

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

La red vial de un país es fundamental para su desarrollo y crecimiento porque es el único medio que posibilita el transporte de las personas y cargas de manera económica, la red de carreteras permite satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; estas necesidades son las principales actividades de un país. Por ello, para un país es estratégico desarrollar su sistema vial porque es el único modo con el que logra satisfacer no solo la obligación de viajar, sino también las necesidades esenciales de la población.

Si las vías de comunicación de un país no son las adecuadas para que la población satisfaga sus necesidades básicas, es poco probable que los ciudadanos puedan encarar una situación de mejora económica y de reducción de los índices de pobreza.

El periodo de vida útil en un pavimento se puede ver afectado por una serie de factores tales como el diseño y la ejecución de la vía, el volumen de tránsito, las cargas a las es sometido, deficiencia en el mantenimiento del pavimento, obras adyacentes o emplazadas en el mismo lugar, el clima, sismos, entre otros. Esto genera que el pavimento falle y se presenten distintas anomalías empeorando el estado de la vía. Es por esto que, resulta necesario aplicar técnicas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos; y para poder decidir adecuadamente la aplicación de estos trabajos se debe conocer el estado del pavimento y las posibles causas que lo producen.

Conocer el estado de deterioro que tiene una vía, es un componente vital en el sistema de mantenimiento de pavimentos, de modo que, mediante este se puede conseguir una proyección a futuro del estado del pavimento. Existen un sin número de métodos que permiten realizar una proyección a futuro del estado de un pavimento, unos más precisos que otros, pero todos coinciden en que si se cuenta con una cuantificación precisa de la condición actual se conseguirá una proyección exacta; es así que para la cuantificación del estado actual de dicho pavimento se ha decidido aplicar los métodos más usados para la evaluación superficial y estructural de la vía Tarija – San Andrés.

Actualmente existen diversas metodologías para la evaluación de pavimentos, sin embargo no se ha implementado un método específico de manera reglamentaria y muchas veces no se realizan; siendo estos, estudios previos, necesarios y tomados en consideración para la elaboración de planes de mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de las redes viales; asimismo que generen resultados económicamente viables y funcionales, que nos den indicios para detectar a tiempo, en un futuro generaría más costos en cuanto a su operación.

El interés específico de este desarrollo es obtener resultados objetivos, analíticos y actuales, de manera tal que, sirva como guía para que la administración competente pueda determinar las políticas y estrategias de intervención, para todo tipo y clase de red vial, con la finalidad de lograr si estas estrategias, resulten en inversiones eficientes y eficaces ante los fondos públicos.

1.1.1. Estado del pavimento

Actualmente el pavimento de la vía Tarija – San Andrés, cuenta con diferentes deficiencias a lo largo de su construcción, debido al paso del tiempo como ser: grietas longitudinales, grietas transversales, piel de cocodrilo, baches, ahuellamientos, hundimientos en su calzada, desprendimiento de la capa de rodadura a lo largo de la vía, y si no se toma acción inmediata, el deterioro puede llegar a ser tan grande, que presentaría un peligro para el tránsito vehicular, y esta a su vez se puede traducir en lamentables consecuencias, por ser una vía de gran tránsito.

Cabe recalcar que esta vía no cuenta con una señalización apropiada para el nivel de tránsito que proporciona, lo cual es un factor importante para el buen mantenimiento de la vía.

Teniendo en cuenta estos aspectos, vemos la necesidad que tiene esta vía de una evaluación tanto superficial como estructural, para sí poder tomar una acción inmediata y así evitar gastos mayores a largo plazo, siendo importante tomar en cuenta que esta vía tiene algunas reparaciones parciales a lo largo de su perfil longitudinal como ser; parcheo, sellado de fisuras tanto longitudinales como transversales y algunas reparaciones menores en las señalizaciones verticales y horizontales.

1.1.2. Antecedentes

La vía Tarija – San Andrés, fue terminada de construir el año 2006, y esta nunca contó con una evaluación estructural, aunque si tiene realizada distintos tipos de reparaciones en varios tramos de la vía, tanto superficial como estructural y a su vez carece de señalizaciones, debido al tiempo que tiene la vía construida como tal.

Es posible determinar el espesor inicial de la capa de rodadura de asfalto, haciendo uso del expediente técnico sobre la construcción de dicho pavimento.

1.2. Justificación del proyecto de aplicación

Como ya se conoce las vías de acceso pavimentados son de gran importancia para el movimiento económico de cada región, por lo que con la evaluación superficial y estructural se busca reflejar el estado del pavimento de la vía a San Andrés, a través de la medición de las características físicas y funcionales de esta, tales como la deflexión (deformaciones bajo carga), rugosidad y resistencia al deslizamiento, realizada mediante equipos especializados, como a través de una evaluación visual de fallas y deterioros.

A través de la evaluación superficial y estructural se obtendrán respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las cargas generadas por el tráfico vehicular y la acción de los agentes ambientales, como temperatura humedad, etc.

Estos dos componentes como son la evaluación superficial y estructural, se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento y verificación de la capacidad portante de la estructura.

Por lo tanto, haciendo una inspección visual de esta vía (culminada el año 2006) que tiene aproximadamente 14 años de construida, se tiene recopilada la siguiente información para poder realizar la evaluación tanto superficial como estructural de esta carretera que tiene un tráfico vehicular pesado y que permite el traslado de personas y mercadería que es necesaria para el abastecimiento de distintos insumos para el crecimiento de las poblaciones rurales y urbana.

Es por eso que la evaluación de pavimentos es de vital importancia dado que determina el estado actual, la calidad de servicio y funcionamiento, permitiendo tomar las medidas adecuadas para su mantenimiento para prolongar la vida útil de la vía.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

Actualmente la carretera es la más eficiente y económica forma de traslado de productos como también de personas, por lo que el funcionamiento de éste debe ser óptimo.

El nivel mantenimiento de nuestras vías en nuestro país es muy bajo en comparación con otros países, por lo que la falta de recursos económicos está muy ligada al funcionamiento de las vías pavimentadas como no pavimentadas.

Actualmente en el departamento de Tarija viene dándose muchos problemas en las vías pavimentadas por lo que es necesario realizar un estudio de evaluación para determinar las condiciones que estas presentan para su uso.

EL mayor problema que se presenta en la vía Tarija – San Andrés es el deterioro que esta presenta a lo largo de su longitud, que afectan de manera directa a la circulación vehicular de la población que usa este medio, tanto los habitantes de la zona como también a los transportistas que su principal actividad es la del traslado de productos alimenticios y con el aumento de la demanda, el número de vehículos se incrementa y esto nos impulsa a realizar el proyecto de aplicación del estado de la superficie y de la estructura del pavimento.

Estos deterioros llegan a producirse por diferentes tipos de efectos desfavorables sobre la vía, por lo que su control y conservación oportuna resulta útil de modo que se pueda implementar y planificar políticas de mantenimiento y reparación adecuadas.

1.3.2. Problema

¿Puede una evaluación superficial y estructural aplicando distintas metodologías de evaluación, brindar información del estado del pavimento en función de las fallas del estado de la carpeta asfáltica en el tramo Tarija – San Andrés?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la vía Tarija – San Andrés tanto superficial como estructuralmente, haciendo uso de los métodos PCI, PSI, IRI, viga Benkelman, calicatas y extracción de núcleos, para determinar las condiciones de servicio que ésta presenta y establecer un costo estimado de reparación y mantenimiento que ayude a prolongar la vida útil del pavimento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el tipo de fallas que existen en el pavimento flexible del tramo Tarija – San Andrés, en base al manual de fallas.
- Establecer los sectores de evaluación en los que se ejecutaran los ensayos para obtener la información de los indicadores de estado superficial y estructural.
- Medir en campo los indicadores de estado superficial y estructural que nos permitan valorar las condiciones de estado del tramo estudiado.
- Realizar el trabajo de gabinete con el fin de encontrar los resultados de cada uno de los indicadores mencionados anteriormente.
- Calificar y analizar cada uno de los resultados de los indicadores de estado de acuerdo a normas nacionales e internacionales que permitan obtener una valoración cualitativa del estado actual del tramo de estudio.
- Evaluar en forma global los indicadores de estado con el propósito de realizar las conclusiones de la evaluación superficial y estructural del tramo.
- Realizar un análisis de costos de reparación para tener un buen funcionamiento vial.

1.5. Hipótesis

Si se realiza una evaluación superficial y estructural del estado actual del tramo “Tarija – San Andrés”, permitirá optar un adecuado plan de reparación y mantenimiento del pavimento flexible de dicha carretera.

1.6. Definición de variables

1.6.1. Variable independiente

- El estado del pavimento flexible.

1.6.2. Variable dependiente

- El plan de prevención y mantenimiento.

Conceptualización y operacionalización de las variables

Tabla 1 Variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración
Estado del pavimento flexible	Permite conocer el estado superficial y estructural de la carpeta asfáltica, de esa manera establecer medidas de prevención y mantenimiento	Fallas	Tipo de falla	Superficial
				Estructural
			Nivel de severidad	Índice de deterioro
		Método de evaluación	Medición	Métodos y técnicas de medición
			PCI	Identificación de fallas
			Viga Benkelman	Medición de deflexiones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2 Variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración
Plan de prevención y mantenimiento	Implica acciones que se aplica a áreas del pavimento para corregir el deterioro, debiendo realizarse un plan de prevención y mantenimiento	Mantenimiento	Rutinario o preventivo	Sellado de grietas
				Rellenado de baches
			Periódico o correctivo	Sellado asfáltico
				Reconformación de la plataforma

Fuente: Elaboración propia

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Componentes

1.7.1.1. Unidades de estudio

La principal unidad de estudio es la “evaluación superficial y estructural de la carpeta asfáltica”, está referida principalmente a la utilización de los métodos PCI, IRI, PSI, IFI, viga Benkelman, calicatas y extracción de núcleos para identificar el estado y tipos de fallas de la carpeta asfáltica y el paquete estructural.

1.7.1.2. Población

Para la evaluación superficial: PCI (índice de condición del pavimento), IRI (índice de rugosidad internacional), PSI (índice de serviciabilidad presente), IFI (índice de fricción internacional), VIZIR (metodología de auscultación francesa), PASER (evaluación superficial y rango del pavimento).

Para la evaluación estructural: viga Benkelman, calicatas, extracción de núcleos, deflectómetro y georradar.

1.7.1.3. Muestra

La muestra para la evaluación superficial son los métodos: PCI (índice de condición del pavimento), IRI (índice de rugosidad internacional), PSI (índice de serviciabilidad presente) e IFI (índice de fricción internacional).

La muestra para la evaluación estructural son los métodos: viga Benkelman, calicatas y extracción de núcleos.

1.7.1.4. Muestreo

Para la obtención de datos de fallas existentes en el sitio de estudio, se realizó una división de la superficie del tramo en unidades homogéneas. De esta división se podrá considerar los tipos de fallas existentes siendo la aplicación del método elegido para el estudio del mismo.

1.7.1.5. Medios

PCI (pavement condition index):

Gráfico 1 Cinta métrica de 50 m y flexómetro



Fuente: Elaboración propia.

IRI (international roughness index):

Gráfico 2 Estación total



Fuente: Elaboración propia.

IFI (índice de fricción internacional):

Gráfico 3 Péndulo británico y equipo de círculo de arena



Fuente: Elaboración propia.

Viga Benkelman:

Gráfico 4 Deflectómetro Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

Extracción de núcleos:

Gráfico 5 Extractor de núcleos



Fuente: Elaboración propia.

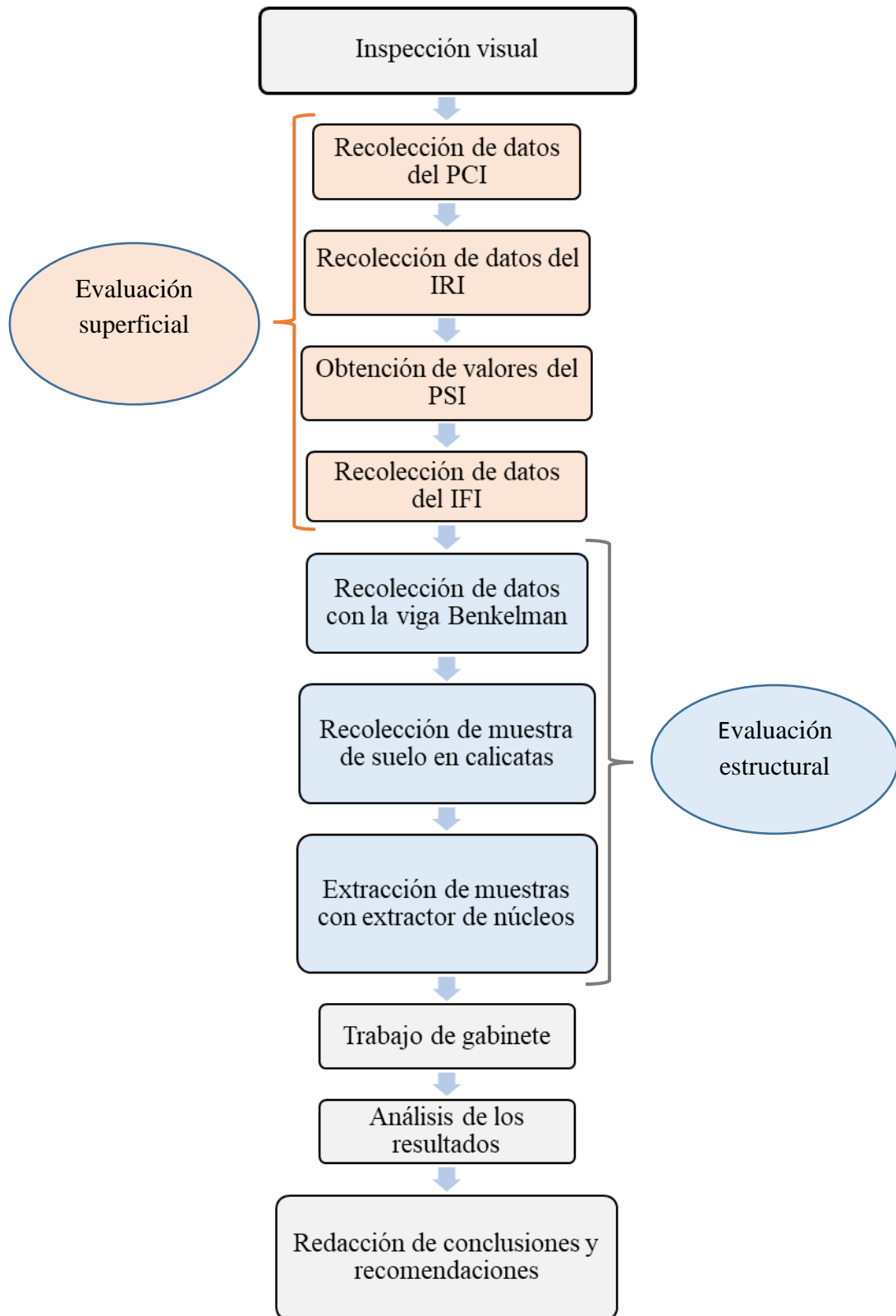
Calicatas:

Gráfico 6 Equipo de CBR



Fuente: Elaboración propia.

1.8. Esquema estructural



1.9. Alcance del estudio de aplicación

El alcance del presente proyecto de aplicación es la evaluación del estado actual de la vía Tarija – San Andrés. Para este estudio, el trabajo se dividirá en dos partes que son: evaluación superficial y evaluación estructural.

Antes de realizar las distintas evaluaciones se realizó una inspección visual general de toda la vía, para de esta forma tener una idea de los deterioros presentes tanto en la superficie como en la estructura de la carretera y con esto poder realizar los distintos ensayos sobre esta.

Para la evaluación superficial

Se realizó un determinado número ensayos de PCI, IRI, IFI y PSI, en diferentes tramos de la vía, para la recolección de información necesaria para el estudio en gabinete y obtener conclusiones de la misma.

Para la evaluación estructural

Para la evaluación estructural se realizó distintos ensayos como ser: viga Benkelman, calicatas y extracción de núcleos, que según el tipo de ensayo se recolectó la información necesaria para la determinación del estado estructural de la vía.

Según el tipo de falla se realizó mediciones de acuerdo a los métodos ya mencionados y con los resultados obtenidos, se podrán tomar las acciones necesarias para mejorar el estado actual del pavimento, como ser bacheos reciclados, recapamiento, etc. con esto se proporcionará el tipo de trabajo de mantenimiento que se desea realizar según sea el caso.

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

2.1. Definición de pavimentos

Se define a los pavimentos como una estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y carpeta de rodadura.

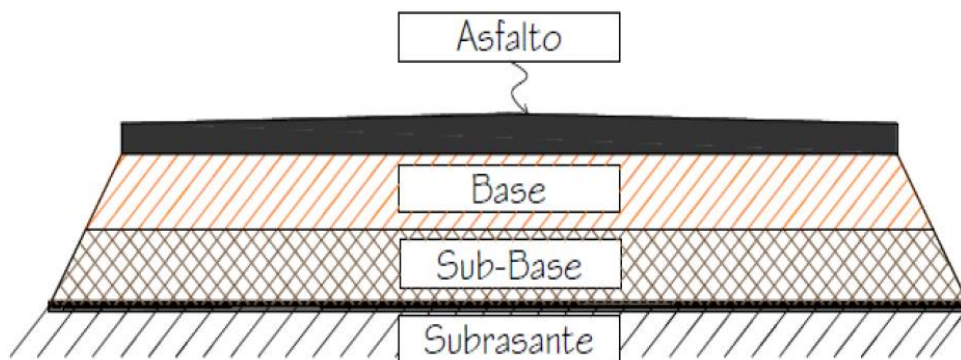
Según AASHTO (1993) existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la ingeniería y el del usuario.

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.

El paquete estructural que contiene un pavimento es:

Gráfico 7 Capas de un pavimento flexible



Fuente: pirhua.udep.edu.pe.

2.2. Características de un pavimento

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir exigencias tales como; resistir la acción de las cargas impuestas por el tránsito, resistir ante los agentes del intemperismo, presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, debe ser durable, debe presentar adecuadas condiciones de drenaje, debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer adecuada seguridad al tránsito. (Pavimentos, división de investigación y asesorías, universidad de Medellín, 1997)

2.3. Componentes de un pavimento flexible

2.3.1. Capa subrasante

Se denomina subrasante al suelo preparado y compactado que actúa como fundación para el paquete estructural de un pavimento. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de cota con la rasante está determinada por el espesor del paquete estructural, dicho desnivel establecerá la necesidad de modificar el perfil natural del terreno, en algunos casos deben elevarse o rebajarse dichas cotas, en el primer caso se requerirá de un corte o excavación y en el segundo de un relleno.

Desde la década de los 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la subrasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple, son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas, tales como el ensayo de módulo resiliente, que representan mucho mejor que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones.

Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

Propiedades físicas: Son usadas para selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.

Propiedades ingenieriles: Dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos. La calidad de los suelos para subrasantes se puede relacionar con el módulo

resiliente, el módulo de Poisson, el valor del suelo y el módulo de reacción de la subrasante. Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una subbase de material seleccionado antes de colocar la base, si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la subbase.

Propiedades iniciales de los suelos

Las propiedades iniciales de los suelos son uno de los datos más importantes de diseño de un pavimento. Estas propiedades estarán siempre presentes, aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como la estabilización, compactación, etc.

Para conocer las propiedades es necesario un muestreo muy amplio que abarque toda la traza del proyecto. Las probetas se llevan al laboratorio para ser ensayadas (granulometría, humedad, límites de Atterberg, contenido de humedad óptimo, CBR y clasificación). Todos estos datos se vuelcan en el perfil edafológico donde se indican los distintos tipos de suelo y su profundidad. También se confecciona una planilla que, junto al perfil edafológico, constituyen una herramienta fundamental para el inicio del proyecto.

2.3.2. Capa subbase

La capa sub base es una capa de material seleccionado que se coloca sobre la subrasante o nivel de cimentación de la estructura vial. La necesidad de colocar una capa de subbase está orientada por las siguientes reglas.

Disminuir el espesor de base que requiera un diseño, reemplazando parte del material de base por uno de inferiores características, el cual viene a formar la capa de subbase con un menor costo.

Servir de refuerzo o defensa a la subrasante impidiendo su deterioro, especialmente cuando esta vaya a estar sometida a la acción del tráfico por un periodo más o menos largo. Puede emplearse, además, para mejorar las condiciones de drenaje de la base y también para impedir que la base sea afectada por la plasticidad, elasticidad y cambios volumétricos de los suelos subrasantes. El material de la subbase, debe ser seleccionado y tener mayor

capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava, granzón, escoria de los altos hornos, o estériles de la explotación de canteras. En algunos casos, es posible emplear para subbase el material de la subrasante mezclado con granzón, cemento, etc.

Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos, donde la ascensión del agua capilar es grande.

Características de la capa subbase

El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2, aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior a 35% y su índice plástico no mayor de 6. El CBR, no podrá bajar de 20%. Si la función principal de la subbase es servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz número 200 no ha de ser mayor del 8%.

Tabla 3 Requisitos para subbase granular

Ensayo	Requisitos
CBR, mínimo.	20
Valor R de resistencia, mínimo.	55
Límite líquido.	25
Índice de plasticidad, máximo.	06
Equivalente de arena, mínimo.	25

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila).

Las subbases deben construirse en espesores adecuados al tipo de material disponible y a los compactadores utilizados, pero se recomienda no exceder capas de más de 20 cm. sueltos. Por lo general se exigen compactaciones del 95 del Proctor modificado. (Pavimentos, división de investigación y asesorías, universidad de Medellín, 1997, características de capa base)

2.3.3. Capa base

Es una capa de material seleccionado y gradado que se coloca ya sea en una subrasante de muy alta especificación o sobre una capa de subbase. Los objetivos de esta capa son: absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

Características de la capa base

El material pétreo que se emplee en la base, deberá llenar los siguientes requisitos:

Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura y no presentar cambios de volumen que sean perjudiciales, el porcentaje de desgaste, según el ensayo “desgaste de los Ángeles”, debe ser inferior a 50.

La fracción del material que pase el tamiz No. 40, ha de tener un límite líquido menor del 25%, y un índice de plasticidad inferior a 6, la fracción que pasa el tamiz No. 200, no podrá exceder de $\frac{1}{2}$, y en ningún caso de los $\frac{2}{3}$ de la fracción que pase el tamiz No. 40.

La graduación del material de la base debe mantenerse dentro de los límites indicados.

El CBR tiene que ser superior a 20%, prueba de solidez al sulfato de sodio no mayor al 12%, por lo general, para la capa base se emplea piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de suelo-cemento, suelo bituminoso, etc.

Tabla 4 Requisito para base granular

Ensayo	Transito reducido	Transito regular e intenso
CBR, mínimo.	20	50
Valor R de resistencia, mínimo.	78	80
Límite líquido.	25	25
Índice de plasticidad, máximo.	06	03
Equivalente de arena, mínimo.	30	50

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila).

2.3.4. Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es una de las capas que componen el paquete estructural, está situada sobre una o más capas estructurales preparadas, está elaborada con material pétreo y un producto asfáltico, el espesor de esta capa puede variar desde menos de 25 mm hasta más de 75 mm dependiendo de una gran variedad de factores y circunstancias de diseño, construcción y mantenimiento.

Su función primordial será proveer al usuario de una superficie confortable y segura para su circulación, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, además de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores, degradando sus propiedades. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Una de las principales ventajas de los pavimentos asfálticos es la economía asegurada por el uso de materiales disponibles localmente.

Tipos de carpetas asfálticas

Existen varios tipos de carpetas utilizadas en nuestro medio, pueden clasificarse de la siguiente manera:

Tratamiento superficial: simple o de un riego, doble o de dos riegos y triple o de tres riegos.

Tratamiento superficial triple

El tratamiento superficial triple consiste en un tratamiento superficial simple con cantidades de asfalto y agregado pétreo en mayor cantidad que uno normal, sobre el cual se aplica un tratamiento superficial doble, quedando así terminada la carpeta de tres riegos.

Este tipo de tratamiento puede resistir un tráfico de 1000 vehículos por día y que, a comparación del tratamiento superficial simple, solo puede soportar un tráfico inferior a los 200 vehículos por día y el tratamiento superficial doble llega a soportar 600 vehículos por día. (<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10577/capitulo7.pdf>)

2.4. Fallas en pavimentos flexibles

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

En pavimentos la palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos, como para deterioros simples, el concepto de deterioro o falla está asociado al nivel de servicio que depende de la exigencia del consumidor, una falla es algo que aparta de lo que se considera perfecto.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y fallas de superficie.

2.4.1. Fallas estructurales

Son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas.

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos.

Para corregir este tipo de fallas, es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente, para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.

2.4.2. Fallas de superficie

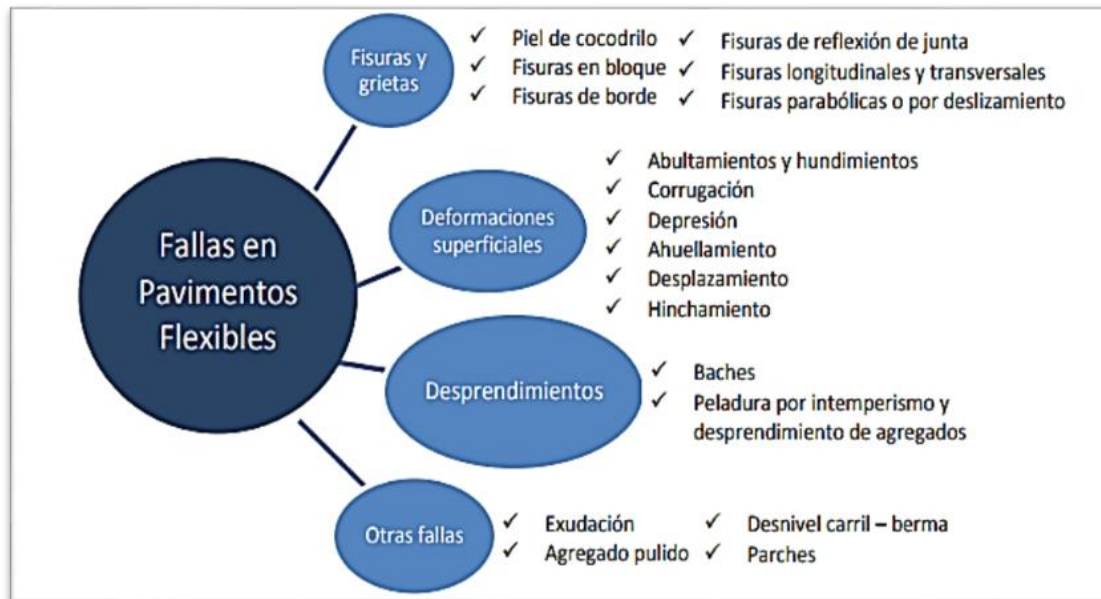
Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario.

La corrección de estas fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

Las fallas de superficie se pueden jerarquizar de acuerdo con la prioridad de la reparación y con su efecto sobre la comodidad y seguridad para el usuario y sobre el estado del pavimento, lo cual permite planificar los recursos y las soluciones. Para pavimentos

flexibles, los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: fisuras y grietas, deformaciones superficiales, desprendimientos y afloramientos y otras fallas. En el manual del “Método de evaluación de pavimentos PCI” existen 19 tipos de falla comúnmente encontrados en pavimentos que son los siguientes.

Gráfico 8 Resumen de fallas en pavimentos flexibles



Fuente: pirhua.udep.edu.pe.

Las fallas en los pavimentos informan sobre su condición y las causas posibles de la misma. El inventario de los daños de un pavimento representa una información fundamental del proceso de la evaluación del estado del pavimento. (Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009, pág. 11).

2.5. Evaluación de pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas

adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

2.5.1. Importancia de la evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues esta nos permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento, se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

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

2.5.2. Componentes de la evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos tiene dos componentes como ser: evaluación superficial y evaluación estructural.

Evaluación superficial

Con la evaluación superficial se busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.

Evaluación estructural

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico de vehículos y la acción de los agentes ambientales, como la temperatura, humedad, etc.

Esos dos componentes se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento y

verificación de la capacidad portante de la estructura. (Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009, pág. 11).

2.6. Evaluación superficial de un pavimento flexible

2.6.1. PCI (índice de condición del pavimento)

El método PCI (pavement condition index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspección visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, se mide la condición del pavimento de manera indirecta. Este método fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 por M.Y. Shanin y S.D. Khon y publicado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos, 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, 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 (procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

El cálculo del PCI 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. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Los objetivos que se esperan con la aplicación del método PCI son:

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

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

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

Rangos de calificación del PCI

El PCI es un índice que varía desde cero (0), para un pavimento en mal estado (fallado), hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado (excelente), en la siguiente tabla (tabla 3) se presenta los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 5 Rangos de calificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
20 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Fuente: Manual de pavimentos PCI (M.Y. shahin, S.D. Khon).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de una encuesta visual de la condición de pavimento en el cual se establecen su tipo, severidad y cantidad que presenta cada daño.

2.6.2. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

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 4, se muestra el formato adoptado para la realización de la primera etapa, y una segunda etapa que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, la clase, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento, entre las que tenemos, piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, elevaciones, entre otros, cada uno de ellos se describe según cada tipo de falla.

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

Bajo (L): se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de la velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Las elevaciones y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero no provoca incomodidad.

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. (Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009).

Tabla 6 Hoja de registro para el PCI

METODO PCI				ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE							
HOJA DE REGISTRO							
Nombre de la vía: Ejecutor:				Sección Fecha		Unidad de muestra: Área:	
Piel de cocodrilo	Depresión	1. Parches y parches de cortes utilitarios		5. Fisura parabólica o por deslizamiento			
Exudación	Fisura de borde	2. Agregado pulido		7. Hinchamiento			
Fisuras en bloque	Fisura de reflexión de junta	3. Baches		3. Peladura por intemperismo y esprendimiento de agregados			
Abultamientos y hundimientos	Desnivel carril-berma	4. Ahuellamiento					
Corrugación	3. Fisuras longitudinales y transversales	5. Desplazamiento					
FALLA	CANTIDAD				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

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

División del pavimento en unidades de muestra

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

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$. en la tabla 2.5 se muestran algunas relaciones longitud-ancho de calzada pavimentada.

