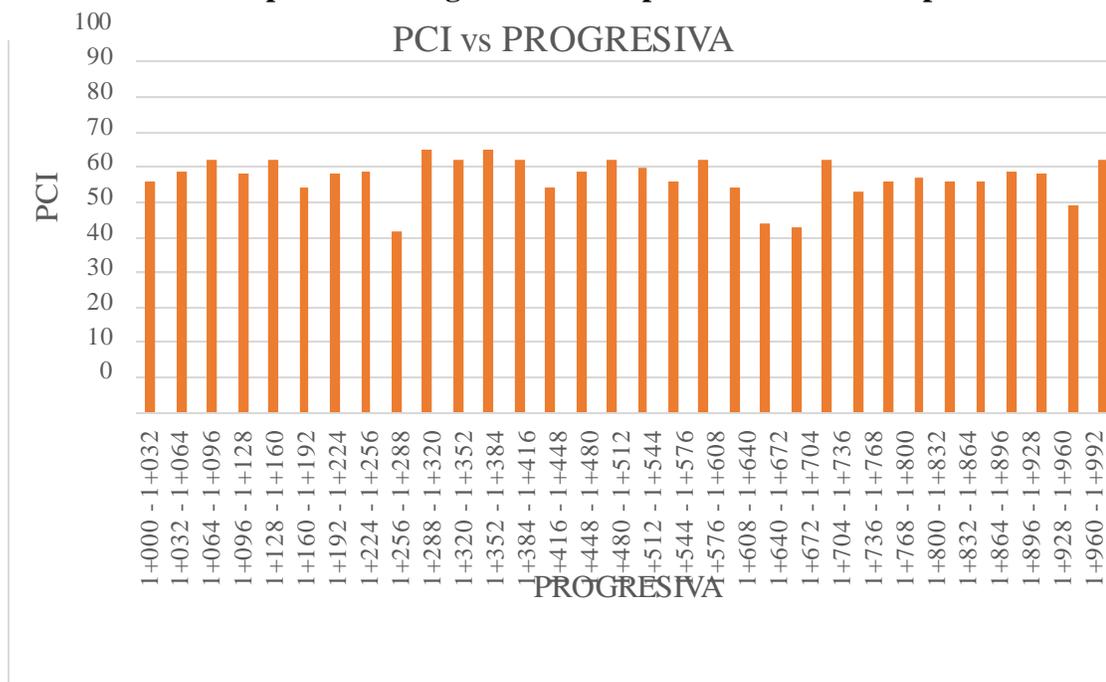
1+288 - 1+320	39	32,0	7,0	224,0	25,0	75,0	MUY BUENO
1+320 - 1+352	40	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
1+352 - 1+384	41	32,0	7,0	224,0	25,0	75,0	MUY BUENO
1+384 - 1+416	42	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
1+416 - 1+448	43	32,0	7,0	224,0	36,0	64,0	BUENO
1+448 - 1+480	44	32,0	7,0	224,0	31,0	69,0	BUENO
1+480 - 1+512	45	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
1+512 - 1+544	46	32,0	7,0	224,0	30,0	70,0	BUENO
1+544 - 1+576	47	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
1+576 - 1+608	48	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
1+608 - 1+640	49	32,0	7,0	224,0	36,0	64,0	BUENO
1+640 - 1+672	50	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR
1+672 - 1+704	51	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
1+704 - 1+736	52	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
1+736 - 1+768	53	32,0	7,0	224,0	37,0	63,0	BUENO
1+768 - 1+800	54	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
1+800 - 1+832	55	32,0	7,0	224,0	33,0	67,0	BUENO
1+832 - 1+864	56	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
1+864 - 1+896	57	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
1+896 - 1+928	58	32,0	7,0	224,0	31,0	69,0	BUENO
1+928 - 1+960	59	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO
1+960 - 1+992	60	32,0	7,0	224,0	41,0	59,0	BUENO
1+992 - 2+000	61	8,0	7,0	56,0	28,0	72,0	MUY BUENO

PROGRESIVA 1+000 - 2+000

PROM = 67,06

BUENO

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.10: Representación gráfica de comportamiento de PCI para Km 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17: Resultados PCI para Km 3

Progresiva	Tramo N°	Long. m	Ancho de calzada		VCD m ²	PCI	Condición del Pavimento
			m	m			
2+000 - 2+020	62	20,0	10,0	200,0	30,0	70,0	BUENO
2+020 - 2+040	63	20,0	10,0	200,0	31,0	69,0	BUENO
2+040 - 2+060	64	20,0	10,0	200,0	39,0	61,0	BUENO
2+060 - 2+080	65	20,0	10,0	200,0	46,0	54,0	REGULAR
2+080 - 2+100	66	20,0	10,0	200,0	34,0	66,0	BUENO
2+100 - 2+120	67	20,0	10,0	200,0	38,0	62,0	BUENO
2+120 - 2+140	68	20,0	10,0	200,0	42,0	58,0	BUENO
2+140 - 2+160	69	20,0	10,0	200,0	43,0	57,0	BUENO
2+160 + 2+180	70	20,0	10,0	200,0	55,0	45,0	REGULAR
2+180 - 2+200	71	20,0	10,0	200,0	51,5	48,5	REGULAR
2+200 - 2+220	72	20,0	10,0	200,0	40,0	60,0	BUENO
2+220 - 2+240	73	20,0	10,0	200,0	53,0	47,0	REGULAR
2+240 - 2+260	74	20,0	10,0	200,0	39,0	61,0	BUENO

2+260 - 2+280	75	20,0	10,0	200,0	46,0	54,0	REGULAR
2+280 - 2+300	76	20,0	10,0	200,0	50,0	50,0	REGULAR
2+300 - 2+320	77	20,0	10,0	200,0	52,5	47,5	REGULAR
2+320 - 2+340	78	20,0	10,0	200,0	59,0	41,0	REGULAR
2+340 - 2+360	79	20,0	10,0	200,0	36,0	64,0	BUENO
2+360 - 2+380	80	20,0	10,0	200,0	37,0	63,0	BUENO
2+380 - 2+400	81	20,0	10,0	200,0	56,0	44,0	REGULAR
2+400 - 2+420	82	20,0	10,0	200,0	36,0	64,0	BUENO
2+420 - 2+440	83	20,0	10,0	200,0	50,5	49,5	REGULAR
2+440 - 2+460	84	20,0	10,0	200,0	40,0	60,0	BUENO
2+460 - 2+480	85	20,0	10,0	200,0	39,0	61,0	BUENO
2+480 - 2+500	86	20,0	10,0	200,0	30,0	70,0	BUENO
2+500 - 2+520	87	20,0	10,0	200,0	47,0	53,0	REGULAR
2+520 - 2+540	88	20,0	10,0	200,0	40,0	60,0	BUENO
2+540 - 2+560	89	20,0	10,0	200,0	34,0	66,0	BUENO
2+560 - 2+580	90	20,0	10,0	200,0	46,0	54,0	REGULAR
2+580 - 2+600	91	20,0	10,0	200,0	34,0	66,0	BUENO
2+600 - 2+620	92	20,0	10,0	200,0	46,0	54,0	REGULAR
2+620 - 2+640	93	20,0	10,0	200,0	42,0	58,0	BUENO
2+640 - 2+660	94	20,0	10,0	200,0	40,0	60,0	BUENO
2+660 - 2+680	95	20,0	10,0	200,0	66,0	34,0	MALO
2+680 - 2+700	96	20,0	10,0	200,0	50,0	50,0	REGULAR
2+700 - 2+720	97	20,0	10,0	200,0	38,0	62,0	BUENO
2+720 - 2+740	98	20,0	10,0	200,0	38,0	62,0	BUENO
2+740 - 2+760	99	20,0	10,0	200,0	55,0	45,0	REGULAR
2+760 - 2+780	100	20,0	10,0	200,0	47,0	53,0	REGULAR
2+780 - 2+800	101	20,0	10,0	200,0	39,0	61,0	BUENO
2+800 - 2+820	102	20,0	10,0	200,0	40,0	60,0	BUENO
2+820 - 2+840	103	20,0	10,0	200,0	46,0	54,0	REGULAR
2+840 - 2+860	104	20,0	10,0	200,0	38,0	62,0	BUENO
2+860 - 2+880	105	20,0	10,0	200,0	35,0	65,0	BUENO
2+880 - 2+900	106	20,0	10,0	200,0	34,0	66,0	BUENO
2+900 - 2+920	107	20,0	10,0	200,0	27,0	73,0	MUY BUENO
2+920 - 2+940	108	20,0	10,0	200,0	29,0	71,0	MUY BUENO
2+940 - 2+960	109	20,0	10,0	200,0	29,0	71,0	MUY BUENO
2+960 - 2+980	110	20,0	10,0	200,0	29,0	71,0	MUY BUENO
2+980 - 3+000	111	20,0	10,0	200,0	28,0	72,0	MUY BUENO

3+060 - 3+080	115	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR
3+080 - 3+100	116	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR
3+100 - 3+120	117	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+120 - 3+140	118	32,0	7,0	224,0	33,0	67,0	BUENO
3+140 - 3+160	119	32,0	7,0	224,0	30,0	70,0	BUENO
3+160 - 3+180	120	32,0	7,0	224,0	37,0	63,0	BUENO
3+180 - 3+200	121	32,0	7,0	224,0	42,0	58,0	BUENO
3+200 - 3+220	122	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+220 - 3+240	123	32,0	7,0	224,0	37,0	63,0	BUENO
3+240 - 3+260	124	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+260 - 3+280	125	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+280 - 3+300	126	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
3+300 - 3+320	127	32,0	7,0	224,0	45,0	55,0	BUENO
3+320 - 3+340	128	32,0	7,0	224,0	38,0	62,0	BUENO
3+340 - 3+360	129	32,0	7,0	224,0	41,0	59,0	BUENO
3+360 - 3+380	130	32,0	7,0	224,0	48,0	52,0	REGULAR
3+380 - 3+400	131	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
3+400 - 3+420	132	32,0	7,0	224,0	51,0	49,0	REGULAR
3+420 - 3+440	133	32,0	7,0	224,0	40,0	60,0	BUENO
3+440 - 3+460	134	32,0	7,0	224,0	59,0	41,0	REGULAR
3+460 - 3+480	135	32,0	7,0	224,0	60,0	40,0	REGULAR
3+480 - 3+500	136	32,0	7,0	224,0	60,0	40,0	REGULAR
3+500 - 3+532	137	32,0	7,0	224,0	54,0	46,0	REGULAR
3+532 - 3+564	138	32,0	7,0	224,0	59,0	41,0	REGULAR
3+564 - 3+596	139	32,0	7,0	224,0	48,0	52,0	REGULAR
3+596 - 3+628	140	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+628 - 3+660	141	32,0	7,0	224,0	50,0	50,0	REGULAR
3+660 - 3+692	142	32,0	7,0	224,0	62,0	38,0	MALO
3+692 - 3+724	143	32,0	7,0	224,0	47,0	53,0	REGULAR
3+724 - 3+756	144	32,0	7,0	224,0	56,0	44,0	REGULAR
3+756 - 3+788	145	32,0	7,0	224,0	61,0	39,0	MALO
3+788 - 3+820	146	32,0	7,0	224,0	50,0	50,0	REGULAR
3+820 - 3+852	147	32,0	7,0	224,0	48,0	52,0	REGULAR
3+852 - 3+884	148	32,0	7,0	224,0	56,0	44,0	REGULAR
3+884 - 3+916	149	32,0	7,0	224,0	50,0	50,0	REGULAR
3+916 - 3+948	150	32,0	7,0	224,0	56,0	44,0	REGULAR
3+948 - 3+980	151	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR

