

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La aplicación de los métodos no destructivos es una primera aproximación de estudio al problema que presentan los pavimentos que están deteriorados y que no ofrecen las condiciones de comodidad y confort adecuadas para el usuario, siendo un aporte a los sistemas de conservación de pavimentos, ya que generalmente no se sabe porque se produce un estado de falla o un defecto en la plataforma del pavimento.

Una de las grandes preocupaciones de los administradores e ingenieros de infraestructura vial, es el mantenimiento y conservación de los pavimentos.

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

Debido a la importancia de la conservación de los accesos vecinales/comunales; nos vemos obligados a realizar una cuantificación periódica de los daños tanto visuales como estructurales, que inciden en la calidad de servicio que presta la vía en estudio del tramo Campo Pajoso – El Palmar la cual estas comunidades se comunican con el municipio de Yacuiba de la Provincia Gran Chaco.

1.2. PROBLEMA

¿Cómo un estudio de los métodos no destructivos de clasificación de fallas en pavimentos nos determina el más apropiado al establecer la condición físico estructural del tramo Campo Pajoso –El Palmar?

1.2.1 Relevancia y factibilidad del problema

Para la realización de este proyecto, es factible realizar la investigación ya que se contará con la información necesaria para el estudio.

La selección de los métodos no destructivos nos servirá para dar solución a la inestabilidad que presenta el pavimento para poder preservar la carretera y el tráfico vehicular a largo plazo haciendo revisiones periódicas del estado de la vía.

1.2.2 Delimitación temporal y espacial del problema

Se encuentra en tiempo presente ya que es estudiar en la actualidad el estado del pavimento flexible.

El lugar para el desarrollo de la investigación es en el tramo Campo Pajoso - El Palmar (provincia Gran Chaco en el departamento de Tarija)

1.3 JUSTIFICACIÓN

El problema que se trata en el presente estudio es el diagnóstico de deterioros y fallas que presenta el pavimento flexible.

Debe tenerse en cuenta que el pavimento desde su puesta en servicio, va a sufrir el deterioro de sus características iniciales, a fin de poder prestar un servicio adecuado a los usuarios, resultan imprescindibles actuaciones de conservación. En este sentido, se planteó aplicar métodos de estudio “no destructivos”, con la finalidad de cuantificar las fallas y niveles de deterioro que presenta el tramo de estudio.

El tramo Campo Pajoso – El Palmar, es de vital importancia; debido al flujo vehicular que transita por la zona, más referida al sector productivo del agro en la región de Yacuiba Debido a la incidencia del tráfico pesado en la zona es preciso realizar una evaluación periódica a la vía para plantear alternativas de conservación.

El tema de conservación de carreteras departamentales y urbanas es un trabajo que no se lo puede obviar ya que éste proporciona al usuario entre muchas cosas seguridad, confort, velocidad, reduce el desgaste de vehículos, etc.

Para esto es de vital importancia hacer un estudio de los mismos, la cual nos puede mostrar el estado actual de la vía; para así planificar el tipo de mantenimiento.

Este es un tema que necesariamente se lo debe efectuar por el hecho que dejarlo al margen, a largo plazo podría acarrear serios daños al pavimento lo cual significaría mayor costo en cuanto a la conservación se refiere.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el estado del pavimento flexible, mediante la aplicación de los métodos no destructivos aplicado a las fallas del tramo Campo Pajoso – El Palmar, para plantear alternativas de solución para un mantenimiento adecuado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los métodos no destructivos para su respectivo estudio.
- Determinar las condiciones superficiales del tramo de estudio Campo Pajoso–El Palmar
- Analizar la incidencia de las fallas encontradas en función al tipo y severidad de las mismas presentes en la zona de estudio.
- Determinar las condiciones estructurales del tramo de estudio Campo Pajoso -El Palmar.
- Elaborar una propuesta de mejoramiento del tramo en estudio para dar alternativas de solución.

1.5 HIPÓTESIS

Si se realiza la evaluación de las fallas de índole superficial y estructural actual del tramo Campo Pajoso – El Palmar, permitirá optar un adecuado plan de reparación y mantenimiento del pavimento flexible de dicho tramo.

1.6 CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES

1.6.1 Variables independientes

Los Métodos no destructivos:

- Método del IRI (Índice de rugosidad internacional)
- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)
- Modelo IFI (Índice de Fricción Internacional)
- Método de deflexiones Viga de Benkelman

1.6.2 Variables dependientes

Eficiencia de los métodos para encontrar la condición del pavimento.

Cuadro 1.1: Operacionalidad de variables independientes

Variable normal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración teórica
Los métodos no destructivos	Son procesos no destructivos que se realiza en la vía empleando ensayos y técnicas de estudio analizando los factores	-Causas -Fallas	-Tipo de falla	-Superficial -Estructural
			-Nivel de severidad -Densidad de las fallas	-Índice de deterioros
			-Estudio	-Métodos y técnica empleadas
		-Tipo de estudio no destructivo	-PCI	-Identificación de fallas
			-IRI -IFI -Viga Benkelman	-Medición de la rugosidad -Calificación de la fricción y textura de la superficie -Medición de la deflexión

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 1.2: Operacionalidad de variables dependientes

Variable normal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valoración teórica
Eficiencia de los métodos para encontrar la condición del pavimento	Las metodologías que plantean estos métodos nos permiten hacer un análisis a través de las características del pavimento Es la inspección visual realizada al deterioro a lo largo de la vía	-Estudio del estado geométrico y estructural de la vía -Valoración cualitativa	-Deterioro en pavimentos flexibles -Valoración cuantitativa	ASTM D6433-03

Fuente: Elaboración propia

1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

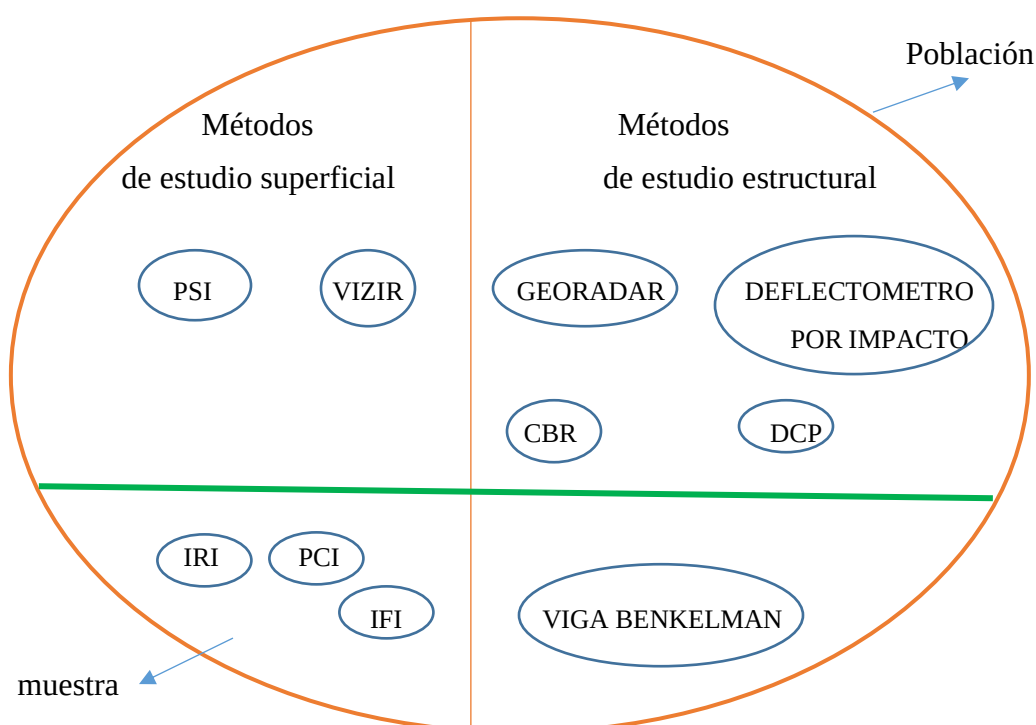
El tipo de investigación se tratará de un diseño experimental

1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL

1.8.1 Unidad de estudio o muestreo

La unidad de muestreo, es el estudio de todas las fallas prematuras que se encuentran en todo el tramo de estudio de Campo Pajoso – El Palmar

1.8.2 Población



Fuente: Elaboración propia.

1.8.3 Muestra

Los métodos no destructivos seleccionados para el respectivo estudio son el método PCI (índice de condición de pavimentos), el IRI y el modelo IFI para el estudio superficial y para el estudio estructural la viga Benkelman.

1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo

Se realizó una inspección visual a todo el tramo en Gral. donde se pudo definir a simple vista que todo el tramo en estudio presenta deterioros donde se podrá evidenciar en los reportes fotográficos.

Para la obtención de los datos de fallas existentes en el sitio de estudio se realizará una división de la totalidad de la superficie del tramo en unidades homogéneas, de esta división se deberá considerar los tipos de fallas existentes siendo la aplicación de ellos métodos elegidos en las áreas que presenten mayor afectación de fallas para que los datos que se obtengan pueden ser más representativos.

1.8.5 Métodos y técnicas empleadas

Para el estudio superficial del tramo se realizó una inspección visual que es el principal medio para la obtención de datos genéricos relativos al estado del pavimento.

Consiste en una inspección realizada directamente sobre el terreno con el objeto de detectar e incluso tratar de cuantificar los deterioros existentes siguiendo criterios preestablecidos.

Como recomendación se sugieren a continuación los siguientes conjuntos de datos mínimos que deben considerarse en una inspección visual.

- Tipo de capa de rodadura
- Aspecto de la capa de rodadura
- Reparaciones existentes
- Ahuellamientos
- Defectos varios
- Tipo de bermas

Obtener datos de forma secuencial y ordenada para no alterarlos en cada muestreo y así analizar resultados satisfactorios.

La técnica empleada para determinar la condición superficial del tramo se estudió:

- La Norma ASSHTO 1993, DG – 2018, Manual de transportes y comunicaciones (MTC).
- manual de conservación vial ABC de carreteras que son utilizadas como normativas de organización para el control de IRI que implica la recolección de datos en campo mediante las siguientes acciones: se usó instrumentos como Formatos para la medición de la rugosidad con Merlín, también la metodología del rugosímetro de Merlín nos sirve para la toma de irregularidades del pavimento que se aplicara para la obtención del nivel de servicio del pavimento.
- El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado, el cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta, se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie.
- Para el método IFI se realizó la macrotextura con el circulo de arena, lo cual se usó arena normalizada tipo 100/200, pasa por el tamiz N°100 y retenida en el tamiz N°200 y la microtextura con el péndulo inglés, este péndulo consta de dispositivos de nivelación, desplazamiento vertical, de medida y de disparo de brazo.

Para el estudio estructural del tramo se pueden emplear los siguientes métodos:

- Para la presente investigación se utilizó la técnica de medición de deflexiones mediante la viga Benkelman según lo establecido en la normativa del MTC E 1002-2000/ ASTM D 4695-03; aplicando la metodología del Instituto del Asfalto.

Un aspecto principal a tomar en cuenta es la seguridad durante el trabajo: el equipo de inspección deberá tomar todas las medidas de seguridad necesarias 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.

1.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

para el procedimiento de análisis y la interpretación de estudio de cada muestra observada en el tramo, se realizará el estudio del procesamiento de gabinete con los siguientes ensayos.

- Método PCI
- Método IFI
- Método IRI
- Viga Benkelman

Una vez obtenidos los resultados se verificará analizara todas las fallas que se presentan en la carpeta asfáltica del pavimento flexible y en función se clasificara el tipo de falla que presenta y en qué estado se encuentra la carpeta de rodadura.

1.10 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de este estudio será experimental descriptivo.

En primer lugar, se debe realizar la inspección rutinaria del sitio si no presenta índices de inestabilidad en los usuarios.

Con este trabajo se pretende recolectar la información que permita identificar las causas de los fenómenos que afectan al tramo en estudio, así como conocer y seleccionar las técnicas de empleo y métodos en base a las condiciones del material por el que están conformados Así mismo, este trabajo está enfocado en el estudio de métodos no destructivos para las principales medidas de conservación en pavimentos flexibles

Se realizó el Método PCI, el método IRI y modelo IFI para estudiar superficialmente y medición de deflexiones VIGA BENKELMAN, para el estudio estructural; ambas corresponden a métodos “no destructivos”.

El estudio comprende las siguientes etapas:

La primera, la recopilación de antecedentes más relevantes sobre el tramo, inspección visual y la determinación de unidades de muestra.

PCI se tomó en cuenta la longitud del tramo, se tendrá 46 unidades con intervalos de 4.

El IRI se determinó mediante el rugosímetro del merlín se seleccionó tramos de 400m llegando así a 26 unidades de muestras de ambos carriles

IFI, se determinó mediante los métodos del péndulo inglés y círculo de la arena, seleccionando tramos de 200m llegando así a 54 unidades de muestra de ambos carriles para cada método Ambos métodos se los realizo paralelamente.

Una segunda etapa que corresponde al estudio superficial y estructural del tramo

VIGA BENKELMAN, se realizó a cada 200m con un total de 54 unidades de muestras de ambos carriles, a lecturaciones de 0cm ,50cm ,100cm ,150cm ,200cm y 500cm.

Finalmente, luego de las alternativas propuestas, se elaborará un plan de mejoramiento con los resultados obtenidos y se pondrá a disposición de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para que junto con la comunidad evalúen y juzguen implementación posterior.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 PAVIMENTOS

Se define al pavimento como la estructura formada por varias capas superpuestas, relativamente horizontales, de varios centímetros de espesor y distintos materiales, adecuadamente compactados.

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante o terreno natural, la cual ha de soportar las cargas ocasionadas por el tráfico.

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

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

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante.

Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado periodo de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella es decir debe proporcionar un servicio de calidad óptimo. Los pavimentos están clasificados de acuerdo a las características de su capa superficial o capa de rodadura, teniéndose los siguientes:

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

2.1.1 Pavimento flexible

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

La estructura de pavimento flexible está compuesta por varias capas de material. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto, la capa más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior.

a) Duración de un pavimento flexible

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición.

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

Cuanto mayor sea el módulo que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub-base o suelo de apoyo.

b) Componentes

Los pavimentos flexibles están conformados por las siguientes capas:

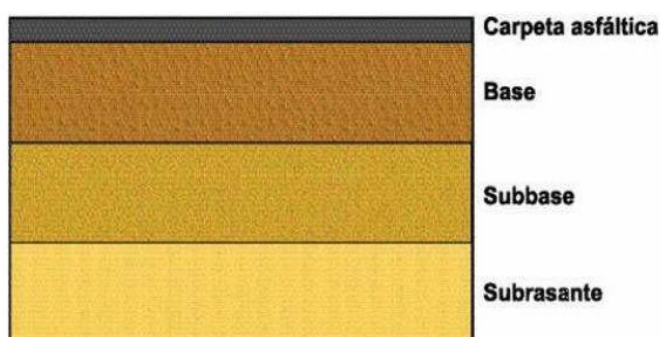
La **Subrasante** o terreno de fundación es la capa o asiento sobre la que está apoyado todo el pavimento cuyo espesor depende precisamente de las características físico mecánicas que tiene la capa subrasante.

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

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

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

Figura 2.1:Esquema típico del paquete estructural de un pavimento



Fuente: GP Maintenance Solutions “Asphalt Repair y Maintenance

En la figura anterior, se presenta, solamente, la sección típica más utilizada de un pavimento flexible, pero, esto no quiere decir que sea la única alternativa. Asimismo, dependiendo de la calidad de, suelo de la subrasante, puede decidirse no disponer de una subrasante mejorada o también, es posible disponer solo de la capa base, etc (Sivila Montes, 2017)

c) Características y propiedades del pavimento flexible

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

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

- Resistencia al deslizamiento.
- Regularidad superficial.

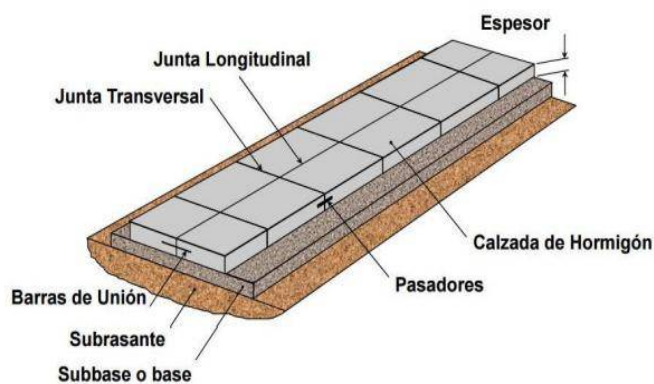
- Permeabilidad.
- Drenabilidad.
- Resistencia a la rodadura.
- Color y propiedades ópticas reflexivas.
- Resistencia al ataque de aceites y combustibles .
- Limpieza.