Tabla 7 Longitudes de unidades de muestreo

Ancho de calzada (m)	Longitud de muestreo asfáltico
5,00	46,00
5,50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30 (max)	31,50

Fuente: Pavement condition index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril 2006.

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

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben ser similares patrones para asegurar la exactitud para el cálculo. (Pavement condition index para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril 2006).

Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación

En la evaluación de una red vial, pueden tenerse un número muy grande de unidades de muestreo, cuya inspección demandara 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 de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación del número mínimo de unidades a evaluar. La cual produce un estimado del PCI del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

Evaluación de un proyecto

El muestro se lleva a cabo siguiendo el procedimiento detallado con diferentes usos detallado a continuación.

Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.

Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como el diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.

Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.

Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento.

Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.

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

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

El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95% de confiabilidad), es calculado empleando la ecuación siguiente y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

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

Donde:

N= Número mínimo de unidades a evaluar.

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

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

σ= Desviación estándar del PCI entre las unidades.

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

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

(Pavement condition index para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril 2006).

Selección de las unidades de muestreo para la inspección

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

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

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades a evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

La unidad de muestreo inicial se selecciona al azar entre la unidad de muestreo y el intervalo de muestreo (i). Así si i=3, la unidad 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 la inspección seleccionada es 3 y de muestreo (i) es igual a 4, las siguientes unidades de muestreo a inspeccionar serian 7, 11, 15, etc.

Selección de las unidades de muestreo adicionales

Una ventaja del método aleatorio es que en algunos casos excluye de la evaluación algunas unidades de muestreo en muy mal estado, también puede darse que queden excluidas unidades de muestreo que presenten fallas que se encuentren solo una vez, por ejemplo, cruce de rieles. Para evitar este tipo de situación, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como a una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria.

Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el PCI es ligeramente modificado para evitar la extrapolación en las condiciones inusuales en toda la sección.

Las unidades de muestra adicionales deben ser inspeccionadas cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

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

2.6.3. Materiales e instrumentos para determinar el PCI

El procedimiento varía de acuerdo al tipo de pavimento que se inspeccione, en este caso estudiaremos el procedimiento para pavimentos flexibles. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños del manual de valuación para obtener un valor del PCI confiable. La evaluación de condición incluye los siguientes aspectos:

Equipo

Huinchas de 50 m para medir las longitudes y las áreas de los daños.

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

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

Procedimiento

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de acuerdo con el manual de daños y se registra la información en el formato correspondiente (ver anexo 1a).

Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de la medida de los daños. Teniendo como apoyo una hoja de datos de campo acompañado de un plano donde se esquematiza la red de vía que será evaluada, donde se registrará el daño, su extensión y su nivel de severidad.

(Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009).

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.

2.6.4. Metodología de cálculo PCI en vías con capa de rodadura asfáltica

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 registrarlos en la columna “total”, del formato inventario de daños. El daño puede medirse en área, longitud o por número 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.

Paso 2. Cálculo del número máximo 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:

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

Donde:

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

HDV_i = Es 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. Cálculo 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. hasta 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 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

(Pavement condition index para pavimento asfálticos y de concretos en carreteras, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril 2006)

$$PCI = 100 - Max.CDV$$

Donde:

PCI= Índice de condición presente

Max. CDV= Máximo valor corregido deducido.

Tabla 8 Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido

#	Valor deducido										CDT Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													
5													

Fuente: Elaboración propia.

2.6.5. Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utiliza la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática, o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales, se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) * PCI_R] + (A * PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCI_s= PCI de la sección del pavimento.

PCI_R= PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI_A= PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N= Número de unidades de muestreo en la sección.

A= Número de unidades de muestreo adicionales.

Criterios de inspección

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.

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. Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área, el agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.

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.

Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, esta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.

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).

2.6.6. Descripción de las fallas, niveles de severidad y unidad de medida

Las 18 fallas más comunes que afectan a los pavimentos urbanos flexibles. Se han descrito tres niveles de severidad. Low (L), medium (M) y high (H) y los valores dependen del daño que afecta en la vía tanto como a la transitabilidad y comodidad. (Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009).

1. Piel de cocodrilo

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se indica en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda.

Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 m.

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

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

a) Niveles de severidad:

L: Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas. Ver gráfico 9.a.

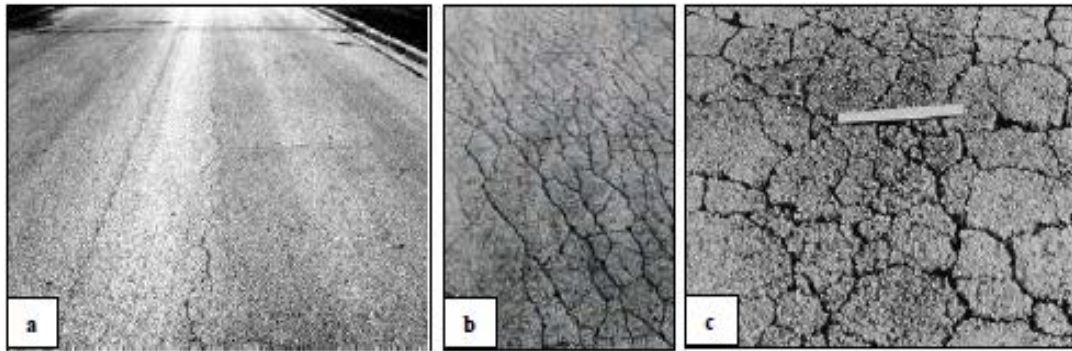
M: Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. Ver gráfico 9.b.

H: El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico. Ver gráfico 9.c.

b) Unidad de medida

La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla estas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

Gráfico 9 Piel de cocodrilo



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada, sello superficial sobre carpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad, sobre carpeta, reconstrucción.

H: Parcheo parcial o en toda la profundidad, sobre carpeta, reconstrucción.

2. Exudación

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

el tiempo de frío, el asfalto se acumulara en la superficie. (Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009)

a) Niveles de severidad

L: La exudación solo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida solo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos y solo es visible en forma leve. Ver gráfico 10.a.

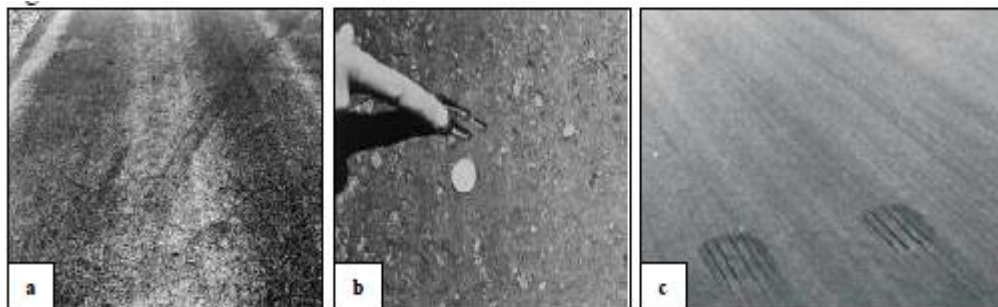
M: La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos solo durante algunas semanas en el año. Ver gráfico 10.b.

H: La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año. Ver gráfico 10.c.

b) Unidad de medida

La exudación es medida en metros cuadrados de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

Gráfico 10 Exudación



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena/agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena/agregados y cilindrado (precalentado si fuera necesario).

3. Fisuras en bloque

Son grietas en bloque interconectadas que dividen en piezas aproximadamente rectangulares de tamaño variable, desde aproximadamente 0,30 x 0,30 m hasta 3,00 x 3,00 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño, difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

a) Niveles de severidad

L: Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad.

M: Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad.

H: Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad.

b) Unidad de medida

Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un solo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

Gráfico 11 Fisuras en bloque



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

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

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

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

4. Abultamientos y hundimientos

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

a) Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento portland con una sobre carpeta de concreto asfáltico.

b) Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).

c) Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “Tenting”).

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

a) Niveles de severidad

L: Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, para no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca comodidad. Ver gráfico 12.a.

M: Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los

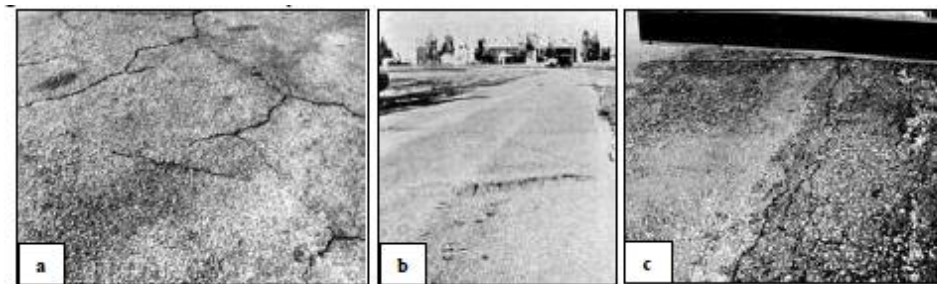
abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad. Ver gráfico 12.b.

H: Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad. Las vibraciones de los vehículos son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos hacen, que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo. Ver gráfico 12.c.

b) Unidad de medida

Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales. Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

Gráfico 12 Abultamientos y hundimientos



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobre carpeta.

5. Corrugación

Es una serie de ondulaciones constituidas por cimas y depresiones muy cercanas entre sí y espaciadas a intervalos bastante regulares (generalmente menores a 3 m) a lo largo del pavimento. Las cimas son perpendiculares al sentido del tránsito. Este tipo de daño es

usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si las elevaciones ocurren en una serie con menos de 3,0 m de separación entre ellos, cualquier sea la causa, el daño se denomina corrugación.

a) Niveles de severidad

L: Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Ver gráfico 13.a.

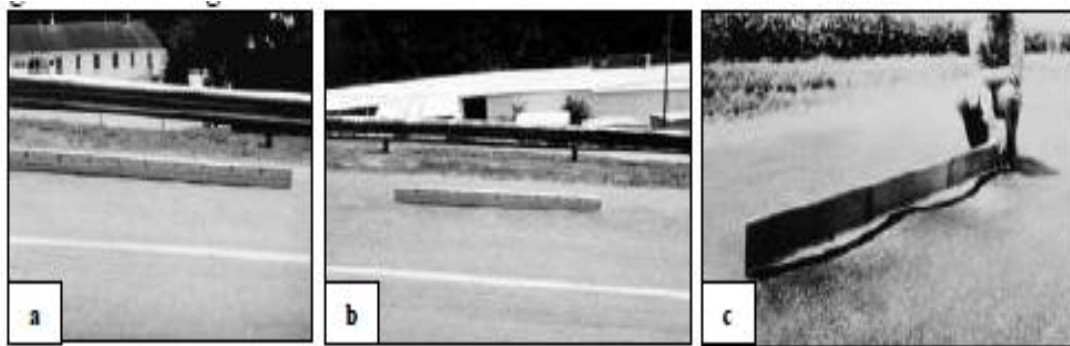
M: Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Ver gráfico 13.b.

H: Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Ver gráfico 13.c.

b) Unidad de medida

La corrugación es medida en metros cuadrados de área afectada.

Gráfico 13 Corrugación



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

6. Depresión

Son áreas localizadas en la superficie del pavimento que poseen niveles de elevación ligeramente menores a aquellos que se encuentran a su alrededor.

Las depresiones suaves solo son visibles cuando el agua se empoza dentro de ellas después de la caída de lluvia, o a través de las manchas causadas por el agua empozada, en caso de superficies secas. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplaneo. Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son caídas bruscas del nivel.

a) Niveles de severidad

L: La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm. Ver gráfico 14.a.

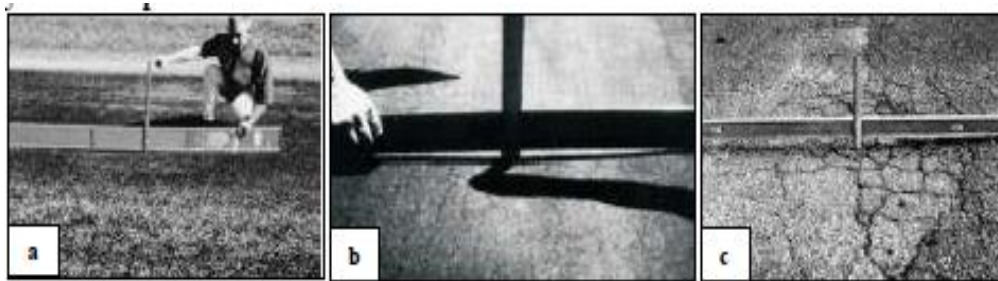
M: La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm. Ver gráfico 14.b.

H: La depresión tiene más de 50 mm. Ver gráfico 14.c.

b) Unidad de medida

Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

Gráfico 14 Depresión



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

7. Fisura de borde

Son grietas paralelas al borde externo del pavimento, que se encuentran a una distancia de 0,30 a 0,50 m de este. Este fallo se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden moverse).

a) Niveles de severidad

L: Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación desprendimiento. Ver gráfico 15.a.

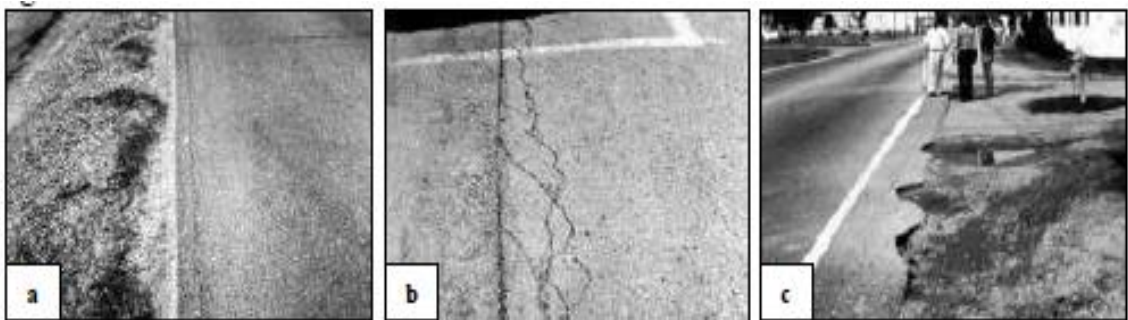
M: Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento. Ver gráfico 15.b.

H: Existe una desintegración considerable a lo largo del borde. Ver gráfico 15.c.

b) Unidad de medida

La fisura de borde son medidas en metros lineales.

Gráfico 15 Fisura de borde



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación.

L: No se hace nada. Sellado de fisura con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

8. Fisura de reflexión de junta

Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de bases (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento portland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

a) Niveles de severidad

L: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones). Ver gráfico 16.a.

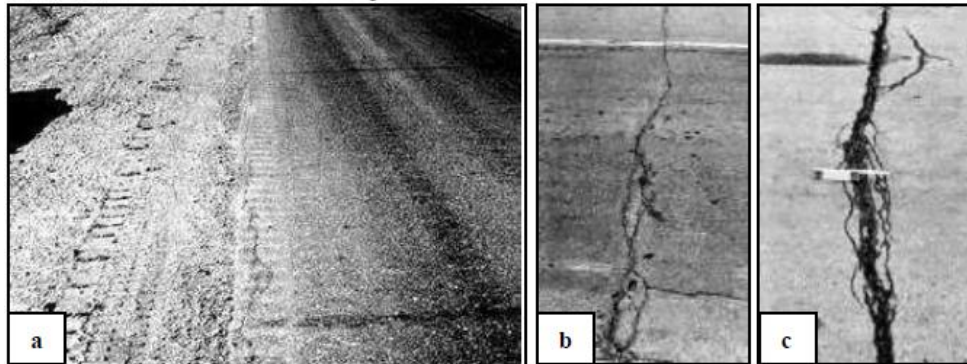
M: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisuras sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad. Ver gráfico 16.b.

H: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desmenuado o fracturado. Ver gráfico 16.c.

b) Unidad de medida

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

Gráfico 16 Fisura de reflexión de junta



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: Sellado para ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

9. Desnivel carril – berma

El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma o la colocación de sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

a) Niveles de severidad

L: La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25 mm y menor a 50 mm.

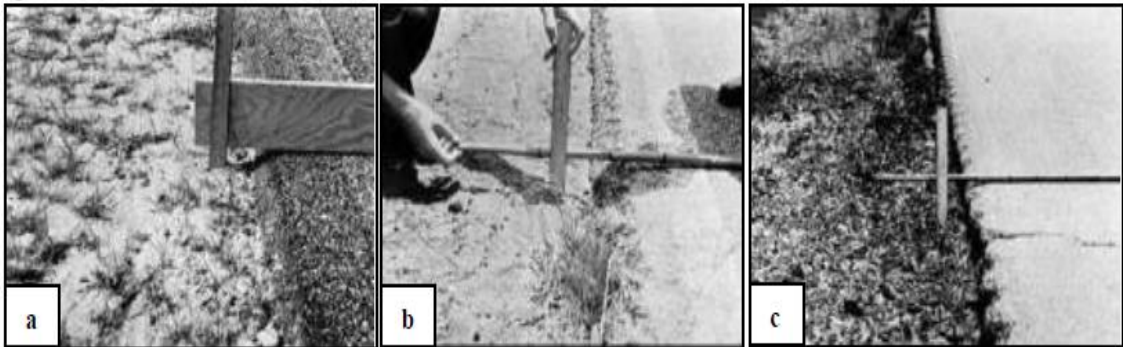
M: La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50 mm y menor a 100 mm.

H: La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm.

b) Unidad de medida

El desnivel carril – berma es medido en metros lineales.

Gráfico 17 Desnivel carril - berma



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L, M, H: Re nivelación de la berma para ajustarla al nivel del carril.

10. Fisuras longitudinales y transversales

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

Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

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

Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en las losas de concreto de cemento portland, pero no las juntas de pavimento de concreto. Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con la carga.

a) Niveles de severidad

L: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones). Ver gráfico 18.a.

M: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria. Ver gráfico 18.b.

H: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que lo rodea está severamente fracturado. Ver gráfico 18.c.

b) Unidad de medida

Las fisuras longitudinales y transversales son medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

Gráfico 18 Fisuras longitudinales y transversales



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada, sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas, parcheo parcial.

11. Parches

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto, no que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien

como la sección original de pavimento). Los parches de cortes utilitarios hacen referencia a aquellos parches colocados cuando se efectúan cortes para la reparación de tuberías de agua y desagüe, instalación de cableado eléctrico, teléfonos, entre otros trabajos similares.

a) Niveles de severidad

L: El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad. Ver gráfico 19.a.

M: El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como media severidad. Ver gráfico 19.b.

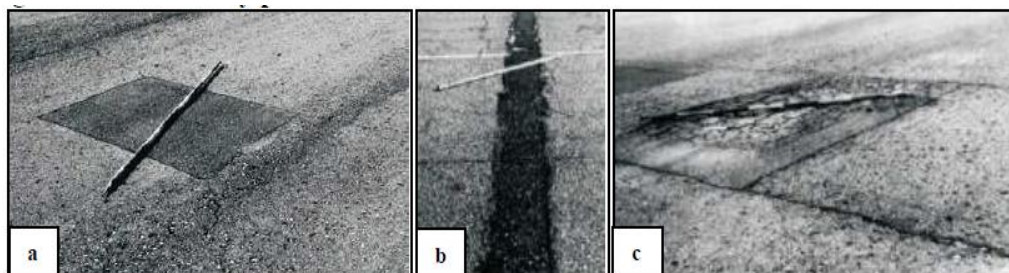
H: El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad. Ver gráfico 19.c.

b) Unidad de medida

Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, estas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

Gráfico 19 Parches



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución de bache.

H: Sustitución del bache.

12. Agregado pulido

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

a) Niveles de severidad

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

b) Unidad de medida

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

Gráfico 20 Agregado pulido



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Fresado y sobre carpeta.

13. Huecos o baches

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

a) Niveles de severidad

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

Tabla 9 Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima al hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12,70 a 25,40 mm	L	L	M
> 25,40 a 50,80 mm	L	M	H
> 50,80 mm	M	M	H

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

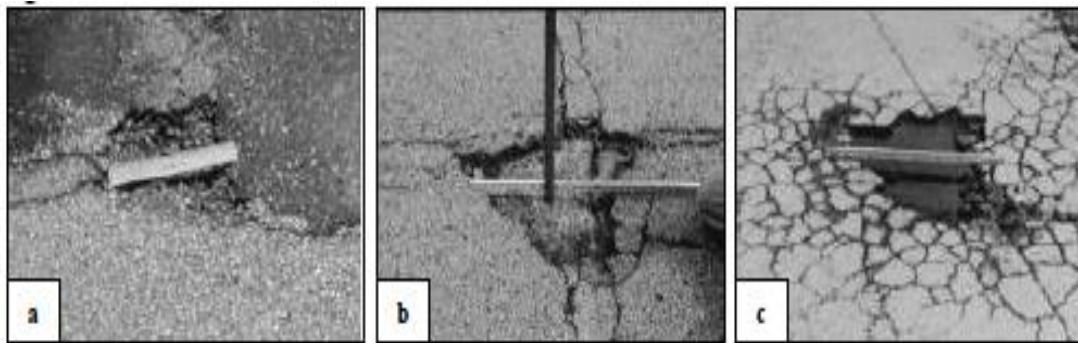
Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0,50 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm, los baches son considerados de mediana severidad

(ver gráfico 21.b); en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad (ver gráfico 21.c).

b) Unidad de medida

Los baches o huecos no son medidos, sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

Gráfico 21 Huecos y baches



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

14. Ahuellamiento

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

a) Niveles de severidad

L: La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm. Ver gráfico 22.a.

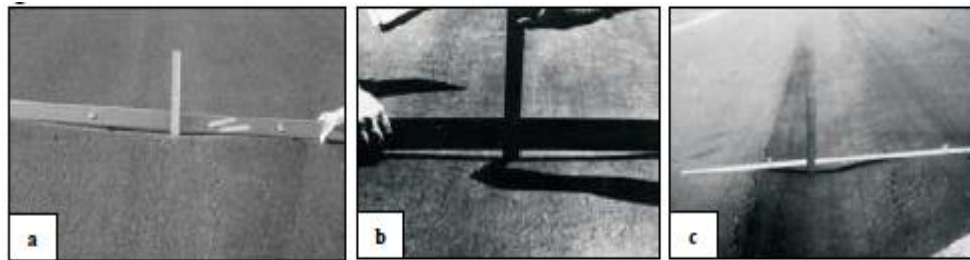
M: La depresión varía entre 13 y 25 mm. Ver gráfico 22.b.

H: La depresión es mayor a 25 mm. Ver gráfico 22.c.

b) Unidad de medida

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

Gráfico 22 Ahuellamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

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

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

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

15. Desplazamiento o deformación por empuje

El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito.

Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión). Los desplazamientos también ocurren cuando los pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Portland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Portland se incrementa causando el desplazamiento.

a) Niveles de severidad

L: El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad. Ver gráfico 23.a.

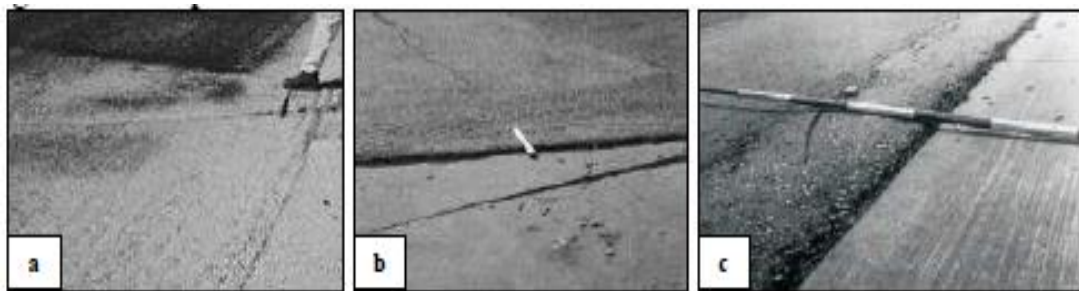
M: El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad. Ver gráfico 23.b.

H: El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad. Ver gráfico 23.c.

b) Unidad de medida

Los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado.

Gráfico 23 Desplazamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

16. Fisura parabólica o por deslizamiento

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

a) Niveles de severidad

L: El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm. Ver gráfico 24.a.

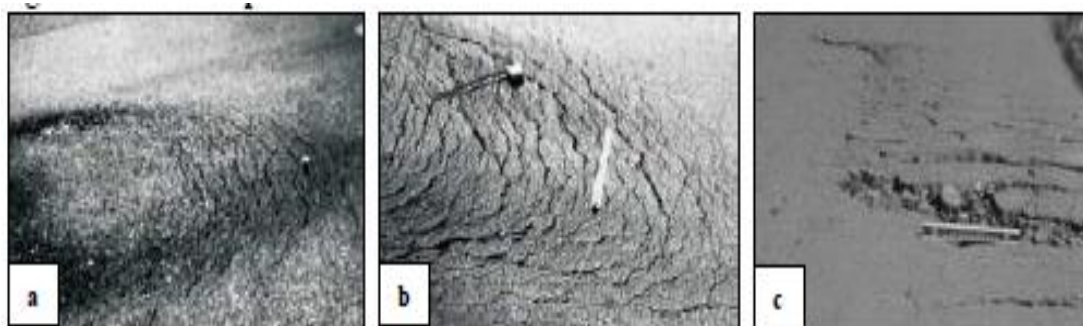
M: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es mayor a 10 y menor a 40 mm; b) el área que rodea la fisura esta descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras. Ver gráfico 24.b.

H: Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho de la fisura es mayor a 40 mm; b) el área que rodea la fisura esta fracturada en pequeñas piezas removidas. Ver gráfico 24.c.

b) Unidad de medida

Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

Gráfico 24 Fisura parabólica o por deslizamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

17. Hinchamiento

El Hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga gradual con la longitud mayor que 3,00 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

a) Niveles de severidad

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

M: Cuando el hinchamiento causa una calidad de transito de severidad mediana.

H: El hinchamiento causa calidad de transito de alta severidad.

b) Unidad de medida

El área de hinchamiento es medida en metros cuadrados.

Gráfico 25 Hinchamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

La peladura por intemperismo es la desintegración superficial del pavimento por pérdida de ligante asfáltico; mientras que el desprendimiento del agregado pétreo, hace referencia a partículas de agregado sueltas o removidas.

Ambas fallas indican que el ligante asfáltico ha sufrido un endurecimiento considerable o que la mezcla es de pobre calidad.

Las principales causas de este tipo de fallas son: Cargas de tráfico especiales como es el caso de vehículos de orugas, ablandamiento de la superficie y pérdida de agregados debido al derramamiento de aceite de vehículos, mezcla de baja calidad con ligante insuficiente, uso de agregados sucios o muy absorbentes, falla de adherencia agregado – asfalto debido al efecto de agentes externos.

a) Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceites, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda. Ver gráfico 26.a.

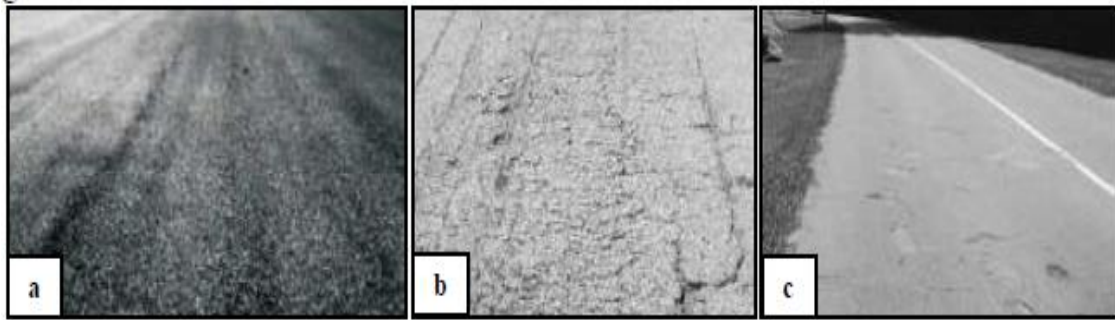
M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda. Ver gráfico 26.b.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados y el ligante. La textura superficial es sumamente rugosa y bastante ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores a 10,0 mm y profundidades menores que 13,00 mm áreas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el asfalto ha perdido su condición ligante y los agregados se encuentran sueltos. Ver gráfico 26.c.

b) Unidad de medida

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

Gráfico 26 Peladura por intemperismo o desprendimiento de agregados



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

c) Opciones de reparación

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobre carpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Reconstrucción.

(Cálculo del índice de condición de pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, octubre 2009)

2.6.7. IRI (índice de regularidad superficial)

El IRI (en inglés “internacional roughness index”) fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial de las carreteras por el banco mundial en 1986. Permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicara le valores de IRI, permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en qué condiciones superficiales se encuentra la vía y detectar anomalías en algunos de sus tramos. Para confeccionar la definición del IRI, los expertos del banco mundial crearon, en los años 80, un modelo denominado “cuarto de coche” que simulaba la cuarta parte de un coche. (Índice internacional de rugosidad, aplicación a la red carretera de México, secretaria de comunicaciones y transporte, Sanfandila 1998).

Con este modelo definido, el concepto de IRI se materializa como la representación de un modelo matemático, que simula el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de coche golden car), al circular por una determinada longitud del perfil de carretera, a una velocidad estándar de 80 Km/h. Las unidades en las que se mide este valor son m/Km, dm/Hm o mm/m. Un IRI = 0 significa una superficie totalmente lisa y su valor incrementa con las irregularidades del perfil, no existe un límite superior.

Al avanzar, el modelo por una carretera a una velocidad constante de 80 km/h e ir siguiendo sus irregularidades, las masas se mueven verticalmente, y para una combinación estándar de valores de las constantes de los muelles, masas y amortiguador (las de la tabla), el movimiento vertical relativo acumulado de la masa superior (que simula el asiento del conductor), al recorrer el modelo una longitud determinada de carretera, es lo que se conoce como IRI.

Se define regularidad superficial como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las vibraciones del perfil real con el respecto del perfil teórico de la calzada. Es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, esta puede ser la única característica del pavimento perceptible al usuario de la vía, en función a la sensación de comodidad.

Las irregularidades en la superficie de la carretera generan movimientos verticales en los vehículos que transitan por ella, tornando la circulación incomoda, insegura y antieconómica. Las irregularidades se presentan en ondas aleatorias de frecuencia múltiple, de diferentes amplitudes y longitud de onda, tanto en sentido longitudinal como transversal.