3+980	4+012	152	32,0	7,0	224,0	50,0	50,0	REGULAR
-------	-------	-----	------	-----	-------	------	------	---------

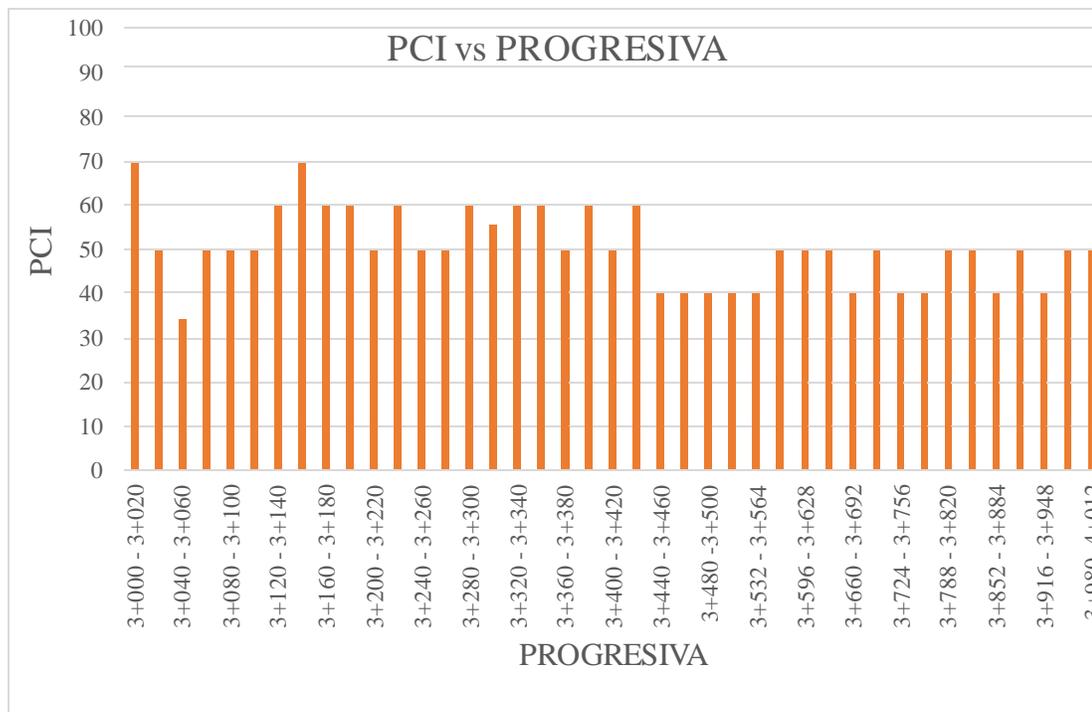
PROGRESIVA 3+000 - 4+012

PROM = 52,39

REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.12: Representación gráfica de comportamiento de PCI para Km 4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19: Resultados PCI para Km 5

Progresiva	Tramo N°	Long. m	Ancho de calzada			VCD m ²	PCI	Condición del Pavimento
			m	m	m ²			
4+012 - 4+044	153	32,0	7,0	224,0	44,0	56,0	BUENO	
4+044 - 4+076	154	32,0	7,0	224,0	36,0	64,0	BUENO	
4+076 - 4+108	155	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR	
4+108 - 4+140	156	32,0	7,0	224,0	57,0	43,0	REGULAR	
4+140 - 4+172	157	32,0	7,0	224,0	52,0	48,0	REGULAR	
4+172 - 4+204	158	32,0	7,0	224,0	35,0	65,0	BUENO	

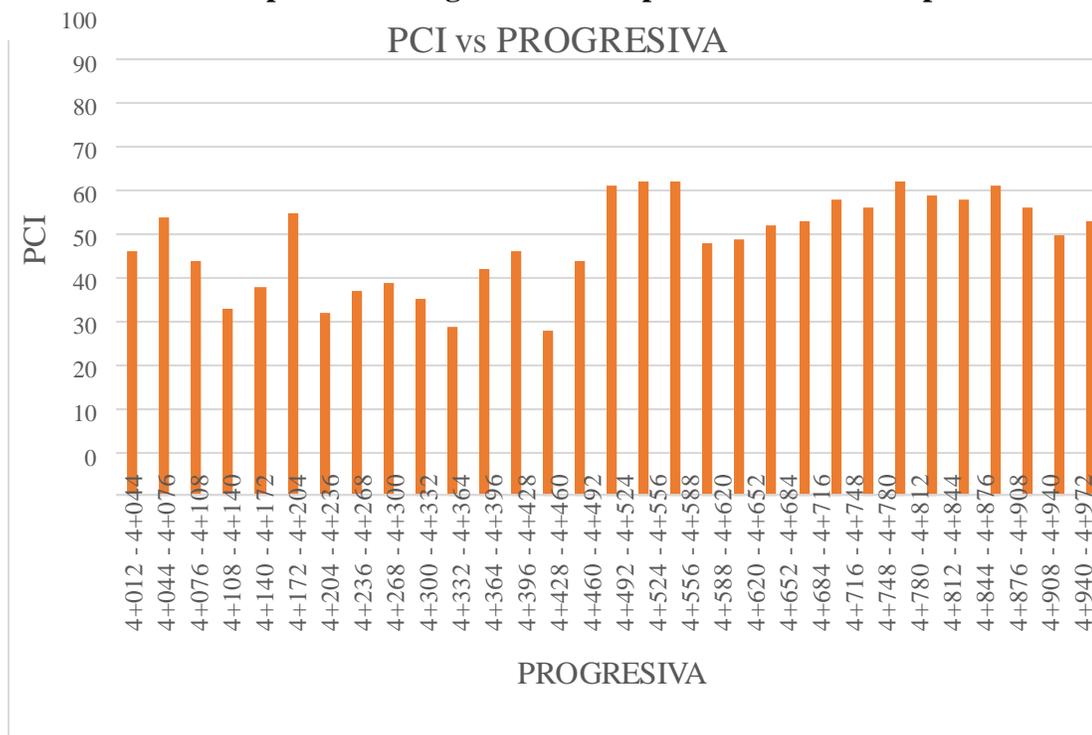
4+204 - 4+236	159	32,0	7,0	224,0	58,0	42,0	REGULAR
4+236 - 4+268	160	32,0	7,0	224,0	53,0	47,0	REGULAR
4+268 - 4+300	161	32,0	7,0	224,0	51,0	49,0	REGULAR
4+300 - 4+332	162	32,0	7,0	224,0	55,0	45,0	REGULAR
4+332 - 4+364	163	32,0	7,0	224,0	61,0	39,0	MALO
4+364 - 4+396	164	32,0	7,0	224,0	48,0	52,0	REGULAR
4+396 - 4+428	165	32,0	7,0	224,0	44,0	56,0	BUENO
4+428 - 4+460	166	32,0	7,0	224,0	62,0	38,0	MALO
4+460 - 4+492	167	32,0	7,0	224,0	46,0	54,0	REGULAR
4+492 - 4+524	168	32,0	7,0	224,0	29,0	71,0	MUY BUENO
4+524 - 4+556	169	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
4+556 - 4+588	170	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
4+588 - 4+620	171	32,0	7,0	224,0	42,0	58,0	BUENO
4+620 - 4+652	172	32,0	7,0	224,0	41,0	59,0	BUENO
4+652 - 4+684	173	32,0	7,0	224,0	38,0	62,0	BUENO
4+684 - 4+716	174	32,0	7,0	224,0	37,0	63,0	BUENO
4+716 - 4+748	175	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO
4+748 - 4+780	176	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
4+780 - 4+812	177	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
4+812 - 4+844	178	32,0	7,0	224,0	31,0	69,0	BUENO
4+844 - 4+876	179	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO
4+876 - 4+908	180	32,0	7,0	224,0	29,0	71,0	MUY BUENO
4+908 - 4+940	181	32,0	7,0	224,0	34,0	66,0	BUENO
4+940 - 4+972	182	32,0	7,0	224,0	40,0	60,0	BUENO
4+972 - 5+004	183	32,0	7,0	224,0	37,0	63,0	BUENO

PROGRESIVA 4+012 - 5+004

PROM = 58,45

BUENO

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.13: Representación gráfica de comportamiento de PCI para Km 5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.20: Resultados PCI para Km 6

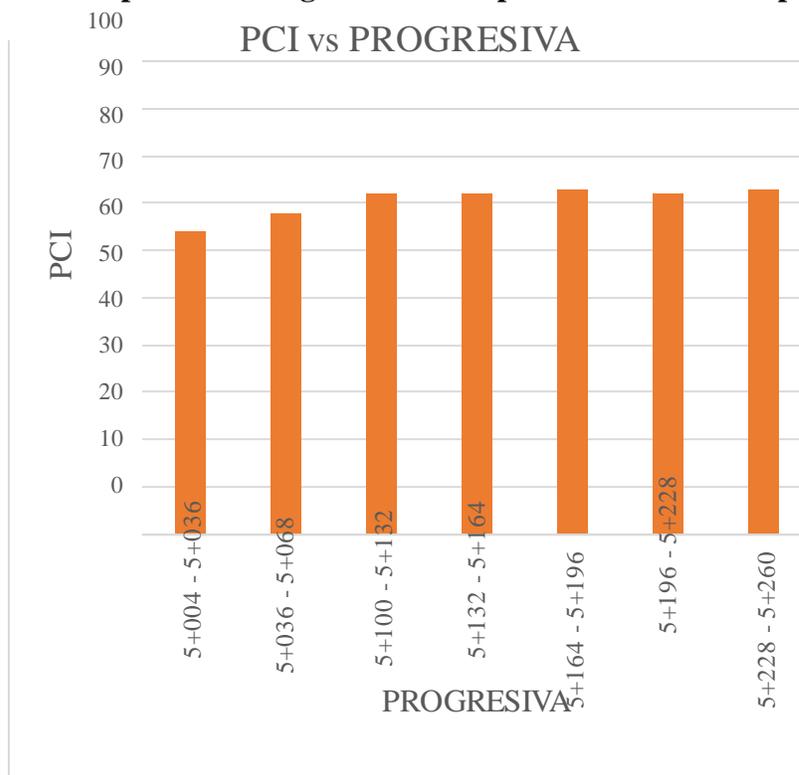
Progresiva	Tramo N°	Long. m	Ancho de calzada m	Área m ²	VCD Máx.	PCI	Condición del Pavimento
5+004 - 5+036	184	32,0	7,0	224,0	36,0	64,0	BUENO
5+036 - 5+068	185	32,0	7,0	224,0	32,0	68,0	BUENO
5+068 - 5+100	186	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
5+100 - 5+132	187	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
5+132 - 5+164	188	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
5+164 - 5+196	189	32,0	7,0	224,0	27,0	73,0	MUY BUENO
5+196 - 5+228	190	32,0	7,0	224,0	28,0	72,0	MUY BUENO
5+228 - 5+260	191	32,0	7,0	224,0	27,0	73,0	MUY BUENO

PROGRESIVA 5+004 - 5+260

PROM = 70,75

MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.14: Representación gráfica de comportamiento de PCI para Km 6

Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Número de áreas de muestreo según su calificación por km

Tabla 3.21: Número de áreas de muestreo según su calificación km 1

Tramo de evaluación		N° de unidades de muestreo	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial		Progresiva Final
		0	EXCELENTE
1	0+000	2	MUY BUENO
		13	BUENO
		11	REGULAR
		3	MALO
		0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22: Número de áreas de muestreo según su calificación km 2

Tramo de evaluación			N° de unidades de muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
2	1+000	2+000	0	EXCELENTE
			10	MUY BUENO
			19	BUENO
			3	REGULAR
			0	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23: Número de áreas de muestreo según su calificación km 3

Tramo de evaluación			N° de unidades de muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
3	2+000	3+000	0	EXCELENTE
			5	MUY BUENO
			27	BUENO
			17	REGULAR
			1	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24: Número de áreas de muestreo según su calificación km 4
N° de unidades de

Tramo de evaluación			muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
4	3+000	4+012	0	EXCELENTE
			0	MUY BUENO
			12	BUENO
			26	REGULAR
			3	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25: Número de áreas de muestreo según su calificación km 5

Tramo de evaluación			N° de unidades de muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
5	4+012	5+004	0	EXCELENTE
			5	MUY BUENO
			15	BUENO
			9	REGULAR
			2	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26: Número de áreas de muestreo según su calificación km 6

Tramo de evaluación			N° de unidades de muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
6	5+004	5+260	0	EXCELENTE
			6	MUY BUENO
			2	BUENO
			0	REGULAR
			0	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Cantidad de sección afectada según su severidad

Tabla 3.27: Sección afectada según severidad Km 1

Tramo Tomatitas - La Victoria Progresiva 0+000 a la progresiva 1+000				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	80,96	43,55	0,00
Elevaciones y hundimientos	m ²	33,64	12,60	0,00
Grietas de borde	m	123,05	91,55	4,00
Grietas longitudinales y transversales	m	560,75	98,45	12,55
Baches y parcheo	m ²	29,82	2,20	8,29
Agregado pulido	m ²	363,42		
Huecos	N°	38,00	17,00	2,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	3,80	0,00
Hinchamientos	m ²	0,00	0,00	0,00
Disgregación	m ²	15,98	7,25	41,65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.28: Sección afectada según severidad Km 2

Tramo Tomatitas - La Victoria Progresiva 1+000 a la progresiva 2+000				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	14,64	14,40	2,35
Elevaciones y hundimientos	m ²	9,75	8,36	0,00
Grietas de borde	m	143,61	41,60	0,00
Grietas longitudinales y transversales	m	684,19	26,95	0,00
Baches y parcheo	m ²	7,63	15,35	0,00
Agregado pulido	m ²	71,68		
Huecos	N°	14,00	0,00	1,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	20,63	0,00
Hinchamientos	m ²	0,00	22,90	2,15
Disgregación	m ²	1,87	0,51	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29: Sección afectada según severidad Km 3