Con lo cual se obtiene seguridad y comodidad.

2.1.2 Pavimento rígido

Llamado también pavimento hidráulico, se compone de losas de concreto que algunas veces presentan acero de refuerzo, esta losa va sobre una base granular y sobre la subrasante. Este tipo de pavimentos no permite deformaciones de las capas inferiores. El pavimento rígido tiene un costo inicial más elevado que el pavimento flexible y su período de vida varía entre 20 y 40 años. El mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de losas. (Sivila Montes, 2017)

Figura 2.2: Esquema típico del paquete estructura de un pavimento rígido



Fuente: American Concrete pavement asociación (ACPA)

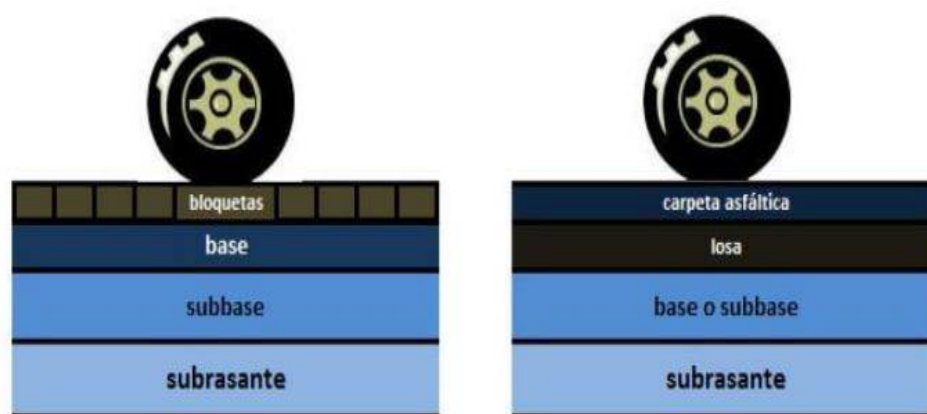
2.1.3 Pavimento mixto

Llamado también pavimento híbrido, es una combinación de flexible y rígido, se colocan bloques de concreto prefabricado en lugar de la carpeta asfáltica.

El objetivo de este tipo de pavimento es disminuir la velocidad límite de los vehículos, ya que los bloques producen una ligera vibración en los autos al circular sobre ellas. Es ideal para zonas urbanas, pues garantiza seguridad y comodidad para los usuarios.

Otro tipo de pavimentos mixtos son aquellos pavimentos de superficie asfáltica contruidos sobre pavimento rígido. Este pavimento, trae consigo un tipo particular de falla, llamada fisura de reflexión de junta. (Sivila Montes ,2017)

Figura 2.3: Esquema típico del paquete estructural del pavimentos mixtos



Fuente: Cálculo del índice de Condición de Pavimento Flexible, Rodríguez Velásquez (2009)

2.1.4 Pavimento articulado

Los caminos empedrados son muy comunes en los países andinos, especialmente en Bolivia, donde su aplicación es generalizada, especialmente en aquellos caminos que sirven fundamentalmente a comunidades rurales. Este tipo de pavimento flexible, consiste en la colocación de una carpeta asfáltica, sobre una base de piedra.

En nuestra ciudad se vienen ejecutando aproximadamente desde el año 1990, debido a su economía de construcción a comparación de un pavimento flexible con las bases granular.

Estos sistemas constructivos emplean una gran cantidad de mano de obra, especialmente no calificada, lo que garantiza el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes, quienes son contratados como parte de las cuadrillas de construcción, con la

consecuente transferencia de tecnología y conocimiento, así como el mejoramiento de los niveles de ingreso por las remuneraciones que reciben.

Está conformado por dos capas, la base y la carpeta asfáltica, como capa de rodadura, la base está compuesta por el empedrado, y la de rodadura es una carpeta asfáltica. (Sivila Montes ,2017)

2.1.4.1 Condiciones técnicas

El pavimento articulado presenta como principales generalidades las siguientes:

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

Pese a que se considera al empedrado como un pavimento flexible, pues se acomoda de acuerdo a las deformaciones que presenta la subrasante, ninguno de los métodos de diseño de pavimentos flexibles se adapta o puede ser aplicado rigurosamente, ya que su comportamiento es distinto.

Las deformaciones plásticas o permanentes, que en cualquier pavimento flexible produciría grietas, en los empedrados producen ondulaciones, fenómeno que se mantiene inalterable mientras la ondulación permite un reacomodamiento de las piedras a los nuevos niveles que el tráfico va definiendo.

La experiencia con empedrados existentes, demuestra que las ondulaciones presentadas, no disminuyen sensiblemente el nivel de servicio original luego de 30 o 40 años de

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

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

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

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

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

Esta superficie, al estar constituida de cantos rodados o piedra partida, debe cumplir condiciones mínimas que garanticen la eficiencia del empedrado.

Figura 2.4: Perfil transversal de pavimento articulado



Fuente: Pirhua.udel.edu.pe

2.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS

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

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

En un pavimento flexible las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

Los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante.

Un factor que influye en el comportamiento de los pavimentos es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace.

Los pavimentos están sujetos a cargas móviles, y el hecho que las cargas actuantes sean repetitivas afectan a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que, en el caso de los pavimentos flexibles, este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas. (Sivila Montes, 2017)

2.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre (Armijos Salinas ,2009)

Existen dos tipos de evaluación de pavimentos:

- Evaluación Superficial
- Evaluación Estructural

2.3.1 Evaluación Superficial

Es el análisis o control de calidad en la capa de rodadura que puede ser de asfalto o de concreto, en este caso, de pavimento flexible.

Este tipo de evaluación califica las deficiencias que tiene el pavimento en su parte superficial, lo que conlleva inspeccionar los defectos o fallas que se presentan.

El proceso para la identificación de fallas se lo realiza a través de un registro de cuantificación de daños que tiene su categorización y clasificación que demostrará el estado real de la vía.

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

Este tipo de evaluación debe basarse en:

- Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.
- Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

2.3.2 Evaluación Estructural

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

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

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

Dicho lo anterior se puede decir que la evaluación estructural es el estudio del funcionamiento de las diferentes capas que componen el pavimento a causa del sometimiento de cargas a la que es expuesto. Aunque es difícil detectar a simple vista la falla del funcionamiento es posible obtener un resultado real de la vía a través del análisis de deflexiones.

Los fenómenos de alabeo y la ondulación son una posible causa de que el pavimento esté sufriendo un mal estado estructural. Dicha evaluación estructural se la realiza tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Deflexiones de Benkelman
- Evaluación de materiales
- Número estructural
- Tránsito o tráfico vehicular
- Factor regional (Sivila Montes, 2017)

2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

En la actualidad existen varios métodos para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible, en el presente proyecto haremos mayor énfasis en los métodos, IFI, IRI y PCI.

2.4.1 Método de evaluación IRI Índice de Regularidad Internacional

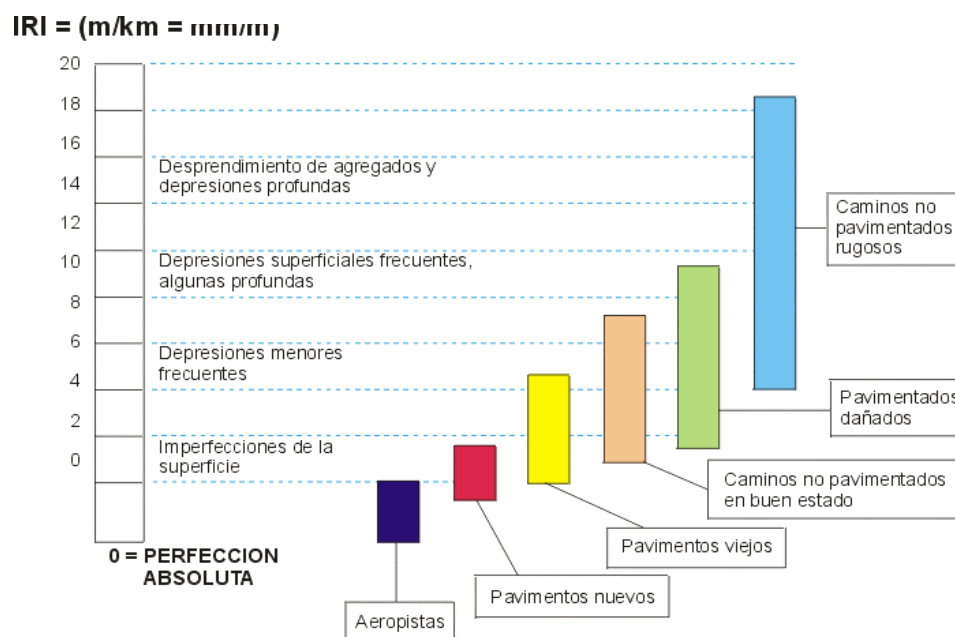
El IRI es el Índice de Rugosidad Internacional, el cual es un método para el cálculo de las rugosidades en las carreteras, aplicado el método se puede conocer la comodidad del tránsito.

El grado de deterioro de la regularidad superficial, además de estar relacionado con la sección estructural, lo acelera al paso de los vehículos, ya que éstos aumentan la carga dinámica produciendo esfuerzos tangenciales y verticales. (Sivila Montes , 2017)

2.4.2 Índice de Regularidad Internacional

La irregularidad o rugosidad de la superficie de un camino refleja adecuadamente el grado de comodidad del tránsito; se ha desarrollado una gran variedad de equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), y fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986.

Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para no pavimentados la escala se puede extender hasta el valor 20. En el siguiente cuadro se presenta una clasificación que hace el Banco Mundial de las carreteras y aeropistas, dependiendo de los valores típicos del IRI, según las experiencias obtenidas en diversos países. (Sivila Montes, 2017)

Cuadro 2.1: Escala de clasificación del IRI

Fuente: cuadro clasificador de pavimentos (Banco mundial)

Paterson, en 1986, define el IRI como: "El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo del cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/hr.

Es calculado a partir de las elevaciones de la superficie medidas mediante un levantamiento topográfico o perfilometría". El IRI, también llamado por su nombre técnico RARS8, debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Es calculado a partir de un solo perfil. El intervalo de muestreo del perfil debería ser inferior a 300 mm para cálculos precisos.
- La resolución requerida depende del nivel de rugosidad, necesitándose resoluciones más finas para pavimentos más lisos.

- Una resolución de 0.5 mm en la obtención del perfil es apropiada para todas las condiciones.
- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre puntos contiguos de elevación.
- El perfil es primero suavizado mediante el uso de medias móviles cuyo largo base es de 250mm. Esto es realizado por dos motivos; la idea es simular el comportamiento de la envolvente de los neumáticos y reducir la sensibilidad de la simulación el cuarto de carro al espaciamiento de muestreo del perfil longitudinal.
- El perfil suavizado es filtrado utilizando la simulación del cuarto de carro, RQCS (Reference Quarter Car Simularían), con sus parámetros específicos, a una velocidad de 80 km/h.
- El movimiento de la suspensión simulada es acumulada y dividida por el largo del perfil para así obtener el valor de IRI, es de esta forma que el IRI es expresado, generalmente en unidades de m/km (Manual de conservación vial ABC ,2011)

2.4.3 Equipos para evaluar la rugosidad

Los diferentes métodos para medir la rugosidad han sido agrupados en cuatro categorías clasificadas de acuerdo a cuan directamente sus mediciones se aproximan al IRI (ASTM 1995). Estos métodos pueden resumirse de acuerdo a lo siguiente:

Clase 1, Perfiles de precisión (el cual requiere que el perfil longitudinal de una huella sea medida en forma precisa).

Clase 2, Otros métodos perfilo métricos (el cálculo del IRI se basa en medidas del perfil longitudinal, pero no tan precisas como los métodos de la Clase 1).

Clase 3, Estimaciones del IRI mediante correlaciones (sistemas para medir la rugosidad por SMRR, MERLIN).

- **Clase 4**, Valoraciones subjetivas y medidas sin calibrar (aparatos tipo respuestas sin calibrar o valoraciones del estado mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta el usuario). (Manual de conservación vial ABC ,2011)
- (Manual de conservación vial ABC ,2011)

2.4.4 Medición del IRI por métodos perfilométricos

Las mediciones del IRI de las clases 1 y 2 sólo pueden obtenerse a partir del perfil longitudinal del camino.

El perfil está descrito por la serie de valores de las cotas de altura de la superficie, espaciados a cortos intervalos a lo largo de la huella de la rueda.

Para resumir los números que componen el perfil, se aplica un procedimiento de análisis que calcula el IRI como un parámetro estadístico único que cuantifica la rugosidad.

Existen dos grupos principales de perfilómetros: los estáticos y los dinámicos.

- Los sistemas estáticos de precisión consiguen las medidas más exactas del perfil longitudinal. Sin embargo, su bajo rendimiento los hace inadecuados para estudios que no sean muy especiales.
- Los perfilómetros dinámicos proporcionan perfiles a gran velocidad, que, aunque no son réplica exacta del perfil longitudinal del camino (filtran las componentes del perfil con longitudes de onda inferiores y superiores a ciertos valores), sí son exactos en la zona de longitudes de onda que influyen en la regularidad superficial. Equipos de medición estáticos son los levantamientos con mira y nivel, Perfilómetro de barra de TRRL, Face Dipstick y el MERLIN de mayor uso en nuestro país (Manual de conservación vial ABC).

Figura 2.5: Equipo Merlin



Fuente: Manual de conservación vial ABC

2.4.5 Medición del IRI por el método Rugosímetro de merlín

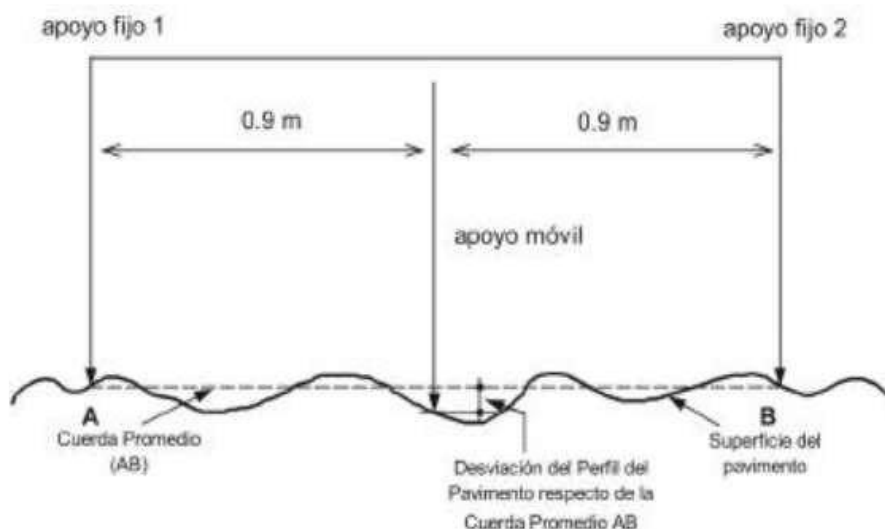
El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de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

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio.

La Figura 2.6 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante.

El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio” (Huaccha Montenegro, 2017)

Figura 2.6: Medición de desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio



Fuente: (Rodríguez, 2015)

El **MERLIN** es un equipo de diseño simple. La Figura N° 2.7, presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes

inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo.

El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla. Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

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

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición.