El IRI es una medida de la influencia de la calidad del perfil longitudinal de una carretera en la calidad de la rodadura, que representa la vibración de un vehículo típico de pasajeros como resultado de la falta de regularidad de la superficie de la vía.

El IRI es un indicador independiente del equipo de medida, lo que depende del equipo son los datos de entrada o cotas del perfil. (Índice internacional de rugosidad, aplicación a la red carretera de México, secretaria de comunicaciones y transporte, Sanfandila 1998).

Equipo para la medición del IRI

Los equipos utilizados en la medición de la regularidad de las carreteras, están clasificados de acuerdo a dos parámetros: el intervalo de almacenamiento de datos y la resolución de medición vertical.

Nivel y mira: Este tipo de equipo brinda una gran precisión en la información, obtiene una medida muy precisa del perfil, sus resultados se ven eclipsados por su bajo rendimiento y alto costo operativo.

Gráfico 27 Nivel y mira



Fuente: www.sintop.wordpress.com.

Existen varios tipos de equipos que se utilizan para la medición del IRI, para este caso en particular, por falta de equipamiento se utilizó la estación total haciendo el papel de nivel de ingeniero.

2.6.8. Procedimiento de medición de la regularidad superficial

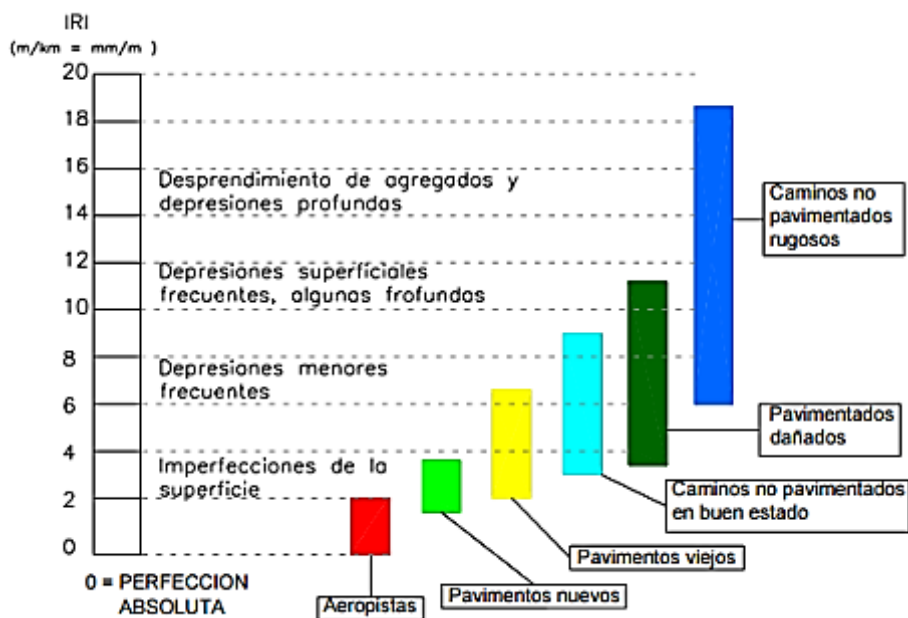
El perfil longitudinal de un camino es una representación en dos dimensiones de la superficie del mismo, a lo largo de una línea imaginaria. Por lo tanto, la medición del perfil es una serie de números que representan elevaciones respecto a un nivel de referencia.

Se dice que un índice es portable y reproducible, cuando este puede ser calculado a partir de un perfil verdadero y por cualquier perfilógrafo valido. Además, se habla que es estable

en el tiempo, cuando puede ser comparado en el tiempo; puesto que el concepto de perfil verdadero tiene el mismo significado año a año y la subsecuente transformación matemática del perfil verdadero también es estable con el tiempo.

A partir de un simple perfil puede calcularse muchos índices de regularidad. En términos generales, todos los índices de regularidad pueden calcularse empleando transformaciones matemáticas en cuatro pasos básicos. Los detalles en cada uno definirán el índice.

Gráfico 28 Escala de valores del índice de rugosidad internacional



Fuente: polux.unipiloto.edu.com.

En términos de los requerimientos del contrato, los valores del IRI normativos para niveles de aceptación y rechazo son: índice de rugosidad internacional (IRI) Intervalo de aceptación $0 < IRI \leq 2,95$ m/Km. Intervalo de rechazo $IRI > 2,95$ m/Km.

Equipo requerido

El equipo mínimo para la realización de ensayos del IRI es el siguiente:

- Estación total
- Dos prismas
- Dos jalones
- Cinta métrica

Procedimiento de medición

A lo largo de la vía se elegirá secciones en donde no se presenten curvas verticales y sean representativos para la obtención del IRI, con la ayuda de los jalones se traza una línea recta longitudinal.

A la línea recta se subdividen en segmentos a cada 0,50 metros, en donde se colocará la mira para su lectura.

Se ubica la estación total al principio de la línea recta.

Se realizan las lecturas con la estación total a cada 0,50 metros.

Con los datos registrados en el sitio de trabajo se procede a realizar los cálculos con la ayuda de una hoja de cálculo.

Metodología de cálculo

Una vez realizada la nivelación, para el trabajo de gabinete se hace uso de la hoja de cálculo “Microsoft Excel”, debido a que es un método que se aproxima a los valores que se obtendría con el equipo de medición “Merlín”.

Una vez tabulada la información de distancia y cota, nos regimos básicamente al concepto del IRI que es la “diferencia que hay entre la altura del perfil teórico y el perfil de la vía”, por lo cual se grafica los datos en la hoja de cálculo en donde la distancia acumulada se encuentra en el eje de las abscisas y las cotas se encuentra en el eje de las ordenadas, con esta grafica se realiza una regresión lineal con la ayuda de una línea de tendencia que mejor se ajuste a los puntos levantados con el nivel de ingeniero. Con la ecuación generada de la línea de tendencia, se vuelven a generar las cotas teóricas del perfil de la vía a cada 0.50 metros. Una vez obtenidos las cotas ideales y las reales, el IRI se obtiene de la siguiente manera.

$$IRI \left(\frac{m}{km} \right) = \left| \frac{cota\ real - cota\ ideal}{distancia\ parcial} \right| * 1000$$

Por lo general los instrumentos de medición del IRI como el Merlín, se obtiene valores a cada 5 metros, entonces lo que se debe realizar es buscar el mayor valor de IRI a cada 0,50

metros y a este valor ya no se divide por 0,50 metros, ahora este será dividido por 5 metros, es decir:

$$IRI \left(\frac{m}{km} \right) = \left| \frac{cota\ real - cota\ ideal}{5} \right| * 1000$$

Rangos para la calificación del IRI

Las normas bolivianas han establecido valores para la aceptación o rechazo de pavimentos nuevos, en un valor de 1,50 m/Km. Sin embargo, no se cuenta aún con valores de calificación del estado de pavimentos en funcionamiento.

Tabla 10 Clasificación según valores del IRI

País	Clasificación según valores del IRI (m/Km)				
	Bueno	Regular	Malo	Nivel de rechazo	Nivel de aceptación
USA	< 2,40	2,40 – 2,70	> 2,70		
España				> 2,50	< 1,85
Chile	0,00 – 3,00	3,00 – 4,00	> 4,00	> 2,50	< 2,50
Honduras	< 3,50	3,50 – 6,00	> 6,00		
Uruguay	< 3,90	4,00– 4,60	> 4,60		
Venezuela	< 1,80	1,80 – 2,20	2,00 – 2,50	> 2,51	< 2,51

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbaez, Corredor).

2.6.9. Índice de serviciabilidad de un pavimento (PSI)

El concepto de serviciabilidad fue desarrollado por un panel de evaluadores en la investigación del AASHO road test, se les dio la tarea de conducir sus vehículos por la vía, en sus diferentes secciones y calificarlas en la siguiente escala:

Tabla 11 Clasificación del PSR

PSR	Clasificación
0 – 1	Muy pobre
1 - 2	Pobre
2 – 3	Aceptable
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

Fuente: AASHTO 97.

Esta clasificación fue denominada “present serviciability rating (PSR)”, en español “clasificación de serviciabilidad presente”, se utilizó durante un tiempo como un parámetro evaluador del comportamiento de un pavimento. Pronto se vio la necesidad de eliminar los grupos de evaluadores para determinar dicho parámetro y se le relacionara con algunas medidas obtenidas del pavimento, tales como: la varianza de la pendiente longitudinal, el agrietamiento, etc. De esta manera se obtuvo el “present serviciability index (PSI)”, en español “índice de serviciabilidad presente”.

Posteriormente los evaluadores desarrollaron una tabla de rangos de PSR que relaciona y determina si la serviciabilidad es “aceptable” o “inaceptable” para una carretera principal. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12 Rangos de aceptabilidad del PSR

PSI	Aceptable	Inaceptable
4,50	100%	0%
4,00	100%	0%
3,50	95%	0%
3,00	55%	10%
2,50	17%	50%
2,00	3%	84%
1,50	0%	100%

Fuente: AASHTO 97.

Se considera “aceptable” un PSR de 3 e “inaceptable” un PSR de 2,50 desde entonces se utiliza estos valores como una referencia para la serviciabilidad final en el diseño de pavimentos.

Muchas agencias viales convirtieron el termino de varianza de la pendiente de la fórmula original en un índice de regularidad. Otras agencias correlacionaron directamente el IRI con el PSI, considerando que la irregularidad del perfil longitudinal es determinante en la percepción del confort del usuario, mientras que otros deterioros no, tienen escasa significación. (Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la av. Abdón Calderón, parroquia Conocoto, prov. de Pichincha, William H. Quito, julio 2016).

2.6.10. Metodología de cálculo del PSI

Muchas agencias realizaron correlaciones entre el PSI y el IRI. A continuación, se presentan dos de ellas.

Paterson

$$PSI = 5 * e^{-0,18 * IRI}$$

Donde:

e= Base de los logaritmos naturales

IRI= Índice de regularidad internacional (m/Km)

Guillespie

Es recomendada para valores de IRI menores a 0,47 m/km

$$PSI = 5 - 0,63 * IRI$$

Rangos de calificación

A continuación, se presenta una tabla comparativa de los valores de IRI obtenidos para las correlaciones de Paterson y Gillespie, con respecto a valores de PSI y adicionalmente la aceptabilidad de los usuarios.

Tabla 13 Niveles de aceptabilidad para las diferentes correlaciones

PSI	IRI (m/Km)		Aceptable
	Paterson	Gillespie	
4,50	0,58	0,79	100%
4,00	1,24	1,56	100%
3,50	1,95	2,37	95%
3,00	2,83	3,16	55%
2,50	3,85	3,95	17%
2,00	5,09	4,74	3%
1,50	6,69	-	0%

Fuente: AASHTO 97.

La AASHTO en su guía de diseño de 2002 adoptó el IRI como medida de lisura del pavimento en lugar del PSI considerando la representatividad del IRI en relación al PSI y la consistencia del IRI a distintas velocidades y que el mismo es una escala matemática relacionada con el perfil de la carretera.

El IRI es un indicador de la comodidad de circulación del usuario, pero de algún modo se constituye en la única alerta de necesidades de rehabilitación, ya que las fallas puntuales en algunos casos no son perceptibles en la circulación por la vía. Un pavimento puede presentar una superficie relativamente lisa y sin embargo presentar fallas (piel de cocodrilo, grietas longitudinales, etc.) indicadores de un avanzado deterioro de la estructura, por lo tanto, la evaluación de la carpeta deberá ser completa y detallada, deberá determinar las causas de los deterioros y establecer un juicio sobre el estado general de la misma. (AASHTO 97).

2.6.11. Textura del pavimento IFI (índice de fricción internacional)

La textura del pavimento es un parámetro muy poco evaluado en nuestro medio, sin embargo, es un indicador muy importante en cuanto a la seguridad y comodidad del usuario de la vía y es muy importante evaluarlo para la conservación de la misma. La textura tiene un rol muy importante en la evacuación del agua en el sistema neumático-pavimento y afecta directamente en la adherencia entre los neumáticos del vehículo y la capa de rodadura, estos aspectos de la textura son determinantes en la seguridad de circulación, puesto que son los que mantienen en su lugar aun cuando esta se encuentre bajo los efectos de la lluvia. Esta textura se ve disminuida con el tiempo por los efectos del tráfico que genera pulimento de los agregados y otros tipos de falla que disminuyen la adherencia entre el vehículo y el pavimento.

La textura también influye directamente en los niveles de sonoridad que percibe el usuario al interior de su vehículo, como también el ruido que produce en el exterior que afecta la calidad de vida de las áreas pobladas que son adyacentes a la carretera. En el aspecto económico afecta en el consumo de combustible, el desgaste de los vehículos y principalmente en el desgaste de los neumáticos. Existen dos tipos de textura que son presentados a continuación.

2.6.12. Micro textura

La micro textura es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie perfectamente plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferior a 0.5 mm este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, es tan pequeña que no puede verse a simple vista. Corresponde a la textura superficial de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características del tipo áspero o pulido.

La micro textura es la que se encarga de otorgar resistencia al deslizamiento en superficies mojadas en la interfaz neumático-pavimento, permite la penetración de agua entre el neumático y el pavimento de manera que se genere el agarre necesario. (Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México, secretaria de comunicaciones y transporte, instituto mexicano de transporte)

Equipo para la medición de la micro textura

Péndulo ingles

Consiste en un brazo pendular con un patín de caucho en un extremo que se deja caer para que resbale sobre la superficie a medir. La medida de la resistencia al deslizamiento se basa en la pérdida de energía del patín de caucho al pasar por la superficie. Los resultados que entrega esta medición se expresan en BPN (British pendulum number).

Gráfico 29 Péndulo ingles



Fuente: Elaboración propia.

2.6.13. Macro textura

La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,50 y 50 mm este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que las de los dibujos de los neumáticos. La macro textura proviene del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Las propiedades de la macro textura están determinadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. (Instituto mexicano del transporte).

La macro textura es la que se encarga de la capacidad drenante del pavimento.

Equipo para la medición de la macro textura

Ensayo del círculo de arena

El método consiste en extender sobre la superficie del pavimento, en forma de círculo, un volumen conocido de arena de granulometría estandarizada. La medida del diámetro, permite determinar el área del círculo y dividiendo el volumen entre el área y se conoce la profundidad media, conocida como HS en mm.

Gráfico 30 Material para el círculo de arena



Fuente: Elaboración propia.

El IFI se expresa mediante dos números en un paréntesis, separados por una coma (F60, Sp), F60 es un número adimensional que representa la fricción a 60 Km/h, Sp es un

numero positivo sin límites determinados y en unidades de velocidad en Km/h, este representa la macro textura. Estos valores permiten determinar el coeficiente de fricción del pavimento $F(s)$ a cualquier velocidad de deslizamiento (s), mediante la expresión.

$$F(s) = F(60) * e^{(60-s)/sp}$$

2.6.14. Medición de la fricción del pavimento

Para la medición de la fricción del pavimento se utiliza el péndulo inglés AASHTO T 278-90 (1999), AASHTO M-261-96 (2004).

Este ensayo simula la acción de frenado de un vehículo que se desplaza a 10 Km/h, consiste en un brazo pendular con un patín de caucho en un extremo que se deja caer para que resbale sobre la superficie a medir. La medida de la resistencia al deslizamiento se basa en la pérdida de energía del patín de caucho al pasar por la superficie. Los resultados que entrega esta medición se expresan en BPN (bristish pendulum number).

Gráfico 31 Procedimiento con el equipo de péndulo inglés



Fuente: Elaboración propia.

Metodología de uso del equipo para la determinación del IFI

Péndulo inglés (TRRL)

La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiara con un chorro de agua a presión.

Con el péndulo colgando libremente se bajará el mismo hasta que el borde de la zapata toque justamente el área a medir, determinada por el espaciador, se asegura la cabeza del péndulo, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.

Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se realizan varios movimientos oscilatorios, hasta obtener resultados consistentes, pero no se registran las lecturas.

Se vuelve a mojar la superficie de contacto y se realizan cuatro movimientos oscilatorios, remojando la zona de ensayo antes de cada uno y se registran los datos.

Metodología de calculo

Cálculo del valor FR60

Para estimar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

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

Dónde:

S= Velocidad del péndulo (10 Km/h)

Sp= Velocidad de referencia

FRS= Valor de fricción obtenido en campo

Cálculo del valor F60

Este valor se determina mediante la fórmula:

$$F60 = A + B * FR60$$

Dónde:

“A” y “B” toman los siguientes valores de acuerdo a la norma ASTM E 274

A= 0,078

B= 0,01071

Cálculo del valor F(S)

La curva de referencia estimada de fricción-velocidad de deslizamiento del pavimento está dada por la siguiente ecuación:

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

El valor del IFI está representado por: (F60, Sp)

Limites

Las siguientes tablas señalan los límites para el ensayo del péndulo británico y el círculo de arena.

Tabla 14 Valores de fricción con péndulo británico

Fricción	Calificación
< 0,50	Malo (deslizamiento del vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de los neumáticos)

Fuente: Proyecto de grado seguridad vial “carretera San Roque - Tiquina”.

Curva de deterioro de un pavimento y zona optima de rehabilitación

Muestra una curva de deterioro en función del tiempo (o repeticiones de carga). Esta figura ilustra lo que pudiera definirse como una curva normal típica, en la que se distinguen tres puntos de especial importancia, ellos son:

Punto A: El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requieren el inicio de labores de mantenimiento rutinario menor (sellado de grietas, reparación de huecos y bacheo menor). Las acciones menores correctivas son importantes para controlar el deterioro.

Punto B: La tasa de deterioro comienza a crecer rápidamente, puede requerirse algún tipo de acción mayor. Este punto está dentro de la zona denominada “optima de rehabilitación”, en la que las inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios. La estructura del pavimento y su calidad de rodaje no se han deteriorado severamente, el pavimento aún conserva buena parte de su resistencia original, y una

adecuada acción de rehabilitación mejorará considerablemente su condición y estructura.

Punto C: la condición del pavimento ha caído en un estado crítico, tanto desde su punto de vista funcional como estructural. En este punto, normalmente se requieren costosos trabajos de mantenimiento mayor, rehabilitación o reconstrucción.

Tabla 15 Puntuación de acuerdo a las características de deterioro

Punto	PCI	Características
A	70 +/- 4	El pavimento empieza a necesitar mantenimiento menor
B	55 +/- 7	Se inicia incremento de la tasa de deterioro. Zona optima de rehabilitación
C	40 +/- 6	Inicio de zona de falla, se requieren acciones de mantenimiento mayor

Fuente: Cálculo del índice de condición de pavimento en la avenida las Palmeras (Piura, 10 de diciembre de 2009).

2.7. Evaluación estructural del pavimento

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

La evaluación estructural de pavimentos debe presentar un dato que permita relacionar la evaluación superficial del pavimento con la respuesta del mismo ante una acción de una carga. En general la evaluación estructural está comprendida por la auscultación estructural y el retro cálculo, entendiéndose por auscultación estructural las técnicas de recolección de información del pavimento (deflexiones) y la segunda la aplicación de la metodología a utilizar para definir los resultados finales de la evaluación estructural. El método más utilizado en la evaluación estructural de pavimentos es la medición de deflexiones superficiales, pero no se debe menospreciar los diferentes métodos que existen para la medición de deflexiones.

La auscultación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio. Dentro de las mediciones realizadas en la auscultación estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir errores al interpretar los resultados:

Temperatura

Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observara cual es el comportamiento térmico del pavimento.

Humedad

Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que algunos de los materiales componentes de las mismas tienen una gran susceptibilidad a dicha humedad.

Tiempo de carga

Esta condición tiene una gran influencia en los valores obtenidos de deflexión, por ejemplo:

Materiales ligados con cemento asfáltico: están fuertemente influenciados por el tiempo de carga, debido a la naturaleza visco elástica del asfalto. Este efecto se reduce a bajas temperaturas.

Materiales ligados con cemento hidráulico: el módulo dinámico para materiales cementados puede ser aproximadamente el doble del módulo estático, si el tiempo de aplicación de carga es muy alta, este efecto se reduce a medida que el módulo aumenta.

Con el análisis estructural se encuentran los estudios de vida remanente, capacidad estructural y rehabilitaciones. Para realizar todos estos estudios se utilizan diversos métodos, los cuales han sido orientados para predecir y solucionar fallas estructurales que ocurren en los pavimentos.

Los métodos se dividen en empírico y mecanicista empírico. Es importante que se escoja el método de evaluación estructural en base al método de diseño utilizado para entrelazar el estudio. (Pablo M. del Aguila, B. Sc. Lagesa ingenieros consultores).

2.7.1. Solicitaciones principales de un pavimento

Las solicitaciones principales de un pavimento son el producto del tránsito y el clima. El tránsito visto como las cargas a las que va expuesto el pavimento y el clima como el agente natural del medio ambiente.

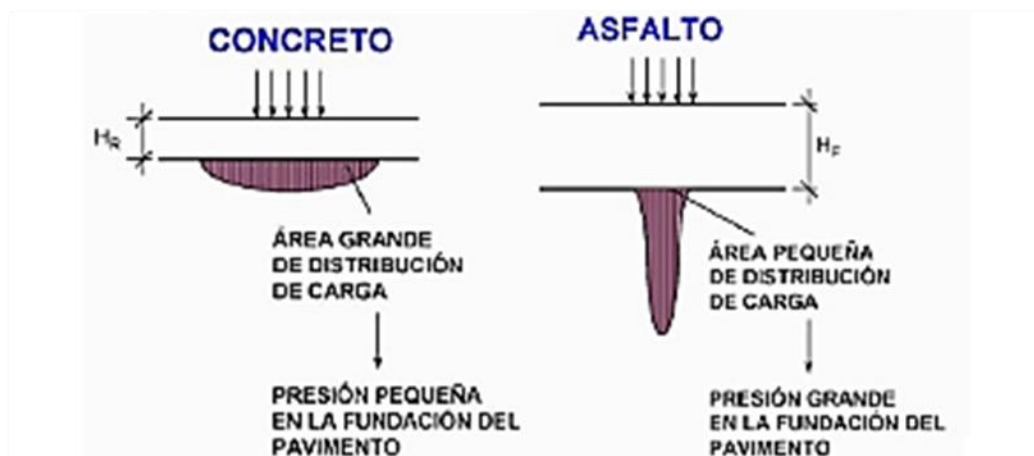
Tránsito

Se puede apreciar que el volumen de vehículos ha crecido en los últimos años, pero ese aumento ha sido aún mayor si se ve en términos de la carga que se transporta, esta situación tiene una influencia significativa en el comportamiento de los pavimentos, a la hora de determinar o predecir el daño que sufrirá un pavimento en el tiempo.

El tránsito está compuesto por diferentes vehículos, de diferentes pesos y número de ejes. Evaluar esta diversidad es un trabajo complejo, por la razón actualmente algunas metodologías definen la conversión del tránsito existente, proyectado o inducido en un número de ejes equivalentes identificado como ESAL's, el cual consiste en el número de repeticiones de carga equivalentes a 8,20 ton o 18 kip, durante la vida útil del pavimento.

El efecto de las cargas producidas por los vehículos en los pavimentos son la principal causa del deterioro de este, a lo cual se suma el efecto del clima, reduciendo así la capacidad del pavimento.

Gráfico 32 Comparación de la distribución de cargas en pavimentos



Fuente: Clasificación del reglamento de transporte terrestre de carga de El Salvador.

Clima

Las condiciones del medio ambiente tienen efectos sobre el comportamiento de los pavimentos rígidos y flexibles. Factores externos tales como la precipitación, temperatura y la profundidad del nivel freático juegan un papel clave para definir las limitaciones que los impactos del medio ambiente pueden tener en el comportamiento del pavimento. Factores internos tales como la susceptibilidad de los materiales de pavimento para la humedad, drenabilidad en las capas de pavimento, infiltración potencial del pavimento, etc.

En la estructura del pavimento, la humedad y la temperatura son dos de las variables que pueden significativamente afectar la capa de pavimento y las propiedades de la subrasante y, por lo tanto, su capacidad de soportar cargas.

Efectos de la temperatura

Los cambios de temperatura del medio ambiente originan variaciones en la temperatura de las estructuras de los pavimentos.

En pavimentos flexibles la temperatura producirá envejecimiento superficial de la capa de rodadura; además de ablandamiento y reducción de la viscosidad del asfalto y en presencia de bajas temperaturas se producirá pérdida de flexibilidad y grietas de contracción en el asfalto.

Efectos de la lluvia

El contenido de humedad, provoca una considerable influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen la estructura de pavimentos y sobre su comportamiento. Si la base, subbase y subrasante no están bien protegidas de la acción del agua se ocasionan daños, algunos de ellos son: Pérdida de partículas de suelo, creando erosión y saturación y exceso de sub presión o de fuerzas de filtración.

Pérdida de resistencia de la subrasante cuando esta se satura y permanece saturada durante un periodo largo de tiempo y degradación de la calidad del material del pavimento por acción de la humedad. (Pablo M. del Aguila, B. Sc. Lagesa ingenieros consultores).

2.7.2. Métodos de evaluación estructural

Ante un problema de evaluación estructural, tradicionalmente se recurre a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego al sistema denominado pavimento y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es lenta y es “destructiva”.

Métodos directos de evaluación estructural

Los métodos directos de auscultación son métodos destructivos, que deterioran la estructura del pavimento.

El uso de los métodos directos, presentan las siguientes desventajas como la obtención de datos requiere mayor cantidad de tiempo, costos más elevados, mayores molestias en el tráfico, etc.

Entre los métodos directos de auscultación estructural utilizados en Bolivia se pueden mencionar: calicatas o pozos a cielo abierto, extracción de núcleos.

2.7.3. Calicatas o pozos a cielo abierto

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar, por lo tanto, es un método de exploración confiable, pero sacrifica la estructura del pavimento y tiene muy bajo rendimiento.

El área que utilizan es más o menos un metro cuadrado y la profundidad varía según las exigencias de la investigación. Estas suelen realizarse, generalmente, centradas en la línea de borde de la carretera, frente a juntas o grietas.

Los resultados de campo y laboratorio servirán para el desarrollo del perfil estratigráfico del tramo en estudio, además de verificar la capacidad de soporte de los suelos de fundación. Las actividades para verificar la capacidad son: muestreo de los diferentes estratos de suelos y registro de la exploración. (Evaluación de las técnicas de diseño de pavimentos básicos para la conservación vial, Perú 2015).

Gráfico 33 Elaboración de una calicata



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

Se elige el lugar donde se realizará la excavación de la muestra, según sea la situación de la carretera a evaluar.

La excavación se lleva a cabo mediante métodos mecánicos estándares, como ser el pico y la pala.

Las dimensiones de excavación serán de 0,70 metros de largo 0,60 metros de ancho y una profundidad que depende del tipo de exploración.

Una buena práctica consiste en descartar material de excavación que presente muestras de diferentes tipos de suelo en su haber. Este material se considera como contaminado, a efectos de análisis edafológico.

La información técnica específica debe reportarse bajo un formato de control que registre la profundidad de la calicata y la presencia de filtraciones y/o irregularidades. También se documentan las características geológicas, mineralógicas y físicas del suelo y de los componentes hallados en cada estrato. El registro fotográfico es indispensable.

Las calicatas no deben permanecer abiertas durante un periodo de tiempo prolongado. Una vez haya concluido el muestreo y la documentación de la zona el pozo de prueba rellenarse y compactarse para evitar peligros potenciales en el área de trabajo.

Para el análisis del suelo, se sugiere tomar una muestra de cada estrato del suelo, iniciando en el estrato más profundo y haciendo el barrido desde abajo hacia arriba de la calicata. Es probable que los estratos superiores se hayan alterado con material proveniente de otros estratos al momento de excavar el hoyo de prueba.

(<https://civilgeeks.com/2016/12/13/guia-practica-una-calicata-la-toma-muestras-suelo/>)

Ensayos a realizar con las muestras

Los ensayos a realizar son: clasificación de suelos (AASHTO), compactación T-180 y CBR.

El objetivo más importante al momento de realizar esta evaluación estructural directa y destructiva, es conocer la capacidad de soporte de cada una de las capas estructurales.

Tabla 16 Valores referenciales de CBR, usos y suelos

CBR %	Clasificación general	Usos	Clasificación AASHTO
7 a 20	Regular	Subbase	A2, A4, A6, A7
20 a 50	Bueno	Subbase y base	A-1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	A-1a, A2-4, A-3

Fuente: Manual del instituto de asfaltos.

2.7.4. Extracción de núcleos

Con la extracción de núcleos, se obtienen volúmenes muy pequeños de material físico del pavimento, en comparación con el volumen obtenido con las calicatas; son cilindros con diámetros de distintos tamaños, en los que se puede verificar el espesor de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento y los elementos que las componen a cada uno de ellos (ver gráfico 2.28). Muchas veces es difícil la extracción de núcleos en base y subrasante cuando son materiales granulares ya que existe desprendimiento de material.

La extracción de núcleos suele tener un buen rendimiento, partiendo del estado en que se encuentre el equipo, la experiencia de operarlo y la toma de ensayos sea relativamente cerca. Por lo general los testigos son tomados en el borde exterior del carril en sentido del tráfico y en los hombros de la vía. Además, se extraen núcleos sobre grietas para ver su alcance y si transmite a las capas inferiores.

Gráfico 34 Muestra de núcleo de pavimento



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 35 Equipo portátil para extracción de núcleos



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

Las muestras de pavimentos asfálticos, están destinadas principalmente, a determinar la densidad y el espesor, con el fin de verificar el cumplimiento de diseño. También en muchas ocasiones sirven para determinar el contenido porcentual de asfalto, por medio del ensayo de extracción.

Se localiza el equipo a no menos de 60 cm de los bordes de la franja que se desea controlar, siendo preferible colocarlo dentro del tercio central de ella. Antes de extraer un testigo del pavimento, se debe verificar que este se encuentre limpio y despejado.

Para que la extracción de un testigo resulte eficiente, es indispensable tener presente las siguientes precauciones.

Las brocas deben ser adecuadas respecto a la calidad y dimensiones para el tipo de trabajo a realizar y deben encontrarse en buenas condiciones. Normalmente para pavimentos de asfalto las brocas son de 102 mm (4”).

La presión del agua debe ser suficiente para una adecuada refrigeración, aspecto que incide en una buena operación y en la vida útil de la broca.

El equipo deberá asentarse sobre la superficie, de forma que la broca se apoye perpendicularmente sobre ella y los dispositivos de fijación aseguren la estabilidad durante la extracción.