Tramo Tomatitas - La Victoria Progresiva 2+000 a la progresiva 3+000				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	33,87	32,78	5,57
Elevaciones y hundimientos	m ²	8,51	38,00	3,71
Grietas de borde	m	20,35	14,00	0,00
Grietas longitudinales y transversales	m	1887,42	146,45	7,35
Baches y parcheo	m ²	13,65	21,37	3,49
Agregado pulido	m ²	14,66		
Huecos	N°	15,00	6,00	2,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	87,55	11,65
Hinchamientos	m ²	1,64	32,63	5,20
Disgregación	m ²	1,21	2,10	1,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.30: Sección afectada según severidad Km 4

Tramo Tomatitas - La Victoria				
Progresiva 3+000 a la progresiva 4+012				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	13,21	87,80	17,40
Elevaciones y hundimientos	m ²	17,56	49,91	8,01
Grietas de borde	m	7,60	14,40	0,00
Grietas longitudinales y transversales	m	730,15	10,20	1,97
Baches y parcheo	m ²	2,45	14,78	8,91
Agregado pulido	m ²	5,77		
Huecos	#N°	4,00	4,00	1,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	15,98	12,62
Hinchamientos	m ²	0,00	114,24	42,06
Disgregación	m ²	0,35	1,72	2,45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31: Sección afectada según severidad Km 5

Tramo Tomatitas - La Victoria				
Progresiva 4+012 a la progresiva 5+004				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	17,22	29,88	11,59
Elevaciones y hundimientos	m	24,93	54,06	9,03
Grietas longitudinales y transversales	m	487,70	11,85	0,00
Baches y parcheo	m ²	7,00	3,33	9,15
Agregado pulido	m ²	30,20		
Huecos	N°	4,00	6,00	2,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	20,38	14,00
Hinchamientos	m ²	0,00	11,75	6,55
Disgregación	m ²	0,00	4,06	2,39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.32: Sección afectada según severidad Km 6

Tramo Tomatitas - La Victoria Progresiva 5+004 a la progresiva 5+260				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Elevaciones y hundimientos	m ²	10,43	10,16	0,00
Grietas longitudinales y transversales	m	131,00	0,00	0,00
Huecos	N°	4,00	0,00	0,00
Ahuellamiento	m ²	0,00	6,674	1,80
Hinchamientos	m ²	0,00	0,62	0,00
Disgregación	m ²	0,00	0,35	0,00

Fuente: Elaboración propia

3.9 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS MÉTODO PCI

3.9.1 Análisis de resultados según tipo de fallas y distribución porcentual de fallas en todo el tramo

De la totalidad de la evaluación superficial por el método PCI, líneas arriba se puede ver los resultados para cada kilómetro del tramo evaluado, en donde se puede diferenciar el tipo de fallas, porcentaje, niveles de severidad y condición del pavimento; a continuación se realiza el análisis de las tablas y gráficas presentadas.

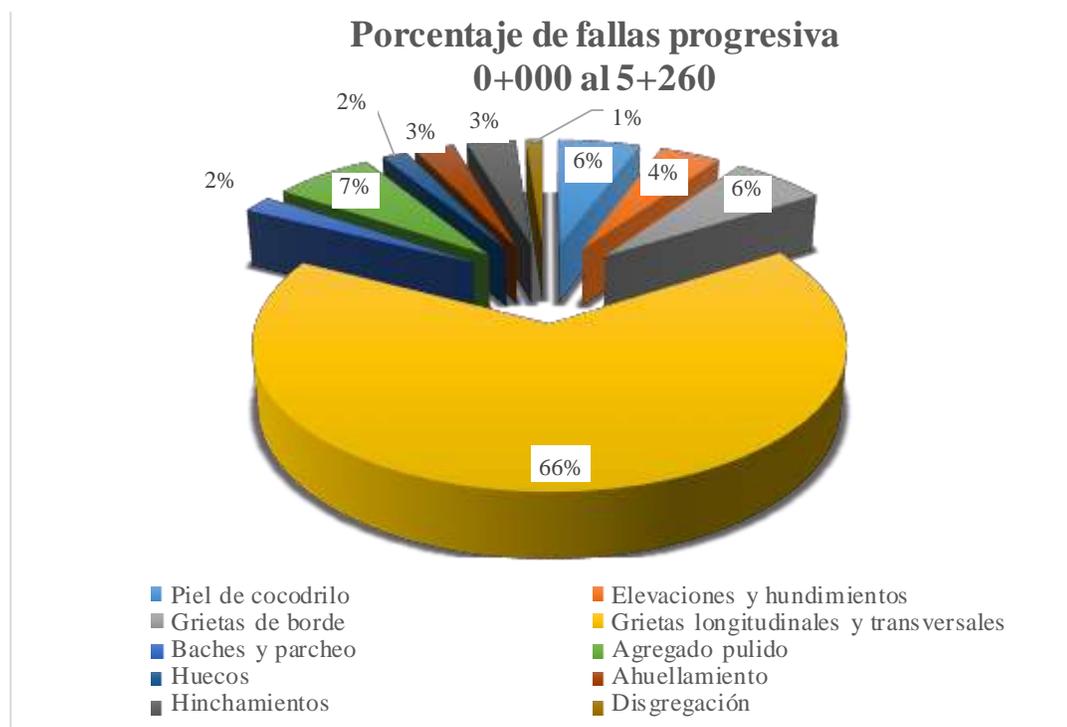
Tabla 3.33: Porcentaje de fallas 0+000 – 5+260

Tramo Tomatitas - La Victoria Progresiva 0+000 a la progresiva 5+260		
Tipo de falla	Unidad de medida	%
Piel de cocodrilo	m ²	5,60
Elevaciones y hundimientos	m ²	4,13
Grietas de borde	m	6,36

Grietas longitudinales y transversales	m	66,33
Baches y parcheo	m ²	2,04
Agregado pulido	m ²	6,72
Huecos	#	1,66
Ahuellamiento	m ²	2,70
Hinchamientos	m ²	3,32
Disgregación	m ²	1,15

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.15: Representación gráfica porcentual 0+000 – 5+260



Fuente: Elaboración propia

El tipo de falla predominante a lo largo del tramo son Grietas Longitudinales y Transversales representando, el Agregado Pulido ocupa el segundo lugar del total de

las fallas, seguido de Grietas de Borde ocupando el tercer lugar. A continuación se realiza un análisis de las fallas que representan un mayor porcentaje:

Desde la progresiva 0+500 a 3+500, la presencia de Grietas longitudinales y transversales predomina. Se puede señalar que las causas de la misma es la mala ejecución del empedrado, ya que en su construcción hacia el año 1994 no se siguió los lineamientos de acuerdo a norma, debido a que se realizó la apertura del camino ripiado para tráfico liviano.

Este tipo de fallas también viene asociada a cargas, es decir, la incidencia de tráfico pesado de capacidad de hasta 16 m³, procedente de los bancos de explotación de material pétreo.

La mayor cantidad de agregado pulido se encuentra en el tramo Tomatitas – Cadillar, por tener una vida útil mayor al resto del tramo y estar sometido a repeticiones mayores de carga; ya que en dicha zona se encuentra ubicado un colegio, condominios, complejos deportivos y recreacionales; que vuelven a la carpeta de rodadura suave al tacto, lo que ocasiona de disminuya considerablemente la adherencia entre las llantas del vehículo y la carpeta da rodadura.

En el segundo tramo La Victoria – Rincón de La Victoria, este tipo de falla despreciable, por ser relativamente nuevo respecto al primer tramo.

En cuanto al nivel de severidad, la norma no indica, sin embargo, para ser cuantificado en el presente trabajo, se contempló aquellas secciones donde el desgaste afectaba al tránsito vehicular.

Las grietas de borde son paralelas al eje de la vía, y generalmente están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento.

En la totalidad del tramo la berma se encuentra ubicado junto a la acera, razón por la cual la compactación es deficiente. Por ser una zona lluviosa, el agua filtra a través de las veredas ocasionando la debilitación del firme sobre el cual descansa el empedrado, produciendo así grietas de este orden.

En la progresiva 0+800 a 1+500, la razón de la misma es debido a la cercanía de la berma respecto a la cuneta.

De 3+500 a 4+500, el acomodamiento de las partículas produce elevaciones, hundimientos, hinchamientos, en la parte central de la vía, mientras que el efecto de tales fallas resulta grietas de borde.

La forma de medición y reparación de la misma se encuentra detallado en el Manual de Daños (Ver ANEXO I), tanto éste como los demás tipos de fallas.

3.9.2 Análisis de resultados según calificación PCI

Tabla 3.34: Resumen clasificación PCI 0+000 – 5+260

Tramo Tomatitas - La Victoria		
Progresiva 0+000 a la progresiva 5+260		
Progresiva	PCI	Condición del Pavimento
0+000 - 1+000	54,09	REGULAR
1+000 - 2+000	67,06	BUENO
2+000 - 3+000	58,59	BUENO
3+000 - 4+012	52,39	REGULAR
4+012 - 5+004	58,45	BUENO
5+004 - 5+260	70,75	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.35: Calificación PCI 0+000 – 5+260

Tramo Tomatitas - La Victoria		
Progresiva 0+000 a la progresiva 5+260		
PCI	60,22	BUENO

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis según la calificación PCI en todo el tramo de estudio, se obtiene un valor de PCI de 60.22; calificando a la condición de pavimento como BUENO. Sin embargo se puede ver que el km 4 califica su condición de pavimento como REGULAR, lo cual incide al promediar los valores PCI de todos los km evaluados.

El PCI de calificación buena denota que la vía aún se encuentra en condición óptima de brindar a los usuarios una transitabilidad de calidad.

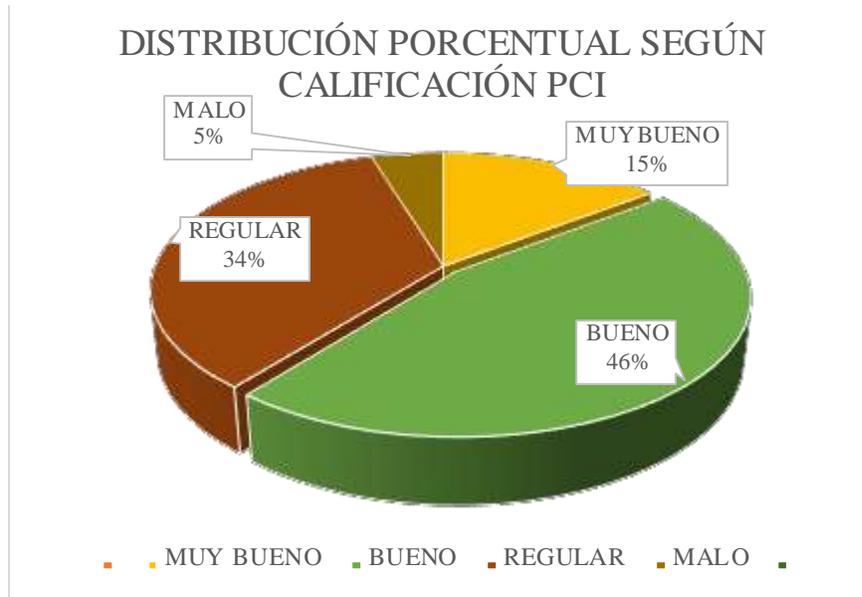
3.9.3 Análisis de calificación PCI según las unidades de muestreo de 0+000 – 5+260

Tabla 3.36: Resumen de calificación PCI

Tramo de evaluación			# de unidades de muestreo según su calificación	Condición del pavimento
N°	Progresiva Inicial	Progresiva Final		Calificación
0-6	0+000	5+260	0	EXCELENTE
			28	MUY BUENO
			88	BUENO
			66	REGULAR
			9	MALO
			0	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.16: Distribución porcentual según calificación PCI



Fuente: Elaboración propia

- **Muy bueno – bueno**

Las unidades de muestra de esta calificación, no presentan fallas considerables y brindan al usuario la comodidad necesaria al transitar.

- **Regular**

Este tipo de calificación denota que el estado del pavimento ocasiona una disminución de la velocidad de los vehículos que transitan por las zonas afectadas, en su mayoría aquellas donde la carpeta asfáltica es inexistente y donde hay hinchamientos.

- **Malo**

Aunque esta calificación representa el menor porcentaje del total de tramo, el pavimento del mismo no llegó a completar su vida útil. Se puede atribuir a esta condición, el pavimentado de un tramo empedrado sin previa estabilización del suelo.