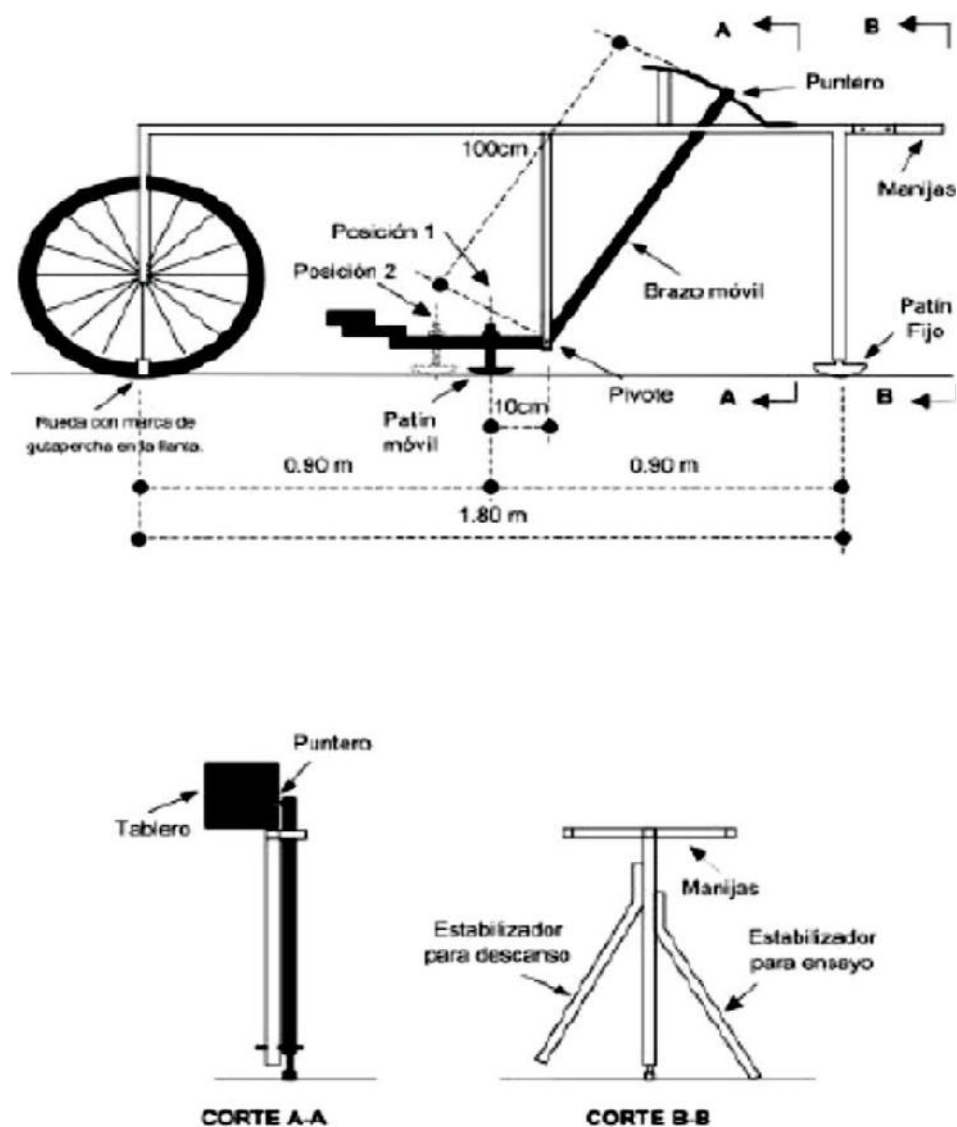
Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad.

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma).

El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”. El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como

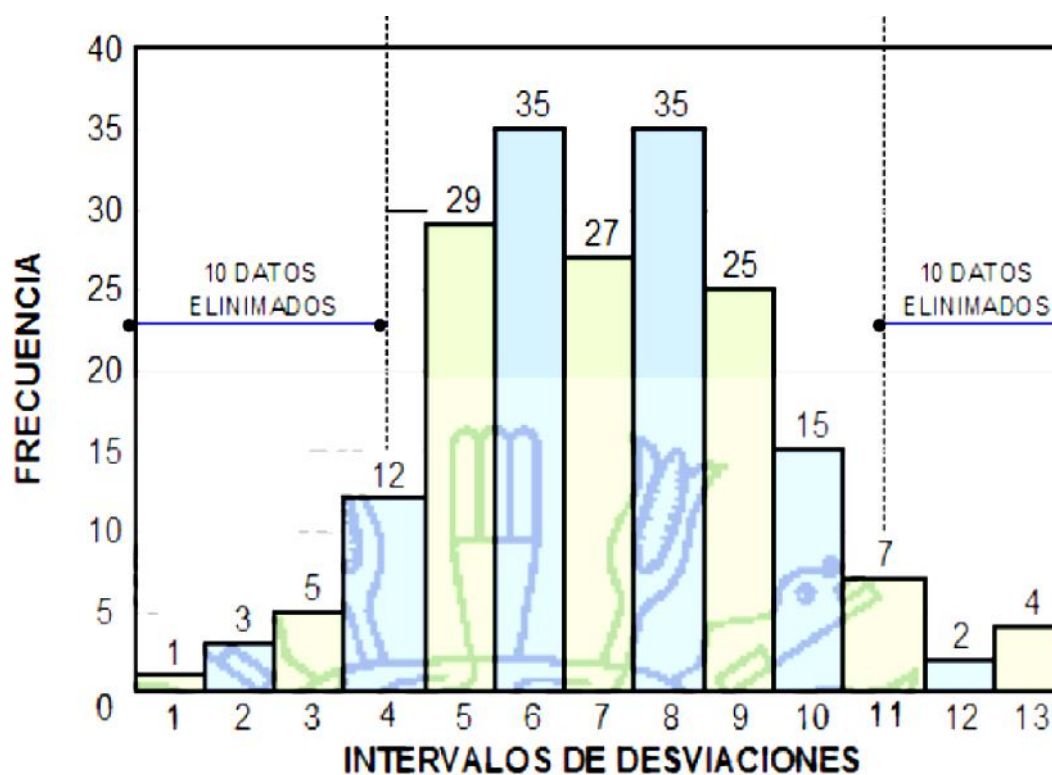
una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL (Huaccha Montenegro ,2017).

Figura 2.7: Esquema Rugosimetro de Merlin



Fuente: Del Águila, 1999

Figura 2.8 Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Almanza, 2014

2.4.5.1 Material

Rugosímetro merlín: equipo necesario para el ensayo

Una hoja milimetrada: que se colocara en el tablero del merlín para realizar las lecturas

Planilla: para la recolección de datos

Wincha: para medir los puntos en los carriles

Personal: indispensable para la toma de datos y manejo del equipo

Artículos de seguridad: conos, señales de alerta para desviar y cortar el tráfico de la vía

2.4.5.2 Procedimiento

- Una vez identificada la zona de estudio teniendo conocimiento de sus antecedentes se procede a recolectar toda la información visible, como por ejemplo identificando las grietas, fallas y desgates que presentan en la capa de rodadura existente con esto podemos ver un estado previo del pavimento.

- Para la determinación de la irregularidad del pavimento flexible del tramo campo pajoso el palmar se usará el Rugosímetro de Merlín siendo este un instrumento versátil sencillo y económico que según la clasificación del Banco Mundial tiene mayor exactitud en sus resultados, para la secuencia del cálculo de la rugosidad se tendrá en consideración lo expuesto en el Manual de Usuario MERLINER, (1999).
- Se tiene el equipo de Merlín constituido por un elemento vertical delantero (rueda) que le da facilidad de desplazamiento , tiene dos soportes laterales inclinados el derecho es para fijar el equipo al suelo y el izquierdo es para estacionar el equipo; en la parte central se tiene un brazo móvil que está en contacto directo con el piso mediante un patín empernado y ajustable el cual se adecua a las imperfecciones del terreno y en el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero de acuerdo a la posición que adopta el patín móvil en contacto con el pavimento, en el tablero se tiene una hoja a una escala grafica con 50 divisiones de 5mm de espesor, cada una sobre la cual se deslizará el puntero; en la parte trasera se tiene dos manijas que permiten levantar y movilizar el equipo asemejándose a una carretilla.
- Una vez identificadas las partes del equipo de Merlín se procede a operar el equipo donde determinaremos las irregularidades que presenta el pavimento; para ello se requiere de un personal un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas, un auxiliar que anote y un vigía que dirija el tráfico.
- Se seleccionará muestras de 400m de longitud sobre cada carril de la vía.
- Se deben efectuar 200 lecturas de las irregularidades de la avenida.
- Las lecturas se tomarán luego de estacionar el equipo cuando la rueda ha dado una vuelta de 2m de longitud para ello se recomienda guiarse del pitón.
- Tener un formato en cuadrículas para la anotación de las lecturas.
- Las lecturas son continuas y con una velocidad de 2km/h.
- Teniendo conocimiento de lo anterior se procede a la calibración del equipo, para ello se utiliza una regla de aluminio, un nivel, un disco circular de bronce, una llave inglesa y un vernier o pie de rey; se coloca la regla sobre el piso la cual tiene que estar debidamente nivelada se coloca sobre esta al Rugosímetro ajustando los pernos del patín móvil con la llave hasta que el puntero marque en el tablero una

lectura inicial igual a 25. Se mide el espesor de la pastilla de calibración (disco circular de bronce) con el vernier este dato será anotado para el cálculo del factor de corrección, luego esta pastilla es colocada debajo del patín; esta acción hará que el puntero se deslice marcando una lectura final.

- Una vez calibrado el equipo y estacionado en la progresiva km 00+000 m del primer carril de uno de los dos tramos de la vía; el operador levanta de las manijas al Rugosímetro verificando que el pitón de la rueda tenga una posición final igual a la inicial así comprueba que la rueda dio una vuelta de 2 m; seguidamente espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto a la escala colocada de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar .
- Paso seguido el operador toma nuevamente el instrumento por las manijas elevándolo, desplazándolo y tomando la lectura correspondiente hará esto sucesivamente hasta completar las 200 lecturas de un formato, seguidamente se comenzará a llenar otro formato hasta llegar a la progresiva final le carril de la vía para comenzar con el siguiente carril hasta concluir con toda la vía.

2.4.5.3 Metodología

Los datos de las irregularidades del pavimento obtenidos con Merlín se analizarán calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero la cual puede expresarse en forma de histograma para ello se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas.

En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Con el descarte de los datos se puede calcular mediante fracciones al inicio y al final del histograma el rango D expresado en milímetros el cual será multiplicado por el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros. Seguidamente se obtiene un factor de corrección para ajuste para el rango D con los datos apuntados de campo como el espesor de la pastilla la lectura inicial igual a 25 y la lectura final lo que marco el puntero al ser colocada la pastilla se aplicara la siguiente fórmula para la obtención de este factor de corrección (FC)

Factor de corrección para el ajuste de “D”

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

Donde:

EP=Espesor de la pastilla

LI=Posición inicial del puntero

LF=Posición final del puntero

Remplazando nuestros datos de campo se podrá obtener el factor de corrección.

Seguidamente para poder llegar al cálculo de la rugosidad es importante tener la relación de los brazos (RB) según el Manual de Usuario MERLINER, (1999) se considera:

- Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.
- Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

Entonces para la variación de relación de brazos se considera de acuerdo al tipo de pavimento en estudio. Teniendo el rango D, el factor de corrección (FC) y la relación de brazos (RB) se puede calcular el rango D corregido con la multiplicación de los datos antes mencionados.

El índice de rugosidad internacional es medido en unidades m/km, y en el proceso de medición de la rugosidad, la dispersión “D” determinada por el rugosímetro MERLIN sus unidades son milímetros, por lo que es necesario relacionar ambas mediciones. Según análisis del laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos TRRL se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cuando: } 2.4 \leq \text{IRI} \leq 15.9 \text{ o } 42 \geq D \geq 312$$

$$IRI = 0.593 + 0.047D$$

Cuando: $IRI \leq 2.4$ o $D \leq 42$

$$IRI = 0.0485D$$

2.4.6 Método de evaluación PSI Índice de Serviciabilidad Presente

El PSI es el Índice de Servicio Presente es la comodidad de la condición del pavimento dentro de los límites prescritos como: muy bueno, bueno, regular, pobre y muy pobre, son las escalas de medida que dependerán del Índice de Rugosidad Internacional (Sivila Montes ,2017)

2.4.7 Serviciabilidad

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

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

El otro método es usando un índice de rugosidad basado sólo en la rugosidad.

El concepto serviciabilidad, fue desarrollado durante el AASHO Road Test (1957). La inclusión de la serviciabilidad como un factor de diseño de pavimentos fue un excelente aspecto del método de diseño AASTHO (Sivila Montes ,2017)

2.4.8 Índice de Serviciabilidad Presente

Es una combinación matemática de valores obtenidos de ciertas dimensiones físicas como para predecir la condición de los pavimentos dentro de límites prescritos.

Es una medida de la rugosidad superficial del pavimento y esta medida en una escala de 0 a 5, siendo 5 una superficie absolutamente lisa.

Este PSI es medido de la rugosidad en un momento particular durante la vida de servicio del pavimento (Sivila Montes,2017)

2.4.9 Método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. por M.Y. Shahin y S.D. Khon y publicado en 1978; con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el departamento de defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación, conocida como procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03. Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El método se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

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

Este método de evaluación superficial se caracteriza por no requerir ningún equipo especial o sofisticado para la evaluación; por suministrar información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y la condición final que éste presenta; por su empleo que no resulta ser complejo; porque es un método estándar y más detallado para evaluar pavimentos y por ser la base para determinar necesidades de mantenimiento o rehabilitación del pavimento.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas: el procedimiento es enteramente manual y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada. En líneas generales el procedimiento consiste en dividir la vía en estudio en secciones o “unidades de muestreo”,

cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodamiento, así por ejemplo en el caso de carreteras con capa de rodamiento asfáltica y ancho menor de 7.30 m. se tiene que el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango entre 230.0 ± 93.0 m² (Sivila Montes ,2017)

2.4.10 Índice de Condición del Pavimento

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

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

Cuadro 2.2: Rangos de clasificación del PCI

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concretos en Carreteras, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, abril de 2006.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del

pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima (Sivila Montes,2017).

2.4.11 Fallas en los pavimentos flexibles

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

Entre las causas de falla de un pavimento se pueden mencionar:

- Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.
- Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original. Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.
- Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).
- Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
- Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
- Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

Dependiendo de su origen, las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales (superficiales) o fallas estructurales. En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa asfáltica y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad), lo cual se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen desde el punto de vista estructural (Lopez Kevin ,2019)

2.4.12 Fallas superficiales

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a las fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada.

La corrección de estas fallas se efectúa con solo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad, o también tratando los daños que presente la vía para una mejor serviciabilidad.

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación, se presenta una guía general de ayuda para establecer los diferentes tipos de fallas que presenta el pavimento y las opciones de reparación para cada una de ellas (López Kevin ,2019)

2.4.12.1 Descripción de las fallas superficiales

1. Piel de cocodrilo

Descripción

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.

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

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

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

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

Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.9: Piel de cocodrilo



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbáez, Corredor)

2. Exudación

Descripción

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa.

La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Niveles de severidad

L: La exudación ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los vehículos.

M: La exudación ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y vehículos únicamente durante unas pocas semanas del año.

H: La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año.

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Si se contabiliza la exudación no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

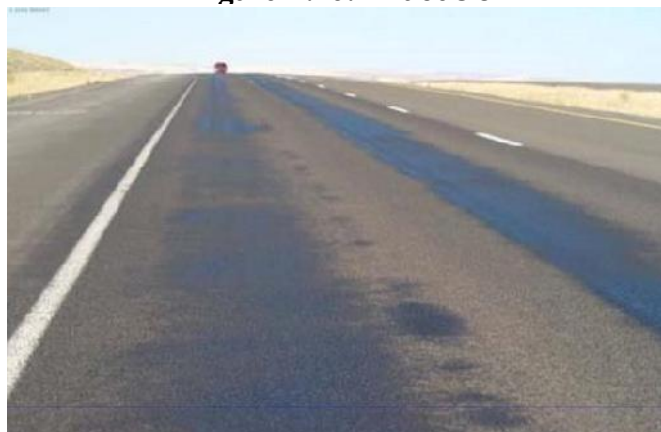
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario) (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.10: Exudacion



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbáez, Corredor)

3. Agrietamiento en bloque

Descripción

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares.

Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30m x 0.3m a 3.0m x 3.0m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria).

Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito.

Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad

L: Bloques definidos por grietas de baja severidad, como se define para grietas longitudinales y transversales.

M: Bloques definidos por grietas de severidad media.

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

L: Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.

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

H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.
(Vasquez Varela,2002)

Figura 2.11: Fisuras en bloque



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

4. Abultamientos y hundimientos

Descripción

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

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

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.12: Abultamientos y hundimientos



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

5. Corrugación

Descripción

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0m.

Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.13: Corrugación



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

6. Depresión

Descripción

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros”.

En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidroplanéo.

Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

Niveles de severidad

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0mm.

M: 25.0 a 51.0mm.

H: Más de 51.0mm.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) del área afectada

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.: Depresión



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbáez, Corredor)

7. Grieta de borde

Descripción

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (ó metros lineales).

Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.14: Grietas de borde



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

8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento Pórtland)

Descripción

Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal).

Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
- Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
- Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

- Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
- Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.
- Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15.0 m puede tener 3.0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse.

Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.15: Reflexion de junta



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

9. Desnivel carril / berma

Descripción

El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril (Vásquez Varela, 2002)

Figura 2.16: Desnivel carril berma



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

10. Grietas longitudinales y transversales

Descripción

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

- Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
- Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
- Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M: Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
- Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

- Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
- Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
- Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (ó metros lineales).