Se inicia el corte a baja velocidad y presión moderada, hasta que los dientes de la broca hayan penetrado en el elemento de muestra. Una vez alcanzada esa condición, se aumenta la velocidad y la presión hasta los niveles normales para un adecuado rendimiento. Se deben mantener esos niveles constantes durante todo el tiempo que dure la extracción, de manera que se asegure una geometría uniforme en el testigo.

En las extracciones de en pavimentos asfálticos, se debe verificar que la temperatura superficial no sea demasiado alta, para evitar que el testigo se disgregue durante la operación.

Los testigos extraídos se deben identificar claramente de acuerdo a un código de registro que incluya al menos un número consecutivo, la abscisa y la vía. Para marcar utilizar pintura u otro producto de marcación indeleble.

Se almacenan los testigos de capas asfálticas en lugares apropiados, sin luz solar directa, a una temperatura ambiente entre 10° y 30° C y sin condensación, con el fin de mantener inalterada su condición original hasta el momento del ensayo. Se rellenan los agujeros dejados por la extracción de núcleos, teniendo en cuenta los siguiente: Inmediatamente después de extraído el testigo, se realiza el relleno del agujero producido en la toma de aquel, con el fin de evitar posibles accidentes a los vehículos que transiten por la vía.

Se procederá al relleno con material que asegure una perfecta adaptación de este a la geometría de aquel, así como una adherencia satisfactoria entre el material de relleno y las paredes del agujero. Para ello, tanto la granulometría del agregado como el tipo de ligantes constituyentes del material, serán adecuados. (Método de extracción de testigos en pavimentos terminados y otras obras estructurales, I.N.V. E-758-07)

Ensayos a realizar

Para la realización de los diferentes ensayos, es necesario tomar nota del peso de cada muestra extraída y posteriormente realizar la separación del agregado y el contenido asfáltico con la ayuda del equipo de centrifugado.

Granulometría. - Para la granulometría se usa tamices de distinta abertura, en la siguiente tabla se muestra el porcentaje mínimo y el porcentaje máximo de agregado que pasa del total (según norma de la ASTM D – 3515).

Tabla 17 Porcentaje mínimo y máximo que pasa del total (ASTM D-3515)

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	% Mínimo	% Máximo
1"	25,40	100	100
3/4"	19,00	90	100
3/8"	9,50	56	80
4	4,75	35	65
8	2,36	23	49
50	0,32	5	19
200	0,07	2	8

Fuente: Norma ASTM D 3515.

Contenido de cemento asfáltico. - Para la determinación del contenido asfáltico, se vuelve a pesar el agregado ya separado del ligante y de esta manera se obtiene el porcentaje existente de cemento asfáltico.

Según normas de construcción de pavimentos, el contenido mínimo de cemento asfáltico se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 18 Porcentaje mínimo de contenido asfáltico

Contenido de asfalto %		Descripción
2,70%	3,30%	Base asfáltica de refuerzo
3,70%	4,30%	Base asfáltica para pavimentos nuevos
4,50%	7,50%	Concreto asfáltico

Fuente: Normas para la construcción de pavimentos.

Dimensiones de muestra. - Lo más importante de las dimensiones de la muestra, es conocer el espesor o altura de la muestra tomada en campo, ya que, con esta se puede obtener las condiciones en las que fue construida la vía.

Tabla 19 Espesores de los distintos tratamientos superficiales

Tratamientos superficiales	
Clasificación	Espesores
Simple	10,00 a 12,50 mm
Doble	20,00 a 25,00 mm
Triple	> 25,00 mm

Fuente: www.vialidad.cl.

Para la obtención de las medidas es necesario usar instrumentos de buena precisión, como lo es el Vernier o pie de rey.

2.7.5. Métodos indirectos de evaluación estructural

Se le puede llamar métodos indirectos de evaluación estructural a aquellos métodos con los cuales se logra determinar la capacidad estructural del pavimento, sin tener que dañar la estructura, dichos métodos se basan en hipótesis y modelos matemáticos.

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

Deflectometría

Es el estudio de las deformaciones verticales de la superficie de un pavimento, debido a la acción de una carga dinámica o estática, las cuales provocan fallas estructurales que dependen de la magnitud y frecuencia de las deformaciones recuperables y de la acumulación de las deformaciones en la estructura.

Así que la deflexión de un pavimento es un indicador del comportamiento de la estructura pavimento-subrasante, frente a una determinada carga.

La determinación de la capacidad estructural por este método cumple en el diseño de refuerzos en un rol de cierta forma semejante a la determinación del C.B.R. de suelos de subrasante en el diseño de estructuras nuevas. (www.vialidad.cl/laboratorionacional/)

Medición de deflexiones

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “viga Benkelman”. Llamando así en honor a Daniel Benkelman, quien la desarrolló en el año 1952 como parte de ensayos viales de la WASHO (WASHO 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.

De forma general, hay tres tipos de equipo para determinar las deflexiones del pavimento según metodologías no destructivas los cuales son: equipos de medición de deflexiones por medio de cargas estáticas, equipos de medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias, equipos de medición de deflexiones por medio de cargas de impacto.

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

La medida de deflexiones empleando la viga Benkelman se encuentra estandarizado de acuerdo al manual de carreteras: Ensayos de materiales de transportes y comunicaciones (MTC E 1002). Este se basa en las normas ASTM D-4695.

Equipo para la medición de deflexión en pavimentos

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

2.7.6. Viga Benkelman

Desarrollada en el road test de la AASHO en 1952, consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador (ver gráfico 36). Este equipo debe ser usado con un camión cargado, normalmente con 80 KN en un eje, con llantas duales infladas a una presión de 0,48 a 0,55 MPa (70 a 80 Psi).

Gráfico 36 Medición con la viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

Metodología para la medición de la deflexión con la viga Benkelman

Se realiza el pesaje del vehículo (volqueta) ya cargado, ésta debe tener un peso en el eje trasero de 8,20 Ton (18000 lb) se acepta una variación en el orden de $\pm 1\%$.

Se debe verificar que la presión de inflado en las llantas esté a 80 psi.

Se posiciona el vehículo en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.

Se centra el extremo delantero de la viga Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas.

Se nivela la viga y se coloca el extensómetro y se pone en cero del mismo, esta posición se asumirá como la máxima deflexión y 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.

Apuntar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,50 metros y cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (por lo general >5 m).

Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.

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

Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 20 Recomendaciones del punto de ensayo sobre el pavimento

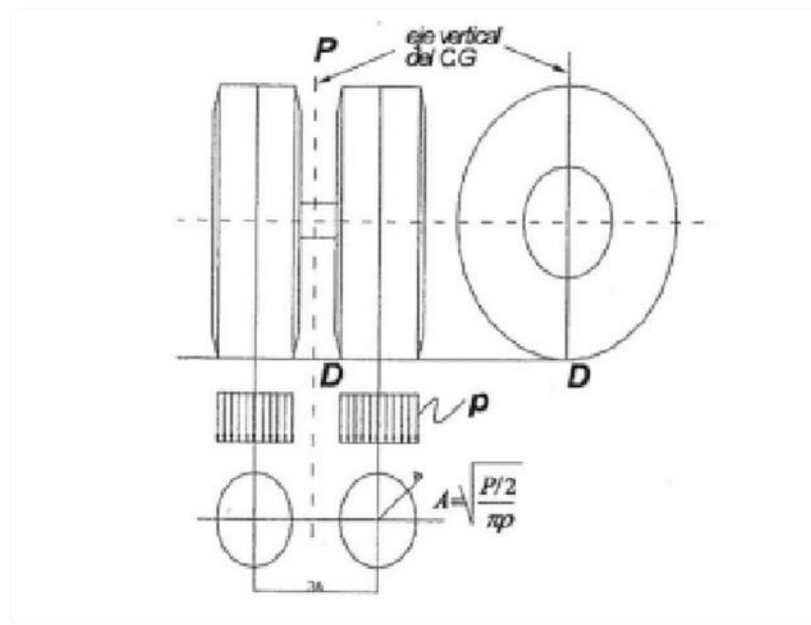
Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o mas	0,90 m

Fuente: Manual de ensayo de materiales (EM 2000).

La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado, quedando este ubicado entre ambas llantas. Para la correcta ubicación de la misma es conveniente colocar en la parte trasera externa del camión una gula vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea

transversal indicada en el gráfico 37, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual y que coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto. Para toda esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3” alrededor del punto.

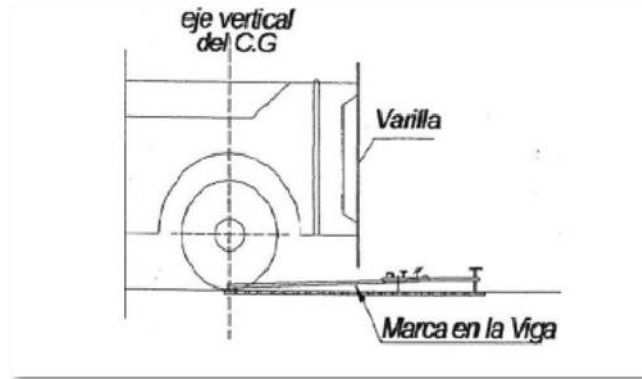
Gráfico 37 Viga coincidente con el centro de las llantas



Fuente: www.nestorhuaman.pe.

Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de la carga, de modo que la punta de prueba del brazo móvil (del primer brazo de mayor longitud, el caso sea doble) coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las cubiertas de las llantas de la rueda dual. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir igualmente, haciendo uso de la plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia la varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones. (Evaluación estructural usando la viga Benkelman aplicada a un pavimento, Javier Balarezo, Piura, agosto de 2017).

Gráfico 38 Configuración geométrica del sistema de carga



Fuente: www.nestorhuaman.pe

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 50, 75 y 100 cm) o por lo menos 3 lecturas, pero se pueden obtener más, con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea obtener una idea grafica del tipo de curva de deflexiones que se producen.

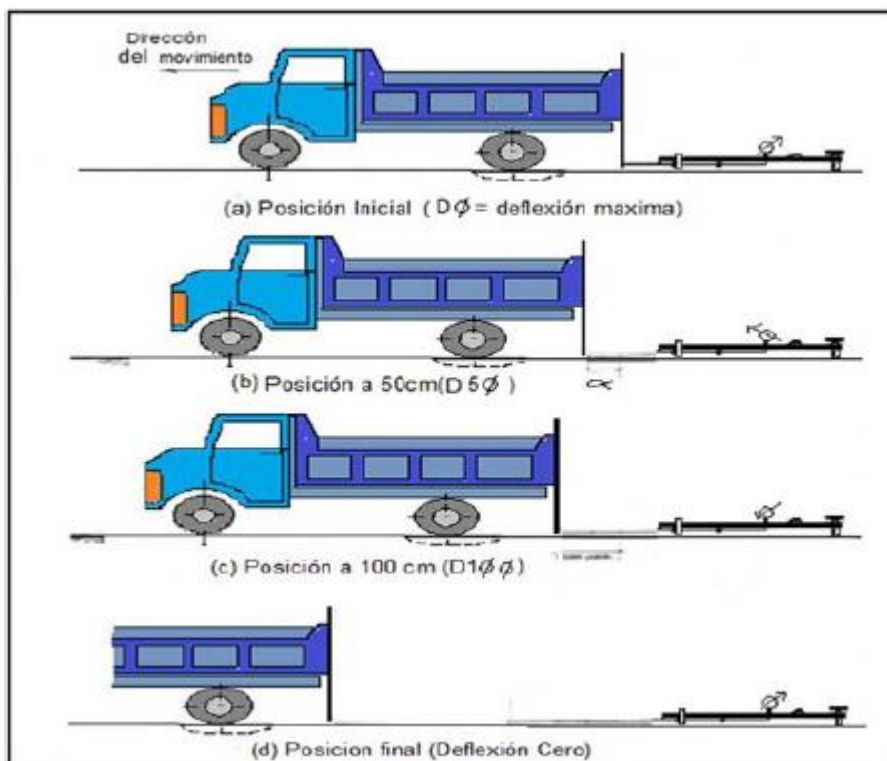
Como norma se realiza marca adicional a una distancia de 50 cm para la deflexión que servirá para el cálculo del radio de curvatura. Seguidamente se realizará a los 75 y 100 pudiendo variar estas últimas, los cuales ayudaran a un mejor análisis.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la guía vertical y la marca inicial, se verificará que esta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.

Se retira o liberan los seguros del o brazos móviles y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que el o los brazos móviles de medición quede en contacto con el vástago del o diales.

Se hace avanzar suave y lentamente el camión procediéndose a tomar las lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera, segunda y demás marcas adicionales, y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo hasta una distancia de 4 a 5 metros aproximadamente en que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Gráfico 39 Posiciones adoptadas por el vehículo de carga



Fuente: Estudios de evaluación estructural (Pablo M. del Águila).

Con el fin de medir la temperatura del pavimento se usará un termómetro para este fin, antes de comenzar el ensayo y en el lugar donde se realizará el ensayo.

El rango de temperaturas de trabajo, en el que se pueden llevar a cabo las mediciones, queda en la siguiente forma:

Límite inferior: 5°C.

Límite superior: se considera lo siguiente.

Concreto asfáltico que presenta la superficie libre de deformaciones, sellados, u otros tratamientos superficiales: 30°C.

Mezclas de baja estabilidad o no convencionales, o concretos asfálticos no incluidos en el caso anterior: máxima temperatura para la cual no se detecta deformación plástica entre ambas cubiertas de la rueda dual, menor o igual a 30°C.

Tratamientos superficiales bituminosos: 38°C.

Para detectar deformación plástica entre neumáticos de la rueda dual el camión o verificación del descenso de las patas de la viga se procede según lo dispuesto en la norma o especificación MTC E 1002-2000, el cual se adjunta en los anexos.

Para la realización de esta rutina de medición en campo será necesario del concurso de tres operadores como mínimo: uno que lee 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 cuando las varillas adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.

Una vez tomados los datos de campo, el cálculo de las deflexiones para cada sección consiste en sustraer la lectura final (punto de referencia de deflexión cero) a cada una de las otras, representando las respectivas diferencias la deformación en dichos puntos, las cuales en conjunto definen la curva de deflexión de superficie de pavimento.

2.7.7. Metodología para el cálculo con la viga Benkelman

Cálculo de la deflexión máxima

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

Donde:

Do= Deflexión máxima

K= Constante de la viga Benkelman (depende de la relación de brazos y de la calibración)

Lo= Lectura inicial

Lf= Lectura final

Deflexión media a la distancia

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

Donde:

D50= Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0,50 m)

K= Constante de la viga Benkelman (depende de la relación de brazos y de la calibración)

L50= Lectura a 0,50 m de la posición inicial

Lf= Lectura final

Corrección por temperatura

El asfalto tiene un comportamiento visco – elástico, por tanto, las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura (si el espesor es igual o superior a los 5cm), 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 estándar de 20 °C se emplea la ecuación siguiente:

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

Donde:

D₂₀= Deflexión a la temperatura estándar

D_t= Deflexión a la temperatura t

k= Coeficiente del asfalto medida para cada ensayo

e= Espesor de la carpeta asfáltica

Corrección por estacionalidad

La correcta medición de las deflexiones debería ser en épocas 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 y época del año.

Tabla 21 Factor de corrección por estacionalidad

Tipo de suelo subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa-permeable	1	1,10 a 1,30
Arcillosa-sensible al agua	1	1,20 a 1,40

Fuente: Estudio CONREVIAL.

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 0.50m a partir del punto de máxima deflexión.

$$Rc = \frac{6250}{K * (Do - D50)}$$

Donde:

Rc= Radio de curvatura (m)

Do= Deflexión máxima corregida

D50= Deflexión a 0,50 m corregida

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 den el periodo considerado, la expresión que define este parámetro es:

$$Da = \left(\frac{1,15}{N18} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

Da= Deflexión admisible (mm)

N18= Número total de ejes equivalentes a 8,2 Ton (18000 lb)

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

$$Do < Dadm$$

Radio de curvatura

El pavimento sujeto a evaluación tendrá un comportamiento satisfactorio siempre que se cumpla que:

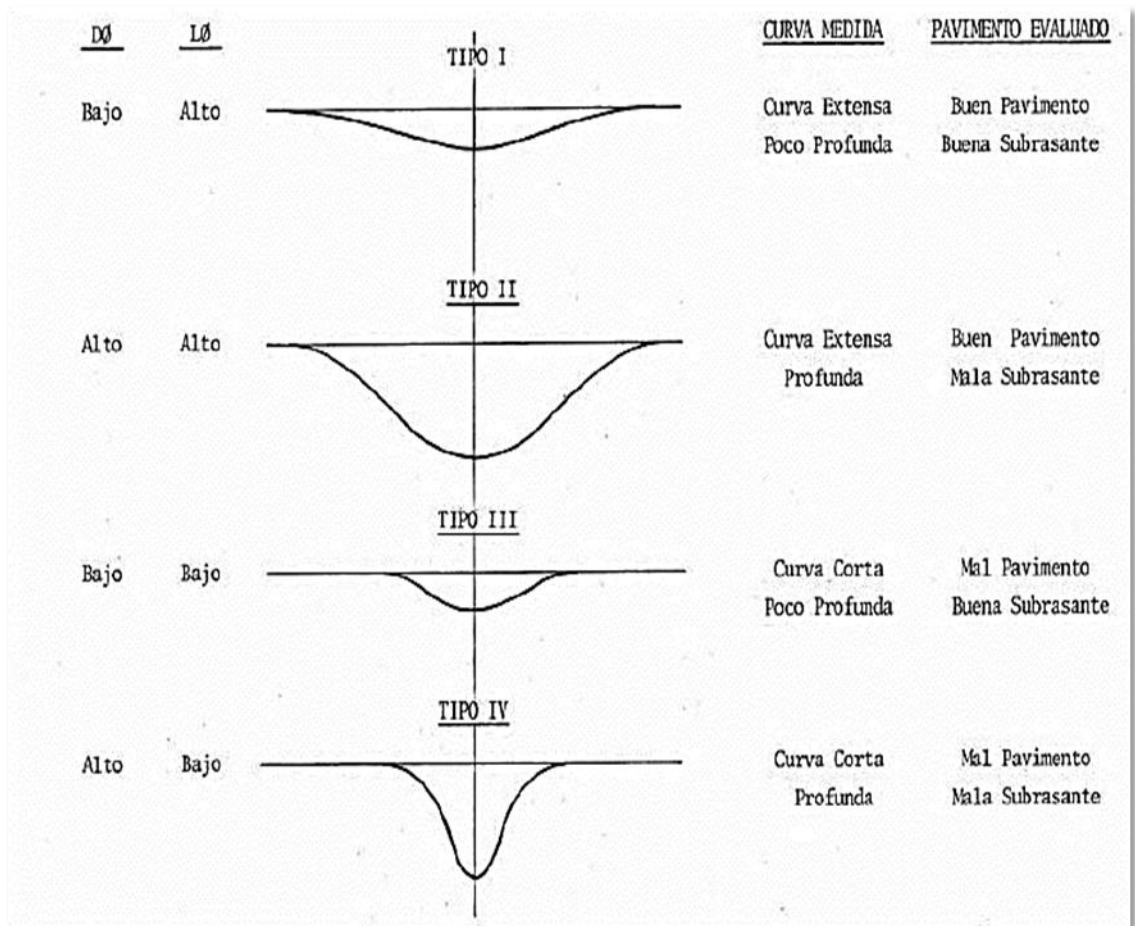
Los valores de radio de curvatura calculados son mayores a 100 m.

$$R_c > 100 \text{ m}$$

El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 – 500 m.

$$300 < R_c < 500$$

Gráfico 40 Significado cualitativo de las diferentes curvas de deflexiones



Fuente: Medición y análisis empírico de deflexiones (Ing. Pablo del Águila).

Deflexión media

Gauss determina la deflexión media (D_m), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (C_v), para ello se usaron las siguientes expresiones donde “n” es el número de datos:

$$Dm = \frac{\sum_{i=1}^n Di}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Di - Dm)^2}{(n - 1)}}$$

$$Cv = \frac{\sigma}{Dm} * 100$$

Donde:

Dm= Deflexión media (0,01 mm)

Di= Deflexión recuperable máxima corregida (0,01 mm)

n= Número de datos

σ = Desviación estándar

Cv= Coeficiente de variación

Todos estos datos estadísticos sirven en diseño para determinar la deflexión característica.

Deflexión característica

Es un valor que representa mejor a una determinada sección, siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadísticos, se establece como deflexión característica el valor:

$$Dc = Dm + t * \sigma$$

Donde:

Dc= Deflexión característica

Dm= Deflexión promedio de los valores Do

σ = Desviación estándar

t= Coeficiente porcentual del área con probabilidad de superar Dc

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área del pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la característica Dc correspondiente.

En este caso t=1,645 que es una probabilidad al 95%

Tabla 22 Significado ecuaciones de deflexión característica

Valor diseño %	Deflexión característica Dc	Extensión del pavimento con
		D > Dc %
50	D	50
75	D + 0,67*σ	25
85	D + σ	15
90	D + 1,30*σ	10
95	D + 1,64*σ	5
98	D + 2,00*σ	2
99	D + 2,33*σ	1
99,9	D + 3,00*σ	0,1

Fuente: Estudio CONREVIAL.

Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, durante un periodo considerado. La expresión analítica que define este parámetro es de acuerdo a la metodología del Dr. C. Ruiz (Argentina).

$$Da = \left(\frac{1,15}{N18} \right)^{1/4}$$

Donde:

Da= Deflexión característica admisible (inicial) en mm

N18= Número de ejes estándar equivalentes de 8,2 ton acumulados en millones

La determinación del número de ejes equivalentes se adquiere de acuerdo a normas de construcción de vías.

Análisis de tránsito – eje equivalente

En el funcionamiento estructural de las capas de la estructura del pavimento, influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el periodo de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos. La demanda o volumen de tráfico, requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados

para el periodo de diseño. El concepto de eje equivalente se basa en la posibilidad de evaluar el daño que produce determinada carga y compararla con otra de referencia.

Con los datos corregidos se procede a la elaboración de deflectogramas.

Los deflectogramas son un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructuras, donde se puede diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo, de esta manera se identifica secciones de diferente capacidad estructural y/o comportamiento. (Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento, Javier Balarezo, Piura, agosto de 2017).

Alternativas de solución a la evaluación superficial y estructural.

La conservación es un problema tanto económico como técnico, y para la ejecución de los trabajos, estos deben efectuarse oportunamente con el fin de que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, es necesario contar con recursos económicos disponibles y personal con experiencia, ya que si ello todos los sistemas, materiales y equipo que se empleen, tendrán como resultado pérdidas económicas y trabajos defectuosos.

A continuación, se evalúa algunas de las alternativas más comunes que se tiene para la conservación vial, para encontrar la solución más favorable a la evaluación.

Reciclado de pavimento.

Es una técnica de rehabilitación de pavimentos que consiste en la reutilización del material obtenido de la disgregación de la carpeta asfáltica deteriorada mezclada con parte del material granular subyacente a esta.

Ventajas.

Se interviene en su mayoría de los síntomas de una carpeta asfáltica, eliminación de grietas, restablecimiento de las propiedades del material ligante, niveles de baches, huecos y monturas, restablecimiento de la flexibilidad del pavimento frágil y desgastado.

el recuperar y procesar los materiales de los pavimentos, reduce el costo de rehabilitación de las calles y carreteras.

El reciclado (recuperar y rehusar) del valioso material de pavimentos asfálticos, ha dado como resultado ahorros de arriba del 25% en el costo de producción de mezclas asfálticas.

Desventajas.

Los equipos trabajan a flama directa para calentar la superficie del pavimento y poder ser fresada que repercute en la emisión de gases a la atmosfera y el sobrecalentamiento de la carpeta existente.

La granulometría del agregado de la carpeta puede variar desde las zonas gruesas a zonas finas.

El contenido de asfalto varia en relación con el área superficial de los agregados reciclados.

Las características de compactación de las mezclas pueden variar, resultando en diferentes condiciones estructurales,

El impacto ambiental es de consideración, si se toma en cuenta que la rehabilitación vial es de gran superficie.

Construcción de sobre carpetas de refuerzo.

Las sobre carpetas asfálticas pueden ser utilizadas para corregir las deficiencias de la superficie del pavimento como desprendimiento, aspereza y superficies deslizantes y deficiencias estructurales. Las diferencias de superficie de pavimentos asfálticos usualmente son corregidas mediante un re nivelación de bajo espesor, pero las deficiencias estructurales requieren de sobre carpetas diseñadas con factores tales como las propiedades del pavimento y las cargas de tráfico.

Ventajas.

Las capas asfálticas de fricción de granulometría abierta, pueden prevenir el efecto de acuaplaneo, para reducir la salpicadura y la rociadura de las llantas, y para lograr una superficie con resistencia al deslizamiento.

Las razones principales para aplicar sobre carpetas sobre pavimentos pudieran ser adecuados son permeabilidad excesiva y desprendimiento de la superficie.

Llega a corregir varias fallas comunes en las carreteras, como ser grietas, piel de cocodrilo, fisuras en bloque, etc.

Desventajas.

El costo para la rehabilitación de superficies de gran magnitud llega a ser muy excesivo.

Una variación frecuente en los espesores de refuerzo estructural, puede conducir a procedimientos muy poco prácticos, que podrían repercutir desfavorablemente en costos.

El tiempo en la rehabilitación del tráfico vehicular llega a ser demorado en demasía, con lo cual también se traduce en más costo de rehabilitación.

Micro pavimento.

Es una mezcla de emulsión asfáltica de rotura controlada modificada con polímeros, agregado 100% triturado, minerales finos, agua y aditivos que, en proporciones apropiadas y debidamente aplicados, constituyen una capa de rodadura uniforme e impermeable, que garantiza la conservación de cualquier vía de tránsito.

Su uso es principalmente en vías sometidas a condiciones climáticas extremas, como por ejemplo carreteras de alta montaña o superficies trazados en pendientes fuertes y tránsito pesado.

Ventajas.

Ofrece tres ventajas en costo, durabilidad y tiempo sobre otras técnicas y materiales de mantenimiento de vías.

El uso de esta tecnología reduce los costos de mantenimiento de las vías en un 50%, ya que al conservar la carpeta asfáltica no es necesario volver a aplicarla.

El material es muy versátil y puede usarse tanto en vías urbanas como rurales en rurales, sin importar el peso de los vehículos que circulan por la vía.

El micro pavimento no reemplaza al asfalto tradicional, por lo que se supone un cambio de sistema, más bien se trata de un recubrimiento que sirve para aumentar la vida útil de las vías.

Entre otra ventaja se encuentra el costo, ya que el producto preserva las carpetas de asfalto, de esta manera el mantenimiento se hace menos frecuente.

Lo usual es recubrir las carpetas asfálticas después de cinco a siete años de su aplicación con otra carpeta, usando el micro pavimento, en vez de volver a colocar otra capa de asfalto se aplica emulsión, que tiene menor costo.

La aplicación se realiza mediante una maquina especial que realiza la mezcla de forma más acelerada que los asfaltos tradicionales, que deben ser colocados a altas temperaturas.

Una vez realizado el mantenimiento preventivo, la carpeta asfáltica no necesitara de cuidados adicionales por lo menos cinco años.

Cuando se asfalta una vía, el costo de metro cuadrado puede ser un dólar, pero al realizar el mantenimiento por los medios tradicionales (que implican la aplicación de otra carpeta) este costo se incrementa a 10 dólares o más, con el micro pavimento el costo se mantiene.

Una vez aplicado, se requiere una hora y 30 minutos como mínimo y máximo de 3 horas para reabrir el tránsito vehicular, por lo cual no repercute en gastos como los métodos anteriores.

Desventajas.

El micro pavimento no es posible aplicarlo en zonas con temperatura muy bajas.

No puede ser aplicado en zonas donde el viento sea muy intenso, debido a que agrava las bajas temperaturas ya existentes.

La norma establecida para estos asfaltos indica que el árido grueso debe estar chancado en un 100%, lo que, según las empresas, es difícil de conseguir, llegándose solo al 98%. Esto incurre en el no incumplimiento de la norma.

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. Ubicación del tramo en estudio

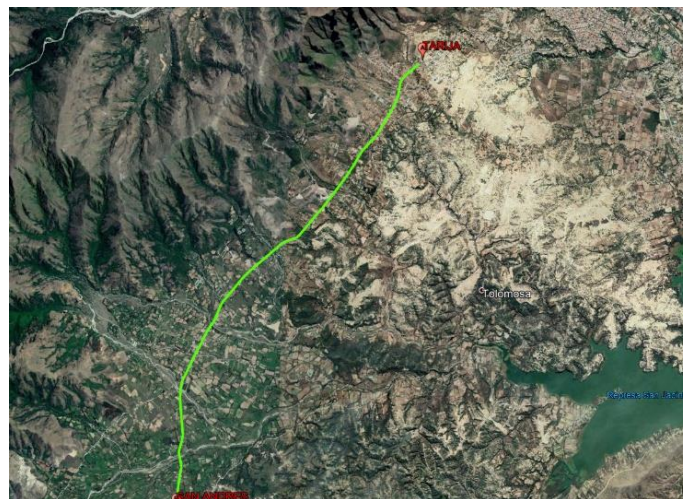
El tramo carretero “Tarija – San Andrés” está ubicado en el departamento de Tarija, provincia Cercado, al sur de Bolivia. Este tramo conecta la ciudad de Tarija con distintas poblaciones, como ser Turumayo, Lazareto y San Andrés. La ubicación geográfica de los puntos que este tramo conecta se presenta a continuación.

Gráfico 41 Mapa político del departamento de Tarija



Fuente: Wikipedia, enciclopedia libre.

Gráfico 42 Tramo "Tarija - San Andrés"



Fuente: Google earth.

Geográficamente se encuentra entre las coordenadas geográficas:

Tarija:

Latitud: 21° 32' 48,88" S

Longitud: 64° 46' 36,34" O

Altitud: 1992 m.s.n.m.

San Andrés:

Latitud: 21° 37' 4,40" S

Longitud: 64° 49' 2,99" O

Altitud: 1973 m.s.n.m.

En coordenadas UTM se encuentra en:

Tarija:

E: 316002,675

N: 7616274,254

Zona 20

San Andrés:

E: 311874,837

N: 7608366,879

Zona 20

3.2. Características del tramo en estudio

El tramo "Tarija – San Andrés" llega a ser concluida el 2006 y el tramo de inicio se encuentra en las afueras de la ciudad de Tarija a 5,63 km de distancia del kilómetro cero de la urbe Tarijeña. Según el servicio departamental de caminos (SEDECA) se tiene la siguiente descripción técnica del tramo.