3.9.4. Cuantificación de fallas según su severidad para todo el tramo

Tabla 3.37: Cuantificación de fallas para todo el tramo

Tramo Tomatitas - La Victoria				
Progresiva 0+000 a la progresiva 5+260				
Tipo de falla	Unidad de medida	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	159,91	208,41	36,91
Elevaciones y hundimientos	m ²	104,82	173,11	20,74
Grietas de borde	m	294,61	161,55	4,00
Grietas longitudinales y transversales	m	4481,20	293,90	21,8
Baches y parcheo	m ²	60,55	57,04	29,85
Agregado pulido	m ²	485,73		
Huecos	N°	79,00	33,00	8,00
Ahuellamiento	m ²	3,80	151,22	40,07
Hinchamientos	m ²	1,64	182,15	55,96
Disgregación	m ²	19,41	15,98	47,90

Fuente: Elaboración propia

De la cuantificación global de fallas, se puede determinar que en el tramo evaluado “Tomatitas – La Victoria” predomina el tipo de falla Grietas longitudinales y Transversales. Las causas de éstas; generalmente son debido a la debilidad de la junta entre las capas contiguas del pavimento, el tendido de material tiene incidencia en este tipo de falla. La deficiencia en el drenaje del pavimento, produce filtraciones subterráneas que ocasiona que las piedras cambien su posición, este factor influye en la mayor parte de las fallas.

La capa contigua al ripiado del empedrado en la progresiva 2+000 a 5+260 es un suelo CL (arcilla con presencia de materia orgánica expansiva), que ocasiona hinchamientos.

Las operaciones de rehabilitación y mantenimiento para este tipo de falla, cuando se encuentran en una severidad baja de agrietamiento (mayor a 3 mm) se debe realizar un

sellado, en una severidad media se debe realizar un sellado o parcheo de profundidad parcial y para los de severidad alta se debe hacer un parcheo profundo.

La falla Agregado Pulido, es la segunda falla evaluada respecto al total de área afectada. Aunque este tipo de falla no presenta niveles de severidad definidos, para el cálculo de porcentajes y severidad, se cuantificó como falla de severidad BAJA. Este tipo de falla es predominante en los accesos al tramo y en los cruces con otros tramos como ser: cruce Coimata, La Ensenada y los accesos a condominios en la zona de Tomatitas. Se origina por repeticiones de carga, que originan el desgaste de la carpeta de rodadura, volviendo a la misma suave al tacto.

Las Grietas de Borde ocupan el tercer lugar de falla. Se realiza la misma operación de mantenimiento y rehabilitación que en el caso de grietas longitudinales y transversales.

La falla Piel de Cocodrilo tiene un área afectada considerable. El tramo de estudio fue proyectado para tráfico liviano, este tipo de falla surge por la sobrecarga de circulación de camiones de alto tonelaje (16 m³), que produce fatiga en el pavimento (quiebre en piezas irregulares) y por no contar con un paquete estructural adecuado. También es importante mencionar que tras la apertura del camino empedrado, tuvo que transcurrir un lapso de trece años para la colocación de la carpeta asfáltica, motivo por el cual las partículas se fueron acomodando de acuerdo al tránsito vehicular y al ser pavimentado, en algunas secciones el espesor de la carpeta es mucho menor al señalado (3cm) líneas arriba.

Las operaciones de mantenimiento tanto para la severidad media y alta, consiste en parcheo parcial, sobre carpeta, en algunos casos si el área afectada es considerable conviene realizar la reconstrucción de la misma.

La información descrita líneas arriba es importante para la acción a tomar para el mantenimiento y/o rehabilitación de la vía.

Esta información será útil para la realización del presupuesto de mantenimiento de la vía, donde se describirán las medidas o acciones para intervenir las fallas identificadas.

3.9.5 Alternativas de solución

De acuerdo al estado actual de la vía, el siguiente trabajo propone las siguientes alternativas de solución:

3.9.5.1 Mantenimiento periódico

La tabla 3.38, propone los trabajos a realizar para el mantenimiento de la vía.

Las fallas con severidad BAJA no requieren ningún tipo de mantenimiento debido a que aún es posible permitir su presencia en la vía, ya que no afectan de manera significativa en la comodidad de los usuarios.

Las fallas de severidad MEDIA y ALTA se han optado por realizar un bacheo en áreas localizadas que presenten agrietamientos, deformaciones, hundimientos y disgregación. El procedimiento consiste en limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla.

Tabla 3.38: Opciones de mantenimiento y rehabilitación de acuerdo a la falla

Tipo de falla	Severidad	Fresado		Eliminación		Carpeta asfáltica en caliente	Sellado de Fisuras Media	Sellado de fisuras alta
		de carpeta asfáltica (m ²)	Trazo y replanteo (m ²)	de material excedente (m ³)	Imprimación (m ²)			
Piel de cocodrilo	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		
Elevaciones y hundimiento	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		
Grietas de borde	L							
	M						x	
	H							x
Grietas long. y transversales	L							
	M						x	
	H							x
Baches y parcheo	L							
	M	x	x	x	x	x		

	H	x	x	x	x	x		
Huecos	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		
Ahuellamiento	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		
Hinchamiento	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		
Disgregación	L							
	M	x	x	x	x	x		
	H	x	x	x	x	x		

Fuente: Elaboración propia

Se cuenta con el total del área afectada y análisis de precios unitarios para cada tipo de trabajo de mantenimiento y rehabilitación para las fallas existente y nivel de severidad, por lo que se procederá a realizar el presupuesto correspondiente.

El presupuesto es presentado a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 3.39: Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación

Nº	Descripción	Unid	Cantidad	P.U.	Literal	Parcial
>	M01 - TRABAJOS PRELIMINARES					2401,74
1	TRAZADO Y REPLANTEO	glb	1060,37	2,27	Dos 27/100	2401,74
>	M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS Y DEMOLICIÓN					40990,23
2	FRESADO DE CARPETA ASFÁLTICO EN MAL ESTADO	m ²	1060,37	8,92	Ocho 92/100	9457,15
3	DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA	m ²	1060,37	29,74	Veintinueve 74/100	31533,08
>	M03 - SELLADO DE FISURAS					134364,88
4	IMPRIMACIÓN	m ²	1060,37	18,94	Dieciocho 94/100	20079,15

5	BACHEO SUPERFICIAL	m ²	1060,37	96,95	Noventa y seis 95/100	102804,92
6	SELLADO DE FISURAS	m	481,32	23,85	Veintitrés 85/100	11480,81
>	M04 - SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL					164310,24
7	PINTADO DE LINEAS CONTINUAS e=0,10 m	m	10520,00	10,92	Diez 92/100	114895,77
8	PINTADO DE LINEAS DISCONTINUAS e=0,10 m	m	5260,00	9,39	Nueve 39/100	49414,47
	Total presupuesto:					342067,09
Son: Trescientos Cuarenta y Dos Mil Sesenta y Siete 09/100 Bolivianos						

Fuente: Elaboración propia

3.9.5.2 Alternativas de mejoramiento

En vista del actual estado de la vía, se planteó dos alternativas de mejoramiento, que ayudará a incrementar su vida útil y la calidad que ofrece al usuario. Por la experiencia que cuenta tanto el Municipio de San Lorenzo y el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) en obras viales de mejoramiento, es más viable realizar el recapado de la misma con una capa asfáltica en caliente de 0.05 m de espesor, o ya sea el tratamiento superficial triple.

- Carpeta asfáltica en caliente

Con un espesor de 5 cm., la carpeta asfáltica propone rehabilitar la totalidad del tramo, siendo su aplicación previamente sellada las fisuras y reparados los baches.

Su costo es mayor al de los tratamientos superficiales y tiene una vida útil entre 15 años desde su puesta en servicio.

Este tipo de mezclas puede ser preparado en planta o en el lugar de la obra.

Tabla 3.40: Presupuesto de Carpeta asfáltica en caliente e=0,05 m.

N°	Descripción	Unid	Cantidad	P.U.	Literal	Parcial
>	M01 - TRABAJOS PRELIMINARES					2401,74
1	TRAZADO Y REPLANTEO	glb	1060,37	2,27	Dos 27/100	2401,74

>	M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS Y DEMOLICIÓN					40990,23
2	FRESADO DE CARPETA ASFÁLTICO EN MAL ESTADO	m ²	1060,37	8,92	Ocho 92/100	9457,15
3	DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA	m ²	1060,37	29,74	Veintinueve 74/100	31533,08
	M03 - SELLADO DE					
>	FISURAS					134364,88
4	IMPRIMACIÓN	m ²	1060,37	18,94	Dieciocho 94/100	20079,15
5	BACHEO SUPERFICIAL	m ²	1060,37	96,95	Noventa y seis 95/100	102804,92
6	SELLADO DE FISURAS	m	481,32	23,85	Veintitrés 85/100	11480,81
>	M04 - CAPA DE					
7	RODADURA CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE					2216071,20
	e=0,05mts	m ³	2041,00	1085,78	Doscientos sesenta y dos 38/100	2216071,20
>	M04 - SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL					164310,24
8	PINTADO DE LÍNEAS CONTINUAS e=0,10 m	m	10520,00	10,92	Diez 92/100	114895,77
	PINTADO DE LÍNEAS DISCONTINUAS e=0,10				Nueve	
9	m	m	5260,00	9,39	39/100	49414,47

Total presupuesto: 2558138,29
 Son: Dos Millones Quinientos Cincuenta y Ocho Mil Ciento Treinta y Ocho 29/100 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia

- Tratamiento Superficial Triple

Consiste en aplicar riegos de gravilla y emulsión asfáltica de mayor a menor gradación para luego compactar, proporciona una macro textura antideslizante, y es de costo accesible respecto a las mezclas asfálticas en caliente. Restaura pavimentos fisurados, deformados y envejecidos.

Este tipo de mejora es de menor costo y de aplicación rápida respecto a mezclas asfálticas calientes.

A continuación se muestra el presupuesto para esta alternativa de mejora.

Tabla 3.41: Presupuesto de Tratamiento Superficial Triple

Nº	Descripción	Unid	Cantidad	P.U.	Literal	Parcial
>	M01 - TRABAJOS PRELIMINARES					2401,74
1	TRAZADO Y REPLANTEO	glb	1060,37	2,27	Dos 27/100	2401,74
>	M02 - MOVIMIENTO DE TIERRAS Y DEMOLICIÓN					31533,08
2	DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA	m ²	1060,37	29,74	Veintinueve 74/100	31533,08
>	M03 - SELLADO DE FISURAS					11480,81
3	SELLADO DE FISURAS	m	481,32	23,85	Veintitrés 85/100	11480,81
>	M04 - CAPA DE RODADURA					719596,79
4	TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE	m ²	40820,00	17,63	Doscientos sesenta y dos 38/100	719596,79
>	M04 - SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL					164310,24
5	PINTADO DE LÍNEAS CONTINUAS e=0,10 m	m	10520,00	10,92	Diez 92/100	114895,77
6	PINTADO DE LÍNEAS DISCONTINUAS e=0,10 m	m	5260,00	9,39	Nueve 39/100	49414,47
	Total presupuesto:					929322,67

Son: Novecientos Veintinueve Mil Trescientos Veintidós 67/000 Bolivianos

Fuente: Elaboración propia

3.10 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Tabla 3.42: Lecturación Viga de Benkelman

ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO										
REGISTRO DE CAMPO										
Ensayo Viga de Benkelman										
Proyecto:	"EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL TRAMO TOMATITAS - LA VICTORIA"									
Carril	DERECHO									
Tramo:	0+000		REALIZADO POR : GISELA IBHET							
	-		SIVILA MONTES							
	5+260									
Segmento	Progr.	Fecha	Temp.	Lecturas De Campo (0,01 Mm)						
N°	(Km)		Asf. °C	L0	L25	L50	L100	L150	L200	L700
1	0+000	27/10/2017	21,50	0	8,00	10,00	12,00	14,00	19,00	23,00
2	0+050	27/10/2017	21,50	0	12,00	17,00	21,00	24,00	26,00	30,00
3	0+100	27/10/2017	21,50	0	9,00	13,00	15,00	18,00	20,00	27,00
4	0+150	27/10/2017	22,00	0	10,00	12,00	17,00	21,00	23,00	28,00
5	0+200	27/10/2017	21,50	0	11,00	12,00	15,00	18,00	19,00	26,00
6	0+250	27/10/2017	21,00	0	9,00	11,00	13,00	15,00	20,00	28,00
7	0+300	27/10/2017	22,00	0	12,00	15,00	17,00	19,00	23,00	26,00
8	0+350	27/10/2017	21,50	0	14,00	17,00	20,00	23,00	25,00	31,00
9	0+400	27/10/2017	21,00	0	12,00	14,00	17,00	21,00	26,00	33,00
10	0+450	27/10/2017	21,50	0	15,00	17,00	21,00	25,00	29,00	34,00
11	0+500	27/10/2017	22,00	0	13,00	15,00	20,00	24,00	27,00	36,00
12	0+550	27/10/2017	22,50	0	16,00	19,00	23,00	28,00	31,00	37,00
13	0+600	27/10/2017	21,00	0	14,00	18,00	22,00	25,00	32,00	38,00
14	0+650	27/10/2017	21,00	0	12,00	16,00	21,00	24,00	27,00	33,00
15	0+700	27/10/2017	21,00	0	13,00	17,00	22,00	27,00	30,00	35,00
16	0+750	27/10/2017	23,00	0	9,00	14,00	18,00	22,00	28,00	33,00
17	0+800	27/10/2017	22,50	0	8,00	10,00	12,00	16,00	21,00	26,00
18	1+000	27/10/2017	23,50	0	7,00	8,00	10,00	16,00	18,00	25,00
19	1+050	27/10/2017	22,00	0	10,00	13,00	15,00	18,00	21,00	27,00
20	1+100	27/10/2017	24,00	0	14,00	17,00	21,00	25,00	28,00	36,00