La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.

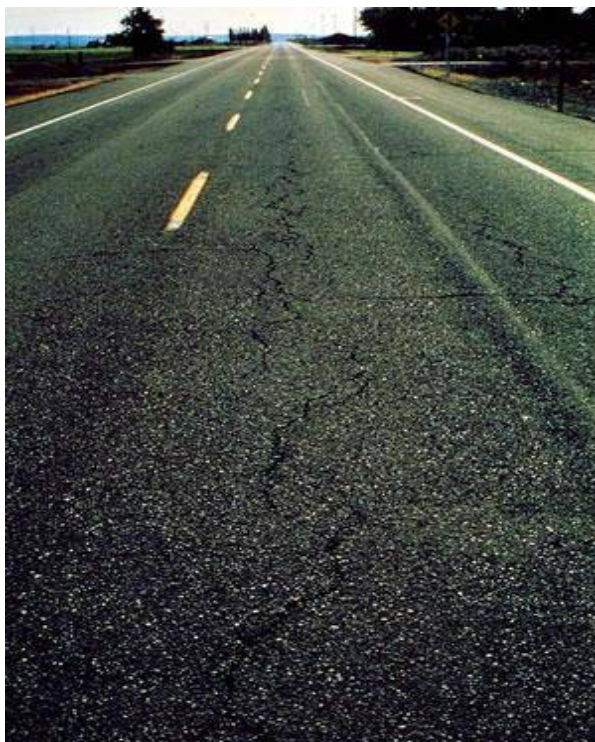
Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.17: Grietas longitudinales y transversales



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

11. Parches

Descripción

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Niveles de Severidad.

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio. La calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

M: El parche está moderadamente deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

H: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

Medida

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un sólo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente.

Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.18: Parches



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

12. Pulimento de agregados

Descripción

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo.

El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad

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

Medida

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

Opciones de reparación

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.19: Pulimiento de agregados



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

13. Huecos

Descripción

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior.

El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro 13.1.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

Cuadro 2.3: Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco.	Diámetro medio		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12.7 a 25.4 mm	L	L	M
> 25.4 a 50.8 mm	L	M	H
> 50.8 mm	M	M	H

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

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo (Vasquez Varela, 2002)

Figura 2.20: Huecos



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

14. Ahuellamiento

Descripción

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua.

El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito.

Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.⁴²

Medida

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

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.21: Ahuellamiento



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

15. Desplazamiento

Descripción

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

Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.22: Desplazamiento



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

16. Grietas parabólicas

Descripción

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

Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

- Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.
- El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

- Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
- El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.23: Grietas parabólicas



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

17. Cruce de rieles

Descripción

Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

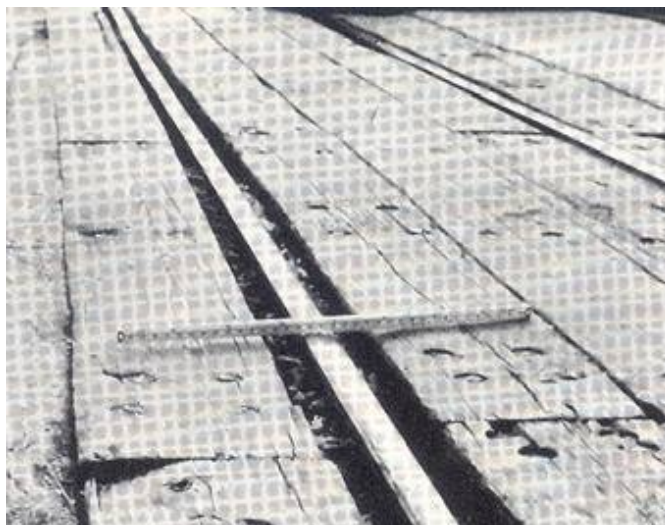
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.24: Cruce de rieles



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

18. Hinchamiento

Descripción

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

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

M: El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

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

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción (Vasquez Varela,2002)

Figura 2.25: Hinchamiento



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

19. Disgregación / desprendimiento de agregados

Descripción

La Disgregación y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Niveles de severidad

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

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

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobre carpeta.

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

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial (Vásquez Varela,2002)

Figura 2.26: Disgregación



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

2.4.13 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididas a su vez en secciones. Cada sección es nuevamente dividida en unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

- Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.
- Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Todas las unidades de muestra en una sección pueden inspeccionarse para determinar el valor PCI promedio de la sección. Sin embargo, esta posibilidad se limita normalmente por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo.

El muestreo total es recomendable para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación necesarias.

Debe calcularse un número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad).

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado.

También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio. Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

2.4.14 Procedimiento de medición del PCI

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican cuidadosamente los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

En la Tabla 2.1, se ilustra el formato adoptado para el presente trabajo, y una segunda etapa que será el cálculo.

Tabla 2.1: Hoja de registro método PCI

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)			
Via:		Seccion:	Unid. de muestra:
Ejecutor:		Fecha:	Area:
Fallas	Unidad	Fallas	Unidad
1 Piel de cocodrilo	m ²	11 Parches	m ²
2 Exudacion	m ²	12 Agregado pulido	m ²
3 Fisuras ne bloque	m ²	13 Huecos	m ²
4 Abultamientos	m ²	14 Ahuellamiento	m ²
5 Corrugacion	m ²	15 Desplazamiento	m ²
6 Depresion	m ²	16 Fisuras en bloque	m ²
7 Fisuras de borde	m	17 cruce de rieles	m ²
8 fisuras de reflexion de junta	m	18 Hinchamiento	m ²
9 Desnivel carril berma	m	19 Disgregacion	m ²
10 Fisuras long y transversales	m		
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD	TOTAL

Fuente Elaboracion propia.

La evaluación de pavimentos, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento; donde cada falla es registrada de acuerdo a la degradación que presente.

Severidad: Representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección.

De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:

Bajo, (B): 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 (Sivila Montes ,2017)

2.4.14.1 División del pavimento en unidades de muestra.

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

Cuadro 2.4: Longitudes de unidades de muestreo

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

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

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud para el cálculo (Sivila Montes ,2017)

2.4.14.2 Muestreo y unidades de muestra

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

1. Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
2. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
4. 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 de 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.

5. 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.

5.1. 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

5.2. 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 Ec. 1 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 secciones a muestrear

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

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

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

2.4.14.3 Selección de las unidades de muestreo para inspección

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

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

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

Dónde:

N=Número total de unidades de muestreo disponible.

N=Número mínimo de unidades para evaluar.

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

b) El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i . Así, si $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3.

Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc. Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc. (Sivila Montes, 2017)

2.4.15 Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños del Manual de Daños, para obtener un valor del PCI confiable. La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

2.4.15.1 Equipo

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

2.4.15.2 Procedimiento

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

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

2.4.15.3 Seguridad

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

2.4.16 Metodología para el cálculo del PCI

Luego de culminar la inspección de campo, la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo del PCI está basado en los “valores deducidos” de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas. El cálculo del PCI debe realizarse con la información obtenida en la inspección de campo. El cálculo puede realizarse de manera manual o computarizada.

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

1.a. Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlo en la columna TOTAL, del formato inventario de danos. El daño puede medirse en área, longitud o por numero según el tipo de falla.

1.b. Dividir la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo, y exprese el resultado como porcentaje, esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado dentro de la unidad de estudio.

1. c. Determinar el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante el uso de las curvas denominadas “Valor deducido del daño”.

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

2. a. Si ninguno o tan solo uno de los “Valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor deducido total” en lugar del mayor “Valor deducido corregido”, CDV, obtenido en la etapa 3. De lo contrario deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.

2. b. Listar los valores deducidos individuales de mayor a menor.

2.c. Determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m), utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

m_i = Número máximo admisible de “valores deducidos”.

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

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

Paso 3. 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 a 3.c. hasta que q sea igual a 1.

3.e. El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso.

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

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

Donde:

PCI = Índice de condición presente

CDV_{máx} = Máximo valor corregido deducido.

2.4.16.1 Metodología para el 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:

$$PCI_s = \frac{((N - A) * PCIR + A * PCI}{N}$$

Donde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

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

PCIA = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N = Número de unidades de muestreo en la sección.

A = Número de unidades de muestreo adicionales.

2.4.17 Criterios a considerar en la inspección de fallas

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

- 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, ésta 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) (Sivila Montes ,2017)

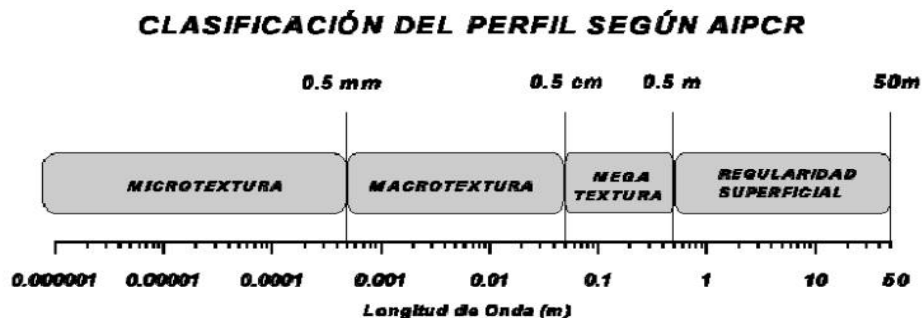
2.4.18 Textura

La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión.

Se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera” (Achutegui et al, 1996). Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar.

Según la AIPCR (1995) la textura superficial se clasifica en Megatextura, Macrotextura y Microtextura, que dependen de la longitud de onda.

Cuadro 2.5: Clasificación de textura superficial según AIPCR



Textura	Longitud de onda
Mega textura	50 - 500 mm
Macrotextura	0,5 - 50 mm
Microtextura	0,0 - 0,5 mm

Fuente: AIPCR 1995

La textura de los pavimentos es una de las características del pavimento que permite su identificación. Es una cualidad otorgada por el proyectista al decidir el tipo de capa de rodadura a construir, aunque en muchas ocasiones el proyecto no llega a realizar una especificación directa del valor de textura a conseguir.

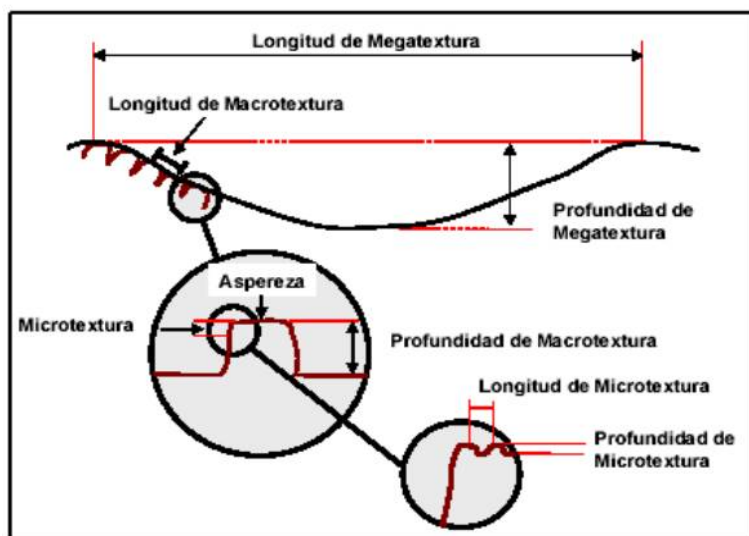
Es un parámetro crítico en el bienestar y seguridad de los usuarios importante para la conservación de carreteras.

La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático - pavimento evitando el fenómeno de hidroplaneo y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico.

En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste.

La longitud de onda de textura se define como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal del pavimento.

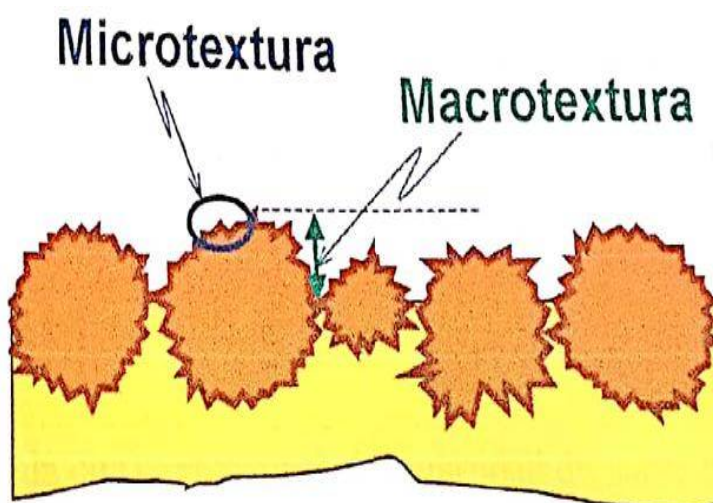
Figura 2.27: Tipos de textura de un pavimento (AIPCR,1995)



Fuente: AIPCR, (1995)

A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la macrotextura y la microtextura.

Figura 2.28: Definición de macrotextura y microtextura



Fuente: <http://es.slideshare.net>

La microtextura influye en la fricción y la macrotextura en la capacidad de evacuar el agua, lo que a su vez ayuda a mejorar la fricción (Barraza Elespuru,2004)

a) Megatextura

Es la que corresponde a la mayor longitud de onda. Se encuentra más cercana a la rugosidad. Los baches son un ejemplo de megatextura elevada. Como se dijo anteriormente, no se tiene en cuenta como variable de seguridad de adherencia en los pavimentos. (Barraza Elespuru,2004)

b) Macrotextura

La macrotextura es la textura superficial del propio pavimento. Son el conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Esta es importante ya que permite evacuar el agua de la superficie, de tal manera que ésta se pueda quedar en las depresiones. Es así como existirá mayor contacto entre el neumático y el pavimento. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una macrotextura gruesa (Barraza Elespuru,2004)

c) Microtextura

Es la textura superficial de los agregados pétreos. Una forma indirecta de medir la microtextura es mediante el coeficiente de fricción. La microtextura siempre es necesaria, hasta en una carretera seca. Es por este motivo que está directamente asociada con la resistencia al deslizamiento. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una microtextura áspera. Es importante considerar a la textura superficial al término de la construcción de la vía, ya que es sabido que la adherencia va disminuyendo conforme pasa el tiempo debido a que ocurre un pulimento de los agregados causado por el paso del tránsito (Barraza Elespuru,2004)

d) Limitantes en la macrotextura y la microtextura

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura, mejor será la capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, sin embargo, esta elevada capacidad de drenaje hace que exista un mayor nivel de ruido. También, cuanto mayor sea el valor de la microtextura habrá mejor adherencia entre el neumático y el pavimento; sin embargo, esto produce un mayor desgaste de los neumáticos. Es importante entonces, encontrar un punto en que ambas se compensen. Por otro lado, como se ha podido apreciar, la textura

superficial de un pavimento está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción (Barraza Elespuru, 2004)

e) Resistencia al deslizamiento y fricción

La resistencia al deslizamiento y la fricción se definen como la fuerza que se da en la superficie del pavimento cuando los neumáticos dejan de rotar. Sin embargo, la diferencia entre ellas es que la resistencia al deslizamiento no considera la demanda de fricción producto de las aceleraciones a las que se ve sometido el automóvil.

- La resistencia al deslizamiento

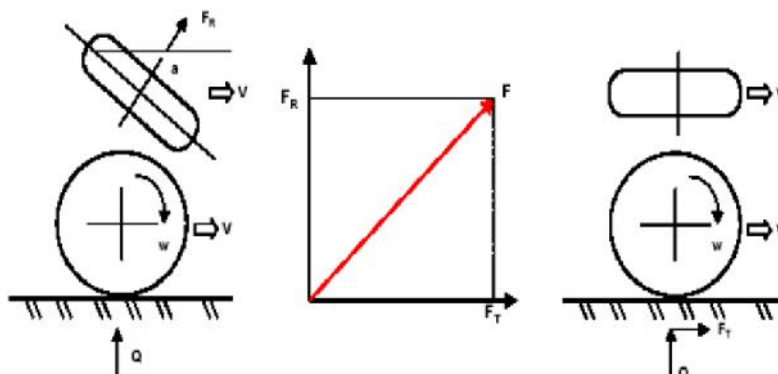
involucra dos cuerpos dentro de un medio. Pero para que los dos cuerpos interactúen entre sí es necesario considerar a la velocidad de circulación, la cual determinará los siguientes casos.

- Los neumáticos del automóvil rotan y se trasladan.
- Los neumáticos del automóvil rotan.
- Los neumáticos del automóvil se trasladan (deslizan).