Diseño geométrico

Longitud total:	9,50m
Pendiente máxima:	6,00%
Pendiente transversal:	2,50%
Topografía:	Ondulada
Categoría de carretera:	Clase IV-A
Velocidad directriz:	40,00m/hr
Ancho de carril:	3,65m
Ancho de calzada:	7,30m
Ancho de bermas (Tarija - San Andrés):	0,50m
Ancho plataforma (Tarija - San Andrés):	8,30m
Radio de curvatura mínimo:	40,00m

Paquete estructural

Sub rasante mejorada	20,00m
Sub base	20,00m
Capa base	15,00m
Capa de rodadura	TST

Drenaje y obras complementarias

- Canchales revestidas
- Construcción de muros de H^oC^o
- Construcción de alcantarillas cajón
- Construcción de puentes (L = variable)
- Colocación de señalización vertical
- Señalización horizontal

3.3. Evaluación superficial del tramo en estudio

Para la evaluación superficial del tramo “Tarija – San Andrés” se evaluaron cuatro parámetros como ser: PCI, IRI, PSI, los cuales se desarrollan a continuación.

3.3.1. Aplicación del método PCI (índice de condición de pavimento)

Se detallara la metodología aplicada para la evaluación superficial del tramo “Tarija - San Andrés”, 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 llega a ser moroso y requiere mucho tiempo para realizarlo, en la bibliografía menciona que solamente se seleccione una cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo, por lo que el trabajo se minimiza y los resultados son confiables.

Muestreo y unidades de muestra

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

Carreteras con capa de rodadura asfáltica como lo es el de la vía Tarija – San Andrés, y ancho menor que 7,30 m, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como se observa en la siguiente tabla que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 23 Longitudes de unidades de muestreo asfáltico

Ancho de calzada (m)	Longitud de muestreo asfáltico(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.

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada en el tramo “Tarija – San Andrés” que es de 7,30 m, se adoptó una longitud de 44 m. para cada una de las áreas. Llegando a ser la unidad de muestra de 321.2 m^2 que está dentro del rango establecido por el método.

Se debe realizar una pre visualización inicial de la vía para tener un criterio de división de los tramos. Para tener una mejor precisión de la evaluación superficial por el método PCI, se realizó una división de todo el tramo por secciones de 2 km y uno de 1,22 km, para poder obtener así un PCI por kilómetro de vía, debido a la discontinuidad de uniformidad de daño en la vía. Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias por kilómetro de carretera.

Para obtener el número mínimo de unidades de muestra se tiene los siguientes datos:

Para las progresivas 0+000 a 8+000

Ancho de vía = 7,30 m

Longitud de muestreo = 32 m

Longitud de sección = 2000 m

$$N = \frac{\text{Longitud de sección}}{\text{Longitud de muestreo}}$$

$$N = \frac{2000}{32} = 62.5 \Rightarrow N = 63$$

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

Donde:

N=63 (Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento)

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

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

$$n = \frac{63 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (63 - 1) + 10^2} = 12.92 \Rightarrow 13 \text{ Unidades de muestra}$$

Intervalo de muestreo (i)

$$i = \frac{N}{n} = \frac{63}{13} = 4.85 \Rightarrow \text{cada 4 unidades}$$

Tabla 24 Muestras seleccionadas para el PCI prog. 0+000 – 8+000

Sección 1			Sección 2		
Progresiva inicial	Progresiva final	Unidad de muestra	Progresiva inicial	Progresiva final	Unidad de muestra
0+096	0+128	U4	2+096	2+128	U4
0+224	0+256	U8	2+224	2+256	U8
0+352	0+384	U12	2+352	2+384	U12
0+480	0+512	U16	2+480	2+512	U16
0+608	0+640	U20	2+608	2+640	U20
0+736	0+768	U24	2+736	2+768	U24
0+864	0+896	U28	2+864	2+896	U28
0+992	1+024	U32	2+992	3+024	U32
1+120	1+152	U36	3+120	3+152	U36
1+248	1+280	U40	3+248	3+280	U40
1+376	1+408	U44	3+376	3+408	U44
1+504	1+536	U48	3+504	3+536	U48
1+632	1+664	U52	3+632	3+664	U52
1+760	1+792	U56	3+760	3+792	U56
1+888	1+920	U60	3+888	3+920	U60
Sección 3			Sección 4		
Progresiva inicial	Progresiva final	Unidad de muestra	Progresiva inicial	Progresiva final	Unidad de muestra
4+096	4+128	U4	6+096	6+128	U4
4+224	4+256	U8	6+224	6+256	U8
4+352	4+384	U12	6+352	6+384	U12
4+480	4+512	U16	6+480	6+512	U16
4+608	4+640	U20	6+608	6+640	U20
4+736	4+768	U24	6+736	6+768	U24
4+864	4+896	U28	6+864	6+896	U28
4+992	5+024	U32	6+992	7+024	U32
5+120	5+152	U36	7+120	7+152	U36
5+248	5+280	U40	7+248	7+280	U40
5+376	5+408	U44	7+376	7+408	U44
5+504	5+536	U48	7+504	7+536	U48
5+632	5+664	U52	7+632	7+664	U52
5+760	5+792	U56	7+760	7+792	U56
5+888	5+920	U60	7+888	7+920	U60

Fuente: Elaboración propia.

Para la progresiva 8+000 a 9+220

Ancho de vía = 7,30 m

Longitud de muestreo = 32 m

Longitud de sección = 1220 m

$$N = \frac{\textit{longitud de seccion}}{\textit{longitud muestreo}}$$

$$N = \frac{1220}{32} = 38.12 \Rightarrow N = 39$$

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

Donde:

N=39 (Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento)

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

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

$$n = \frac{39 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (39 - 1) + 10^2} = 11.56 \Rightarrow 12 \textit{ Unidades de muestra}$$

Intervalo de muestreo (i)

$$i = \frac{N}{n} = \frac{39}{12} = 3.25 \Rightarrow \textit{Cada 3 unidades}$$

Tabla 25 Muestras seleccionadas para el PCI prog. 8+000 - 9+220

Sección 5		
Progresiva inicial	Progresiva final	Unidad de muestra
8+064	8+096	U3
8+160	8+192	U6
8+256	8+288	U9
8+352	8+384	U12
8+448	8+480	U15
8+544	8+576	U18
8+640	8+672	U21
8+736	8+768	U24
8+832	8+864	U27
8+928	8+960	U30
9+024	9+056	U33
9+120	9+152	U36

Fuente: Elaboración propia.

La unidad de muestreo inicial se selecciona al azar, como lo indica el método.

Gráfico 43 Progresivas de muestras



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Procedimiento del índice de condición de pavimento (PCI)

Se inspecciona minuciosamente cada una de las unidades de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, se

deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de los daños. Los datos se registran en una planilla para cada unidad de muestreo, debiendo registrarse el tipo de falla, su extensión y severidad. A continuación, se muestra un modelo de la planilla usada para la recolección de datos.

Tabla 26 Planilla de recolección de datos para el PCI

METODO PCI		ESQUEMA			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE					
HOJA DE REGISTRO					
Nombre de la vía:		Tarija - San Andrés	Sección: 3		
Ejecutor:		Alex David Puma Benavidez	Fecha: 22-08-19		
			Unidad de muestra: U44		
			Área: 230.4		
Piel de cocodrilo	Depresión	1. Parches y parches de cortes utilitarios	5. Fisura parabólica o por deslizamiento		
Exudación	Fisura de borde	2. Agregado pulido	7. Hinchamiento		
Fisuras en bloque	Fisura de reflexión de junta	3. Baches	3. Peladura por intemperismo y		
Abultamientos y hundimientos	Desnivel carril-berma	4. Ahuellamiento	esprendimiento de agregados		
Corrugación	3. Fisuras longitudinales y transversales	5. Desplazamiento			
FALLA	CANTIDAD		TOTAL	DENSIDAD %	VALOR DEDUCIDO

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de cálculo

Para el cálculo del PCI debe seguirse el siguiente procedimiento: 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.

Para la obtención de la densidad se debe dividir cada uno de los daños en cada nivel de severidad entre el área de la unidad de muestreo en la que se trabaja, esta densidad se expresa en porcentaje, se aplica usando la siguiente ecuación:

$$Densidad = \frac{Area\ total\ dañada\ (tipo\ y\ severidad)}{Area\ de\ la\ unidad\ de\ muestreo} \times 100$$

$$Densidad = \frac{26,58}{230,40} \times 100$$

$$Densidad = 11,54\%$$

Para determinar el valor deducido (DV) para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido de fallas normadas que se encuentran en el anexo 1a.

Determinar máximo valor deducido corregido (CDV), mediante los pasos:

Si ninguno o solamente un valor deducido es mayor que dos. El valor total es usado en lugar de CDV para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento descrito en los siguientes puntos.

Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la tabla 25 esta lista será 11,0, 10,0, 3,0 y 2,6.

Determinar el número de deducciones permisibles, “m”, empleando la ecuación:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - HDV)$$

Donde:

m= Número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez)

HDV= El mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

(Por ejemplo, en la tabla 24, $m = 1 + (9/98) (100 - 11,00) = 9,20$).

El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Si contamos con un numero de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.

Gráfico 44 Medición de fallas superficiales



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27 Ejemplo de hoja de registro de una vía de pavimento flexible

METODO PCI						ESQUEMA						
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE												
HOJA DE REGISTRO												
Nombre de la vía:			Tarija - San Andrés			Sección:		3		Unidad de muestra:	U44	
Ejecutor:			Alex David Puma Benavidez			Fecha:		22-08-19		Área:		230,40
Piel de cocodrilo		Depresión		1. Parches y parches de cortes utilitarios		5. Fisura parabólica o por deslizamiento						
Exudación		Fisura de borde		2. Agregado pulido		7. Hinchamiento						
Fisuras en bloque		Fisura de reflexión de junta		3. Baches		3. Peladura por intemperismo y						
Abultamientos y hundimientos		Desnivel carril-berma		4. Abuellamiento		3. Peladura por intemperismo y						
Corrugación). Fisuras longitudinales y transversales		5. Desplazamiento		3. Peladura por intemperismo y						
FALLA	CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO			
2M	3,80	4,65	5,80				14,25	6,18	10,00			
10L	1,20	3,80	2,20				7,20	3,13	3,00			
10M	2,60	4,00	1,50	1,80			9,90	4,30	11,00			
18L	5,20	6,30					11,50	4,99	2,60			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28 Calculo del PCI en un pavimento flexible

#	Valor deducido								CDT total	q	CDV
1	11,00	10,00	3,00	2,60					26,60	4	10,20
2	11,00	10,00	3,00	2,00					26,00	3	14,00
3	11,00	10,00	2,00	2,00					25,00	2	18,00
4	11,00	2,00	2,00	2,00					17,00	1	17,30
					Max CDV		18,00				
					PCI=		82,00				
					Rating=		Muy bueno				

Fuente: Elaboración propia.

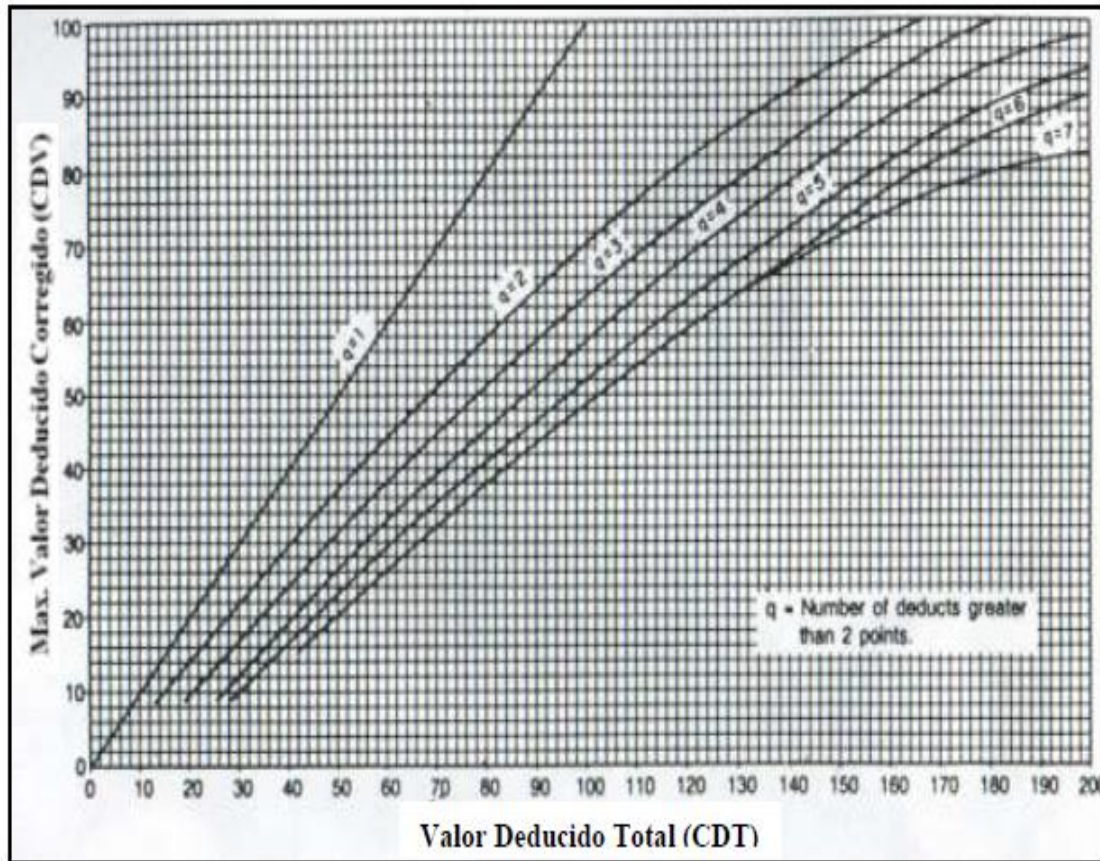
Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV) en forma iterativa como se muestra en la tabla anterior.

Determinar el valor deducido total (CDT) mediante la suma de los valores deducidos individuales. El valor deducido total que se obtiene de la suma en la tabla 25 es 26,60.

Determinar “q” como el número de valores deducidos mayores a 2. Por ejemplo, en la tabla anterior q=4.

Determinar el valor de CDV a partir del valor deducido total (CDT) y del valor de “q” utilizando las curvas apropiadas de corrección para pavimentos flexibles.

Gráfico 45 Curvas de corrección del valor deducido para pavimentos asfálticos



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

Reducir a 2 el menor valor deducido individual mayor que 2 y repetir el procedimiento hasta que “q” sea igual a 1.

El máximo CDV es el mayor de todos los CDVs.

Calcular el PCI restándole a 100 el máximo CDV.

Se compara el estado de la sección según la tabla siguiente.

El PCI de la sección será el promedio de todas las unidades de muestreo.

Tabla 29 Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación

PCI	Calificación
85-100	Excelente
70-85	Muy bueno
55-70	Bueno
40-55	Regular
25-40	Malo
10-25	Muy malo
0-10	Fallado

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

3.3.3. Resultados y análisis de los resultados del PCI

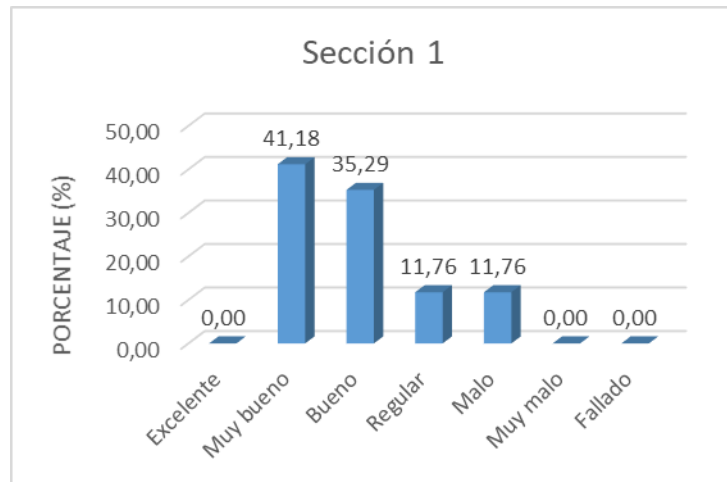
3.3.3.1. Análisis de los resultados parciales

Tabla 30 Calificación PCI progresivas 0+000 a 2+000

Sección 1				
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI	Calificación
4	0+096	0+128	70,50	Muy bueno
8	0+224	0+256	60,00	Bueno
12	0+352	0+384	54,00	Regular
16	0+480	0+512	84,20	Muy bueno
20	0+608	0+640	67,90	Bueno
24	0+736	0+768	57,20	Bueno
28	0+864	0+896	74,50	Muy bueno
A1	0+900	0+944	38,00	Malo
A2	0+944	0+988	30,00	Malo
32	0+992	1+024	50,50	Regular
36	1+120	1+152	58,50	Bueno
40	1+248	1+280	74,20	Muy bueno
44	1+376	1+408	63,00	Bueno
48	1+504	1+536	60,00	Bueno
52	1+632	1+664	76,00	Muy bueno
56	1+760	1+792	84,00	Muy bueno
60	1+888	1+920	80,50	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 46 Frecuencia de calificación de la sección 1



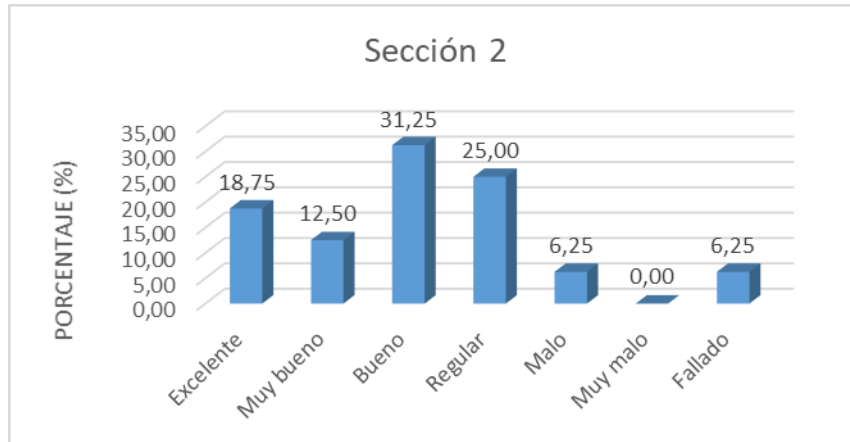
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Calificación PCI progresivas 2+000 a 4+000

Sección 2				
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI	Calificación
4	2+096	2+128	54,00	Regular
8	2+224	2+256	48,00	Regular
12	2+352	2+384	50,00	Regular
A3	2+420	2+464	5,00	Fallado
16	2+480	2+512	66,00	Bueno
20	2+608	2+640	60,00	Bueno
24	2+736	2+768	69,00	Bueno
28	2+864	2+896	34,00	Malo
32	2+992	3+024	47,00	Regular
36	3+120	3+152	67,00	Bueno
40	3+248	3+280	59,00	Bueno
44	3+376	3+408	84,00	Muy bueno
48	3+504	3+536	100,00	Excelente
52	3+632	3+664	92,00	Excelente
56	3+760	3+792	86,00	Excelente
60	3+888	3+920	83,90	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 47 Frecuencia de calificación de la sección 2



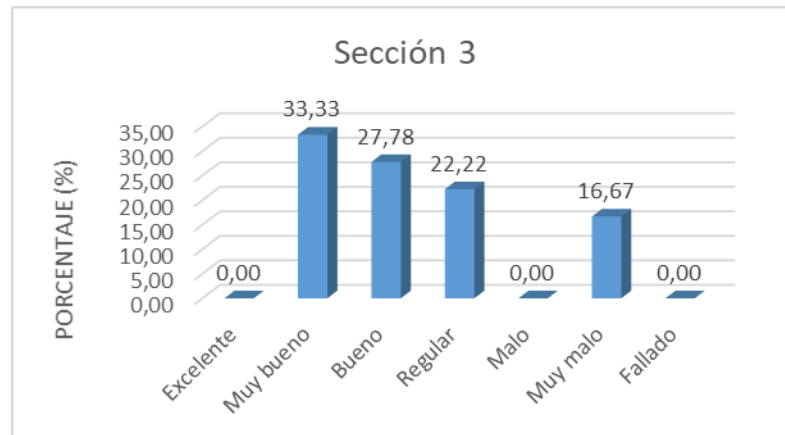
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32 Calificación PCI progresivas 4+000 a 6+000

Sección 3				
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI	Calificación
4	4+096	4+128	48,00	Regular
8	4+224	4+256	64,00	Bueno
12	4+352	4+384	54,00	Regular
A4	4+410	4+454	12,00	Muy malo
16	4+480	4+512	71,80	Muy bueno
20	4+608	4+640	58,10	Bueno
24	4+736	4+768	13,90	Muy malo
A5	4+780	4+824	46,00	Regular
28	4+864	4+896	63,00	Bueno
32	4+992	5+024	67,00	Bueno
36	5+120	5+152	77,80	Muy bueno
40	5+248	5+280	80,00	Muy bueno
44	5+376	5+408	82,00	Muy bueno
48	5+504	5+536	48,00	Regular
A6	5+550	5+594	15,00	Muy malo
52	5+632	5+664	64,00	Bueno
56	5+760	5+792	83,90	Muy bueno
60	5+888	5+920	84,00	Muy bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 48 Frecuencia de calificación de la sección 3



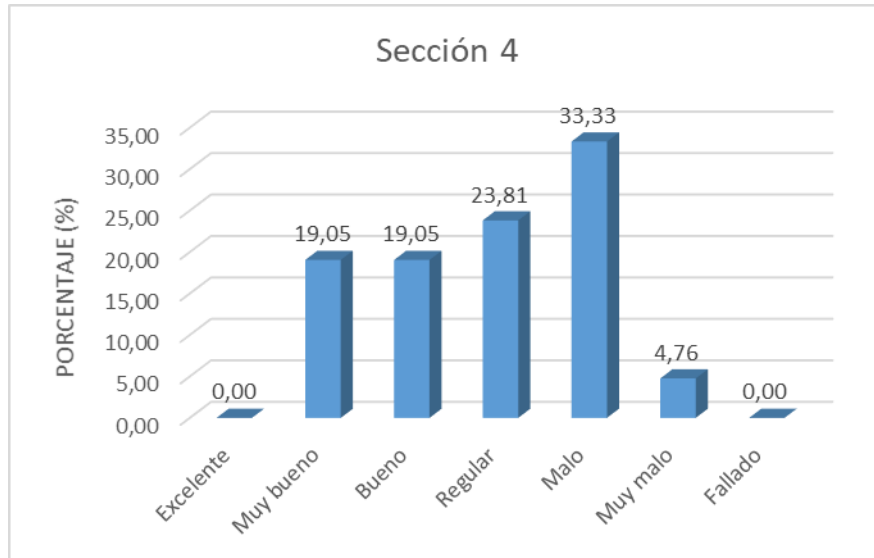
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Calificación PCI progresivas 6+000 a 8+000

SECCIÓN 4				
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI	Calificación
4	6+096	6+128	82,00	Muy bueno
8	6+224	6+256	52,00	Regular
12	6+352	6+384	71,00	Muy bueno
16	6+480	6+512	38,00	Malo
20	6+608	6+640	46,00	Regular
24	6+736	6+768	36,00	Malo
A7	6+770	6+814	20,00	Muy malo
A8	6+814	6+858	32,00	Malo
28	6+864	6+896	46,70	Regular
32	6+992	7+024	58,00	Bueno
A9	7+030	7+074	31,00	Malo
A10	7+074	7+118	30,00	Malo
36	7+120	7+152	50,50	Regular
A11	7+154	7+198	29,00	Malo
A12	7+198	7+242	31,00	Malo
40	7+248	7+280	47,00	Regular
44	7+376	7+408	58,00	Bueno
48	7+504	7+536	62,00	Bueno
52	7+632	7+664	84,50	Muy bueno
56	7+760	7+792	71,40	Muy bueno
60	7+888	7+920	64,00	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 49 Frecuencia de calificación de la sección 4



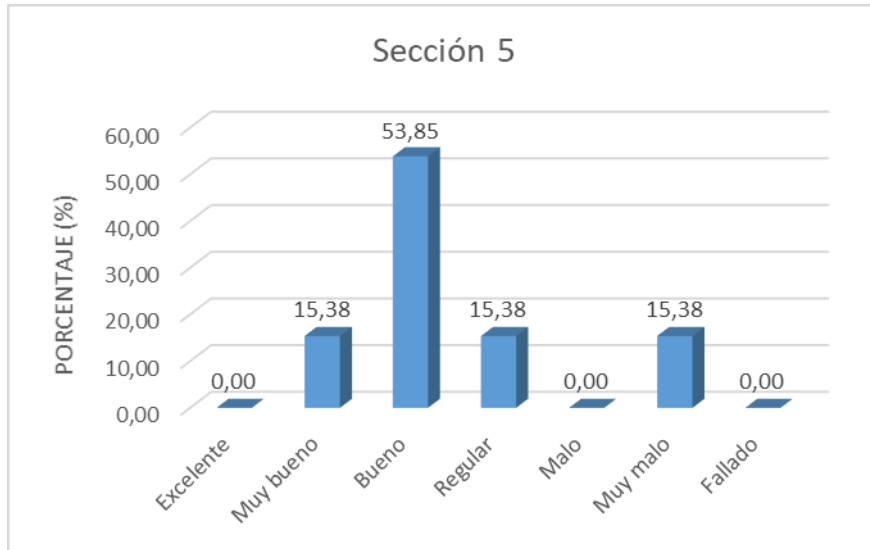
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Calificación PCI progresivas 8+000 a 9+220

SECCIÓN 5				
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI	Calificación
3	8+064	8+096	84,00	Muy bueno
6	8+160	8+192	68,00	Bueno
9	8+256	8+288	48,00	Regular
12	8+352	8+384	71,80	Muy bueno
15	8+448	8+480	58,00	Bueno
18	8+544	8+576	59,50	Bueno
21	8+640	8+672	62,00	Bueno
24	8+736	8+768	13,90	Muy malo
A13	8+770	8+814	23,00	Muy malo
27	8+832	8+864	63,00	Bueno
30	8+928	8+960	42,00	Regular
33	9+024	9+056	60,00	Bueno
36	9+120	9+152	62,00	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 50 Frecuencia de calificación de la sección 5



Fuente: Elaboración propia.

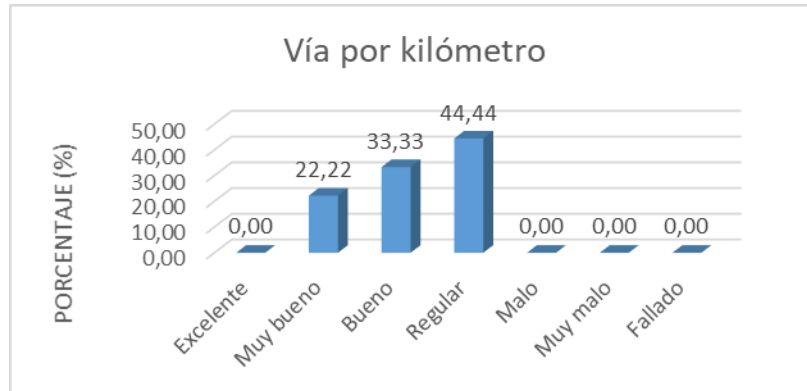
3.3.3.2. Análisis de los resultados por kilómetro de vía

Tabla 35 Calificación PCI por kilómetro de vía

Índice de condición del pavimento con superficie asfáltica			
Resultados			
Progresivas		PCI	Calificación
0+000	1+000	58,68	Bueno
1+000	2+000	70,89	Muy bueno
2+000	3+000	48,11	Regular
3+000	4+000	81,70	Muy bueno
4+000	5+000	49,78	Regular
5+000	6+000	66,84	Bueno
6+000	7+000	48,17	Regular
7+000	8+000	50,76	Regular
8+000	9+220	55,02	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 51 Frecuencia de calificación por kilómetro de vía



Fuente: Elaboración propia.

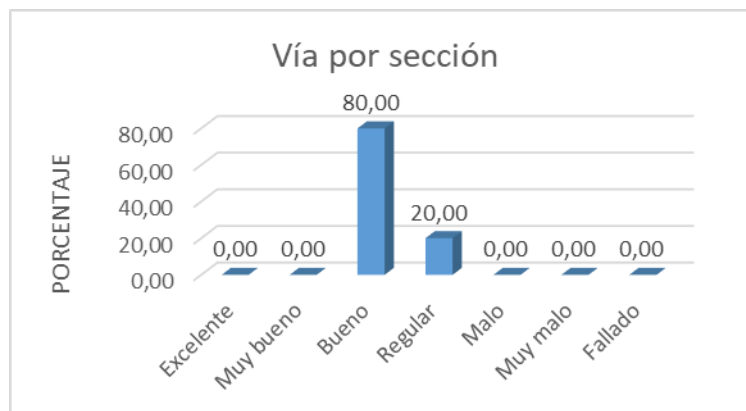
3.3.3.3. Análisis de los resultados por sección de vía

Tabla 36 Calificación PCI por secciones de vía

Índice de condición del pavimento con superficie asfáltica			
Resultados			
Progresivas		PCI	Calificación
0+000	2+000	63,71	Bueno
2+000	4+000	62,81	Bueno
4+000	6+000	57,36	Bueno
6+000	8+000	49,53	Regular
8+000	9+220	55,02	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 52 Frecuencia de calificación por sección de vía



Fuente: Elaboración propia.

3.3.3.4. Análisis del resultado del proyecto

Tabla 37 Calificación PCI del proyecto

Índice de condición del pavimento con superficie asfáltica			
Resultados			
Progresivas		PCI	Calificación
0+000	9+220	57,68	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Aplicación del índice de regularidad internacional (IRI)

El método de evaluación (IRI) índice de rugosidad internacional, requiere primeramente de dividir en secciones la vía a evaluar, para facilitar el procedimiento de medición, para esto se dividió el tramo en 9 secciones de 1000 metros cada uno.