21	1+150	27/10/2017	23,50	0	13,00	17,00	23,00	27,00	32,00	37,00
22	1+200	27/10/2017	24,00	0	17,00	22,00	25,00	28,00	30,00	38,00
23	1+250	27/10/2017	24,00	0	13,00	17,00	22,00	27,00	31,00	36,00
24	1+300	27/10/2017	24,00	0	11,00	15,00	19,00	23,00	30,00	34,00
25	1+350	27/10/2017	24,50	0	13,00	17,00	20,00	24,00	27,00	33,00
26	1+400	27/10/2017	23,00	0	8,00	12,00	16,00	21,00	25,00	31,00
27	1+450	27/10/2017	24,50	0	15,00	18,00	22,00	25,00	31,00	34,00
28	1+500	27/10/2017	28,00	0	17,00	21,00	24,00	28,00	32,00	37,00
29	1+550	27/10/2017	27,00	0	18,00	23,00	27,00	31,00	34,00	39,00
30	1+600	27/10/2017	28,50	0	15,00	20,00	23,00	25,00	29,00	36,00
31	1+650	27/10/2017	32,00	0	17,00	24,00	27,00	31,00	36,00	42,00
32	1+700	27/10/2017	32,00	0	16,00	22,00	24,00	30,00	35,00	39,00
33	1+750	27/10/2017	32,50	0	19,00	24,00	27,00	33,00	37,00	42,00
34	1+800	27/10/2017	36,00	0	25,00	33,00	37,00	41,00	45,00	48,00
35	1+850	27/10/2017	36,50	0	22,00	31,00	37,00	40,00	45,00	51,00
36	1+900	27/10/2017	36,00	0	17,00	22,00	27,00	31,00	36,00	42,00
37	1+950	27/10/2017	34,00	0	19,00	18,00	22,00	25,00	30,00	36,00
38	2+000	27/10/2017	38,00	0	13,00	18,00	22,00	26,00	31,00	39,00
39	2+050	27/10/2017	36,00	0	21,00	25,00	29,00	35,00	39,00	42,00
40	2+100	27/10/2017	38,00	0	27,00	31,00	35,00	40,00	43,00	47,00
41	2+150	27/10/2017	34,00	0	25,00	29,00	32,00	38,00	41,00	45,00
42	2+200	27/10/2017	37,00	0	25,00	30,00	35,00	41,00	47,00	55,00
43	2+250	27/10/2017	38,50	0	28,00	32,00	37,00	42,00	48,00	55,00
44	2+300	27/10/2017	38,50	0	22,00	28,00	35,00	41,00	46,00	52,00
45	2+350	27/10/2017	38,00	0	21,00	29,00	35,00	39,00	44,00	48,00
46	2+400	27/10/2017	39,00	0	24,00	31,00	33,00	37,00	42,00	50,00
47	2+450	27/10/2017	37,00	0	27,00	34,00	38,00	43,00	49,00	53,00
48	2+500	27/10/2017	38,50	0	27,00	35,00	42,00	46,00	51,00	57,00
49	2+550	27/10/2017	23,00	0	42,00	38,00	43,00	51,00	55,00	59,00
50	2+600	27/10/2017	38,00	0	28,00	34,00	41,00	49,00	54,00	60,00
51	2+650	27/10/2017	38,00	0	22,00	30,00	37,00	44,00	51,00	59,00
52	2+700	27/10/2017	38,00	0	28,00	35,00	39,00	42,00	47,00	55,00
53	2+750	27/10/2017	38,00	0	29,00	37,00	42,00	49,00	53,00	60,00
54	2+800	27/10/2017	38,50	0	27,00	35,00	43,00	51,00	56,00	62,00
55	2+850	27/10/2017	39,00	0	24,00	30,00	38,00	46,00	54,00	62,00
56	2+900	27/10/2017	39,00	0	30,00	37,00	43,00	48,00	53,00	60,00
57	2+950	27/10/2017	39,00	0	27,00	35,00	43,00	50,00	58,00	67,00

58	3+000	27/10/2017	38,50	0	26,00	32,00	40,00	47,00	52,00	60,00
59	3+050	27/10/2017	39,00	0	28,00	36,00	43,00	48,00	53,00	60,00
60	3+100	27/10/2017	39,00	0	14,00	22,00	31,00	39,00	46,00	55,00
61	3+150	27/10/2017	38,00	0	22,00	31,00	40,00	47,00	55,00	64,00
62	3+200	27/10/2017	38,50	0	27,00	33,00	41,00	50,00	58,00	70,00
63	3+250	27/10/2017	39,50	0	30,00	38,00	45,00	52,00	61,00	70,00
64	3+300	27/10/2017	39,50	0	28,00	35,00	43,00	52,00	60,00	68,00
65	3+350	27/10/2017	39,50	0	30,00	36,00	44,00	53,00	60,00	70,00
66	3+400	27/10/2017	40,00	0	27,00	37,00	43,00	52,00	59,00	68,00
67	3+450	27/10/2017	40,00	0	22,00	30,00	37,00	45,00	53,00	63,00
68	3+500	27/10/2017	40,00	0	28,00	35,00	44,00	50,00	57,00	66,00
69	3+550	27/10/2017	40,20	0	25,00	35,00	43,00	52,00	61,00	70,00
70	3+600	27/10/2017	42,00	0	20,00	28,00	33,00	42,00	47,00	55,00
71	3+650	27/10/2017	41,00	0	22,00	32,00	40,00	49,00	54,00	60,00
72	3+700	27/10/2017	42,00	0	24,00	32,00	39,00	44,00	47,00	53,00
73	3+750	27/10/2017	42,00	0	22,00	28,00	34,00	43,00	48,00	55,00
74	3+800	27/10/2017	42,00	0	24,00	30,00	34,00	37,00	42,00	49,00
75	3+850	27/10/2017	43,50	0	23,00	27,00	34,00	40,00	44,00	51,00
76	3+900	27/10/2017	43,00	0	21,00	25,00	31,00	36,00	40,00	44,00
77	3+950	27/10/2017	43,00	0	25,00	27,00	33,00	38,00	41,00	47,00
78	4+000	27/10/2017	43,00	0	20,00	27,00	32,00	40,00	44,00	50,00
79	4+050	27/10/2017	45,00	0	21,00	25,00	34,00	38,00	40,00	45,00
80	4+100	27/10/2017	46,00	0	25,00	31,00	36,00	39,00	44,00	51,00
81	4+150	27/10/2017	44,00	0	26,00	29,00	34,00	37,00	41,00	53,00
82	4+200	27/10/2017	45,00	0	17,00	25,00	29,00	35,00	39,00	46,00
83	4+250	27/10/2017	45,00	0	22,00	33,00	40,00	46,00	52,00	46,00
84	4+300	27/10/2017	45,00	0	20,00	27,00	33,00	38,00	45,00	52,00
85	4+350	27/10/2017	44,50	0	18,00	26,00	30,00	34,00	37,00	44,00
86	4+400	27/10/2017	45,00	0	15,00	21,00	27,00	33,00	40,00	47,00
87	4+450	27/10/2017	43,00	0	14,00	18,00	22,00	27,00	33,00	41,00
88	4+500	27/10/2017	45,00	0	19,00	25,00	29,00	35,00	40,00	47,00
89	4+550	27/10/2017	45,50	0	21,00	24,00	29,00	36,00	39,00	44,00
90	4+600	27/10/2017	44,50	0	17,00	20,00	27,00	33,00	41,00	49,00
91	4+650	27/10/2017	45,00	0	14,00	20,00	24,00	29,00	35,00	42,00
92	4+700	27/10/2017	45,00	0	11,00	18,00	23,00	30,00	38,00	45,00
93	4+750	27/10/2017	45,00	0	18,00	23,00	27,00	35,00	40,00	49,00
94	4+800	27/10/2017	45,00	0	22,00	26,00	28,00	32,00	36,00	44,00

95	4+850	27/10/2017	45,00	0	11,00	15,00	21,00	26,00	34,00	41,00
96	4+900	27/10/2017	44,00	0	16,00	22,00	28,00	35,00	39,00	47,00
97	4+950	27/10/2017	45,50	0	23,00	30,00	37,00	44,00	48,00	55,00
98	5+000	27/10/2017	45,50	0	8,00	13,00	18,00	25,00	31,00	40,00
99	5+050	27/10/2017	45,50	0	14,00	19,00	26,00	33,00	38,00	43,00
100	5+100	27/10/2017	45,00	0	11,00	16,00	19,00	26,00	33,00	41,00
101	5+150	27/10/2017	45,00	0	22,00	26,00	33,00	37,00	44,00	48,00
102	5+200	27/10/2017	44,00	0	14,00	23,00	27,00	35,00	39,00	44,00
103	5+250	27/10/2017	45,00	0	25,00	30,00	37,00	43,00	52,00	61,00

Fuente: Elaboración propia

3.10.1 Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento

Una vez recogidos los datos de campo en el tramo “Tomatitas – La Victoria”, como las lecturas que se toman en el extensómetro corresponden a componentes de deformación en un proceso de descarga el valor o lectura final será menor que el inicial tal como se puede observar en el formato de cálculo de deflexiones, se procede a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son la deflexión máxima y el radio de curvatura a continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de para la primera medición tomada en la progresiva 0+000:

Cálculo de la deflexión máxima:

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

$$D_o = 1,00 * (0 - 23) * (-1)$$

$$D_o = 23 * 10^{-2} \text{mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$D_{20} = \frac{23}{0,001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} * (21,5 - 20^\circ\text{C}) * 3\text{cm} + 1}$$

$$D_{20} = 22,897 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por estacionalidad:

Según el estudio CONVERIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizan los ensayos, para el caso ensayo del tramo Tomatitas – La Victoria realizando la clasificación del suelo de subrasante según AASHTO es un suelo arenoso, en función a los datos obtenidos se adopta un factor de corrección por estacionalidad (fce) = 1,1

$$DO = D_{20} * Fce$$

$$DO = 22,897 * 10^{-2} \text{ mm} * 1,1$$

$$DO = 25,187 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Deflexión a la distancia de 25 cm:

El procedimiento de cálculo para determinar la deflexión a la distancia de 25 cm se procede de la misma manera que para el cálculo de la deflexión máxima tomando en cuenta los factores de corrección tanto para temperatura como también por estacionalidad.

$$D_{25} = K(L_{25} - L_f)$$

$$D_{25} = 1,00(8 - 23) * (-1)$$

$$D_{25} = 15 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

$$D_{25'} = \frac{D_{25}}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$D_{25'} = \frac{15}{0,001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (21,5 - 20^{\circ}\text{C}) * 3\text{cm} + 1}$$

$$D_{25'} = 14,933 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por estacionalidad:

$$\delta_{25} = \delta_{25'} * F_{ce}$$

$$\delta_{25} = 14,933 * 10^{-2} \text{ mm} * 1,1$$

$$\delta_{25} = 16,426 * 10^{-2} \text{ mm}$$

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.

$$R_c = \frac{6250}{K * (D_0 - \delta_{25})}$$

$$R_c = 356,694 \text{ m}$$

$$100 < R_c < 500$$

Se puede verificar que el radio de curvatura obtenido se encuentra en el rango adecuado.

Deflexión admisible:

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado, la expresión que define este parámetro viene dada por la siguiente fórmula propuesta por Yang H. Huang:

$$D_a = 26,32202 * N^{18^{-0,2438}}$$

Donde:

σ_{adm} = deflexión admisible de la estructura de referencia, mm.

N = número de Ejes Equivalentes de 8.2 Ton, para un periodo de diseño

De los datos aforados de tráfico vehicular en la progresiva 1+800, se determinó el Número de Ejes Equivalentes igual a 250482 para un periodo de 20 años (ver ANEXO VII).

$$Da = 26,32202 * 250482^{-0,2438}$$

$$Da = 1,27 \text{ mm}$$

$$Do < Dadm$$

$$25,187 * 10^{-2} \text{ mm} < 1,27 \text{ mm}$$

La deflexión máxima para la primera medición es menor a la deflexión admisible, por lo tanto se encuentra por debajo de su capacidad estructural.