- Fricción

En realidad, la fricción es una “extensión” de la resistencia al deslizamiento, ya que, como se dijo anteriormente considera también el efecto de las aceleraciones tangenciales y longitudinales. La fricción se evalúa mediante los siguientes coeficientes:

Figura 2.29: Diagrama vectorial de fuerza de fricción (Adpt. OCDE, 1984)



Fuente: Adpt. OCDE, 1984

- Coeficiente de fricción longitudinal (CFL):

Ocurre ante una frenada de emergencia.

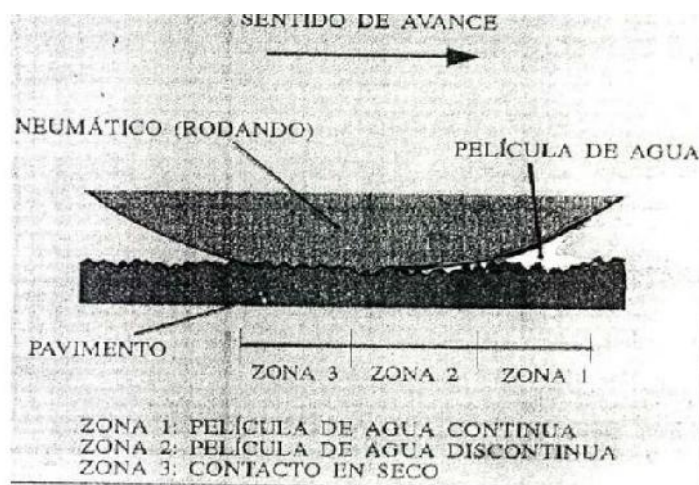
- Coeficiente de fricción transversal (CFT):

Ocurre en la salida de un vehículo desde el camino en una curva (Barraza Elespuru, 2004)

2.4.19 Presencia de agua en el Pavimento

Cuando el pavimento se encuentra seco, la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento es mucho mayor que cuando una superficie tiene presencia de agua. Las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado es la siguiente:

Figura 2.30: Contacto entre el neumático y el pavimento mojado



Fuente: UPC (Perú)

Como se aprecia en la figura la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento se divide en tres zonas:

Zona 1: El agua es evacuada progresivamente por los dibujos de la goma y por la macrotextura del pavimento, la fricción es prácticamente nula.

Zona 2: Es esta parte queda una cantidad de agua a evacuar y el neumático empieza a tener contacto con las irregularidades del pavimento.

Zona 3: El neumático está en contacto seco, la adherencia está desarrollada en esta verdadera zona de contacto.

Al aumentar el espesor de la película de agua, la zona 3 se vería disminuida, aumenta la zona 1 y por tanto se reduce la adherencia.

Para que el agua se pueda eliminar con una mayor rapidez que la que podría evacuar el dibujo del neumático se requiere de una macrotextura gruesa.

En la zona 3 y parte de la zona 2 se requiere de una microtextura áspera de tal manera que logre atravesar la película delgada de agua y produzca puntos secos de contacto.

El hidropneumático es conocido como la pérdida de control de un conductor debido al espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada debido a que los neumáticos pierden contacto con la superficie del pavimento. Esto se debe principalmente a la presencia de texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el pavimento. El hidropneumático es una de las características que más pueden afectar a los usuarios, ésta depende principalmente de:

- La velocidad y el peso del vehículo,
- Las características y estado de los neumáticos,
- La macrotextura del pavimento y de espesor del agua sobre el pavimento.

2.4.20 Presencia de contaminantes

La presencia de mucho polvo o tierra hará que la porosidad que presenta el pavimento se termine, por lo que la adherencia entre el neumático y el pavimento se verá disminuida. Por otro lado, si hubiera presencia de caucho sobre el pavimento hará que se pierda adherencia también. (Barraza Elespuru, 2004)

2.4.21 Tránsito

2.4.21.1 Velocidad del vehículo

A medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a una disminución del rozamiento debido a que disminuye el área de contacto entre el neumático y el pavimento.

Si observamos la figura mostrada en el subcapítulo 1.1.5, se observa también que al aumentar la velocidad, disminuirá la zona 3 y aumentará la zona 1, por lo que se reducirá la adherencia. (Barraza Elespuru,2004)

2.4.21.2 Clasificación de la vía y peso del vehículo

Esto está relacionado con la categoría de la vía. El tipo y volumen de tráfico que circule por la vía influirá en el desgaste del pavimento. Mientras mayor sea la carga, mayor será el desgaste del pavimento y por ende, las características adecuadas para una textura superficial correcta, disminuirán.

2.4.21.3 Neumáticos

Los neumáticos de un automóvil, y el aire que los llena constituyen el único contacto con el pavimento. Dado que el tipo de neumático es un aspecto asociado a la tecnología del automóvil, en el presente trabajo sólo se mencionarán sus características principales y algunos tipos de neumáticos especialmente diseñados para evacuar el agua y resistir el deslizamiento.

-Presión de Inflado

La presión de inflado de los neumáticos depende de las especificaciones dadas en cada automóvil. En el Perú son muy pocos los usuarios que utilizan correctamente la presión de inflado y siempre tienden a inflar más la llanta de lo especificado. Este es un problema muy grave ya que la fricción entre la superficie del neumático y la superficie del pavimento disminuirá si el neumático posee una gran presión de inflado debido a que habrá menor área de contacto.

Por este motivo, para que haya una adecuada adherencia neumático – pavimento, es de vital importancia que las autoridades creen conciencia de ello y regulen el tema.

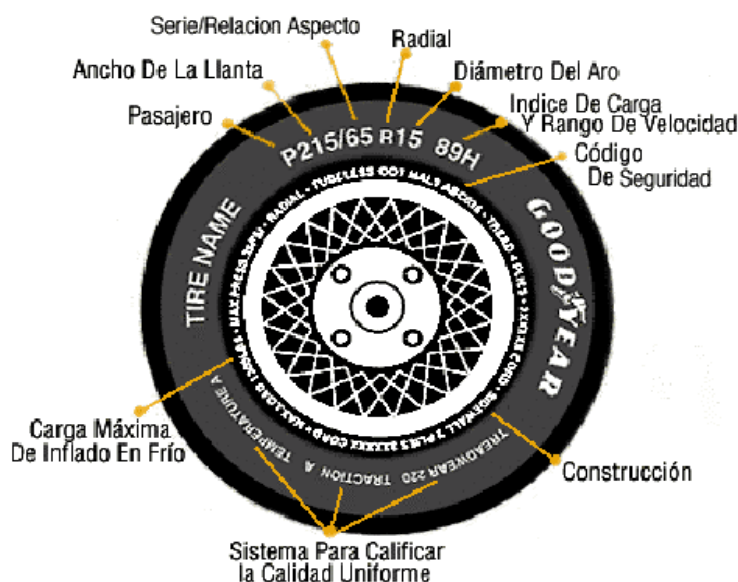
-Tipo de neumático

Los neumáticos lisos tendrán menor adherencia con el pavimento que los neumáticos con dibujos ya que los neumáticos con dibujos hacen que el agua evacue más rápido sobre la superficie de contacto.

El tipo de neumático es importante ya que son los encargados de asegurar la adherencia y la amortización de las imperfecciones del pavimento, siendo fundamentales para la seguridad.

Todos los neumáticos vienen con unas inscripciones grabadas. Estas definen gran parte de sus características, las cuales generalmente son:

Figura 2.31: Inscripciones y características de los tipos de neumáticos



Fuente: UPC (Perú)

P: Pasajero (automóvil de turismo). Si aparece LT se trata de un vehículo de carga ligero (light truck).

215: Ancho del neumático (mm). Se mide con la presión máxima de inflado y sin carga alguna.

65: Neumático radial. Si aparece B significa que está construido con capas circulares. Si aparece D está construido en forma diagonal.

15: Diámetro de la llanta (pulg.)

Para darnos una idea de cómo deben ser los dibujos adecuados para una buena adherencia de los neumáticos con el pavimento (Barraza Elespuru,2004)

2.4.22 Clima

-Variación de la temperatura

Con respecto a los neumáticos, como el caucho es un material visco – elástico, esta elasticidad es fuertemente afectada por la temperatura, por lo que la fricción entre los neumáticos y el pavimento estará influenciada por ella.

Por otro lado, estudios realizados han determinado que existe muy poca influencia de la temperatura y la fricción del propio pavimento. No obstante, los equipos que miden este parámetro cuentan con un factor de corrección por temperatura, para lo cual es aconsejable usar siempre un factor de 1. (Barraza Elespuru,2004)

2.4.23 Ensayos para evaluar la microtextura y macrotextura de un pavimento

Existe una gran variedad de ensayos que pueden ser utilizados para evaluar la adherencia entre el neumático y el pavimento. El inconveniente que tienen estos ensayos es que cada uno de ellos tiene un resultado independientemente del otro.

En este sentido, la AIPCR publicó el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Este estudio consiste en obtener un indicador internacional llamado Índice de Fricción Internacional (IFI), de tal manera que las mediciones se puedan realizar con cualquiera de los equipos que se utilizan en todo el mundo y puedan compararse sus características con cualquier pavimento de cualquier lugar del mundo. (Barraza Elespuru,2004)

2.4.24 Método de índice de fricción internacional (IFI)

El IFI o Índice de Fricción Internacional, que nace a mediados de la década de los noventas, significa que el pavimento con un IFI determinado, esté donde esté, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado para obtenerlo.

Se da una visión panorámica sobre los equipos de medida de la adherencia existentes, basados en diferentes principios, con el fin de mejorar la comparación entre las medidas de unos y otros. Se hace un breve recordatorio de algunos factores que influyen en la resistencia al deslizamiento como son la macro textura y la micro textura.

La evaluación de la capacidad de resistencia al deslizamiento se puede realizar midiendo directamente el coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento o bien analizando la macro textura o capacidad de drenaje superficial del firme.

Los equipos de medida de la adherencia en general se clasifican en función del modo de desplazamiento y de su velocidad según el tipo de estudio que se realice. Atendiendo a su función y método de medida se distingue entre equipos de medida de fricción de la textura y de función múltiple. Se incluye un cuadro en el que figuran 23 equipos distintos de medida de textura y otro cuadro con 29 equipos de medida de fricción.

Se indica que el Experimento Internacional AIPCR ha establecido un método operativo para armonizar los resultados obtenidos con todo tipo de equipos, elaborando una escala universal de fricción denominada IFI (Índice de Fricción Internacional).

La materialización de representar en un solo índice las características relacionadas con la seguridad vial en condiciones de frenado se ha conseguido realizando el experimento internacional (Experimento Internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento).

Publicación AIPCR- 01-04. (T-1995) las conclusiones de experimento han probado la necesidad de probar este índice, el IFI por dos procedentes de dos medidas, una de fricción y otra de macrotextura.

La explicación del IFI, tal y como se deduce del informe del experimento es la siguiente:

El índice de fricción internacional es una escala de referencia basada en el modelo de AIPCR (que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento), modelo que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad (S_p) y la de fricción a 60 Km/h de un pavimento. el par de valores (F_{60} y S_p) expresan el IFI de un pavimento y permiten calcular el valor de fricción, $F(S)$, a cualquier velocidad de deslizamiento S mediante la ecuación siguiente:

$$F(S) = F_{60} \times e^{\left(\frac{S-60}{S_p}\right)}$$

Para obtener el IFI se precisa en primer lugar realizar (con cualquier equipo técnica, homologada u homologable a partir de los criterios establecidos (Cruz Aleman, 2016)

2.4.25 Ensayos para evaluar la Macrotextura del Pavimento

Hoy en día existen diferentes tipos de ensayos para evaluar la macrotextura de un pavimento. Estos ensayos varían mucho, tanto en la rapidez del trabajo, tipo de medida y costo del equipo. Estos ensayos se dividen en tres tipos de medida que son:

- Perfilómetros.
- Drenómetros.
- Métodos volumétricos.

nosotros haremos mayor énfasis en el método volumétrico.

2.4.25.1 Método Volumétrico

Este método mide la profundidad media de textura (MTD) y se mide con el método del Círculo de la Arena:

2.4.25.2 Macrotextura: Círculo de Arena (I.N.V.E- 791)

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena. En general, el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado. A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena, valor que se puede utilizar como medida de la textura superficial del pavimento. (I.N.V, E-791, 2007).

Figura 2.32: Ensayo círculo de la arena



Fuente: Elaboración propia.

2.4.25.3 Material para el ensayo

- Se debe contar con arena normalizada obtenidas mediante la preparación de estas en laboratorio, debido a que deben ser limpias de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.
- Tubo cilíndrico graduado para medir el volumen de arena a utilizar.
- Un tapón, para extender la arena formado por un disco de madera con mango y provisto de un disco de goma dura en su cara inferior.
- Una regla graduada, para medir el diámetro resultante.

2.4.25.4 Procedimiento

- Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, debe encontrarse seca y limpia, de forma que la arena se pueda esparcir libremente sobre la superficie y la medida represente el estado real del pavimento.
- Con la cara aplana de la goma del tampón se extiende con movimientos circulares hasta conseguir una superficie enrasas aproximadamente circular y asegurándose de que la arena ocupe todos los vacíos generados por las depresiones.
- Se mide el diámetro del círculo de la arena con una regla.

- Se debe proteger del viento al momento en que se esté desarrollando el ensayo, previamente se debe realizar una inspección visual a modo de determinar los sectores homogéneos en los q se realiza el ensayo.
- Para realizar este ensayo se eligen las zonas a ensayar, las cuales se marcarán convenientemente en la calzada. En cada ensayo se realizará un mínimo de cinco determinaciones, alineadas en la dirección del eje de la vía.

A pesar que este ensayo es el más utilizado presenta una serie de inconvenientes:

- a) Funciona en tramos específicos, y no a nivel de red.
- b) Se debe cortar el tránsito en una carretera abierta.
- c) Es difícil garantizar la homogeneidad de la arena o de las esferas de vidrio por lo que se puede producir errores.

2.4.26 Ensayos para evaluar el Coeficiente de Fricción la microtextura del pavimento

Existen diferentes tipos de ensayo que evalúan la resistencia al deslizamiento.

Entre estos están: SCRIM, Mu Meter, Griptester y el Péndulo TRRL. Debido a la importante influencia del agua en esta propiedad es que estos métodos han optado por normalizar los ensayos en condiciones de pavimento mojado.

Nosotros haremos mayor énfasis al ensayo del péndulo TRRL

2.4.26.1 Microtextura: Péndulo de Fricción TRRL

Resistencia al Deslizamiento Mediante el Péndulo TRRL (INV E0792) Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) utilizando el péndulo de Transport and Road Research Laboratory (British Pendulum Skid Resistance Tester).

Este método consiste en el uso de un equipo de ensayo tipo péndulo (ver figura 4), provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo.

El Péndulo de Fricción TRRL se utiliza para medidas puntuales, es decir, no mide de forma continua. Esto trae como consecuencia que se tenga que obstaculizar el tránsito para su medida. Este equipo mide el coeficiente de fricción para velocidades menores a 50 km/h. Se usa tanto para medir el CFL como el CFT, dependiendo de la ubicación del equipo.

Figura 2.33: Equipo de medición, péndulo de fricción



Fuente: Elaboración propia.

2.4.26.2 Material

- Péndulo británico. Equipo para la realización del ensayo.
- Regla graduada. una regla graduada, cuyas marcas estén separadas 127mm siendo la separación entre una marca exterior y la inferior más próxima de 2.5 mm .
- Termómetro. En grados centígrados para medir la temperatura del pavimento.
- Recipiente para agua de material plástico conteniendo agua potable o agua destilada.
- Cepillo de cerdas para la superficie a medir.
- Cinta métrica para situar los puntos de medida .

2.4.26.3 Procedimiento

- La superficie de ensayo debe estar limpia y completamente mojada antes de efectuar el ensayo. Antes de realizar la prueba, la zapata del péndulo se debe fijar de tal manera que apenas se establezca contacto con la superficie que se va a ensayar.
- Se debe registrar la temperatura en cada punto de ensayo. las condiciones de temperatura deben encontrarse en un rango de 5 a 40 °C
- El péndulo se levanta a su posición inicial y se asegura allí, luego se suelta permitiendo el contacto entre la zapata y la superficie de ensayo, determinada por un espaciador, se asegura la cabeza del péndulo, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador
- Se utiliza sobre una superficie húmeda, dejando desplazarse un péndulo, que tiene debajo una zapata. Este recorre una distancia normalizada en la superficie a medir, hasta el reposo. Esta pérdida de energía por la fricción que tiene el pavimento se registra en una escala graduada que tiene incorporado.
- 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.