3.3.5. Procedimiento de medición

Para la medición del IRI, se hizo uso del equipo de “estación total (trabajando como el equipo de nivel de ingeniero)”, tomando como muestra 200 metros más representativos de cada sección, realizando la nivelación a cada 0,50 metros. Para este tipo de evaluación se deben evitar las curvas verticales de la vía, por lo cual se tuvo que buscar tramos rectos de medición y en ambos carriles.

Gráfico 53 Medición con el equipo "estación total"



Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Procedimiento de cálculo

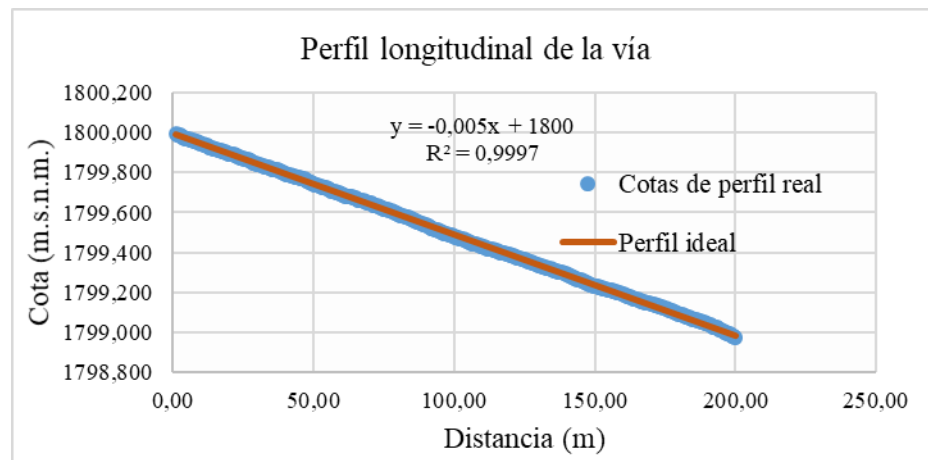
Una vez realizada la nivelación, para el trabajo de gabinete se hizo uso de la hoja de cálculo electrónica “Microsoft Excel” debido a que es un método que se aproxima a los valores que se obtendría con el equipo de medición “Merlín”.

Tabla 38 Cálculo del IRI

Carretera "Tarija - San Andrés"					
Punto	Distancia	Cota	Datos de curva hipotética	RI cada 0,50 m	IRI máximo a 5 metros
	m	m.s.n.m.	m.s.n.m.	m/Km	m/Km
0	0,00	1800,00	1800,00	0,00	
1	0,50	1799,99	1799,99	1,00	
2	1,00	1799,99	1799,99	2,00	
3	1,50	1799,99	1799,99	3,00	
4	2,00	1799,98	1799,99	2,00	
5	2,50	1799,98	1799,98	5,00	
6	3,00	1799,98	1799,98	10,00	
7	3,50	1799,97	1799,98	9,00	
8	4,00	1799,97	1799,98	8,00	
9	4,50	1799,97	1799,97	11,00	
10	5,00	1799,96	1799,97	12,00	1,20

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 54 Perfil ideal y real para el cálculo del IRI



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación obtenida de la gráfica se tiene que:

$$IRI \left(\frac{m}{km} \right) = \left| \frac{cota\ real - cota\ ideal}{distancia\ parcial} \right| * 1000$$

Para el caso del punto 6 de la tabla anterior se tiene:

$$\left| \frac{1799,98 - 1799,985}{0,5} \right| * 1000 = 10 \frac{m}{km}$$

Obtención del IRI a los 5 metros de distancia.

En la tabla anterior el mayor valor del IRI es 12 m/Km cuyas cotas reales e ideales son 1799,969 m.s.n.m. y 1799,975 m.s.n.m. respectivamente, se realizará lo siguiente;

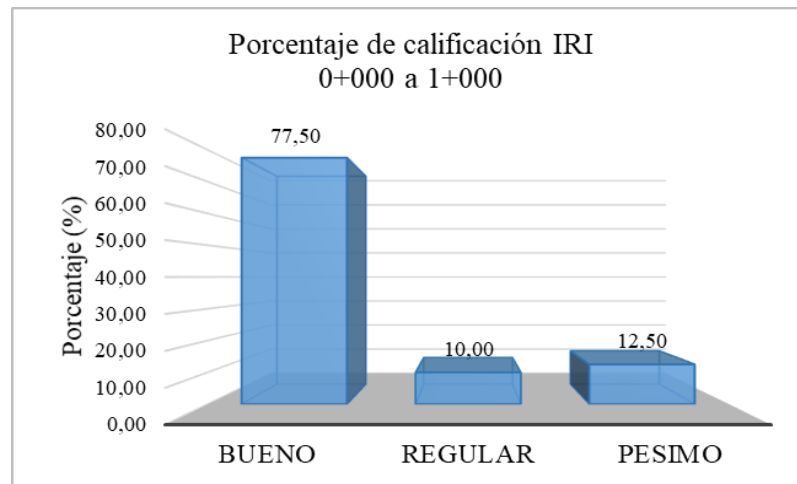
$$\left| \frac{1799,96 - 1799,97}{5} \right| * 1000 = 1,20 \frac{m}{Km}$$

De la misma manera se realizará para cada 5 metros de distancia y el valor del IRI a los 200 metros será el promedio de los valores a cada 5 metros.

3.3.7. Resultados y análisis de resultados del IRI

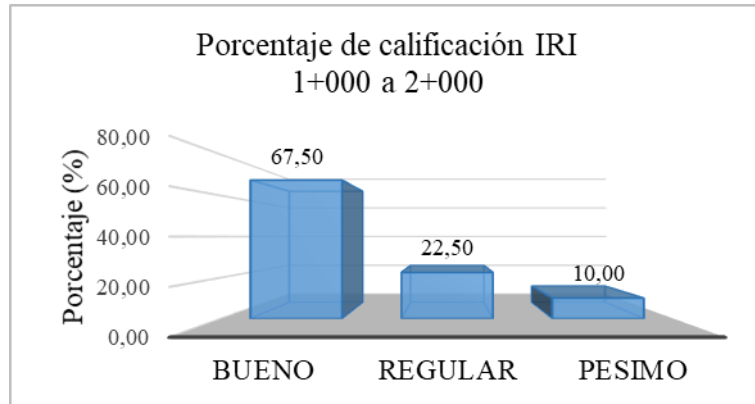
3.3.7.1. Análisis de resultados parciales

Gráfico 55 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 0+000 a 1+000



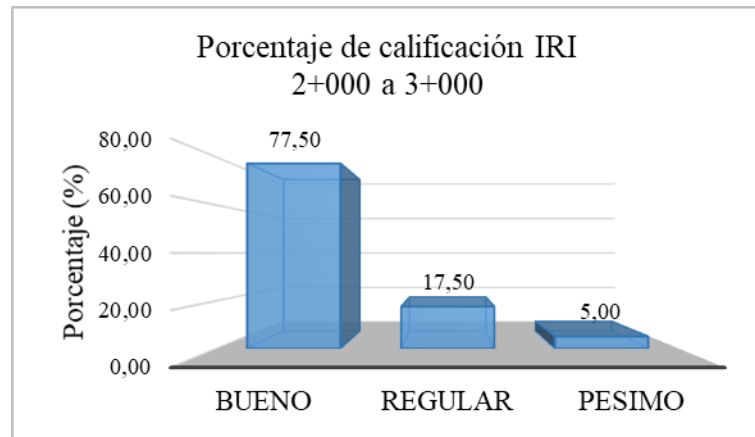
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 56 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 1+000 a 2+000



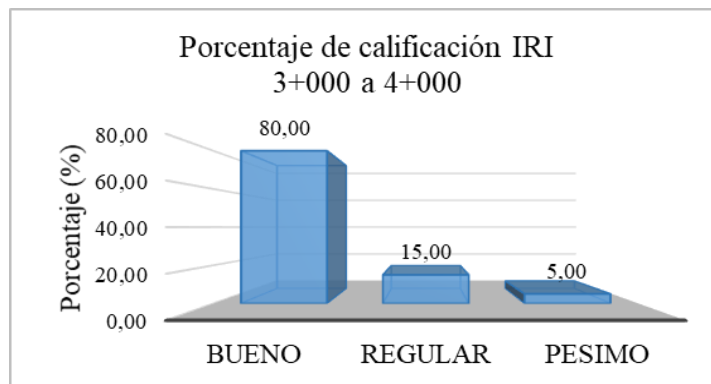
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 57 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 2+000 a 3+000



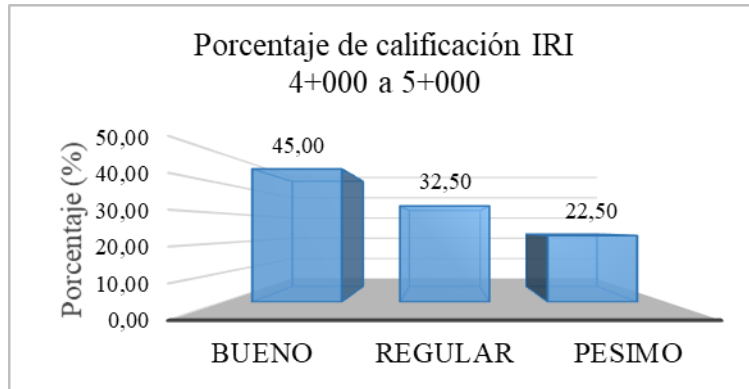
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 58 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 3+000 a 4+000



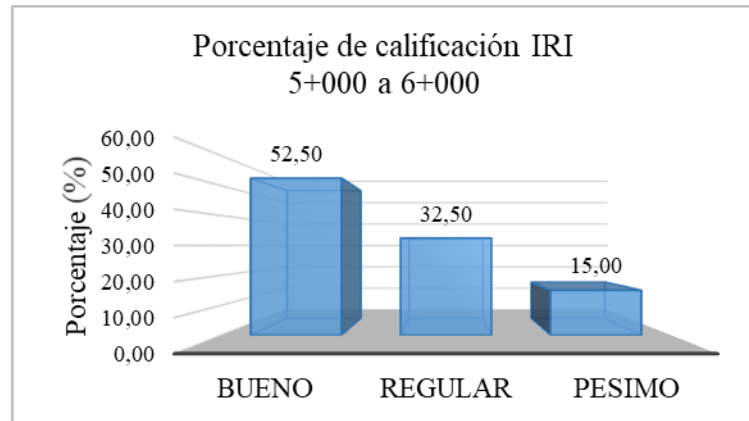
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 59 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 4+000 a 5+000



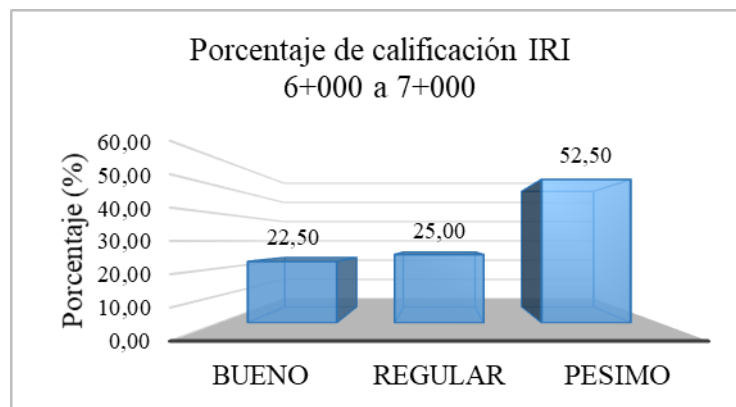
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 60 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 5+000 a 6+000



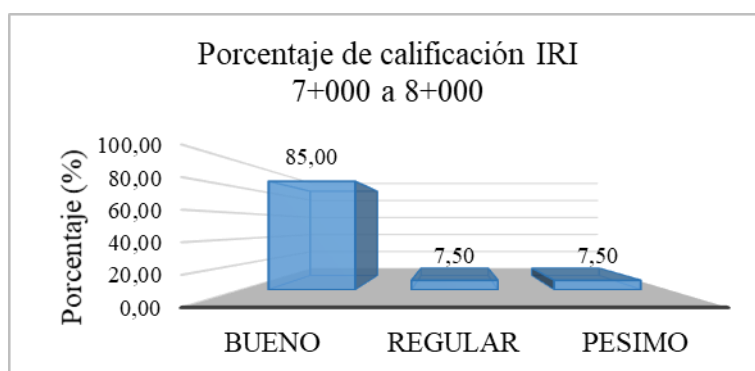
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 61 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 6+000 a 7+000



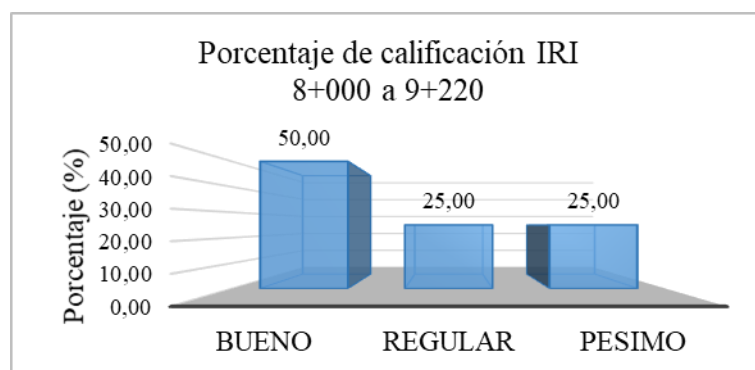
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 62 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 7+000 a 8+000



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 63 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 8+000 a 9+220



Fuente: Elaboración propia.

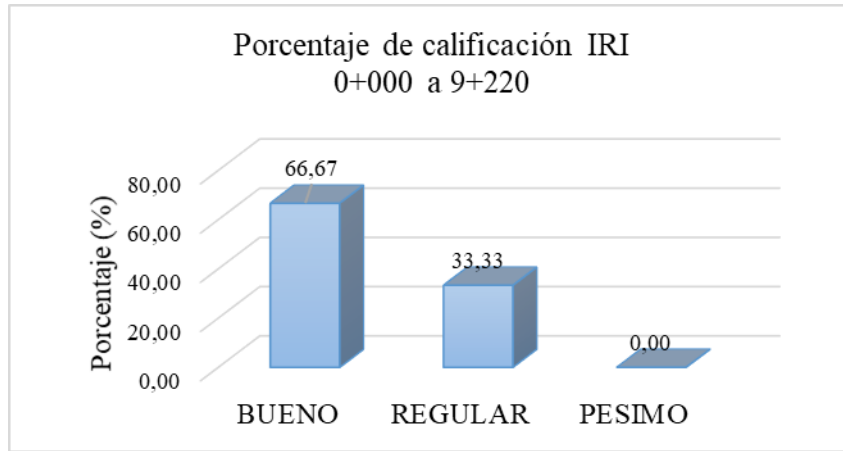
3.3.7.2. Análisis de resultados por kilómetro de vía

Tabla 39 Calificación IRI por kilómetro

Progresiva		IRI m/Km	Calificación		
Inicial	Final		Honduras	Uruguay	Chile
0+000	1+000	2,35	Bueno	Excelente	Bueno
1+000	2+000	2,41	Bueno	Excelente	Bueno
2+000	3+000	2,04	Bueno	Excelente	Bueno
3+000	4+000	2,41	Bueno	Excelente	Bueno
4+000	5+000	3,14	Bueno	Excelente	Regular
5+000	6+000	3,03	Bueno	Excelente	Regular
6+000	7+000	3,92	Regular	Bueno	Regular
7+000	8+000	2,61	Bueno	Excelente	Bueno
8+000	9+220	2,93	Bueno	Excelente	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 64 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 0+000 a 9+220



Fuente: Elaboración propia.

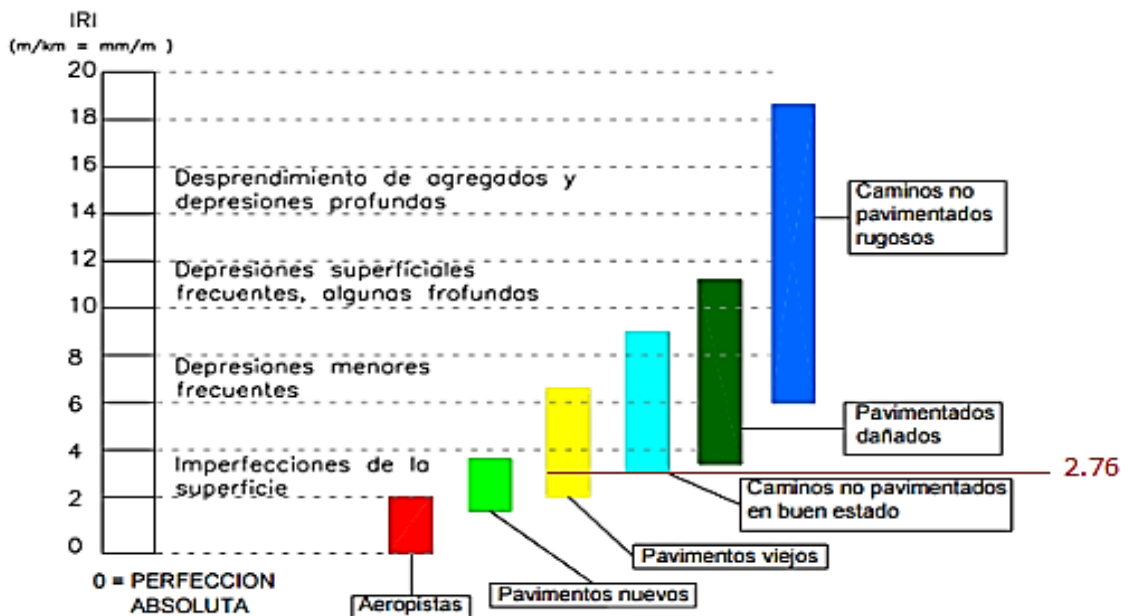
3.3.7.3. Análisis de resultado del proyecto

Tabla 40 Calificación IRI de proyecto

Progresiva		IRI	Calificación		
Inicial	Final	m/Km	Honduras	Uruguay	Chile
0+000	9+220	2,76	Bueno	Excelente	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 65 Escala estándar de calificación del IRI para diferentes tipos de vías



Fuente: polux.unipiloto.edu.com.

3.3.8. Aplicación del índice de serviciabilidad presente (PSI)

El índice de serviciabilidad presente se calcula a partir de los resultados obtenidos por el IRI.

3.3.9. Metodología de cálculo del PSI

Para determinar los valores del PSI, se hizo el uso de dos ecuaciones que lo correlacionan con el IRI, siendo las más notables la fórmula de Paterson y Dujisin & Arroyo y puesto que ningún valor se encuentra por debajo de 0,47 m/km, no se tuvo en cuenta la ecuación de Gillespie.

Se muestra el ejemplo del punto de ensayo en la progresiva 2+000 a 3+000.

Según Paterson

$$PSI = 5 * e^{-0,18*IRI}$$

$$PSI = 5 * e^{-0,18*2,04}$$

$$PSI = 3,46$$

Según Dujisin & Arroyo (Chile 1995)

$$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0,50})$$

$$PSI = 5,85 - (1,68 * 2,04^{0,50})$$

$$PSI = 3,45$$

Como se puede observar en ambos métodos, los resultados obtenidos son similares, por lo cual haciendo una previa visualización de los resultados obtenidos en las demás progresivas se tomó en cuenta solo el método de Paterson, por ser la más rigurosa en cuanto al valor.

A continuación, se muestran un resumen de los resultados y su respectivo análisis obtenidos del PSI según las fórmulas anteriormente vistas.

3.3.10. Resultados y análisis de los resultados del PSI

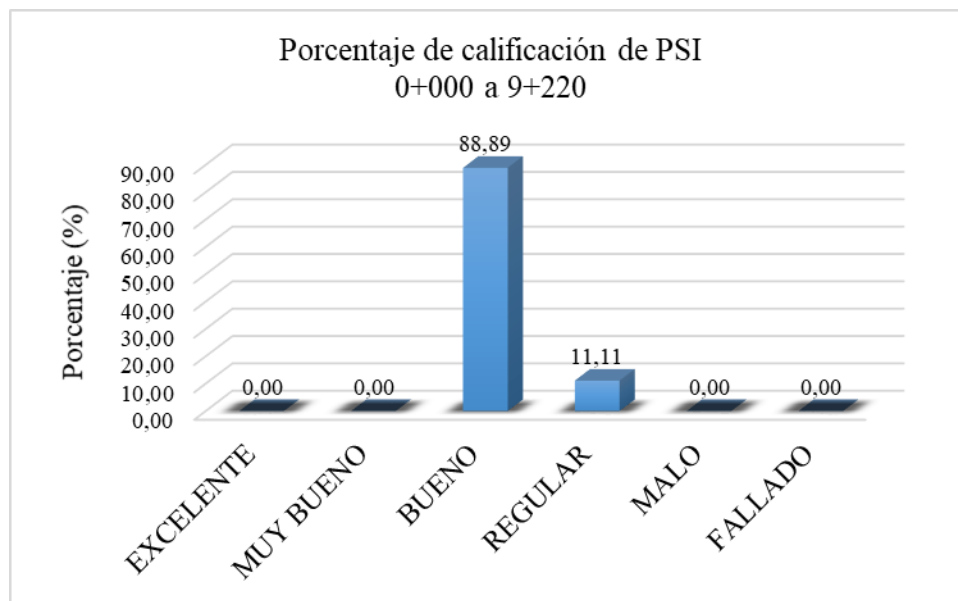
3.3.10.1. Análisis de los resultados por kilómetro

Tabla 41 Calificación PSI por kilometro

Progresiva		IRI	PSI	Calificación
Inicial	Final	m/Km	Paterson	
0+000	1+000	2,35	3,27	Bueno
1+000	2+000	2,41	3,24	Bueno
2+000	3+000	2,04	3,46	Bueno
3+000	4+000	2,41	3,24	Bueno
4+000	5+000	3,14	2,84	Bueno
5+000	6+000	3,03	2,90	Bueno
6+000	7+000	3,92	2,47	Regular
7+000	8+000	2,61	3,12	Bueno
8+000	9+220	2,93	2,95	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 66 Frecuencia de calificación del PSI progresivas 0+000 a 9+220



Fuente: Elaboración propia.

3.3.10.2. Análisis de resultado del PSI del proyecto

Tabla 42 Calificación PSI de proyecto

Progresiva		IRI	PSI	Calificación
Inicial	Final	m/Km	Paterson	
0+000	9+220	2,76	3,04	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.3.11. Aplicación del índice de fricción internacional (IFI)

3.3.12. Procedimiento de medición del IFI

Los ensayos se realizaron en tramos de 1000 metros, de las cuales las medidas fueron realizadas a cada 150 metros para el círculo de arena y el péndulo británico (siendo que estos de ser necesario, pueden ser de forma aleatoria) en ambos carriles, es decir de ida y de vuelta.

3.3.13. Procedimiento de cálculo del IFI

Para sacar la media de los valores del péndulo, se realizó la suma de todos los valores y se dividió entre el número de lecturas; en algunos casos se eliminó el termino más alto y el más bajo, y con las lecturas restantes se obtuvo la media. Esta última operación es más recomendable para evitar que algún valor que se sale de rango afecte significativamente los resultados.

Gráfico 67 Medición con el péndulo británico



Fuente: Elaboración propia.

En los valores obtenidos del diámetro del círculo de arena, se tomó el mismo criterio. Mas si los valores presentan poca dispersión, se tomó el promedio de los datos. En la siguiente tabla se observan dos grupos de mediciones, siendo del círculo de arena y del péndulo de fricción.

Gráfico 68 Procedimiento con el círculo de arena



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43 Mediciones del círculo de arena y péndulo británico

Prog.	Medidas con el círculo de arena (cm)					Prom.	T °C	Medidas de BPN con péndulo de fricción					Prom.
0+150	31,50	33,00	32,00	31,30	32,50	32,06	36,00	55,00	60,00	64,00	67,00	63,00	61,80
50+300	25,00	24,20	25,40	25,00	26,20	25,16	37,00	53,00	55,00	57,00	60,00	59,00	56,80
00+450	24,30	22,80	22,60	23,50	24,10	23,46	37,00	60,00	64,00	61,00	63,00	65,00	62,60
50+600	27,50	30,50	29,60	30,00	28,40	29,20	38,00	56,00	58,00	58,00	57,00	59,00	57,60
00+750	25,30	24,10	25,20	25,40	27,40	25,48	38,00	65,00	64,00	65,00	59,00	61,00	62,80
50+900	28,50	27,60	27,80	28,40	28,00	28,06	38,00	63,00	62,00	57,00	61,00	59,00	60,40

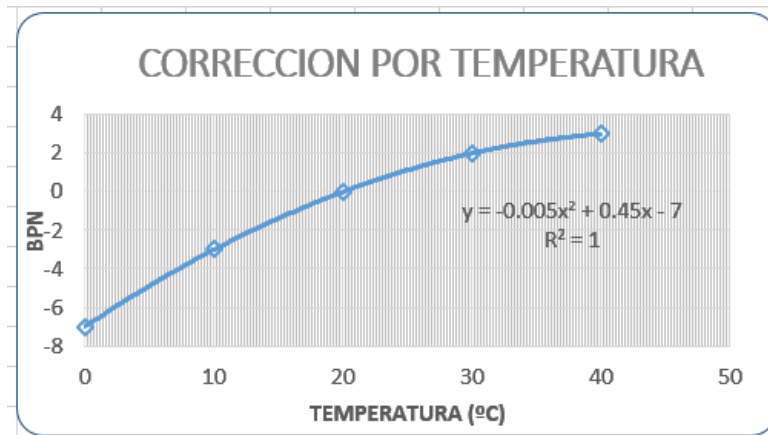
Fuente: Elaboración propia.

Para lo cual se debe calcular el promedio de datos de la siguiente manera:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$$

Se corrigió por temperatura las medidas que se realizaron con el péndulo de fricción con la ecuación de la gráfica siguiente:

Gráfico 69 Corrección por temperatura para el péndulo británico



Fuente: Instituto mexicano del transporte.

Tabla 44 Valores corregidos de péndulo británico

Progresiva	T °C	Corr.	Datos BPN corregidos					Promedio
0+150	36,00	2,72	57,72	62,72	66,72	69,72	65,72	64,52
150+300	37,00	2,80	55,81	57,81	59,81	62,81	61,81	59,61
300+450	37,00	2,80	62,81	66,81	63,81	65,81	67,81	65,41
450+600	38,00	2,88	58,88	60,88	60,88	59,88	61,88	60,48
600+750	38,00	2,88	67,88	66,88	67,88	61,88	63,88	65,68
750+900	38,00	2,88	65,88	64,88	59,88	63,88	61,88	63,28
Promedio del tramo =								63,16

Fuente: Elaboración propia.

Para ver si los valores están dentro del rango admisible de estudio, se realiza el tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos tanto para el círculo de arena como para el péndulo británico.

El error absoluto está dado por:

$$Ea = |x_i - x_{prom}|$$

El promedio del error absoluto viene dado por:

$$DV = \frac{\sum_i^n |x_i - x_{prom}|}{n}$$

El error porcentual está dado por la ecuación:

$$E\% = \frac{DV}{x_{prom}} * 100$$

El error porcentual para el círculo de arena, debe estar por debajo del 5% y el error porcentual del péndulo británico debe estar por debajo del 10%, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 45 Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos

Progresiva	Círculo de arena					DV	E %	Péndulo británico					DV	E %	
	Error absoluto							Error absoluto							
0+150	0,56	0,94	0,06	0,76	0,44	0,55	1,72	6,80	1,80	2,20	5,20	1,20	3,44	5,33	
150+300	0,16	0,96	0,24	0,16	1,04	0,51	2,03	3,80	1,80	0,20	3,20	2,20	2,24	3,76	
300+450	0,84	0,66	0,86	0,04	0,64	0,61	2,59	2,60	1,40	1,60	0,40	2,40	1,68	2,57	
450+600	1,70	1,30	0,40	0,80	0,80	1,00	3,42	1,60	0,40	0,40	0,60	1,40	0,88	1,46	
600+750	0,18	1,38	0,28	0,08	1,92	0,77	3,01	2,20	1,20	2,20	3,80	1,80	2,24	3,41	
750+900	0,44	0,46	0,26	0,34	0,06	0,31	1,11	2,60	1,60	3,40	0,60	1,40	1,92	3,03	
Valor máximo =							3,42	Valor máximo =							5,33

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del IFI para la progresiva 0+150

Determinación de la textura del pavimento.

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

Donde:

H=Tx= Altura de la textura media (mm)

V= Volumen de arena utilizado. V=25000 mm³

D= Diámetro medio del círculo de arena (cm)

$$H = \frac{4 * 25000}{3,14 * (32,06 * 10)^2}$$

$$H = Tx = 0,31mm$$

Determinación de la constante de velocidad Sp.

$$Sp = a + b * Tx$$

Las constantes según norma ASTM E 965 son:

$$a = -11,5981 \quad b = 113,63246$$

$$Sp = -11,5981 + 113,63246 * 0,31$$

$$Sp = 23,63 \text{ km/h}$$

Determinación del parámetro F60.

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

Donde:

FRs= Valor de la fricción obtenida en campo

S= Velocidad de operación del péndulo (10 km/hr)

Sp= Constante de velocidad (km/h)

$$FR60 = 64,52 * e^{\frac{10-60}{23,63}}$$

$$FR60 = 7,77$$

$$F60 = A + B * FR60$$

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

$$A=0,078 \quad B=0,0107$$

$$F60 = 0,078 + 0,0107 * 7,77$$

$$F60 = 0,161$$

El valor del IFI está representado por:

$$IFI = (F60, Sp)$$

$$IFI = (0,161 , 23,63)$$

Los resultados de los valores de las progresivas, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 46 Resultados de los valores en progresivas

Progresiva	FRs	Dp (cm)	H = Tx (mm)	Sp (km/h)	FR60	F60
0+150	64,52	32,06	0,310	23,63	7,77	0,16
150+300	59,61	25,16	0,503	45,56	19,89	0,29
300+450	65,41	23,46	0,578	54,08	25,95	0,36
450+600	60,48	29,20	0,373	30,79	11,92	0,21
600+750	65,68	25,48	0,490	44,08	21,13	0,30
750+900	63,28	28,06	0,404	34,31	14,74	0,24
Promedio =				38,74		0,26

Fuente: Elaboración propia.