El pavimento del tramo "Tomatitas – La Victoria" tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

3.10.2 Resultados

Tabla 3.43: Deflexiones tabuladas

Análisis deflectométrico									
Registro de campo									
Ensayo Viga de Benkelman									
Proyecto:	"EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL TRAMO TOMATITAS - LA VICTORIA"								
Carril:	Derecho							Esesor de pavimento = 3cm	
Tramo:	0+000	-	5+260					Factor estacional = 1,3	K=1
								Realizado por: Gisela Ibhet	Sivila Montes
Segmento	Progr.	Factor corrección	Deflexiones corregidas por temperatura a 20°C						
			N°	(km)	por Temperatura	D0	D25	D50	D100
1	0+015	0,995	25,19	16,42	14,24	12,05	9,86	4,38	0,00
2	0+050	0,995	32,85	19,71	14,24	9,86	6,57	4,38	0,00

3	0+100	0,995	29,57	19,71	15,33	13,14	9,86	7,67	0,00
4	0+150	0,994	30,62	19,68	17,50	12,03	7,65	5,47	0,00
5	0+200	0,995	28,47	16,42	15,33	12,05	8,76	7,67	0,00
6	0+250	0,997	30,71	20,83	18,64	16,45	14,26	8,77	0,00
7	0+300	0,994	28,43	15,30	12,03	9,84	7,65	3,28	0,00
8	0+350	0,995	33,95	18,61	15,33	12,05	8,76	6,57	0,00
9	0+400	0,997	36,19	23,03	20,84	17,55	13,16	7,68	0,00
10	0+450	0,995	37,23	20,80	18,62	14,24	9,86	5,48	0,00
11	0+500	0,994	39,36	25,14	22,96	17,50	13,12	9,84	0,00
12	0+550	0,992	40,40	22,92	19,65	15,29	9,83	6,55	0,00
13	0+600	0,997	41,67	26,32	21,93	17,55	14,26	6,58	0,00
14	0+650	0,997	36,19	23,03	18,64	13,16	9,87	6,58	0,00
15	0+700	0,997	38,38	24,12	19,74	14,26	8,77	5,48	0,00
16	0+750	0,991	35,98	26,16	20,71	16,35	11,99	5,45	0,00
17	0+800	0,992	28,39	19,65	17,47	15,29	10,92	5,46	0,00
18	1+000	0,989	27,21	19,59	18,51	16,33	9,80	7,62	0,00
19	1+050	0,994	29,52	18,58	15,31	13,12	9,84	6,56	0,00
20	1+100	0,988	39,13	23,91	20,65	16,30	11,96	8,70	0,00
21	1+150	0,989	40,28	26,12	21,77	15,24	10,89	5,44	0,00
22	1+200	0,988	41,30	22,82	17,39	14,13	10,87	8,70	0,00
23	1+250	0,988	39,13	25,00	20,65	15,22	9,78	5,43	0,00
24	1+300	0,988	36,96	25,00	20,65	16,30	11,96	4,35	0,00
25	1+350	0,986	35,82	21,70	17,37	14,11	9,77	6,51	0,00
26	1+400	0,991	33,80	25,07	20,71	16,35	10,90	6,54	0,00
27	1+450	0,986	36,90	20,62	17,37	13,02	9,77	3,26	0,00
28	1+500	0,976	39,75	21,48	17,19	13,96	9,67	5,37	0,00
29	1+550	0,979	42,02	22,62	17,24	12,93	8,62	5,39	0,00
30	1+600	0,975	38,62	22,52	17,16	13,94	11,80	7,51	0,00
31	1+650	0,965	44,59	26,54	19,11	15,93	11,68	6,37	0,00
32	1+700	0,965	41,41	24,42	18,05	15,93	9,56	4,25	0,00
33	1+750	0,963	44,53	24,38	19,08	15,90	9,54	5,30	0,00
34	1+800	0,954	50,38	24,14	15,74	11,55	7,35	3,15	0,00
35	1+850	0,952	53,45	30,39	20,96	14,67	11,53	6,29	0,00
36	1+900	0,954	44,08	26,24	20,99	15,74	11,55	6,30	0,00
37	1+950	0,959	38,00	17,94	19,00	14,78	11,61	6,33	0,00
38	2+000	0,948	40,70	27,13	21,92	17,74	13,57	8,35	0,00
39	2+050	0,954	44,08	22,04	17,84	13,65	7,35	3,15	0,00

40	2+100	0,948	49,05	20,87	16,70	12,52	7,31	4,17	0,00
41	2+150	0,959	47,50	21,11	16,89	13,72	7,39	4,22	0,00
42	2+200	0,951	57,56	31,39	26,17	20,93	14,65	8,37	0,00
43	2+250	0,947	57,32	28,13	23,97	18,76	13,55	7,30	0,00
44	2+300	0,947	54,19	31,26	25,01	17,72	11,46	6,25	0,00
45	2+350	0,948	50,09	28,17	19,83	13,57	9,39	4,17	0,00
46	2+400	0,946	52,03	27,05	19,77	17,69	13,53	8,33	0,00
47	2+450	0,951	55,47	27,21	19,89	15,70	10,47	4,19	0,00
48	2+500	0,947	59,40	31,26	22,93	15,63	11,46	6,25	0,00
49	2+550	0,604	39,24	11,30	13,97	10,64	5,32	2,66	0,00
50	2+600	0,948	62,62	33,39	27,13	19,83	11,48	6,26	0,00
51	2+650	0,948	61,57	38,61	30,27	22,96	15,65	8,35	0,00
52	2+700	0,948	57,40	28,17	20,87	16,70	13,57	8,35	0,00
53	2+750	0,948	62,62	32,35	24,00	18,79	11,48	7,31	0,00
54	2+800	0,947	64,61	36,47	28,14	19,80	11,46	6,25	0,00
55	2+850	0,946	64,52	39,54	33,30	24,98	16,65	8,33	0,00
56	2+900	0,946	62,44	31,22	23,94	17,69	12,49	7,28	0,00
57	2+950	0,946	69,73	41,62	33,30	24,98	17,69	9,37	0,00
58	3+000	0,947	62,53	35,43	29,18	20,84	13,55	8,34	0,00
59	3+050	0,946	62,44	33,30	24,98	17,69	12,49	7,28	0,00
60	3+100	0,946	57,24	42,66	34,34	24,98	16,65	9,37	0,00
61	3+150	0,948	66,79	43,83	34,44	25,05	17,74	9,39	0,00
62	3+200	0,947	72,95	44,81	38,56	30,22	20,84	12,51	0,00
63	3+250	0,944	72,74	41,56	33,25	25,98	18,71	9,35	0,00
64	3+300	0,944	70,67	41,56	34,29	25,98	16,63	8,31	0,00
65	3+350	0,944	72,74	41,56	35,33	27,02	17,67	10,39	0,00
66	3+400	0,943	70,57	42,54	32,17	25,94	16,60	9,34	0,00
67	3+450	0,943	65,38	42,54	34,25	26,98	18,68	10,38	0,00
68	3+500	0,943	68,49	39,43	32,17	22,83	16,60	9,34	0,00
69	3+550	0,942	72,60	46,67	36,30	28,00	18,67	9,33	0,00
70	3+600	0,938	56,75	36,11	27,86	22,70	13,41	8,26	0,00
71	3+650	0,940	62,09	39,32	28,97	20,70	11,38	6,21	0,00
72	3+700	0,938	54,69	29,92	21,67	14,45	9,29	6,19	0,00
73	3+750	0,938	56,75	34,05	27,86	21,67	12,38	7,22	0,00
74	3+800	0,938	50,56	25,79	19,61	15,48	12,38	7,22	0,00
75	3+850	0,934	52,41	28,77	24,66	17,47	11,30	7,19	0,00
76	3+900	0,935	45,28	23,66	19,55	13,38	8,23	4,12	0,00

77	3+950	0,935	48,36	22,63	20,58	14,41	9,26	6,17	0,00
78	4+000	0,935	51,45	30,86	23,67	18,52	10,29	6,17	0,00
79	4+050	0,930	46,05	24,55	20,47	11,26	7,16	5,12	0,00
80	4+100	0,927	52,04	26,53	20,41	15,31	12,24	7,14	0,00
81	4+150	0,932	54,38	27,70	24,63	19,50	16,42	12,31	0,00
82	4+200	0,930	47,07	29,67	21,49	17,40	11,26	7,16	0,00
83	4+250	0,930	47,07	24,55	13,30	6,14	0,00	-6,14	0,00
84	4+300	0,930	53,21	32,74	25,58	19,44	14,33	7,16	0,00
85	4+350	0,931	45,09	26,64	18,44	14,35	10,25	7,17	0,00
86	4+400	0,930	48,09	32,74	26,60	20,47	14,33	7,16	0,00
87	4+450	0,935	42,19	27,78	23,67	19,55	14,41	8,23	0,00
88	4+500	0,930	48,09	28,65	22,51	18,42	12,28	7,16	0,00
89	4+550	0,928	44,96	23,50	20,44	15,33	8,17	5,11	0,00
90	4+600	0,931	50,21	32,78	29,72	22,54	16,39	8,20	0,00
91	4+650	0,930	42,98	28,65	22,51	18,42	13,30	7,16	0,00
92	4+700	0,930	46,05	34,79	27,63	22,51	15,35	7,16	0,00
93	4+750	0,930	50,14	31,72	26,60	22,51	14,33	9,21	0,00
94	4+800	0,930	45,02	22,51	18,42	16,37	12,28	8,19	0,00
95	4+850	0,930	41,95	30,69	26,60	20,47	15,35	7,16	0,00
96	4+900	0,932	48,23	31,80	25,65	19,50	12,31	8,21	0,00
97	4+950	0,928	56,20	32,69	25,55	18,39	11,24	7,15	0,00
98	5+000	0,928	40,87	32,69	27,59	22,48	15,33	9,20	0,00
99	5+050	0,928	43,94	29,63	24,52	17,37	10,22	5,11	0,00
100	5+100	0,930	41,95	30,69	25,58	22,51	15,35	8,19	0,00
101	5+150	0,930	49,12	26,60	22,51	15,35	11,26	4,09	0,00
102	5+200	0,932	45,15	30,78	21,55	17,44	9,24	5,13	0,00
103	5+250	0,930	62,42	36,83	31,72	24,56	18,42	9,21	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44: Resultados de parámetros a evaluar (D0, D25 y Rc)

Análisis deflectométrico

Registro de campo									
Ensayo Viga de Benkelman									
"EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL TRAMO TOMATITAS - LA VICTORIA"									
Proyecto:									
Carril: Derecho									
Espesor de pavimento = 3cm									
Factor estacional = 1,3 K=1									
Tramo: 0+000 5+260									
Realizado por: Gisela Ibheth Sivila Montes									
Segmento	Progr.	Fecha	Temp.	Lecturas de campo (0,01 mm)			Parámetros de evaluación		
N°	(km)		Asf. °C	L0	L25	L700	D0	D25	Rc
1	0+015	27/10/2017	21,50	0	8,00	23,00	25,19	16,43	356,71
2	0+050	27/10/2017	21,50	0	12,00	30,00	32,85	19,71	237,81
3	0+100	27/10/2017	21,50	0	9,00	27,00	29,57	19,71	317,08
4	0+150	27/10/2017	22,00	0	10,00	28,00	30,62	19,68	285,80
5	0+200	27/10/2017	21,50	0	11,00	26,00	28,47	16,43	259,43
6	0+250	27/10/2017	21,00	0	9,00	28,00	30,71	20,84	316,60
7	0+300	27/10/2017	22,00	0	12,00	26,00	28,43	15,31	238,16
8	0+350	27/10/2017	21,50	0	14,00	31,00	33,95	18,62	203,84
9	0+400	27/10/2017	21,00	0	12,00	33,00	36,19	23,03	237,45
10	0+450	27/10/2017	21,50	0	15,00	34,00	37,23	20,81	190,25
11	0+500	27/10/2017	22,00	0	13,00	36,00	39,36	25,15	219,84
12	0+550	27/10/2017	22,50	0	16,00	37,00	40,40	22,93	178,89
13	0+600	27/10/2017	21,00	0	14,00	38,00	41,67	26,32	203,53
14	0+650	27/10/2017	21,00	0	12,00	33,00	36,19	23,03	237,45
15	0+700	27/10/2017	21,00	0	13,00	35,00	38,38	24,13	219,19
16	0+750	27/10/2017	23,00	0	9,00	33,00	35,98	26,16	318,50
17	0+800	27/10/2017	22,50	0	8,00	26,00	28,39	19,65	357,78
18	1+000	27/10/2017	23,50	0	7,00	25,00	27,21	19,59	410,11
19	1+050	27/10/2017	22,00	0	10,00	27,00	29,52	18,59	285,80
20	1+100	27/10/2017	24,00	0	14,00	36,00	39,13	23,91	205,36
21	1+150	27/10/2017	23,50	0	13,00	37,00	40,28	26,13	220,83