2.4.27 Metodología de cálculo

2.4.27.1 Determinación del IFI

El Índice IFI se expresa, como se indicó, en base a un par de valores: uno asociado con la fricción correspondiente a 60 km/hora (F60) y el otro asociado con la macrotextura (Sp), relacionada con la velocidad de deslizamiento del

vehículo sobre el pavimento. Dichos valores son expresados entre paréntesis y separados por una coma:

(F60, Sp)

Como se indicó el parámetro F60 es un número adimensional; un valor de fricción F60 igual a “0” indica deslizamiento total mientras que un valor F60 igual a “1” expresa adherencia total. Por su parte Sp es un número positivo, sin rango de valores limitados y

expresado en unidades de velocidad (Km/hora). A continuación, se detalla el procedimiento para su cálculo:

- **Cálculo del valor Tx**

El valor de la macrotextura (Tx) se determina con la Sgte. ecuación:

$$HS \text{ o } TX = \frac{4 * V}{u * Dp^2}$$

Donde:

HS o TX = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie

V= volumen de la muestra (mm³)

Dp= Diámetro promedio del área cubierta (mm)

- **Cálculo de la Determinación de la constante de velocidad (Sp).**

En base a la medición de la macrotextura (Tx) a través por ejemplo del Ensayo Parche de Arena o el perfilómetro laser, se aplica la siguiente ecuación:

$$Sp = a + b (Tx)$$

Donde:

Tx: macrotextura

a y b: constantes determinadas en el experimento internacional para cada uno de los equipos y ensayos considerados.

Cuadro 2.6: Valores para constante a y b

Equipo			a	b
Codigo	Denominación	País		
A8	Parche de arena (ASTM E-965)	USA	-11,60	113,63

D2	SCRIM	España	-34,97	142,65
D5	SCRIM	Gran Bretaña	25,63	139,68

Fuente: bruck. M Curso sobre evaluacion d epavimentos universidad nacional de la plata Maestria en ingenieria vial . ciudad de la plata , Argentina (2003)

- **Cálculo de la constante FR60 utilizando la expresión:**

$$\mathbf{FR60 = FRS \times e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)}}$$

Donde:

FR60: Fricción a 60 Km/hora

FRS: medida de fricción realizada a cualquier velocidad obtenida en el campo

S: constante de velocidad la cual corresponde a la velocidad del equipo utilizado para la medición de la fricción, por ejemplo: el Péndulo Británico (10Km)

Sp: velocidad de referencia

- **Cálculo del valor F60**

Este valor se obtiene mediante la siguiente formula:

$$\mathbf{F60=A+B*FR60}$$

Donde:

“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:

$$\mathbf{F(S) = F60 \times e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)}}$$

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

Para así poder dar una calificación en función a los valores de condición en función de las siguientes

Cuadro 2.7: Valores de fricción con péndulo británico

Fricción	Calificación
< 0.5	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 neumáticos)

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

Cuadro 2.8: Textura en pavimento para círculo de arena

Textura	Círculo de arena HS(mm)
Muy fina	HS < 0,2
Fina	0,2 < HS < 0,4
Media	0,4 < HS < 0,8
Gruesa	0,8 < HS < 1,2
Muy gruesa	> 1,2

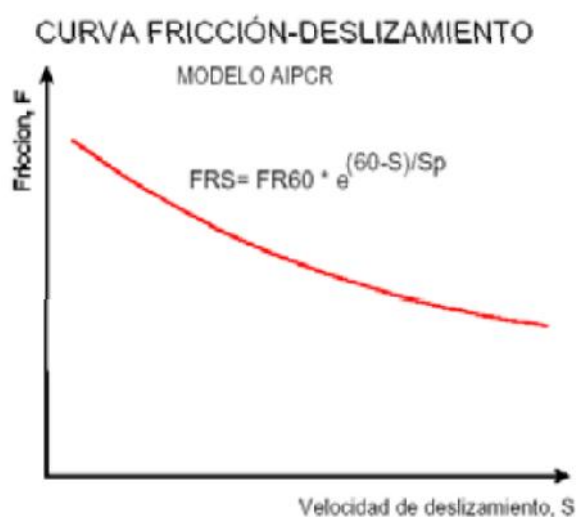
Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

2.4.27.2 Cálculo del Índice de Fricción Internacional Propuesto

Como se mencionó anteriormente, el IFI relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo. Para esto se estima una constante de referencia de velocidad (S_p) y la fricción a una velocidad de 60 Km/h donde finalmente se obtiene una curva fricción – velocidad de deslizamiento. El grado de fricción de un pavimento es función de su velocidad.

En la figura que se muestra a continuación se representa en forma genérica la curva del modelo:

Figura 2.34: Curva fricción-deslizamiento para el IFI



Fuente: UPCA(Perú)

Suponiendo que se evaluara este mismo pavimento con diferentes equipos se obtendrían curvas más alejadas o más próximas a esta. Por tal motivo, para poder comparar uno o varios pavimentos la evaluación está restringida a un único equipo de medición (Barraza Elespuru, 2004)

2.5 MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural de un pavimento consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – sub rasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para cuantificar y establecer las necesidades de refuerzo.

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

2.5.1. Evaluación estructural deflectométrica

Las medidas deflectométricas se han usado desde hace mucho tiempo para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, in situ.

Este método usa la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento. Estas deflexiones reflejan una respuesta global del sistema pavimento – sub rasante bajo una carga dada y nos proporcionan de información.

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

Al realizar los ensayos en el mismo pavimento, esta metodología nos muestra el fiel reflejo de la compleja interacción entre sus componentes (capas estructurales y sub rasante) y estos ensayos pueden ser realizados en cualquier momento de su vida, sin destruirla; siendo esta una de las características de la evaluación por métodos no destructivos (Sivila Montes,2017)

2.5.2 Viga de Benkelman

Es un instrumento de ensayo que sirve para realizar ensayos con la aplicación de esta nos indica las deflexiones en carreteras, vías, etc. El cual está compuesta de una parte fija y una parte móvil; la parte fija o estructura portante esta soportada por tres apoyos que descansan en la superficie del pavimento; la parte móvil, constituida por el brazo de medida está conectada a la estructura portante por medio de un pivote de giro y uno de sus extremos (punta) hace contacto con la superficie del pavimento, en el punto donde se

requiere medir la deflexión. El otro extremo está en contacto con un deformímetro montado en la estructura portante.

El pivote divide el brazo de medida en dos sectores entre los cuales existe una relación llamada “Constante de la Viga”. Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona. El Ensayo de la Viga de Benkelman, se encuentra normado por la ASTM D-4959-03 (Sivila Montes,2017).

2.5.3 Factores que influyen en las deflexiones

2.5.3.1 Cargas

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

2.5.3.2 Clima

La temperatura y la humedad son dos factores climáticos que afectan la deflexión del pavimento. En los pavimentos de asfalto las altas temperaturas producen que la carpeta de asfalto se ablande y se incremente la deflexión. En los pavimentos de concreto la gradiente térmica influye en la forma de cambio global significativamente en las deflexiones cerca de las juntas y fallas. Las medidas tienen variación si son medidas en la noche, temprano en la mañana o en la tarde (Sivila Montes,2017)

2.5.3.3 Condición del pavimento

La condición del pavimento tiene un significativo efecto en las medidas de las deflexiones. En pavimentos de asfalto las deflexiones obtenidas en áreas con fallas y ahuellamientos son normalmente más altas que aquellos libres de esfuerzos. Para pavimentos de concreto las fallas en las juntas incrementan las mediciones de deflexiones. Las deflexiones tomadas cerca o encima de una alcantarilla pueden ser mucho más altas,

y las secciones de los pavimentos en corte o en relleno pueden mostrar significativamente diferentes deflexiones. Estas condiciones deben ser consideradas cuidadosamente cuando se selecciona el lugar de evaluación (Sivila Montes,2017)

2.5.4 Equipo y metodología para la medición de deflexiones

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

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

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

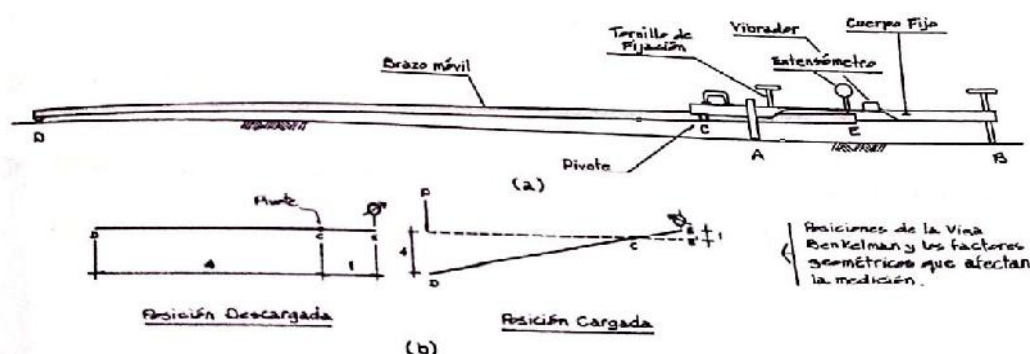
El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar

subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta.

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

Figura 2.35: Esquema y principio de operación de la viga benkelman

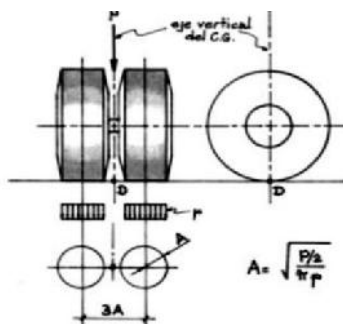


Fuente: Medición de deflexiones de Viga de Benkelman ASTM D4596-03

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

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

Figura 2.36: Configuración geométrica del Sistema de carga



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

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

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable. También es necesario registrar una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (Aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero (Sivila Montes,2017)

2.5.4.1 Equipo requerido

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

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

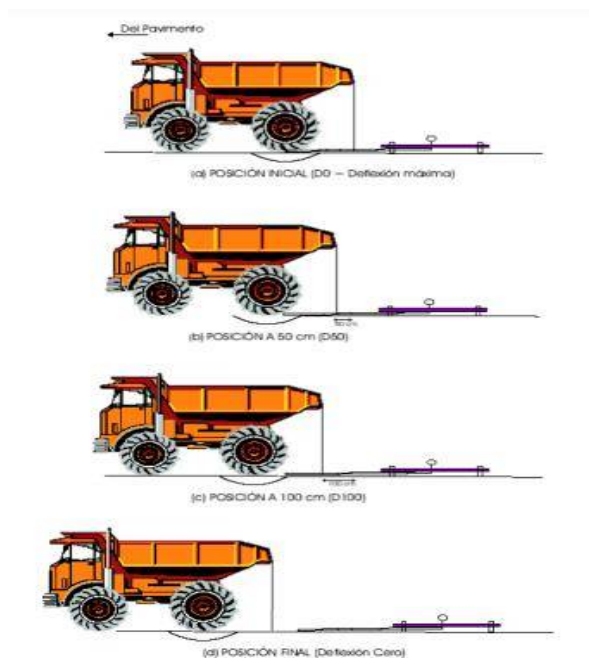
2.5.4.2 Procedimiento de la medición

- Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8.2 Ton (18000 Lb) puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.
- Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.
- Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.
- Centrado del extremo delantero de la Viga de Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas (Ver figura 2.15)

- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el “0” con la proyección vertical del eje de la rueda trasera
- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, la velocidad recomendada es de 1cm/seg
- Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0.25m. y cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (>5 m).
- Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.
- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo

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

Figura 2.37: Esquema de aplicación de la viga de Benkelman



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

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas. Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias de 50 metros, o a criterio del proyectista; de tal manera que los registros sean representativos de las condiciones generales del pavimento (Sivila Montes,2017)

2.5.4.3 Metodología de cálculo

- Cálculo de la deflexión máxima

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

Donde:

D_o = Deflexión máxima

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

L_o = Lectura inicial

L_f = Lectura final

- Deflexión media a la distancia

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

Donde:

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

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

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

L_f = Lectura final

- Corrección por temperatura

El asfalto tiene un comportamiento visco – elástico, por tanto, las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura, por lo tanto, deben estar corregidas en función

a la temperatura media de la capa de rodadura durante la ejecución del ensayo que varía a lo largo del día. Para las mediciones a una temperatura standard de 20 °C se emplea la siguiente ecuación:

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

Donde:

D20 = Deflexión a la temperatura standard 20°C

Dt = Deflexión a la temperatura t

k = Coeficiente de temperatura (1*10⁻³°C/cm) t = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e = Espesor de la carpeta asfáltica cm)

- Corrección por estacionalidad

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

Cuadro 2.9: Coeficientes de estacionalidad

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

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras. Alfonso Montejo Fonseca

- Cálculo del Radio de curvatura

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

$$Rc = \frac{6250}{K * (Do - D_{25})}$$

Donde:

Rc= Radio de curvatura (m)

Do= Deflexión máxima corregida

D25= Deflexión a 0.25 m corregida

e= Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

- Deflexión admisible

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

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

Donde:

σ_{adm} = Deflexión admisible (mm)

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

$$Do < D_{adm}$$

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

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

$$R_c > 100m$$

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

$$100 < R_c < 500$$

2.6 REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE

El mantenimiento vial está constituido por el conjunto de trabajos viales y ambientales que se realizan oportunamente para conservar en buen estado las condiciones físicas de la estructura de una vía y evitar su deterioro físico prematuro, garantizando la seguridad de los usuarios de la vía.

2.6.1. Clasificación de actividades de mantenimiento vial

La clasificación de las actividades de conservación vial puede realizarse en función de la magnitud y frecuencia con que se realizan dichas actividades.

- En función de la magnitud de los trabajos necesarios, las actividades de mantenimiento pueden ser preventivos y correctivos, estos trabajos desde una intervención simple hasta una intervención más complicada y por ende más costosa.
- En función de la frecuencia con que se repiten, las actividades pueden ser rutinarias y periódicas.

En base a estas consideraciones, las actividades de mantenimiento se definen de la siguiente manera:

2.6.1.1. Mantenimiento rutinario

Es el conjunto de actividades que se ejecutan de forma permanente a lo largo de la vía y que se realizan diariamente en los diferentes tramos de la vía. tiene como finalidad

principal la preservación de todos los elementos del camino, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o la rehabilitación (Peña Miranda, 1996).

Dentro de este tipo de mantenimiento se considera las siguientes actividades (Jugo B, 2005)

- Limpieza del sistema y obras de drenaje
- Corte de la vegetación cercana a la vía
- Reparaciones de los defectos puntuales de la plataforma

2.6.1.2. Mantenimiento periódico

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en períodos de más de un año y que tienen el propósito de conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores, evitando la aparición y/o agravamiento de daños mayores.

Dentro de este tipo de mantenimiento se considera las siguientes actividades (Jugo B, 2005)

- Reconformación de la plataforma existente
- Reparaciones de los diferentes elementos físicos del camino
- Mantener adecuadamente las señales
- Estabilización y protección de los taludes
- Sellado de grietas
- Bacheo de emergencia, superficial, de carpeta o profundo
- Sello asfáltico localizado
- Nivelación localizada
- Fresado y/o texturización localizada

2.6.1.3. Mantenimiento Preventivo.

El mantenimiento preventivo consiste en realizar el mantenimiento rutinario, con la finalidad de evitar que se produzca su deterioro prematuro y cuando se hayan cambiado sus condiciones de bueno a un estado regular, efectuar el mantenimiento periódico, en forma cíclica, con operaciones oportunas para recuperar las condiciones viales iniciales, que fueron afectadas por el uso (Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú, 2006)

El mantenimiento preventivo incluye aquellas acciones menores tanto programadas como de emergencia.

2.6.1.4. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades programadas y ejecutadas para el mejoramiento sustancial del pavimento, orientadas a corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas, incluye actividades que se aplican a toda el área de un tramo que pueden estar precedidas por acciones preparatorias de mantenimiento preventivo (Jugo B, 2005).

El mantenimiento correctivo es recomendable aplicar antes que la condición del pavimento alcance un estado crítico, (condición regular-baja) dentro de la zona “óptima” de rehabilitación. Se debe procurar no llegar a un nivel de servicio de una vía por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional (condición mala) (Jugo B, 2005).

Dentro de este tipo de mantenimiento se considera las siguientes actividades:

- Tratamientos superficiales
- Capas asfálticas
- Remoción por fresado
- Reciclado en frío o en caliente

2.6.1.5. Mantenimiento de emergencia

El mantenimiento de emergencia consiste en las actividades e intervenciones aplicadas en forma urgente que se realizan como consecuencia de situaciones de fuerza mayor, como desastres naturales, con el propósito de mantener habilitada la vía (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones Paraguay, 2011).