3.3.14. Resultados y análisis de resultados del IFI

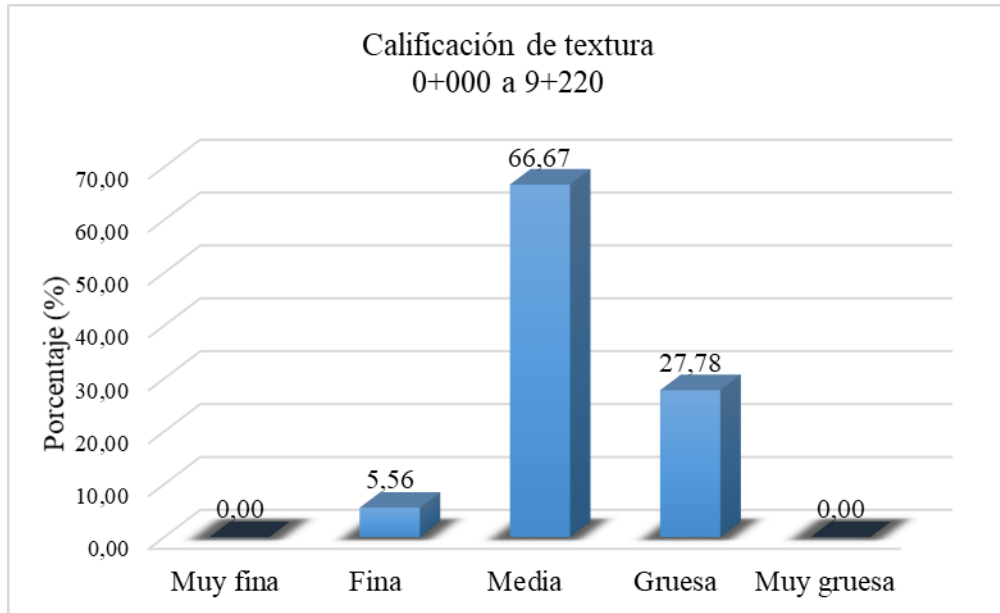
3.3.14.1. Análisis de resultados parciales

Tabla 47 Análisis de resultados parciales del IFI

Progresivas	Carril	Sp (km/h)	F60	Calificación de textura	Calificación de fricción
0+000 - 1+000	Tarija - San Andrés	38,74	0,26	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	48,08	0,32	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
1+000 - 2+000	Tarija - San Andrés	77,87	0,49	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	85,48	0,51	Gruesa	Regular a bueno
2+000 - 3+000	Tarija - San Andrés	83,15	0,59	Gruesa	Regular a bueno
	San Andrés - Tarija	58,12	0,40	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
3+000 - 4+000	Tarija - San Andrés	36,71	0,29	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	33,08	0,25	Fina	Malo (deslizamiento del vehículo)
4+000 - 5+000	Tarija - San Andrés	66,98	0,44	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	62,77	0,47	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
5+000 - 6+000	Tarija - San Andrés	57,47	0,40	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	64,57	0,47	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
6+000 - 7+000	Tarija - San Andrés	101,49	0,56	Gruesa	Regular a bueno
	San Andrés - Tarija	123,66	0,65	Gruesa	Bueno
7+000 - 8+000	Tarija - San Andrés	36,68	0,32	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	86,47	0,56	Gruesa	Regular a bueno
8+000 - 9+220	Tarija - San Andrés	62,09	0,48	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
	San Andrés - Tarija	56,79	0,39	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)

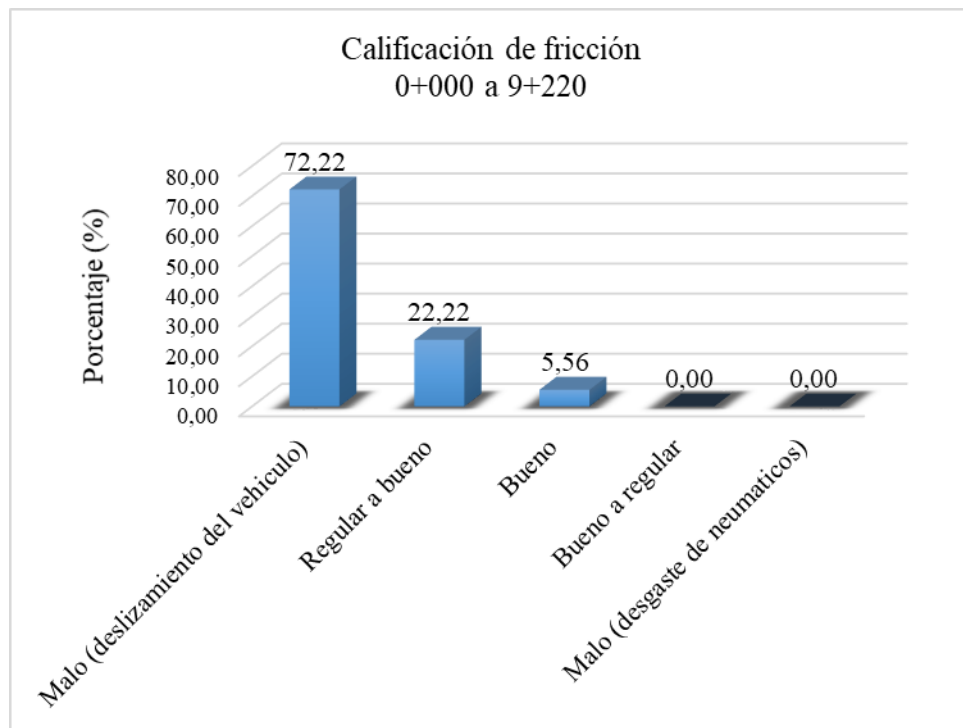
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 70 Frecuencia de calificación de textura progresivas 0+000 a 9+220



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 71 Frecuencia de calificación de fricción progresivas 0+000 a 9+220



Fuente: Elaboración propia.

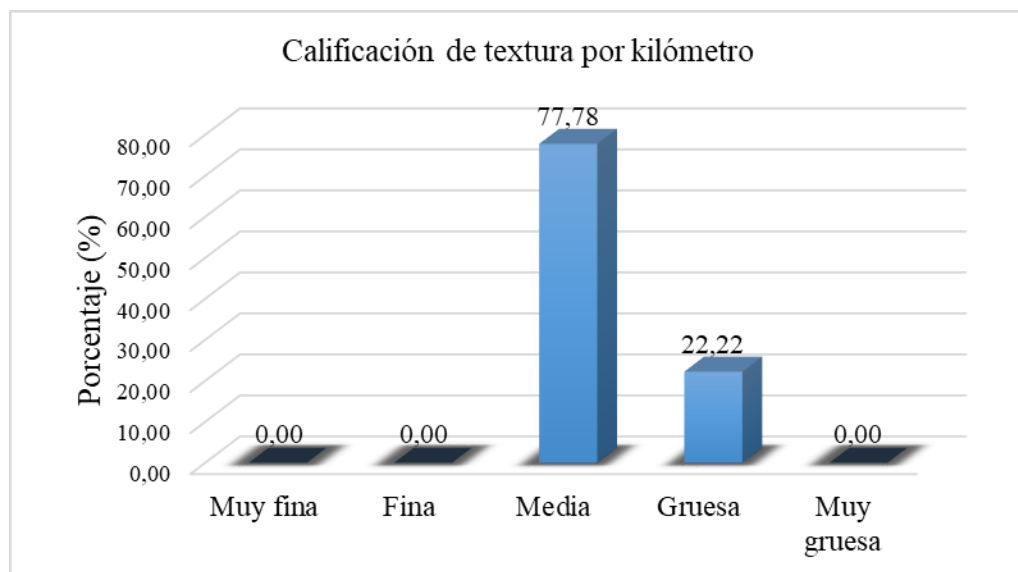
3.3.14.2. Análisis de resultados por kilómetro

Tabla 48 Análisis de resultados del IFI por kilómetro

Progresivas	Sp (km/h)	F60	Calificación de textura	Calificación de fricción
0+000 - 1+000	43,41	0,29	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
1+000 - 2+000	81,68	0,51	Gruesa	De regular a Bueno
2+000 - 3+000	70,63	0,49	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
3+000 - 4+000	34,90	0,27	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
4+000 - 5+000	64,88	0,45	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
5+000 - 6+000	61,02	0,44	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
6+000 - 7+000	112,57	0,61	Gruesa	Bueno
7+000 - 8+000	61,57	0,44	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)
8+000 - 9+220	59,44	0,43	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)

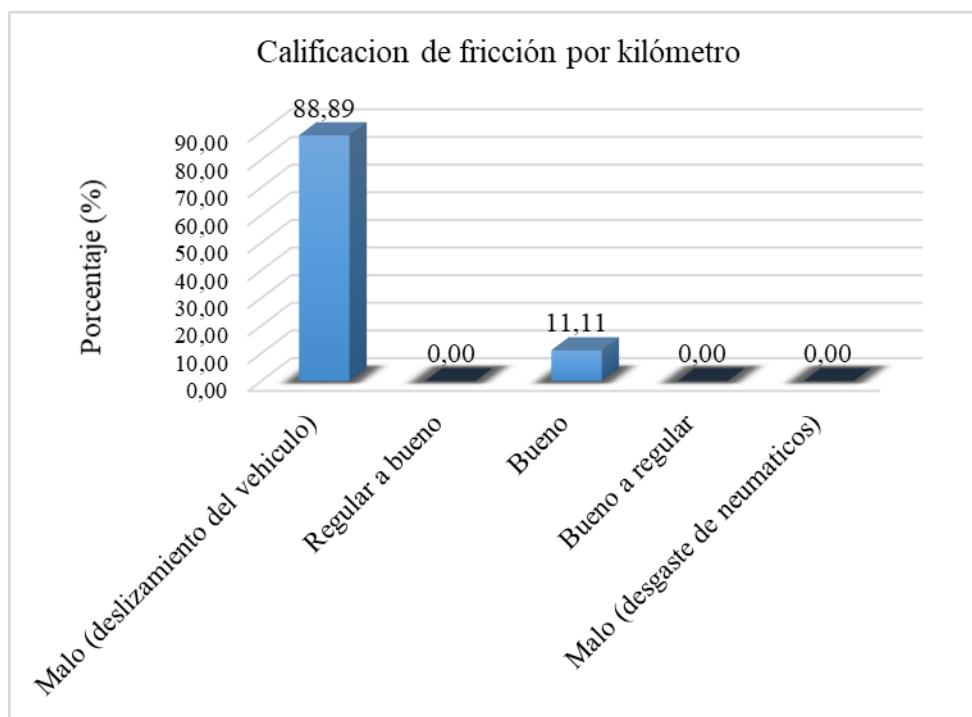
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 72 Frecuencia de calificación de textura por kilómetro



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 73 Frecuencia de calificación de fricción por kilómetro



Fuente: Elaboración propia.

3.3.14.3. Análisis de resultados del proyecto

Tabla 49 Análisis de resultado del IFI de proyecto

Progresivas	Sp (km/h)	F60	Calificación de textura	Calificación de fricción
0+000 - 9+220	65,57	0,44	Media	Malo (deslizamiento del vehículo)

Fuente: Elaboración propia.

3.3.15. Análisis general de resultados de la evaluación superficial

3.3.15.1. Índice de condición del pavimento (PCI)

En la realización de la inspección visual del tramo se distinguieron pocas fallas a lo largo del tramo, siendo las más graves como el desprendimiento del agregado y algunos baches o huecos que tuvieron poca influencia al estado general de la carretera.

Existen valores en algunas muestras que revelan valores preocupantes, al ser fallas por cierta longitud de vía, que son 6 muestras que corresponde a una calificación de “Muy malo” (10 – 25), siendo estas las únicas unidades de muestra que tienen esta calificación.

De todas las muestras solo se obtuvo 8 muestras que tuvieron la calificación de “malo” en las progresivas estudiadas, lo cual indica que se requieren de una intervención correctiva inmediata, y de una acción preventiva de mantenimiento. Existen varias muestras donde existe la calificación de “regular” lo cual indica que es necesaria tomar acciones de corrección y mantenimiento.

La evaluación de la condición del pavimento mediante el método PCI tiene una fácil aplicación para el correcto mantenimiento de la vía, siempre y cuando se tenga con el personal que conozca del tema y así ahorrar tiempo y dinero en otros métodos que son de menos confiabilidad.

3.3.15.2. Índice de rugosidad internacional (IRI)

De forma general el análisis del resultado del proyecto, se observa que el valor de 2,76, está dentro del rango de aceptación ($0 < \text{IRI} \leq 2,95$ m/km) normativos en los requerimientos de contrato detallados en el capítulo 2 para pavimentos viejos como lo es el estudiado en el presente trabajo.

Para el análisis de los resultados, en la calificación se usaron límites establecidos por las agencias encargadas del control de carreteras de Honduras, Uruguay y Chile, esto porque en Bolivia aún no están establecidos valores límites de calificación para carreteras. En el presente trabajo se tomará en cuenta la calificación chilena, esto por ser la más rigurosa en cuanto a la calificación del IRI.

En el sector de evaluación se encontraron valores críticos según la calificación chilena, esto debido a que existen sectores con ahuellamientos que hacen que el valor del IRI se encuentren en rangos no aceptables.

Los valores de IRI obtenidos están directamente relacionados con el estado superficial de la carpeta asfáltica.

3.3.15.3. Índice de serviciabilidad presente (PSI)

Los valores del PSI y el IRI están directamente relacionados, ya que es calculada mediante una ecuación de correlación (Paterson) entre ambos, por lo tanto, ambos van de la mano en lo que es la regularidad superficial del perfil longitudinal del pavimento.

En el análisis de los resultados se puede ver que el pavimento en general se encuentra en una calificación de “Bueno”, con un solo valor de calificación de “Regular” con un valor de PSI de 2,47. Los valores de índice de serviciabilidad presente se encuentran en concordancia con los valores de los indicadores anteriores de PCI e IRI, por tanto, se puede asumir como correcto los valores de PSI.

Los valores de PSI e IRI son los únicos indicadores de estado de pavimento que se encuentran relacionados entre sí, por lo cual no se puede tratar de comparar con otros indicadores debido a que en nuestro medio no se encuentran los equipos para medir parámetros que la puedan relacionar con otros indicadores.

3.3.15.4. Índice de fricción internacional (IFI)

Se evidencia que los valores de fricción obtenidos con el uso del péndulo británico, no son tan representativos de la superficie del pavimento y no concuerda de manera correcta con los valores de textura obtenidos en el ensayo del círculo de arena, este error en las lecturas puede deberse a que las mediciones se realizaron de forma longitudinal al pavimento y la superficie de contacto se altera al encontrarse todos los puntos de ensayo en pendientes, lo que altera la presión de contacto a lo largo de la interface pavimento – zapata, alterando la pérdida de energía, principio en el cual está fundamentado el ensayo. Se presentaron valores de fricción en el asfalto muy reducidos, por lo que este ensayo queda descartado de la evaluación del pavimento.

Los valores de textura del pavimento pudieron verse afectados al haberse realizado en ensayo con equipo poco preciso y tener puntos de evaluación no homogénea.

Los valores de textura revelan que la carpeta asfáltica tiene una textura “Media” y “Gruesa” por tanto, está en la capacidad de drenar el agua de la superficie en tiempo de lluvia.

3.4. Evaluación estructural del tramo en estudio

Para la evaluación estructural, se utilizó los métodos de: viga Benkelman, calicatas y extracción de núcleos mostrados a continuación.

3.4.1. Viga Benkelman

3.4.2. Procedimiento de medición

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se definió los puntos donde se tomaron las medidas. Estos puntos fueron a una distancia de 100 m entre sí, alternando cada carril; estos puntos donde se realizaron los ensayos, están a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento. Se usó la recomendación de las distancias indicadas en la tabla de recomendaciones MTC, 2016, es decir a 0,90 metros del borde del pavimento (ancho del carril >3,60 m).

Inicialmente se efectuó la calibración de la viga Benkelman en el laboratorio de suelos de la universidad, en el que se obtuvo la constante “k” de la viga, con un valor de:

$$K = 2,00$$

Para el ensayo se usó una volqueta marca Volvo F12 de 12 m³ de capacidad y de doble eje trasero con alza pata. La volqueta es de propiedad del señor Eylan Higuera Fernández, el cual ya fue usado antes en diferentes ensayos de la viga Benkelman realizados en la universidad.

Se procedió al pesaje de la volqueta con un solo eje apoyado y en lastre, se obtuvo una lectura de 8200 kg (eje de diseño), el pesaje se realizó en la balanza electrónica “Mendoza” en la zona de “El Portillo”.

Luego se procedió a la calibración de las llantas de la volqueta, obteniendo una presión de inflado de 80 psi.

Una vez definidos los puntos se realizaron las mediciones, se procedió tal como se indica en la metodología para la medición de la viga Benkelman, el cual se detalla en la descripción del procedimiento de medición.

Gráfico 74 Lectura de la viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Procedimiento de cálculo con la viga Benkelman

Una vez recogidos los datos de campo en el tramo de estudio, se procedió a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son dos los cuales se muestran como ejemplo a continuación.

Para el ejemplo de cálculo se tomarán los datos recogidos en la progresiva 2+200 del carril derecho.

Cálculo de la deflexión máxima:

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

$$D_o = 2,00 * (18 - 0)$$

$$D_o = 36 = 0,36 \text{ mm}$$

Corrección por temperatura:

Como el espesor de la carpeta asfáltica es menor a 5 cm, no se realizó la corrección por temperatura.

Corrección por estacionalidad:

Si bien la mayoría de los puntos de ensayo se encuentran en zonas de corte, el material de la subrasante es arenosa permeable, el ensayo se realizó en época lluviosa por tanto el factor de corrección es 1, por lo que no afecta el valor anterior corregido por temperatura:

$$D_o = D_o' * F_{ce}$$

Por lo que en este caso por lo visto anteriormente $F_{ce} = 1$.

$$D_o = 0,36 * 1$$

$$D_o = 0,36 \text{ mm}$$

Deflexión media de la a la distancia:

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

$$D_{50} = 2,00 * (18 - 10)$$

$$D_{50} = 16,00 = 0,16 \text{ mm}$$

De la misma manera que en la obtención de la deflexión máxima, este valor debe corregirse por estacionalidad.

$$D_{50}'' = D_{50}' * F_{ce}$$

$$D_{50}'' = 0,16 * 1,00$$

$$D_{50}'' = 0,16 \text{ mm}$$

Radio de curvatura:

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

$$R_c = \frac{6250}{2,00 * (36,00 - 16,00)}$$

$$R_c = 156 \text{ m}$$

Deflexión media:

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - D_m)^2}{(n - 1)}}$$

$$Cv = \frac{\sigma}{D_m} * 100$$

Donde:

D_m = Deflexión media (0,01 mm)

D_i = Deflexión recuperable máxima corregida (0,01 mm)

n = Numero de datos

σ = Desviación estándar

C_v = Coeficiente de variación

Todos estos datos estadísticos sirven en diseño para determinar la deflexión característica.

Deflexión característica:

$$D_c = D_m + t * \sigma$$

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área del pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la característica D_c correspondiente.

En este caso $t=1,645$ que es una probabilidad al 95%.

Deflexión admisible:

$$D_a = \left(\frac{1,15}{N18} \right)^{1/4}$$

$$N18 = 1109169$$

$$D_a = \left(\frac{1,15}{1,106027} \right)^{1/4}$$

$$D_a = 1,01 \text{ mm}$$

3.4.4. Resultados y análisis de resultados de la viga Benkelman

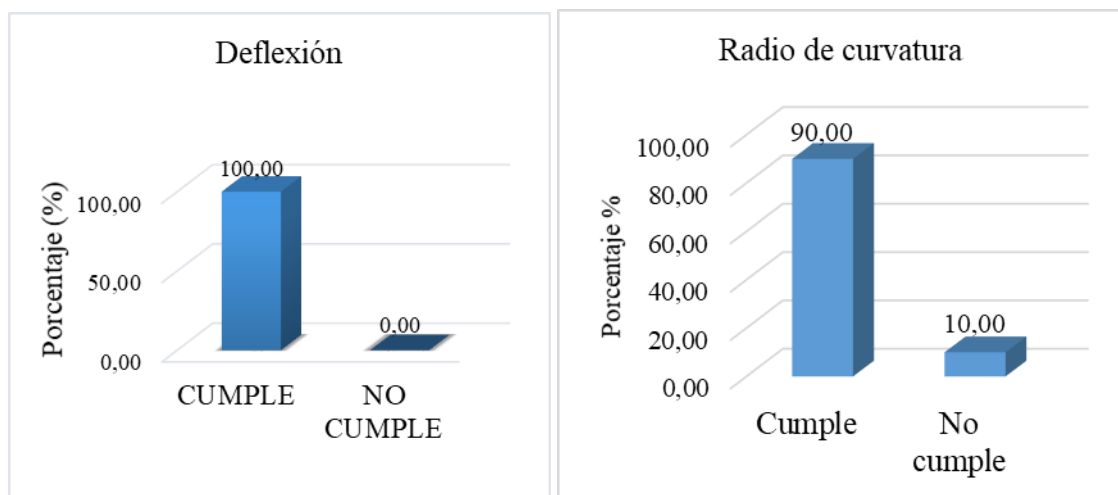
3.4.4.1. Análisis de resultados parciales

Tabla 50 Resultados de deflexión y radio de curvatura prog. 0+000 – 1+000

Progresiva	Carril	D máxima (mm)	D admisible (mm)	Calificación de deflexión	Radio de curvatura (m)	Calificación de R. curvatura
00+000	Derecho	0,28	1,01	Cumple	195,31	Cumple
00+100	Izquierdo	0,36	1,01	Cumple	223,21	Cumple
00+200	Derecho	0,48	1,01	Cumple	142,05	Cumple
00+300	Izquierdo	0,40	1,01	Cumple	156,25	Cumple
00+400	Derecho	0,40	1,01	Cumple	195,31	Cumple
00+500	Izquierdo	0,44	1,01	Cumple	156,25	Cumple
00+600	Derecho	0,34	1,01	Cumple	520,83	No cumple
00+700	Izquierdo	0,44	1,01	Cumple	390,63	Cumple
00+800	Derecho	0,44	1,01	Cumple	130,21	Cumple
00+900	Izquierdo	0,48	1,01	Cumple	111,61	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

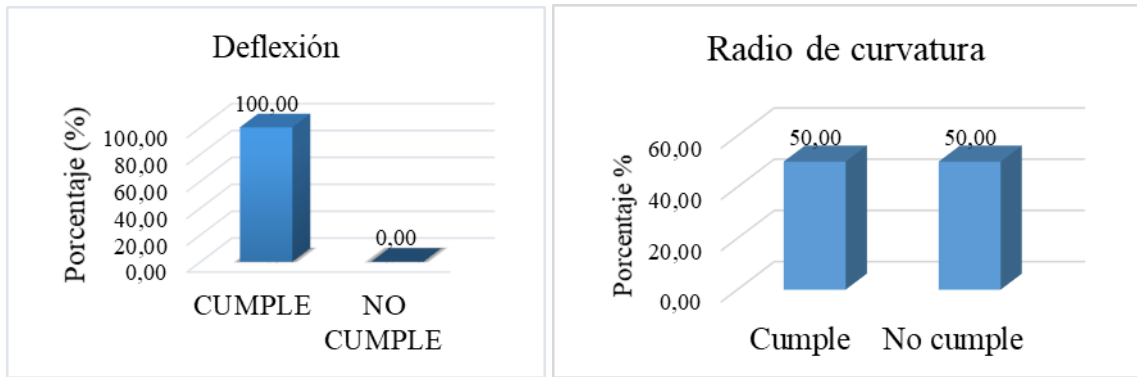
Gráfico 75 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 0+000 – 1+000



Fuente: Elaboración propia.

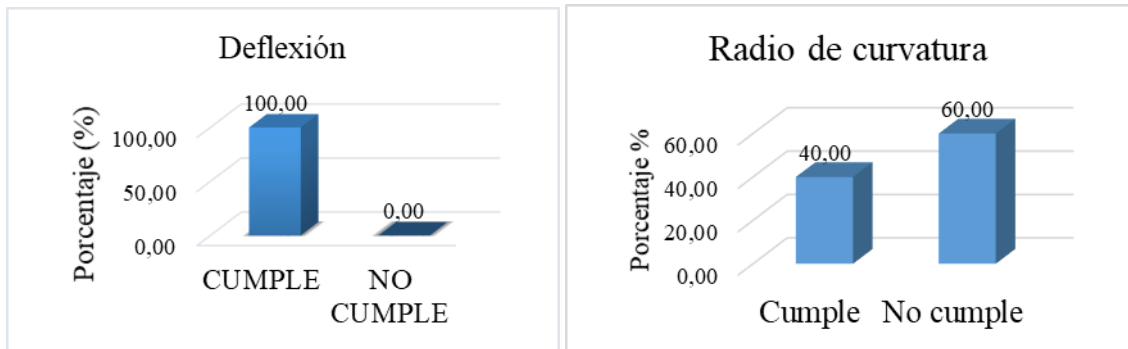
A continuación, se muestra un resumen de gráficos de resultados y calificación de resultados por cada kilómetro de la vía en estudio.

Gráfico 76 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 1+000 - 2+000



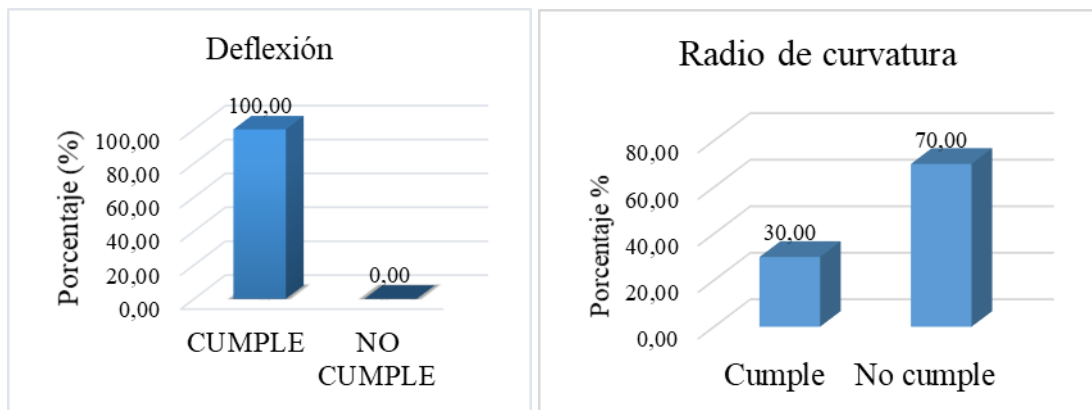
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 77 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 2+000 - 3+000



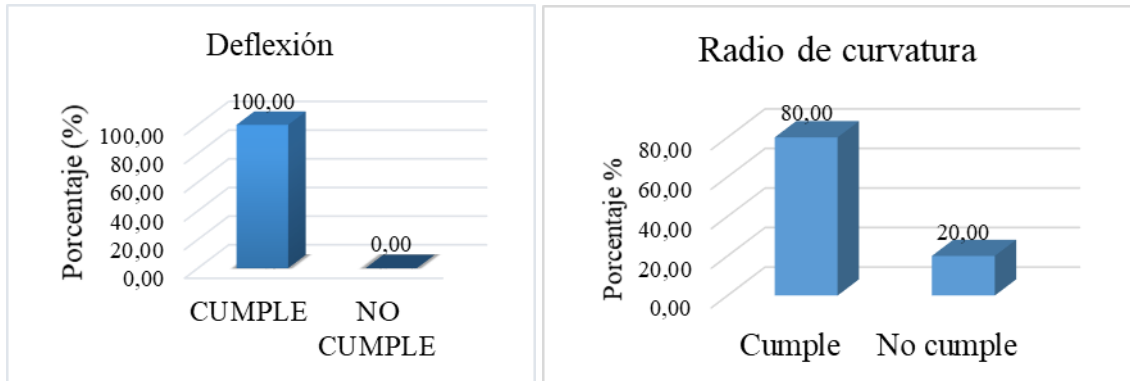
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 78 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 3+000 - 4+000



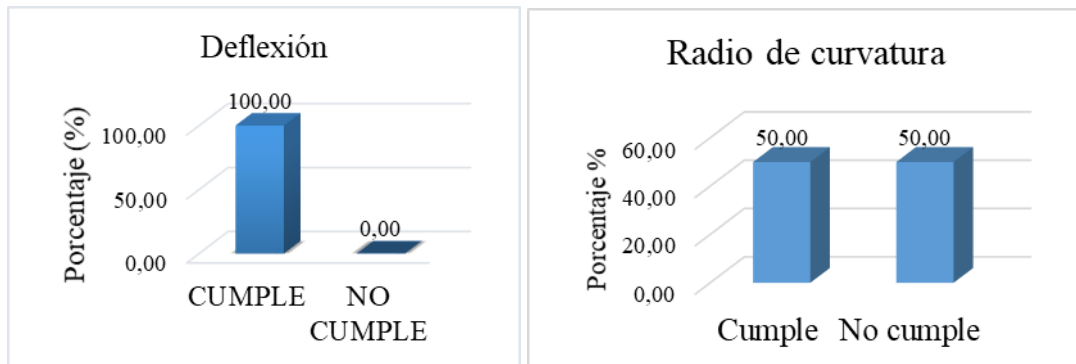
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 79 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 4+000 - 5+000



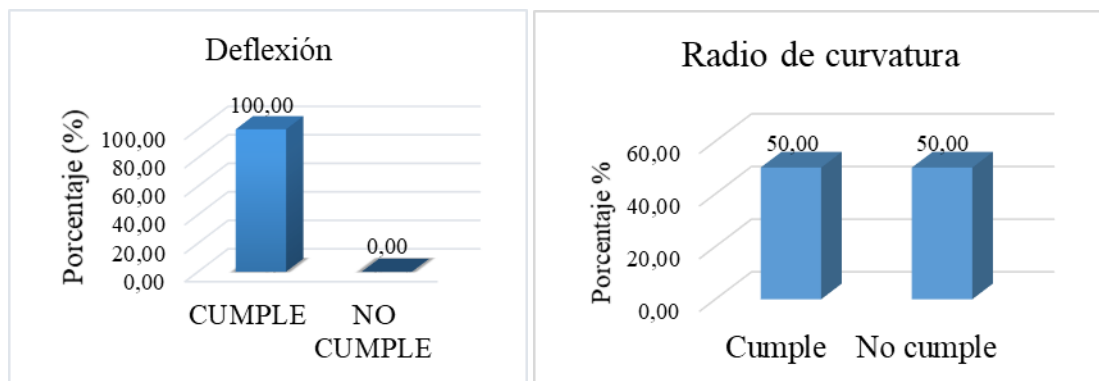
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 80 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 5+000 - 6+000



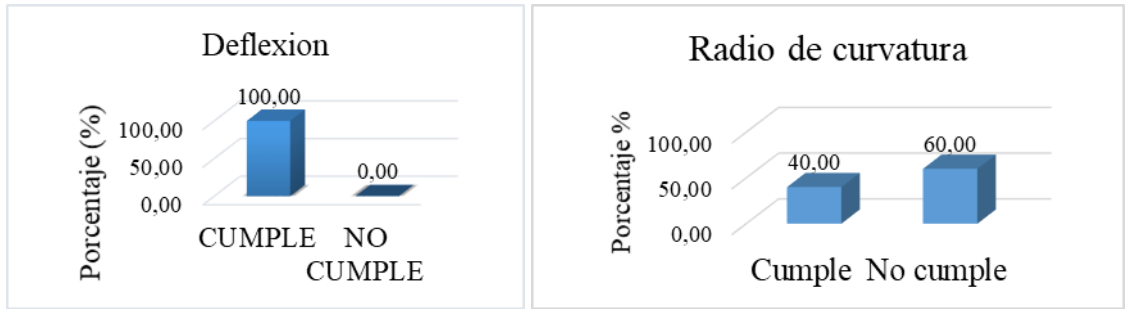
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 81 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 6+000 - 7+000



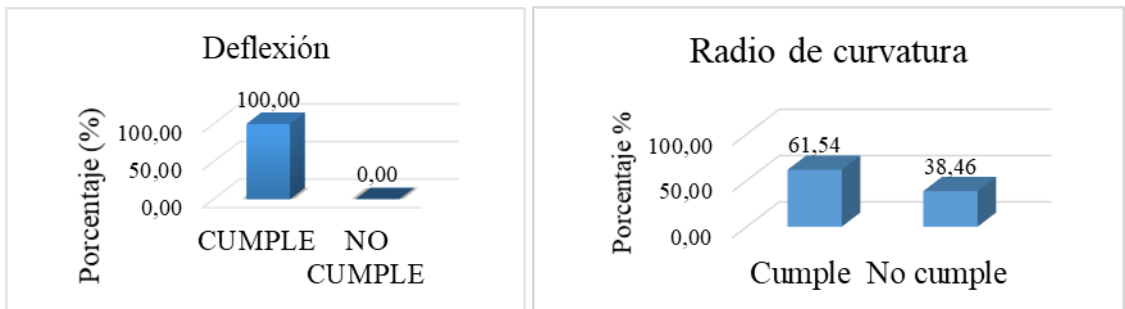
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 82 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 7+000 - 8+000



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 83 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 8+000 - 9+220



Fuente: Elaboración propia.