22	1+200	27/10/2017	24,00	0	17,00	38,00	41,30	22,83	169,12
23	1+250	27/10/2017	24,00	0	13,00	36,00	39,13	25,00	221,15
24	1+300	27/10/2017	24,00	0	11,00	34,00	36,96	25,00	261,36
25	1+350	27/10/2017	24,50	0	13,00	33,00	35,82	21,71	221,48
26	1+400	27/10/2017	23,00	0	8,00	31,00	33,80	25,07	358,31
27	1+450	27/10/2017	24,50	0	15,00	34,00	36,90	20,62	191,95
28	1+500	27/10/2017	28,00	0	17,00	37,00	39,75	21,48	171,12
29	1+550	27/10/2017	27,00	0	18,00	39,00	42,02	22,62	161,14
30	1+600	27/10/2017	28,50	0	15,00	36,00	38,62	22,53	194,22
31	1+650	27/10/2017	32,00	0	17,00	42,00	44,59	26,54	173,13
32	1+700	27/10/2017	32,00	0	16,00	39,00	41,41	24,42	183,95
33	1+750	27/10/2017	32,50	0	19,00	42,00	44,53	24,39	155,13
34	1+800	27/10/2017	36,00	0	25,00	48,00	50,38	24,14	119,09
35	1+850	27/10/2017	36,50	0	22,00	51,00	53,45	30,40	135,52
36	1+900	27/10/2017	36,00	0	17,00	42,00	44,08	26,24	175,13
37	1+950	27/10/2017	34,00	0	19,00	36,00	38,00	17,95	155,80
38	2+000	27/10/2017	38,00	0	13,00	39,00	40,70	27,13	230,33
39	2+050	27/10/2017	36,00	0	21,00	42,00	44,08	22,04	141,77
40	2+100	27/10/2017	38,00	0	27,00	47,00	49,05	20,87	110,90
41	2+150	27/10/2017	34,00	0	25,00	45,00	47,50	21,11	118,41
42	2+200	27/10/2017	37,00	0	25,00	55,00	57,56	31,40	119,43
43	2+250	27/10/2017	38,50	0	28,00	55,00	57,32	28,14	107,09
44	2+300	27/10/2017	38,50	0	22,00	52,00	54,19	31,26	136,30
45	2+350	27/10/2017	38,00	0	21,00	48,00	50,09	28,18	142,59
46	2+400	27/10/2017	39,00	0	24,00	50,00	52,03	27,06	125,12
47	2+450	27/10/2017	37,00	0	27,00	53,00	55,47	27,21	110,59
48	2+500	27/10/2017	38,50	0	27,00	57,00	59,40	31,26	111,06
49	2+550	27/10/2017	23,80	0	42,00	59,00	39,24	11,31	111,88
50	2+600	27/10/2017	38,00	0	28,00	60,00	62,62	33,40	106,94
51	2+650	27/10/2017	38,00	0	22,00	59,00	61,57	38,61	136,11
52	2+700	27/10/2017	38,00	0	28,00	55,00	57,40	28,18	106,94
53	2+750	27/10/2017	38,00	0	29,00	60,00	62,62	32,35	103,25
54	2+800	27/10/2017	38,50	0	27,00	62,00	64,61	36,48	111,06
55	2+850	27/10/2017	39,00	0	24,00	62,00	64,52	39,55	125,12
56	2+900	27/10/2017	39,00	0	30,00	60,00	62,44	31,22	100,09
57	2+950	27/10/2017	39,00	0	27,00	67,00	69,73	41,63	111,22
58	3+000	27/10/2017	38,50	0	26,00	60,00	62,53	35,43	115,33

59	3+050	27/10/2017	39,00	0	28,00	60,00	62,44	33,30	107,24
60	3+100	27/10/2017	39,00	0	14,00	55,00	57,24	42,67	214,49
61	3+150	27/10/2017	38,00	0	22,00	64,00	66,79	43,83	136,11
62	3+200	27/10/2017	38,50	0	27,00	70,00	72,95	44,81	111,06
63	3+250	27/10/2017	39,50	0	30,00	70,00	72,74	41,57	100,24
64	3+300	27/10/2017	39,50	0	28,00	68,00	70,67	41,57	107,40
65	3+350	27/10/2017	39,50	0	30,00	70,00	72,74	41,57	100,24
66	3+400	27/10/2017	40,00	0	27,00	68,00	70,57	42,55	111,53
67	3+450	27/10/2017	40,00	0	22,00	63,00	65,38	42,55	136,88
68	3+500	27/10/2017	40,00	0	28,00	66,00	68,49	39,43	107,55
69	3+550	27/10/2017	40,20	0	25,00	70,00	72,60	46,67	120,52
70	3+600	27/10/2017	42,00	0	20,00	55,00	56,75	36,12	151,42
71	3+650	27/10/2017	41,00	0	22,00	60,00	62,09	39,32	137,27
72	3+700	27/10/2017	42,00	0	24,00	53,00	54,69	29,92	126,18
73	3+750	27/10/2017	42,00	0	22,00	55,00	56,75	34,05	137,65
74	3+800	27/10/2017	42,00	0	24,00	49,00	50,56	25,80	126,18
75	3+850	27/10/2017	43,50	0	23,00	51,00	52,41	28,77	132,23
76	3+900	27/10/2017	43,00	0	21,00	44,00	45,28	23,67	144,62
77	3+950	27/10/2017	43,00	0	25,00	47,00	48,36	22,64	121,48
78	4+000	27/10/2017	43,00	0	20,00	50,00	51,45	30,87	151,85
79	4+050	27/10/2017	45,00	0	21,00	45,00	46,05	24,56	145,43
80	4+100	27/10/2017	46,00	0	25,00	51,00	52,04	26,53	122,50
81	4+150	27/10/2017	44,00	0	26,00	53,00	54,38	27,71	117,13
82	4+200	27/10/2017	45,00	0	17,00	46,00	47,07	29,67	179,65
83	4+250	27/10/2017	45,00	0	22,00	46,00	47,07	24,56	138,82
84	4+300	27/10/2017	45,00	0	20,00	52,00	53,21	32,74	152,70
85	4+350	27/10/2017	44,50	0	18,00	44,00	45,09	26,64	169,43
86	4+400	27/10/2017	45,00	0	15,00	47,00	48,09	32,74	203,60
87	4+450	27/10/2017	43,00	0	14,00	41,00	42,19	27,78	216,92
88	4+500	27/10/2017	45,00	0	19,00	47,00	48,09	28,65	160,74
89	4+550	27/10/2017	45,50	0	21,00	44,00	44,96	23,50	145,63
90	4+600	27/10/2017	44,50	0	17,00	49,00	50,21	32,79	179,40
91	4+650	27/10/2017	45,00	0	14,00	42,00	42,98	28,65	218,14
92	4+700	27/10/2017	45,00	0	11,00	45,00	46,05	34,79	277,63
93	4+750	27/10/2017	45,00	0	18,00	49,00	50,14	31,72	169,67
94	4+800	27/10/2017	45,00	0	22,00	44,00	45,02	22,51	138,82
95	4+850	27/10/2017	45,00	0	11,00	41,00	41,95	30,70	277,63

96	4+900	27/10/2017	44,00	0	16,00	47,00	48,23	31,81	190,34
97	4+950	27/10/2017	45,50	0	23,00	55,00	56,20	32,70	132,97
98	5+000	27/10/2017	45,50	0	8,00	40,00	40,87	32,70	382,28
99	5+050	27/10/2017	45,50	0	14,00	43,00	43,94	29,63	218,45
100	5+100	27/10/2017	45,00	0	11,00	41,00	41,95	30,70	277,63
101	5+150	27/10/2017	45,00	0	22,00	48,00	49,12	26,60	138,82
102	5+200	27/10/2017	44,00	0	14,00	44,00	45,15	30,78	217,53
103	5+250	27/10/2017	45,00	0	25,00	61,00	62,42	36,84	122,16

Fuente Elaboración propia

Tabla 3.45: Resultados finales Viga de Benkelman

Determinación de la deflexión característica			
Parámetros	Deflexión 1/100 mm		Radio curvatura (m)
	Do	D25	
Número	103,00	103,00	103,00
Promedios	48,24	28,36	178,70
Desviación Estándar	11,92	7,37	71,14
Deflexión Característica	63,81		
Deflexión Admisible	127,00		
Deflexión Máxima	72,95	46,67	
Deflexión Mínima	25,19	11,31	

Fuente: Elaboración propia

3.10.3 Análisis de los resultados de deflexiones

Después de tabular todas los datos obtenidos de la evaluación superficial del tramo ‘Tomatitas – La Victoria’, la deflexión máxima $Do = 72.95 \cdot 10^{-2}$ mm, se encuentra en la progresiva 3+200, la cual no supera a la $D_{adm} = 1,27$ mm. Por lo tanto todas las deflexiones máximas se encuentran por debajo de la deformación admisible, lo que significa que la estructura es capaz de resistir las sollicitaciones de tráfico.

Los radios de curvatura en su totalidad son mayores a 100 y menores a 500 m.

A medida que transcurre el tiempo de su vida útil, el pavimento flexible disminuye la capacidad de recuperación tras la aplicación de una carga.

Las deflexiones desde la progresiva 0+015 a 2+000, son menores respecto al resto del tramo, de esto se puede deducir que los valores menores corresponden a la edad del pavimento, ya que al encontrarse sobre un empedrado, el mismo se fue consolidando de manera que cada partícula esta acomodada en función al tráfico. No significa que es capaz de resistir mayores sollicitaciones de carga para aumentar su deflexión, sino que el aumento de tráfico puede alterar el orden de las partículas y producir así fisuras.

De la progresiva 2+000 a 5+260, las deflexiones se incrementan, debido a que la subrasante natural es inestable, siendo una arcilla pobre de baja capacidad portante, lo cual produjo en la carpeta de rodadura ondulaciones e hinchamientos. Los hinchamientos influyen directamente en la deflexión del pavimento, que al estar el suelo con un grado de saturación produce que se deflecte con facilidad, este tipo de falla ocurre debido a un deficiente drenaje y la no adecuada mejora de subrasante.

3.10.4 Análisis de los resultados PCI – deflexiones máximas

Tabla 3.46: Relación entre calificación PCI – deflexiones máximas km 4

Evaluación Superficial			Evaluación Estructural	
Progresiva	PCI	Calificación	Progresiva	Do
3+000 - 3+020	69	BUENO	3+000	60,00
3+020 - 3+040	54	REGULAR		
3+040 - 3+060	34	MALO	3+050	60,00
3+060 - 3+080	54	REGULAR		
3+080 - 3+100	54	REGULAR		
3+100 - 3+120	53	REGULAR	3+100	55,00
3+120 - 3+140	67	BUENO		
3+140 - 3+160	70	BUENO	3+150	64,00
3+160 - 3+180	63	BUENO		
3+180 - 3+200	58	BUENO		
3+200 - 3+220	53	REGULAR	3+200	70,00
3+220 - 3+240	63	BUENO		
3+240 - 3+260	53	REGULAR	3+250	70,00
3+260 - 3+280	53	REGULAR		

3+280 - 3+300	66	BUENO		
3+300 - 3+320	55	BUENO	3+300	68,00
3+320 - 3+340	62	BUENO		
3+340 - 3+360	59	BUENO	3+350	70,00
3+360 - 3+380	52	REGULAR		
3+380 - 3+400	66	BUENO		
3+400 - 3+420	49	REGULAR	3+400	68,00
3+420 - 3+440	60	BUENO		
3+440 - 3+460	41	REGULAR	3+450	63,00
3+460 - 3+480	40	REGULAR		
3+480 - 3+500	40	REGULAR		
3+500 - 3+532	46	REGULAR	3+500	66,00
3+532 - 3+564	41	REGULAR	3+550	70,00
3+564 - 3+596	52	REGULAR		
3+596 - 3+628	53	REGULAR	3+600	55,00
3+628 - 3+660	50	REGULAR	3+650	60,00
3+660 - 3+692	38	MALO		
3+692 - 3+724	53	REGULAR	3+700	53,00
3+724 - 3+756	44	REGULAR	3+750	55,00
3+756 - 3+788	39	MALO		
3+788 - 3+820	50	REGULAR	3+800	49,00
3+820 - 3+852	52	REGULAR	3+850	51,00
3+852 - 3+884	44	REGULAR		
3+884 - 3+916	50	REGULAR	3+900	44,00
3+916 - 3+948	44	REGULAR		
3+948 - 3+980	54	REGULAR	3+950	47,00
3+980 4+012	50	REGULAR	4+000	50,00
PROMEDIO =	52,3902439	REGULAR	D prom km4 =	59,43