2.6.2. Rehabilitación de pavimentos

La rehabilitación de pavimentos flexibles implica acciones que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento, recuperando las condiciones iniciales de la vía, a fin de que cuente con la capacidad estructural adecuada para resistir el tránsito por acumularse, sin que existan modificaciones geométricas en la sección transversal. Entre las acciones de rehabilitación están:

- Modificación de materiales
- Estabilización de la calzada
- Transformación en concreto compactado

- Reconstrucción

2.6.3. Relación entre el PCI, el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

En el proceso de conservación vial de pavimentos flexibles existen distintos niveles de intervención que depende de la condición del pavimento ya que, pasado un grado de deterioro del pavimento, actividades de mantenimiento no es suficiente y se requieren de obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento. En el cuadro 2.10 se muestra la categoría de intervención para cada rango de PCI de un pavimento flexible, recomendado por el manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles (Jugo B, 2005).

Cuadro 2.10: Correlación de categoría de acción con un rango de PCI (Jugo B, 2005)

categoria de acción	rango	clasificación	simbología
Mantenimiento preventivo	100-85	Excelente	
Mantenimiento preventivo rutinario y/o Periódico	85-70	Muy bueno	
	70-55	Bueno	
Mantenimiento correctivo	55-40	Regular	
Rehabilitación-Refuerzo Estructural	40-25	Malo	
Rehabilitación-Reconstrucción	25-10	Muy malo	
	10-0	Fallado	

Fuente: Jugo B, 2005.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Figura 3.2: Imagen satelital de la zona de estudio



Fuente: Google earth

El tramo en estudio se encuentra entre las coordenadas:

- **Latitud:** 21° 54' 12.44" S
- **Longitud:** 63° 38' 02.44" O
- **Altitud:** 624 m.s.n.m.

El tramo “Campo Pajoso- El Palmar” tiene una longitud de 5,200 Km, tiene inicio en la progresiva 0+000 en la comunidad de Pajoso, y concluye en la progresiva 5+200, en la comunidad de El Palmar.

3.3 ANTECEDENTES

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

El tramo Campo Pajoso – El Palmar forman parte del tramo Yacuiba –Villamontes, lo cual la fase de la construcción del tramo data del año 1990, que ha sido ejecutado por el entonces Servicio Nacional de Caminos (SNC), actualmente Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) El Proyecto está localizado en la región oriental de Bolivia, en la zona del Chaco Boliviano, sobre la ruta F-009 de la Red Vial Fundamental.

3.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

El tramo en estudio tiene una longitud de 5,200 km. aproximadamente y se desarrolla sobre una topografía predominantemente llana, con alturas que oscilan entre los 386 m.s.n.m. a los 670 m.s.n.m.; Por su morfología el Tramo Campo Pajoso - El Palmar presenta condiciones heterogéneas de clima, caracterizadas por microclimas definidos por sus precipitaciones pluviales, las cuales se dan entre los meses de noviembre a marzo, período en el que ocurren alrededor del 85% de lluvias. En el tramo la temperatura media anual se encuentra alrededor de los 23,4°C con una máxima media de 35,5 y una mínima de 16,2 °C.

3.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TRAMO

Cuadro 3.1: Parámetros de diseño

Descripción	Características
Longitudes (Km.)	46,70

Ancho u Hombro/Arcén (m)	1,00
Subidas más bajadas (m/Km.)	8,09
Número Medio de Subidas más Bajadas (No. /Km.)	6,80
Peralte (%)	2,50
Superficie de Rodadura	Carpeta asfáltica
Ancho de la calzada (m)	7,00
Número Efectivo de Carriles	2,00
curvatura Horizontal Media (grados/Km.)	10,30
Velocidad Límite (Km./h)	80,00
Medio Ambiente Altitud (m)	574,00

Fuente: EDTP (doble vía Villamontes –Yacuiba)

3.6 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO

Capa de rodadura

Según la información recabada en la Administradora Boliviana de Carreteras, la capa rodadura del tramo “Campo Pajoso–El Palmar” es un tratamiento superficial doble con recapado con un espesor de 5 cm sobre una base granular. El cual fue construido en dos etapas, Para corroborar el espesor de la capa de rodadura, se realizó un sondeo en la progresiva 0+500 y se pudo corroborar que el espesor de la misma es de 5 cm

Figura 3.3: Espesor de la capa de rodadura



Fuente: Elaboración propia.

Suelos y materiales

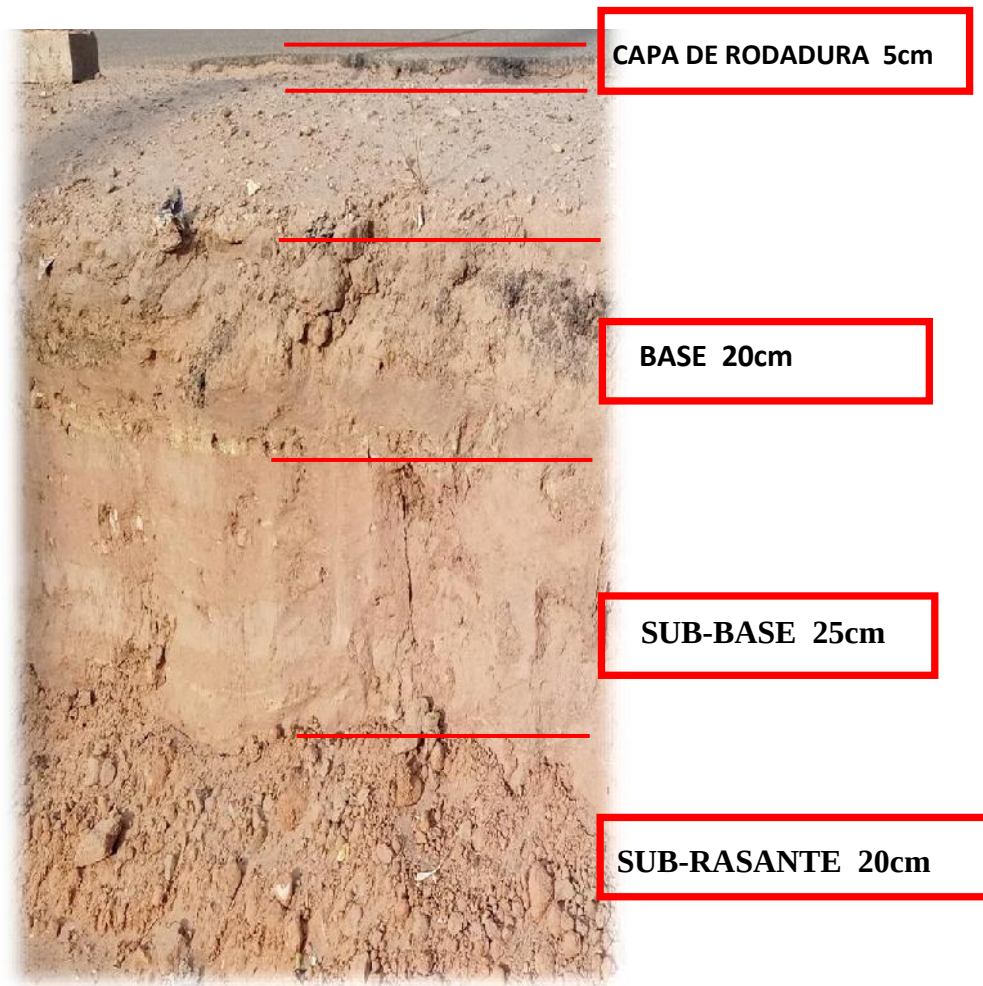
El presente proyecto de aplicación tomó como referencia el (EDTP) Estudio de Diseño Técnico de Pre-inversión del tramo Villamontes - Yacuiba La excavación de las calicatas, se realiza en forma manual con dimensiones de 1x1m hasta llegar a las diferentes capas del paquete estructural (base, subbase y subrasante), obteniendo así una clasificación del suelo de la vía existente.

BASE 0.20m	SUB BASE 0.25m	SUBRASANTE 0.20m	TERRAPLEN 0.20m
Descripción			
Grava pobremente gradada con limo y arena A-1-b Color Rojo amarillento	Arena limosa con grava Arena limosa con grava A-1-b Color Marrón fuerte	Arena limosa con grava A-2-4 Color Marrón fuerte	Arena arcillosa Color Marrón fuerte
humedad			
húmedo	húmedo	húmedo	
Consistencia			
densa	densa	Medianamente densa	
Tamaño máximo de la partícula			
5cm	10cm	15cm	
Índice de plasticidad			
NP	NP	NP	
Observaciones			
		Con material orgánico	

Cuadro 3.2: Estudios de suelos de los estratos*Fuente: EDTP Villamontes- Yacuiba*

Por tratarse de la aplicación de métodos “no destructivos”, se procedió a localizar una calicata en las secciones donde la carpeta asfáltica era totalmente inexistente, verificando visualmente las variaciones del estrato de suelo a lo largo del tramo. por lo que se considera aceptable la capacidad estructural remanente del paquete estructural de la vía.

Figura 3.4: Espesor del paquete estructural



Fuente: Elaboración propia.

3.7 EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRAMO

Para la evaluación superficial del tramo “Campo Pajoso – El Palmar” se evaluó por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), método IRI Y método IFI

3.7.1 Aplicación del método Rugosímetro de Merlín (IRI)

3.7.1.1 Procedimiento de medición del IRI

Una vez identificada la zona de estudio teniendo conocimiento de sus antecedentes se procede a recolectar toda la información visible, identificando las grietas, fallas y desgates que presentan en la capa de rodadura existente.

Para la determinación de la irregularidad del pavimento flexible del tramo se usó el equipo de Merlín , Una vez identificadas las partes del equipo de Merlín se procede a operar el equipo donde determinaremos las irregularidades que presenta el pavimento; para ello se requirió de auxiliares , un auxiliar que conduce el equipo y realiza las lecturas, otro que anote y un vigía que dirija el tráfico con medidas de seguridad, posteriormente Se seleccionó muestras de 400m de longitud sobre un cada carril de la vía.

Se efectuaron 200 lecturas de las irregularidades de la avenida. Las lecturas se tomarán luego de estacionar el equipo cuando la rueda ha dado una vuelta de 2m de longitud para ello se recomienda guiarse del pitón. Teniendo conocimiento de lo anterior se procede a la calibración del equipo, se coloca la regla sobre el piso la cual tiene que estar debidamente nivelada se coloca sobre esta al Rugosímetro ajustando los pernos del patín móvil con la llave hasta que el puntero marque en el tablero una lectura inicial igual a 25. Una vez calibrado el equipo y estacionado en la progresiva 0+000 Km del primer carril de uno de los dos tramos de la vía; se levanta de las manijas al Rugosímetro verificando que el pitón de la rueda tenga una posición final igual a la inicial así comprueba que la rueda dio una vuelta de 2 m.

Seguidamente se toma nuevamente el instrumento por las manijas elevándolo, desplazándolo y tomando la lectura correspondiente hará esto sucesivamente hasta completar las 200 lecturas de un formato, seguidamente se comenzará a llenar otro

formato hasta llegar a la progresiva final del carril de la vía para comenzar con el siguiente carril hasta concluir con toda la vía.

Figura 3.5: Calibración del equipo Merlin



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6: Manejo del Rugosímetro Merlin



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1: Hoja de registro de datos

EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO										
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)										
Tramo:						Proyecto:				
Progresivas:						Fecha:				
carril:						realizado por:				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Aplicación del método PCI (Índice de condición de Pavimento)

3.7.2.1 Procedimiento de Evaluación de Condición de Pavimento

En primer lugar, se hizo una inspección visual a toda la zona de estudio para hacer una identificación de todas las fallas presente, a la zona de estudio se lo dividió en secciones que fueron fragmentadas en áreas de estudio según el ancho de la calzada, para así poder determinar la longitud del tramo.

Se inspeccionó cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas en base al levantamiento topográfico realizado de manera anticipada, para medir el tipo de fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, en base a la tabla 2.1

Se registró la información en el formato adoptado, tomando en cuenta el tipo de falla, el número de falla, la severidad y su unidad de medida.

Figura 3.7: Procedimiento del PCI



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8: Medición del área de falla (PCI)



Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.2 Muestreo y Unidades de Muestra

Las áreas de muestreo según el método PCI del cuerpo de la armada de los Estados Unidos deben tener una superficie comprendida entre el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como se observa en el cuadro 3.3, que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada

Cuadro 3.3: Longitud de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5	46
5,5	41,8
6	38,3
6,5	35,4
7,30 (máx.)	31,5

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

Para el ancho de calzada de 7m del tramo, por fines prácticos se optó por tomar una longitud de muestreo de 32 metros.

3.7.2.3 Determinación de las unidades de muestreo para el estudio

- Para el presente caso se tiene una longitud de 5200m y un ancho de calzada de 7m por lo tanto cumple la condición.

$$A = (32 * 7) = 224 \text{ m}^2$$

- Para la obtención de muestras se divide la longitud total de la vía entre la longitud de la muestra

$$N = \frac{5200}{32} = 162.5$$

- Una vez obtenidas las muestras del tramo de estudio, si la longitud es demasiado grande se determina el número mínimo de unidades de estudio

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} = \frac{162.5 * 20^2}{\frac{5^2}{4} * (162.5 - 1) + 20^2} \quad 46 \text{ unidades a evaluar}$$

- Para la selección de unidades de muestreo para la inspección se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección del pavimento de la siguiente manera

$$j = \frac{N}{n} = \frac{162.5}{46} = 3.5 \text{ espacios que recorrer}$$

-La hoja de registro de datos para el PCI se usará el formato de la tabla 2.1

3.7.3 Aplicación del método IFI

3.7.3.1 Procedimiento de medición

Los ensayos del péndulo como así también de Circulo de la arena, fueron realizados en las áreas de estudio determinadas por el método PCI, tomando en cuenta tanto el carril de ida como también el carril de vuelta, para lo cual se procedió de la Sgte. manera:

3.7.4 Ensayo del péndulo británico

Se realizó un listado con sus respectivas progresivas para poder identificar y realizar el ensayo del péndulo, los materiales que se usaron son los siguientes ; péndulo británico , termómetro , envase de agua , brocha y una regla calibrada , seguidamente nos trasladamos al lugar del proyecto donde se identificó las fallas y para dar inicio con el armado del equipo y nivelar el mismo , se procedió a limpiar la superficie del pavimento a ensayar con una brocha limpiando toda impureza o polvo que presenta el pavimento debido al tráfico una vez limpia la superficie se dio inicio al ensayo se verifico que la punta del caucho del brazo del péndulo al realizar el balanceo realice el roce con la superficie asfáltica solamente dentro del rango de la regla calibrada que trae consigo el equipo.

Se procedió a asegurar el brazo del péndulo y soltarlo de tal forma que una vez que la aguja de medición no vuelva a descender en la medida marcada se sujeta el brazo en el

ínterin de su regreso, también se dispuso de envase que funciona a presión para rosear la superficie del pavimento con agua dejando completamente saturada simulando una precipitación, se verifico la temperatura al momento de realizar el ensayo , posteriormente se procede a anotar los datos en la planilla haciendo así 5 repeticiones . de esta manera se concluye para posteriormente pasar a realizar el mismo procedimiento en los siguientes puntos.

Figura 3.9: Procedimiento de medición del péndulo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2: Hoja de registro de datos péndulo británico

Tramo:		Campo pajoso - El palmar				
Operador:				Fecha:		
Progresivas:		Temperatura:		Número de la muestra:		
I	F	Carril				
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5

Fuente: Elaboración propia.

3.7.5 Círculo de la arena

El ensayo del círculo de la arena se realizó de manera paralela a los ensayos del péndulo británico, es decir fueron realizados en las misma progresivas, para este ensayo se utilizó los Sgte. materiales ; arena calibrada , regla graduada , brocha y un tubo cilíndrico posteriormente se realizó la medición de la cantidad de arena en el tubo cilíndrico , se vació la arena en el tubo cilíndrico graduado de 25000m³ , para dar inicio se vació la arena al envase con punta cónica de tal forma que al vaciar la arena el punto de ensayo quede en forma cónica con un diámetro regular , antes de vaciar la arena se hizo limpieza de la superficie del pavimento , seguidamente se procedió a vaciar la arena esparciéndolo en forma circular haciendo que la arena ocupe las fisuras y espacios vacíos que presenta la superficie asfáltica , una vez que la arena quede completamente esparcida llegando a nivelarse con la carpeta asfáltica se dispuso a medir el diámetro obteniendo 5 lecturas de diámetros en los diferentes sentidos .