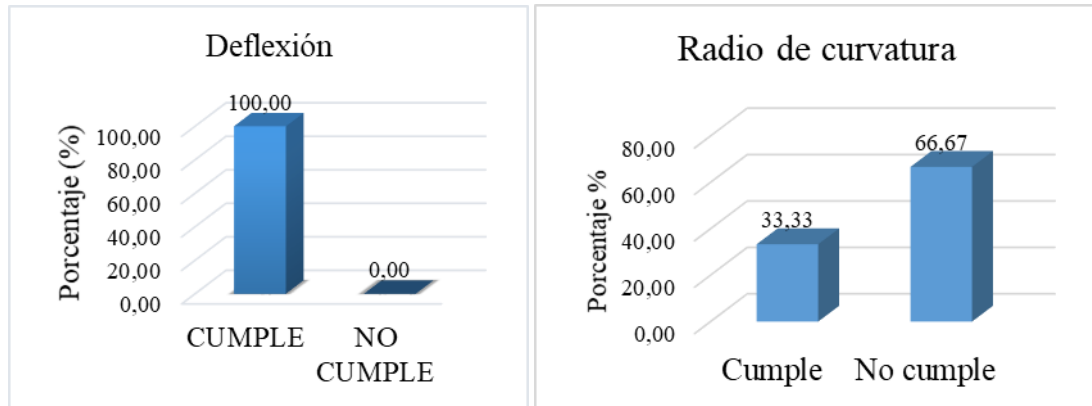
3.4.4.2. Análisis de resultados por kilómetro

Tabla 51 Resultados de deflexión y radio de curvatura por kilómetro

Progresiva		Dc (mm)	D admisible (mm)	Calificación de deflexión	Radio de curvatura (m)	Calificación de R. curvatura
0+000	1+000	0,51	1,01	Cumple	437,91	Cumple
1+000	2+000	0,41	1,01	Cumple	879,03	No cumple
2+000	3+000	0,53	1,01	Cumple	874,94	No cumple
3+000	4+000	0,52	1,01	Cumple	1565,89	No cumple
4+000	5+000	0,61	1,01	Cumple	726,27	No cumple
5+000	6+000	0,70	1,01	Cumple	845,07	No cumple
6+000	7+000	0,58	1,01	Cumple	175,06	Cumple
7+000	8+000	0,64	1,01	Cumple	157,37	Cumple
8+000	9+220	0,62	1,01	Cumple	517,26	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 84 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura por kilómetro



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.3. Análisis de resultados del proyecto

Tabla 52 Resultados de deflexión y radio de curvatura de proyecto

Progresiva		Dc (mm)	D admisible (mm)	Calificación de deflexión	Radio de curvatura (m)	Calificación del radio de curvatura
0+000	9+220	0,57	1,01	Cumple	686,53	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Calicata o pozo a cielo abierto

Como se indicó en el capítulo anterior, la calicata es un método destructivo para la evaluación de las capas de suelo que tiene la vía, por lo que al ser un método que compromete el estado de la vía, se extrajo material en un solo punto de la longitud total de proyecto.

Muestreo

Se determinó un lugar en donde la carretera ya presenté daños en su capa de rodadura (progresiva 6+780), esto para facilitar la extracción y no dañar más el estado de la vía.

Con la ayuda de un pico y una pala se extrajeron las diferentes capas estructurales, y estas a su vez fueron puestos en bolsas de tal manera que mantengan su contenido de humedad original para su posterior ensayo en laboratorio.

Gráfico 85 Capas estructurales de la vía



Fuente: Elaboración propia.

3.4.5.1. Ensayos realizados

Clasificación de suelos

Se realizó la granulometría del material para las diferentes capas estructurales para realizar la clasificación correspondiente y ver si cumple las normas de seguridad requeridas en vías.

Gráfico 86 Tamizado de suelo



Fuente: Elaboración propia.

Compactación T-180

Se realizó la compactación con el método T-180 debido a que las capas presentes son materiales granulares

Gráfico 87 Compactación de suelo



Fuente: Elaboración propia.

CBR

Se obtuvo el valor de CBR usando la “prensa in confinada” del laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, de los cuales se obtuvieron los valores para la determinación del CBR para los paquetes estructurales.

Gráfico 88 Lectura de la prensa de CBR



Fuente: Elaboración propia.

3.4.5.2. Resultados y análisis de resultados de la muestra de suelo

De acuerdo a la tabla de valores referenciales de CBR se tiene:

Tabla 53 Calificación según el CBR y uso de suelo

Capa	Esp. (cm)	Clasificación	Densidad máx. (gr/cm ³)	Humedad óp. (%)	CBR (%)	Calificación
Base	13	A-1-a	2.23	6.15	38.55	Bueno
Subbase	18	A-1-b	2.20	5.95	30.65	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Extracción de núcleos

Como ya es de conocimiento estos dos últimos métodos son destructivos por lo cual se procedió a la extracción de un número limitado de núcleos en la vía el cual se detalla en el siguiente punto.

Muestreo

Se dividió la vía en secciones de 2 km cada una y con ayuda del equipo de extracción de núcleos, se tomó tres muestras de núcleos por sección (carril derecho, centro de vía y carril izquierdo respectivamente). En total se tomaron 15 muestras de pavimento para la realización de los distintos ensayos.

Gráfico 89 Extracción de núcleo del pavimento



Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los ensayos realizados con las muestras obtenidas en campo.

3.4.6.1. Ensayos realizados

Antes de la realización de los ensayos se tomó las diferentes dimensiones de los núcleos a ensayar, esto para la determinación del volumen de cada una, posteriormente se determinó el peso de cada briqueta con la ayuda de una balanza electrónica.

Contenido asfáltico

Para la realización de este ensayo se hizo el uso de gasolina para que este actúe como agente de desintegración de la muestra y con el equipo de centrifugado se procedió a la separación del material ligante (asfalto) y el agregado.

Se procedió a la determinación del peso del agregado y así poder determinar el contenido de asfalto presente.

Gráfico 90 Separación del ligante y el agregado con el equipo de centrifugo



Fuente: Elaboración propia.

Granulometría

Con el agregado suelto y con la ayuda de tamices normados para la granulometría de este tipo de ensayos, se realizó la granulometría correspondiente para las diferentes muestras y poder compararlas con la granulometría normada para las vías de asfalto.

Gráfico 91 Agregado del núcleo extraído



Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones

Para medir las dimensiones, se utilizó el instrumento de medida llamado vernier también conocido como pie de rey, en donde se realizó las medidas del espesor de cada muestra de núcleo.

Gráfico 92 Espesor de la muestra obtenida



Fuente: Elaboración propia.

3.4.6.2. Resultados y análisis de resultados

Contenido asfáltico

Tabla 54 Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 1+550

Progresiva	Muestra	% Agregado	% Cemento asfáltico	Calificación
1+550	Carril derecho	95,48%	4,52%	Bueno
	Eje de vía	95,68%	4,32%	Bueno
	Carril izquierdo	95,95%	4,05%	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55 Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 5+785

Progresiva	Muestra	% Agregado	% Cemento asfáltico	Calificación
5+785	Carril derecho	95,00%	5,00%	Bueno
	Eje de vía	95,39%	4,61%	Bueno
	Carril izquierdo	95,20%	4,80%	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56 Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 8+050

Progresiva	Muestra	% Agregado	% Cemento asfáltico	Calificación
8+050	Carril derecho	95,21%	4,79%	Bueno
	Eje de vía	95,07%	4,93%	Bueno
	Carril izquierdo	95,35%	4,65%	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57 Análisis de resultados de contenido de asfalto por eje de vía

Progresiva	Muestra	% Cemento asfáltico	Calificación
0+000 - 9+220	Carril derecho	4,77%	Bueno
	Eje de vía	4,62%	Bueno
	Carril izquierdo	4,50%	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58 Análisis de resultados de contenido de asfalto de la vía

Progresiva	Muestra	% Cemento asfáltico	Calificación
0+000 - 9+220	Promedio	4,63%	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Granulometría

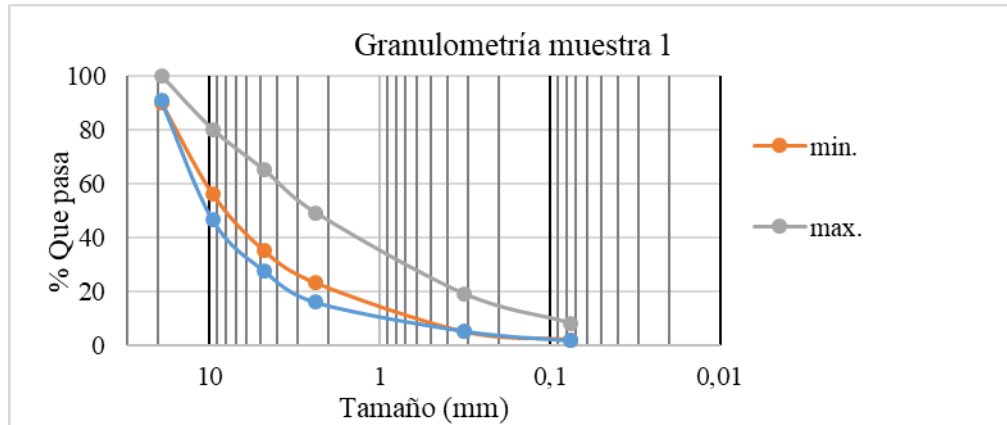
Según la norma ASTM D-3515

Tabla 59 Análisis de resultados de granulometría del carril derecho

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	% Que pasa del total	% Mínimo	% Máximo
1"	25,40	100,00	100	100
3/4"	19,00	90,76	90	100
3/8"	9,50	46,50	56	80
4	4,75	27,59	35	65
8	2,36	15,85	23	49
50	0,32	5,17	5	19
200	0,07	1,55	2	8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 93 Comparación con los límites de curvas del carril derecho



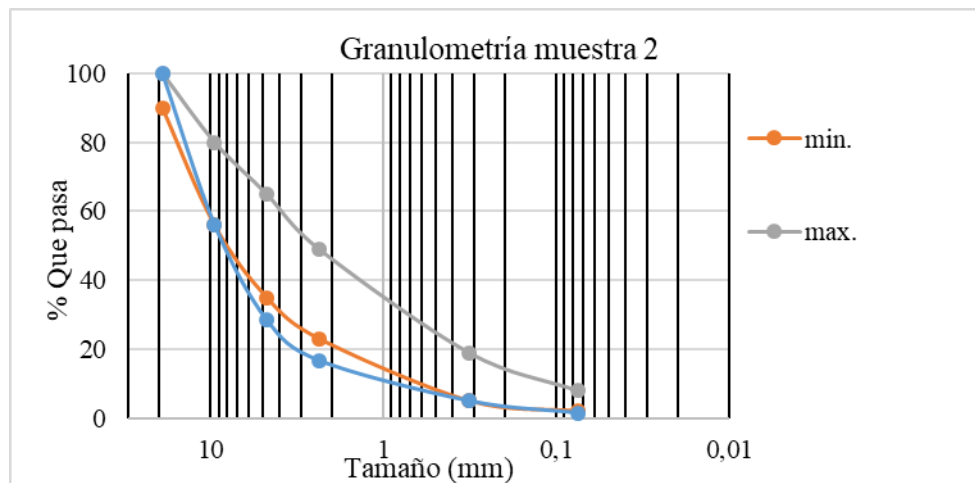
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60 Análisis de resultados de granulometría del eje central

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	% Que pasa del total	% Mínimo	% Máximo
1"	25,40	100,00	100	100
3/4"	19,00	100,00	90	100
3/8"	9,50	56,17	56	80
4	4,75	28,64	35	65
8	2,36	16,79	23	49
50	0,32	5,09	5	19
200	0,075	1,60	2	8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 94 Comparación con los límites de curvas del eje de la vía



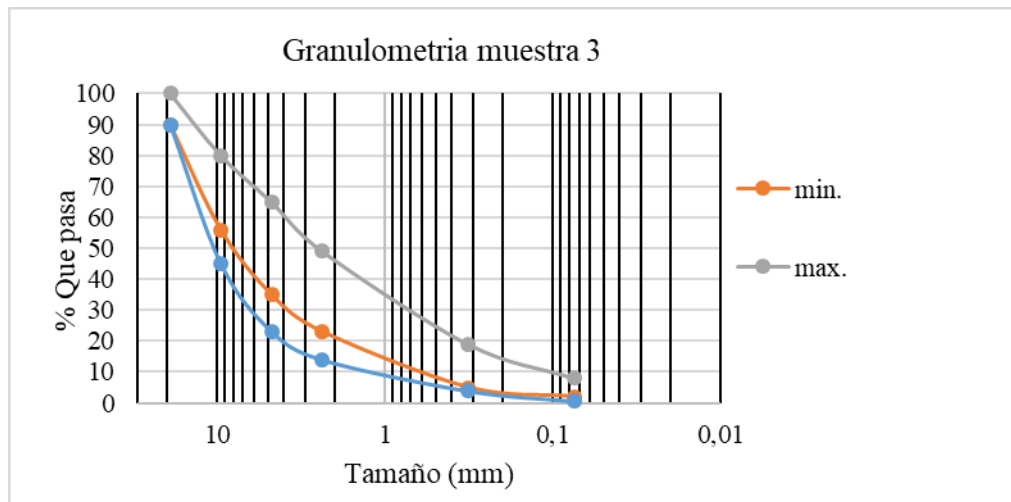
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61 Análisis de resultados de granulometría del carril izquierdo

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	% Que pasa del total	% Mínimo	% Máximo
1"	25,40	100,00	100	100
3/4"	19,00	89,88	90	100
3/8"	9,50	45,08	56	80
4	4,75	23,20	35	65
8	2,36	13,99	23	49
50	0,32	3,94	5	19
200	0,07	0,63	2	8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 95 Comparación con los límites de curvas del carril izquierdo



Fuente: Elaboración propia.

Dimensiones

Tabla 62 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 2+250

Progresiva	Muestra	Diámetro (cm)	Espesor e (cm)	Calificación
2+250	Carril derecho	9,45	3,78	Bueno
	Eje de vía	9,45	3,95	Bueno
	Carril izquierdo	9,45	3,50	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 3+660

Progresiva	Muestra	Diámetro (cm)	Espesor e (cm)	Calificación
3+660	Carril derecho	9,45	3,62	Bueno
	Eje de vía	9,45	3,85	Bueno
	Carril izquierdo	9,45	3,66	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 6+030

Progresiva	Muestra	Diámetro (cm)	Espesor e (cm)	Calificación
6+030	Carril derecho	9,45	3,85	Bueno
	Eje de vía	9,45	4,08	Bueno
	Carril izquierdo	9,45	3,86	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65 Resultados de espesor de carpeta asfáltica promedio de la vía

Progresiva	Muestra	Diámetro (cm)	Espesor e (cm)	Calificación
0+000 - 9+220	Promedio	9,45	3,79	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Análisis general de resultados de la evaluación estructural

3.4.7.1. Viga Benkelman

En la evaluación de pavimentos la parte estructural toma un rol muy importante para conocer el estado de la fundación de la vía y mediante el análisis de este, determinar las fallas superficiales con relación al estado estructural.

Los resultados de la evaluación estructural haciendo uso de la viga Benkelman, demuestran que la deflexión máxima es muy inferior a la deflexión admisible, lo que indica que se cuenta con una subrasante de buena calidad, más al contrario los radios de curvatura son muy grandes que se traducen en un pavimento de mala calidad.

Considerando la escasa aparición de ahuellamientos y las deflexiones máximas con valores pequeños, se puede presumir que el paquete estructural fue bien diseñado como también fue bien ejecutado y que el pavimento tiene poca deficiencia estructural.

Las bajas deflexiones en la carpeta de rodadura suponen que la falla del pavimento radica en la carpeta asfáltica.

3.4.7.2. Calicatas o pozo a cielo abierto

Se observa que al comparar los resultados de CBR obtenidos de 38.8% y 32.81% para la capa base y capa subbase respectivamente, son buenas y se adecuan al análisis de resultados de la viga Benkelman, por lo cual es válido el estudio del suelo realizado.

Haciendo una comparación con la tabla de valores referenciales de usos del suelo según el CBR, no se tienen valores de calificación excelentes, pero que si cumple con los rangos de aceptación para la conformación de las diferentes capas estructurales de la vía.

3.4.7.3. Extracción de núcleos

Como se puede observar en los diferentes ensayos, la cantidad o porcentaje usado para la elaboración de la carpeta asfáltica en toda la vía es satisfactoria de acuerdo a las normas de diseño de carreteras sin sufrir costos elevados.

En cuanto a la granulometría usada para la elaboración de la vía estudiada, no se adecua a la granulometría recomendada por la norma ASTM D-3515, por lo que es una mala elección de material granulométrico en toda su longitud.

La granulometría es una parte importante para el diseño de vías, esta puede afectar el rendimiento estructural.

Los espesores de la capa asfáltica también forman parte importante para el comportamiento estructural, lo que, en la vía estudiada, no existen defectos debido a que el mínimo espesor recomendado para triple tratamiento superficial es de 2.50 cm y la vía en ciertos sectores llega a tener un máximo espesor de 4.08 cm y un mínimo de 3.50 cm por lo que cumple con las especificaciones requeridas.

3.4.8. Análisis de los resultados de la evaluación superficial y estructural

Tabla 66 Comparación de la calificación de la evaluación superficial

Progresivas		Evaluación superficial					
		PCI		IRI		PSI	
		Valor	Calificación	Valor (m/Km)	Calificación	Valor	Calificación
0+000	1+000	58.68	Bueno	2,35	Bueno	3,27	Bueno
1+000	2+000	70,89	Muy bueno	2,41	Bueno	3,24	Bueno
2+000	3+000	48.11	Regular	2,04	Bueno	3,46	Bueno
3+000	4+000	81.70	Muy bueno	2,41	Bueno	3,24	Bueno
4+000	5+000	49.78	Regular	3,14	Regular	2,84	Bueno
5+000	6+000	66.84	Bueno	3,03	Regular	2,90	Bueno
6+000	7+000	48.17	Regular	3,92	Regular	2,47	Regular
7+000	8+000	50.76	Regular	2,61	Bueno	3,12	Bueno
8+000	9+220	55.02	Bueno	2,93	Bueno	2,94	Bueno

Progresivas		IFI			
		Valor		Calificación	
		Sp (Km/h)	F60	Textura	Fricción
0+000	1+000	43,41	0,29	Media	Malo
1+000	2+000	81,68	0,50	Gruesa	De regular a bueno
2+000	3+000	70,63	0,49	Media	Malo
3+000	4+000	34,90	0,27	Media	Malo
4+000	5+000	64,88	0,45	Media	Malo
5+000	6+000	61,02	0,44	Media	Malo
6+000	7+000	112,57	0,61	Gruesa	Bueno
7+000	8+000	61,57	0,44	Media	Malo
8+000	9+220	59,44	0,43	Media	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67 Resumen de calificación de la evaluación estructural

Progresivas		Evaluación estructural			
		Viga Benkelman			
		Valor		Calificación	
		Do (mm)	Radio de curvatura (m)	Deflexión	Radio de curvatura
0+000	1+000	0,51	437.91	Cumple	Cumple
1+000	2+000	0,41	879.03	Cumple	No cumple
2+000	3+000	0,53	874.94	Cumple	No cumple
3+000	4+000	0,52	1565.89	Cumple	No cumple
4+000	5+000	0,61	726.27	Cumple	No cumple
5+000	6+000	0,70	845.07	Cumple	No cumple
6+000	7+000	0,58	175.06	Cumple	Cumple
7+000	8+000	0,64	157.37	Cumple	Cumple
8+000	9+220	0,62	517.26	Cumple	No cumple

CBR			
Valor		Calificación	
Base (%)	Subbase (%)	Base	Subbase
38,80	32,81	Bueno	Bueno
e=13 cm	e=18 cm	Bueno	Bueno
Extracción de Núcleo			
Valor		Calificación	
Asfalto (%)	Espesor (cm)	% Asfalto	Espesor
4,63	3,79	Bueno	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se investigó y profundizó sobre el conocimiento de los pavimentos, su estructura, características, comportamiento y evaluación.

Se establecieron los sectores de evaluación en los cuales se ejecutaron los ensayos para uno de los indicadores de estado superficiales y estructurales.

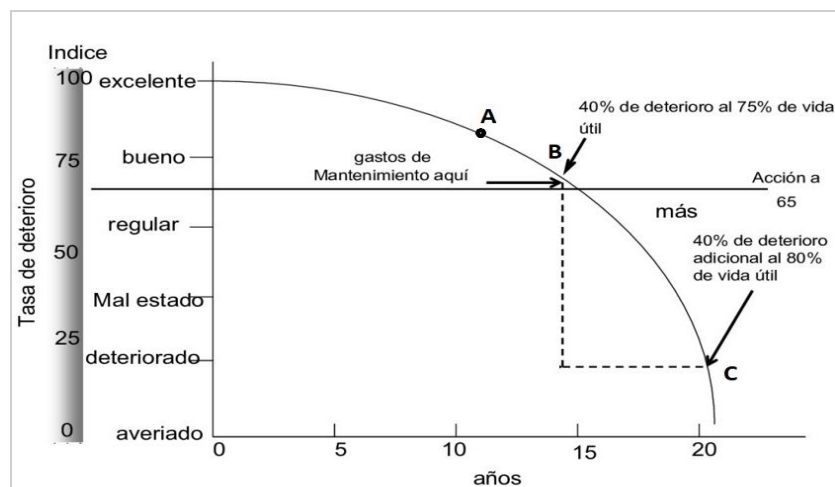
Se efectuaron satisfactoriamente las mediciones de campo para obtener los indicadores de estado superficial y estructural en la vía en estudio.

Se realizó el trabajo de gabinete y se encontraron los resultados de cada uno de los indicadores de estado anteriormente mencionados.

Luego de un profundo análisis de los resultados, se calificó cada uno de los indicadores de estado como se muestra a continuación:

Los resultados finales del índice de condición del pavimento para el tramo estudiado “Tarija – San Andrés” tienen un valor numérico de 57,68, valor que pertenece según la escala del método PCI a una calificación de “bueno” según el manual de fallas nos dice que el tramo está apto para brindar adecuadas condiciones de circulación para los usuarios.

Curva de deterioro del pavimento



Fuente: Ing. Augusto Jugo B.

Como se puede ver en el gráfico anterior, el valor del PCI nos indica que está en el punto óptimo de rehabilitación de la vía (ver tabla 15).

Haciendo un análisis de costos, se puede verificar que el precio estimado de reparación y mantenimiento de la vía “Tarija – San Andrés” es de 4.626.766,53 Bs (cuatro millones seiscientos veintiséis mil setecientos sesenta y seis 53/100 bolivianos) o 691.594,40 USD (seiscientos noventa y un mil quinientos noventa y cuatro 40/100 dólares americanos).

Puede evidenciarse en los resultados del índice de rugosidad internacional que tiene un valor de 2,76 m/Km, que, según los límites establecidos por la agencia encargada del control de carreteras de Chile, se califica como “Bueno” lo cual concuerda con los resultados obtenidos por el PCI.

Los resultados de proyecto para el indicador de estado PSI, muestran un valor de 3,04 lo cual fue obtenida según la ecuación de correlación de Paterson y que indica una calificación de “Bueno” por lo que la serviciabilidad que presenta se encuentra en concordancia con los indicadores anteriores y que indica que la superficie se encuentra en buen estado.

Los valores de textura, reflejan que los ensayos corresponden a calificaciones entre “Media” y “Gruesa” que en general para toda la vía está comprendida como “Media” lo cual nos indica que está en condiciones de drenar el agua de la superficie en épocas de lluvia, en cambio los valores de fricción nos presentan un estado de calificación de “Malo (deslizamiento del vehículo)” lo cual llega a ser un problema al momento del contacto del pavimento con la llanta del vehículo a velocidades altas.

En la evaluación estructural, la viga Benkelman nos presenta una calificación de deflexión que “Cumple” con la deflexión admisible ya que el valor de la deflexión característica se encuentra muy por debajo de este, contando con una subrasante de buena calidad y que “No cumple” con el valor de radio de curvatura comprendida entre los 300 a 500 metros, que es el indicado para el promedio de radios de curvatura, lo cual nos indica un pavimento de baja calidad.

En la elaboración de calicatas se pudo observar que tanto la capa base como la capa subbase fueron diseñados y ejecutados de una manera adecuada y que se cumple con los valores de CBR establecidos según las referencias del manual del instituto de asfaltos.

En la extracción de núcleos se realizaron distintos tipos de ensayos a cada muestra tomada del pavimento que se tradujo en un contenido de cemento asfáltico promedio del 4,63% que está en el rango de bueno, en cuanto a la granulometría del agregado, se muestra de manera clara que las curvas granulométricas se encuentran por debajo de los límites establecidos por la norma ASTM D-3515 y finalmente vemos que los espesores de las muestras tomadas del pavimento están en promedio de 3,79 cm que está en el rango del espesor límite para el triple tratamiento superficial.

4.2. Recomendaciones

Debido a todo lo expuesto en las alternativas de solución por las ventajas y desventajas de cada método para la conservación vial del tramo Tarija – San Andrés, es necesario el uso del micro pavimento, ya que este método aumentará la vida útil de la vía llegando a constituir menores cuidados adicionales como hasta ahora y así a largo plazo este método de conservación constituirá un menor gasto de mantenimiento y tiempo de rehabilitación del tráfico vehicular.

Es recomendable realizar el mantenimiento periódico y rehabilitación de la vía a la brevedad posible, ahora que se encuentra, según las conclusiones en la zona óptima de rehabilitación, ya que, si esta llega a postergarse más, las fallas encontradas en la vía pueden deteriorarse de manera más acelerada, lo cual se traduciría en gastos mucho mayores.

Si bien la mayor parte de la vía se encuentra aceptable respecto a la transitabilidad, es necesario realizar un mantenimiento rutinario para la reparación de pequeños defectos en la calzada del pavimento, para evitar el aumento del deterioro de la vía estudiada.

Es necesario que el estudiante o la persona que realice evaluaciones tanto superficiales como estructurales, sepa cuál es la utilidad que se le dará a los valores cualitativos obtenidos con los diferentes ensayos, esto para tener una idea de las condiciones de

servicio que presenta la vía y así poder tomar acciones preventivas para diferentes situaciones de estado que presenta la carretera.

Es recomendable tomar en cuenta la cantidad de personas que prestaran los servicios de operador, técnicos y ayudantes sean los suficientes para abarcar todo el trabajo, ya que la ausencia de una persona puede traducirse en malas lecturas de los equipos y peligro a la integridad física de los que realizan el estudio.

Una vez realizada la evaluación superficial y estructural del tramo “Tarija – San Andrés”, se observa que existen pocas deficiencias a lo largo de su recorrido, en los cuales se deben tomar acciones preventivas y correctivas que permitan mejorar el nivel de servicio que presenta la vía.

La evaluación superficial depende mucho de la capacidad del evaluador, ya que para realizar una evaluación efectiva se tiene que tener en cuenta el manual de fallas y tener mucho conocimiento para realizar la misma.

Se recomiendo realizar medidas correctivas a las fallas superficiales encontradas en la vía, ya que este puede llegar a tener mayores consecuencias a través de que se siga deteriorando por diferentes factores externos.

En todo momento al realizar la evaluación tanto superficial como estructural, se debe tener presente el uso de equipo de seguridad, como ser; chalecos, conos, gafas, casco y botas de seguridad, esto para reducir el riesgo de sufrir accidentes durante el levantamiento de datos en campo.

Es recomendable no estar expuesto mucho tiempo a los rayos solares al momento de la toma de datos y en lo posible llevar agua fresca para evitar malestar a causa de la insolación.