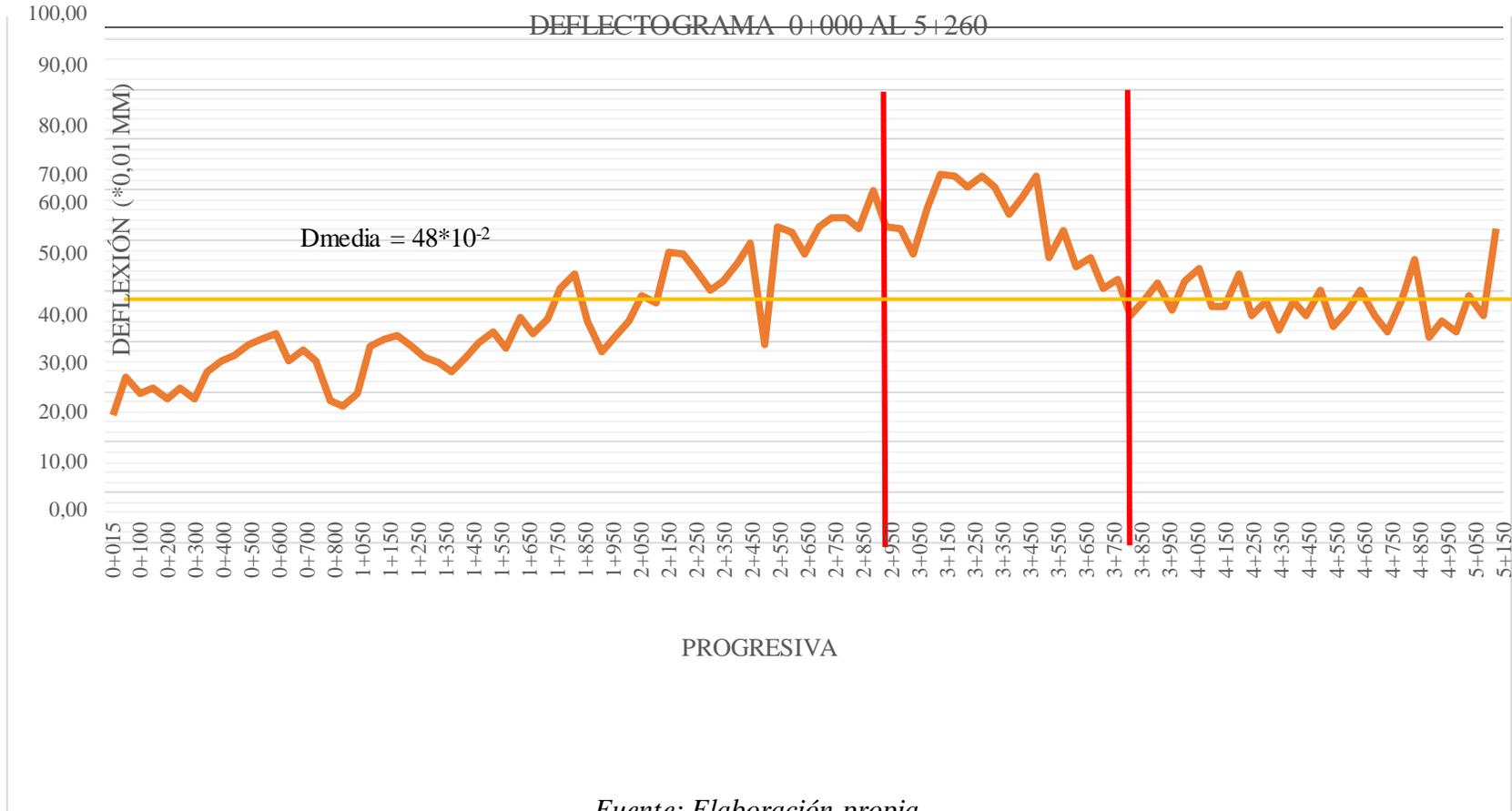
Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.46, es una relación entre la calificación PCI y las deflexiones máximas Do del km 4. Se puede observar una relación directa entre el PCI y la deflexión, ya que el km4 es el que presenta mayor cantidad de fallas del tipo HINCHAMIENTO de severidad MEDIA y ALTA, representando el 13% del total de fallas del km 4.

Los valores de deflexión máxima en este tramo son mucho mayores a la Deflexión Media = $48 \cdot 10^{-2}$ mm.

Los hinchamientos a lo largo del tramo son cuantiosos y afecta al tránsito vehicular, especialmente en el km 4, que viene acompañado de fallas tipo piel de cocodrilo y disgregación.

Gráfico 3.18: Deflectograma 0+000 – 5+260



3.10.5 Caracterización subrasante natural

Cuadro 3.6: Características técnicas de la subrasante y del diseño geométrico

Características	Valor requerido
Tipo de suelo clasificación SUCS	ML o CL
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A4 o A6
CBR mínimo	6%
CBR recomendado	8 %

Fuente: Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados.

En el cuadro 3.6, el Manual para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados recomienda valores mínimos para la subrasante sobre la cual se asentará el empedrado.

- **Calicata N°1 progresiva 0+600**

Tabla 3.47: Resultados de ensayos subrasante Pozo 1

Ensayo	Resultados obtenidos
CBR al 95%	11%
Clasificación SUCS	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)
Límite líquido	NP
Límite plástico	NP
Índice de plasticidad	NP

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata N°2 progresiva 1+800**

Tabla 3.48: Resultados de ensayos subrasante Pozo 2

Ensayo	Resultados obtenidos
CBR al 95 %	10%
Clasificación SUCS	SC
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)
Límite líquido	29
Límite plástico	20
Índice de plasticidad	9

Fuente: Elaboración propia

- **Calicata N°3 progresiva 5+260**

Tabla 3.49: Resultados de ensayos subrasante Pozo 3

Ensayo	Resultados obtenidos
CBR al 95%	6%
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-6(9)
Límite líquido	25
Límite plástico	10
Índice de plasticidad	15

Fuente: Elaboración propia

La muestra 1, al estar cerca al margen izquierdo del río obrajes, pertenece al tipo de suelo coluvial; cumple el CBR mínimo requerido, pero la clasificación no es la adecuada, razón por la cual es un terreno inestable.

La muestra 2, al igual que la muestra 1, pertenece a material coluvial con presencia de limo, arena y arcilla de plasticidad media, a pesar de que el suelo no corresponda al recomendado, tiene una alta capacidad portante.

De las tres calicatas observadas, sólo la muestra 3 en la progresiva 5+260 cumple con el CBR mínimo requerido, el tipo de suelo y la clasificación. Sin embargo no se hizo la mejora de subrasante natural, razón por la cual el tramo 2+000 a 5+260 sufre de ondulaciones y fisuras que afecta al usuario.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Tras evaluar los resultados de los indicadores del estado superficial y estructural del tramo “Tomatitas – La Victoria” se concluye lo siguiente:

- El Método de Evaluación Superficial PCI, normado para pavimentos flexibles, se adecúa a la evaluación de pavimentos articulados porque la variable a estudiar es la carpeta de rodadura; sin contemplar las capas anteriores a la misma.
- De acuerdo al Índice de Condición de Pavimento (PCI) bajo los lineamientos de ASTM D6433-03, de las 191 unidades de muestra se obtiene un valor promedio de $PCI = 60.2$, lo cual califica al estado del pavimento como BUENO. Por lo tanto es apto para brindar las condiciones de circulación vehicular.
- El porcentaje de fallas de severidad BAJA es el que predomina a lo largo del tramo, representando el 79% del total de las fallas observadas.
- De los análisis realizados por cada km, se determina que el Km 3 es el que presenta el 33% del total de las fallas del tramo, sin embargo son fallas de severidad media – baja, que no afectan al tránsito vehicular.
- De los valores parciales de PCI para cada km, se concluye que el km 4 presenta un PCI de 52.4%, menor en relación al resto del tramo, calificando así al tramo como REGULAR.
- El tráfico que circula por la zona es de BAJO VOLUMEN (<200 vehículos por día), lo cual se obtuvo de los aforos realizados, sin embargo, por la zona transitan vehículos de alto tonelaje (16 m^3), que ocasionan la fatiga del pavimento.
- El tramo de estudio, no cuenta con un paquete estructural conformado, lo que conlleva al deterioro del pavimento antes de completar su vida útil.

- Las fallas visuales a lo largo del tramo son atribuidas a un proceso constructivo deficiente del empedrado y al empleo de técnicas empíricas sin seguir los lineamientos definidos en las normas constructivas para empedrados.
- Al no contar con un método establecido por norma, para la evaluación estructural de tramos viales de pavimentos articulados (sobre base de empedrado), se utilizó el Método de Deflectometría.
- El Método de Deflexiones mediante Viga de Benkelman, es aplicable tanto para pavimentos flexibles como rígidos, siendo el comportamiento del pavimento articulado similar al del pavimento flexible, se aplicó dicho método para la evaluación estructural.
- En la evaluación estructural, la totalidad de las deflexiones máximas en las progresivas evaluadas se encuentran en un rango de $25.19 \cdot 10^{-2} \text{mm}$ y $72.95 \cdot 10^{-2} \text{mm}$, por debajo de la Deflexión Admisible (1.27mm) calculada en función al tránsito para un periodo de diseño de 20 años. Si bien las deflexiones se encuentran por debajo de la deflexión admisible, no significa que el tramo pueda resistir mayores solicitaciones de carga, sino que a mayor carga el pavimento sufrirá fatiga debido a la acomodación de las partículas, tras repeticiones de carga.
- Los radios de curvatura están comprendidos entre 100.09 y 410.11m, valores que están por encima de 100 y debajo de 500 m.
- En el Km 4 se puede observar una relación directa con el tipo de falla y la deflexión obtenida, ya que del total de fallas observadas en dicho tramo; el 13 % representa falla de tipo hinchamiento, lo cual incide en el comportamiento de la deflexión.
- De las tres calicatas realizadas en el tramo, se obtuvo que los CBR al 95%, superan al CBR mínimo recomendado para empedrados.
- Las fallas desde la progresiva 2+000 a 5+260, del tipo hinchamiento y hundimiento, se deben al tipo de suelo de la subrasante natural (arcilla pobre de con presencia de materia orgánica).
- En el presupuesto de mantenimiento de la vía, se contempló la rehabilitación de las fallas de severidad MEDIA y ALTA, debido a que las fallas de severidad BAJA no

inciden significativamente en el tráfico vehicular, así mismo se realizó el cronograma de ejecución del mismo.

- Para la mejora del camino, el Tratamiento Superficial Triple es más viable y brinda una solución rápida. Sin embargo, al no contar la vía con un paquete estructural adecuado, cualquier recapado y/o tratamiento no dan solución a largo plazo.
- Un pavimento articulado mal ejecutado, acarrea consigo defectos estructurales que producen fallas visuales a lo largo de su vida útil.
- Un empedrado bien ejecutado, evita el reacomodamiento excesivo de las partículas en respuesta al tráfico vehicular
- De acuerdo a la Evaluación Superficial y Estructural del tramo, se puede decir que en nuestro medio, gran parte de la construcción de pavimentos articulados no están diseñados en base a parámetros de diseño establecidos. Razón por la cual existen fallas y deformaciones en los tramos, tanto urbanos como rurales, a poco tiempo de su puesta en servicio y no son capaces de completar su vida útil.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico inmediato y cada 2 años, para evitar daños mayores, ya que el tramo presenta fallas considerables sin haber cumplido su vida útil.
- Se recomienda la remoción del empedrado y carpeta de rodadura, por partes, para posteriormente sea reemplazado por un paquete estructural conformado y adecuado a las solicitudes de carga.
- En la apertura de caminos nuevos pavimentados, se recomienda realizar el estudio de suelo y verificar que responda a las solicitudes de carga previstas para su periodo de diseño.
- En la construcción de empedrados, se recomienda estabilizar el suelo de acuerdo a la clasificación del mismo, para evitar el reacomodamiento de las partículas.
- Se recomienda conformar el paquete estructural (base, sub base) de manera adecuada, para evitar daños futuros a la carpeta de rodadura.

- Respecto a las decisiones que toman las autoridades en la apertura de caminos nuevos, se recomienda tomar conciencia de que las vías que son construidas sin una metodología de acuerdo a norma, a corto plazo traen consigo una tras otra deficiencia que toca asumir a los usuarios dichos caminos.
- Recibir capacitación por un técnico experto para el manejo del equipo Viga de Benkelman, para así poder obtener resultados precisos.
- Se recomienda volver a realizar las lecturaciones con la Viga de Benkelman, en caso de no obtener valores coherentes.
- También se recomienda ajustar el tornillo fijo de la Viga de Benkelman, en cada punto de medición y verificar que el puntero del brazo móvil se encuentre en contacto con la superficie.