Figura 3.10: Materiales círculo de arena



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11: Procedimiento de ensayo círculo de arena



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12: Lecturamientos de datos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3: Hoja de registro de datos círculo de arena

Tramo:		Campo pajoso - El palmar				
Operador:				Fecha:		
Progresivas:		Volumen de la muestra:		Número de la muestra:		
I	F	Carril (ida)				
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo5

Fuente: Elaboración propia

3.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL TRAMO

3.3.1. Procedimiento de medición Viga Benkelman

Se efectuó inicialmente la calibración de la viga Benkelman en el laboratorio de asfaltos de la universidad, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para ser manejado. Primeramente, se procedió a marcar los tramos cada 50 m, tanto para el carril derecho y carril izquierdo; para luego marcar un eje a distancia de 0.60 m del borde de la carpeta. En cada punto se realizaron lecturas a 0.25 m, 0.50 m, 1.00 m, 1.50 m y 5m.

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

Una vez instalado el equipo, se enciende el extensómetro para proceder a lecturar. En cada tramo es necesario tomar la temperatura del asfalto. A continuación, se incluye un reporte fotográfico, a modo de ilustrar el ensayo.

Figura 3.13: Medicion de la temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.14: Ensayo de la viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.15: Pesaje de la volqueta



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16: Comprobante de pesado de la volqueta

BALANZA ELECTRONICA DIGITAL
"CHOQUE" Cel: 74523166 - 71877488
 Carretera Santa Cruz Km. 8
 YACUIBA- BOLIVA

(INGRESO) SALIDA FECHA: 09/ene/2021 HORA: 12:12 OP. INGRESO: BALANZA OP. SALIDA: Nº PESAJE: 9839	PLACA: 1133 IHFP MARCA: VOLVO BLANCO CHOFER: NIJAEL PALOMO Doc. IDENTIDAD: 7210916
---	---

PESO INGRESO: 8220	PRODUCTOR: VERONICA AYARDE PRODUCTO: ARENA CLIENTE: VENTA LIBRE
--------------------	---

OBSERVACIONES:
 (N) CANCELLO 40 BS.



Fuente: factura emitida por la balanza electrónica digital "Choque"

Tabla 3.4: Hoja de registro de datos viga Benkelman

ANÁLISIS DEFLECTOMÉTRICO							
Registro de datos de campo							
Carril:				Fecha:			
Tramo:				Ejecutor:			
N°	Progresivas	Lecturas del dial					
	(Km)	L-a 0cm 0.01mm	L-a 50cm 0.01mm	L-a 100cm 0.01mm	L-a 150cm 0.01mm	L-a 200cm 0.01mm	L-a 500cm 0.01mm

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

CÁLCULO Y ANÁLISIS

CAPÍTULO IV

ESTUDIO Y ANÁLISIS

4.1 PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO SUPERFICIAL

4.1.1 Procedimiento de Estudio Superficial Por el método IRI

A continuación, se realizará el procedimiento de cálculo de una de las secciones con el método IRI con el equipo rugosímetro de Merlín para determinar las rugosidades.

Cálculo del factor de Corrección para el ajuste de “D”

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

Donde:

FC=Factor de corrección.

EP=Espesor de la pastilla=6 mm

LI=Posición inicial del puntero=25mm

LF=Posición final del puntero=10

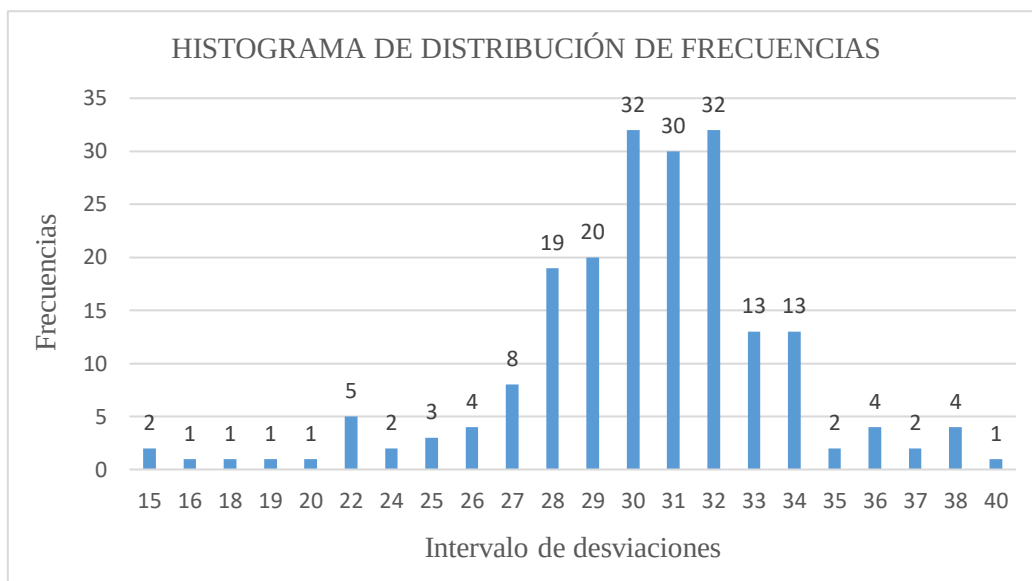
$$FC = \frac{(6 * 10)}{(25 - 10) \times 5}$$

$$FC=0.80$$

**Tabla 4.1: Sección con 200 datos (carril ida) obtenidos con el rugosímetro de
Merlin (prog. 0+000-0+400)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30,00	30,00	30,00	30,00	28,00	30,00	31,00	32,00	31,00	28,00
2	36,00	28,00	33,00	31,00	29,00	28,00	28,00	29,00	29,00	32,00
3	22,00	31,00	38,00	27,00	33,00	31,00	32,00	28,00	32,00	34,00
4	22,00	32,00	28,00	32,00	32,00	30,00	32,00	33,00	30,00	30,00
5	30,00	38,00	29,00	15,00	31,00	31,00	22,00	29,00	27,00	31,00
6	33,00	31,00	28,00	30,00	33,00	30,00	33,00	30,00	31,00	33,00
7	27,00	34,00	36,00	35,00	32,00	27,00	36,00	27,00	34,00	34,00
8	28,00	26,00	25,00	30,00	26,00	30,00	29,00	30,00	25,00	32,00
9	29,00	32,00	22,00	30,00	30,00	31,00	30,00	32,00	32,00	27,00
10	31,00	27,00	33,00	34,00	29,00	29,00	31,00	31,00	32,00	29,00
11	30,00	31,00	15,00	26,00	31,00	32,00	32,00	31,00	29,00	28,00
12	29,00	40,00	18,00	29,00	29,00	24,00	25,00	24,00	30,00	28,00
13	28,00	32,00	16,00	31,00	30,00	32,00	37,00	32,00	32,00	32,00
14	33,00	19,00	32,00	28,00	32,00	31,00	30,00	30,00	34,00	31,00
15	31,00	29,00	31,00	28,00	32,00	30,00	34,00	33,00	22,00	30,00
16	31,00	27,00	26,00	32,00	31,00	28,00	32,00	28,00	35,00	28,00
17	30,00	31,00	31,00	34,00	31,00	29,00	29,00	34,00	38,00	37,00
18	32,00	32,00	34,00	33,00	30,00	32,00	28,00	30,00	20,00	34,00
19	30,00	34,00	31,00	32,00	29,00	31,00	33,00	30,00	32,00	30,00
20	29,00	36,00	33,00	38,00	30,00	28,00	32,00	29,00	34,00	31,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.1: Distribución de frecuencias (carril ida)

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del rango D:

Para el cálculo del rango “D” eliminamos 10 datos de cada lado del histograma de frecuencias y lo restante es el rango buscado

$$D = \left(\frac{(5 - 4)}{5} + 12 + \frac{(4 - 3)}{4} \right) * 5$$

$$D = 62,25 \text{ mm}$$

Cálculo del rango D corregido:

Para corregir el rango D multiplicamos por el factor de corrección (F.C.) y por 5 porque el tablero tiene 50 divisiones de 5 mm cada una, que ya fue multiplicado en el cálculo del rango D

$$D_c = FC * D$$

$$D_c = 0,8 * 62,25$$

$$D_c = 49,8 \text{ mm}$$

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

a) cuando $(2,4 < \text{IRI} < 15,9)$ $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D$

b) cuando $(\text{IRI} < 2,4)$ $\text{IRI} = 0,0485 D$

1er prueba IRI= 2,939 m/km SI Cumple con la condición del inciso a)

IRI= 2,939 m/km **(BUENO)**

Según el manual de Merliner:

Para pavimento asfálticos nuevos IRI debe ser menor o igual a 2 m/km

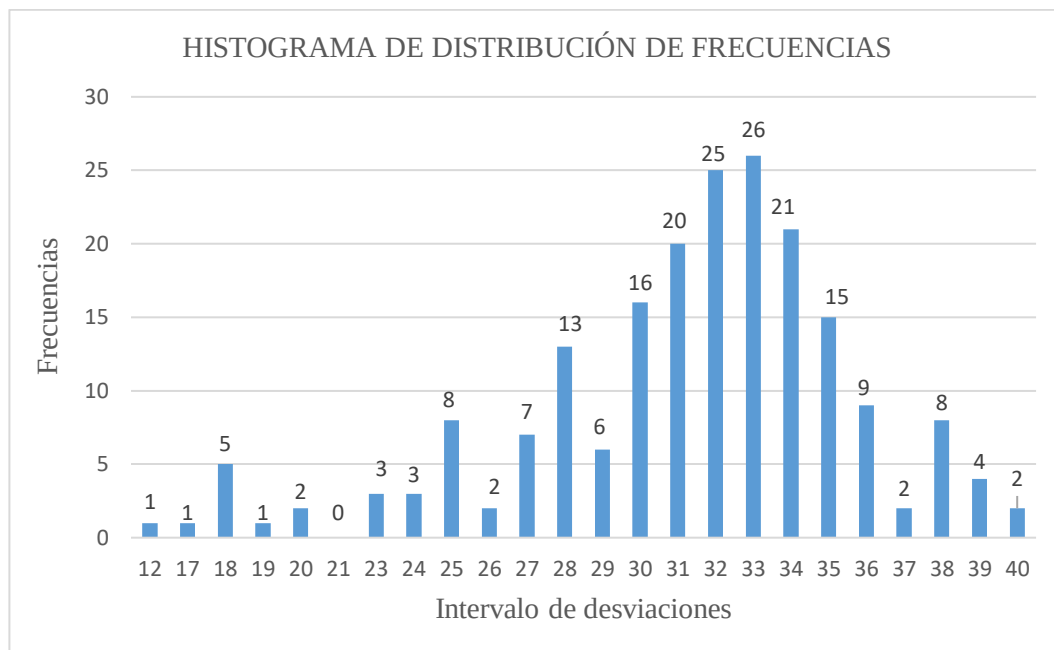
Para pavimento para recapado asfáltico IRI debe ser menor o igual a 2,5 m/km

Para pavimento con sellado asfáltico el IRI debe ser menor o igual a 3,0 m/km

**Tabla 4.2: Sección (carril vuelta) obtenidos con el rugosímetro de Merlin
(5+200-4+800)**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32,00	23,00	27,00	17,00	35,00	32,00	30,00	28,00	33,00	33,00
2	32,00	31,00	33,00	12,00	34,00	34,00	23,00	28,00	31,00	38,00
3	29,00	23,00	34,00	40,00	35,00	33,00	27,00	31,00	29,00	34,00
4	36,00	33,00	32,00	20,00	30,00	34,00	29,00	34,00	27,00	34,00
5	30,00	32,00	30,00	20,00	32,00	35,00	32,00	34,00	32,00	32,00
6	32,00	34,00	30,00	31,00	28,00	35,00	33,00	33,00	33,00	32,00
7	28,00	39,00	32,00	28,00	30,00	36,00	33,00	33,00	38,00	33,00
8	31,00	34,00	27,00	27,00	32,00	30,00	34,00	32,00	34,00	32,00
9	33,00	34,00	30,00	30,00	31,00	25,00	36,00	33,00	36,00	31,00
10	26,00	36,00	33,00	33,00	38,00	18,00	33,00	39,00	32,00	28,00
11	33,00	32,00	29,00	32,00	35,00	18,00	36,00	30,00	33,00	25,00
12	24,00	30,00	32,00	33,00	28,00	29,00	36,00	38,00	34,00	27,00
13	33,00	31,00	33,00	34,00	30,00	31,00	37,00	38,00	32,00	38,00
14	28,00	30,00	27,00	38,00	18,00	28,00	34,00	40,00	37,00	24,00
15	31,00	31,00	28,00	36,00	25,00	25,00	35,00	35,00	39,00	28,00
16	33,00	31,00	31,00	34,00	32,00	35,00	33,00	35,00	34,00	24,00
17	31,00	28,00	35,00	33,00	33,00	36,00	39,00	35,00	31,00	18,00
18	31,00	26,00	25,00	25,00	38,00	31,00	30,00	35,00	30,00	18,00
19	31,00	28,00	29,00	34,00	35,00	32,00	34,00	35,00	32,00	19,00
20	33,00	32,00	30,00	31,00	31,00	25,00	35,00	32,00	34,00	25,00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.2: Distribución de frecuencias (carril vuelta)

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(5 - 4)}{5} + 12 + \frac{(4 - 3)}{4} \right) * 5$$

$$D = 77,5 \text{ mm}$$

Cálculo del rango D corregido:

$$D_c = FC * D$$

$$D_c = 0,8 * 77,5$$

$$D_c = 62 \text{ mm}$$

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

a) cuando $(2,4 < \text{IRI} < 15,9)$ $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D$

b) cuando $(\text{IRI} < 2,4)$ $\text{IRI} = 0,0485 D$

1er prueba IRI= 3,513 m/km SI Cumple con la condición del inciso a)

$$\text{IRI} = 3,51 \text{ m/km (BUENO)}$$

4.1.1.1 Resultados del método IRI

Tabla 4.3: Resultados del IRI de todo el tramo (ida)

Nº	PROGRESIVAS		IRI (m/km)	Calificación
	Inicio	Final		
1	0+000	0+400	2,94	Bueno
2	0+400	0+800	1,62	Excelente
3	0+800	1+200	3,67	Regular
4	1+200	1+600	2,95	Bueno
5	1+600	2+000	3,29	Bueno
6	2+000	2+400	1,86	Excelente
7	2+400	2+800	4,29	Regular
8	2+800	3+200	3,78	Regular
9	3+200	3+600	3,92	Regular
10	3+600	4+000	3,98	Regular
11	4+000	4+400	2,59	Bueno
12	4+400	4+800	2,77	Bueno
13	4+800	5+200	3,22	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4: Resultados del IRI de todo el tramo (vuelta)

Nº	PROGRESIVAS		IRI (m/km)	Calificación
	Inicio	Final		
1	5+200	4+800	3,51	Bueno
2	4+800	4+400	3,18	Bueno
3	4+400	4+000	2,67	Bueno
4	4+000	3+600	2,92	Bueno
5	3+600	3+200	2,90	Bueno
6	3+200	2+800	2,94	Bueno
7	2+800	2+400	3,34	Bueno
8	2+400	2+000	3,24	Bueno
9	2+000	1+600	3,42	Bueno
10	1+600	1+200	3,02	Bueno
11	1+200	0+800	2,62	Bueno
12	0+800	0+400	2,79	Bueno
13	0+400	0+000	2,60	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Análisis de los resultados del método IRI

Según el manual de Merliner para la clasificación del IRI

Cuadro 4.1: Clasificación del rango de rugosidad

Rango de rugosidad (m/Km)	Clasificación
0,0 – 2,0	Excelente
2,0 – 3,5	Bueno
3,5 – 5,0	Regular
>5,0	Malo

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

Luego de calcular y tabular todos los datos del IRI en el tramo “Campo pajoso– El palmar”, se realizará un análisis de ambos carriles:

Carril Derecho

Estadística

Para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados ; es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media } (\bar{x}) = 3,14$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,67$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = 0,82$$

RANGO

$$\text{Maximo } (\bar{x} + 2\sigma) = 4,77$$

$$\text{Minimo } (\bar{x} - 2\sigma) = 1,51$$

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomar en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de IRI=3,14 m/km que se encuentra en el rango de 2,0-3,5 de calificación BUENO y También analizando el cuadro 2.1, representa a una rugosidad de pavimento antiguo con una superficie con imperfecciones superficiales, mencionar que este ensayo se lo realizó por la huella externa del carril, evitando algunas fallas considerables que se encuentran en la calzada. El cálculo para cada una de las muestras se puede apreciar (ver anexo I)

Gráfica 4.3: Representación gráfica del comportamiento del IRI (Carril derecho)

Fuente: Elaboración propia

Carril izquierdo

Estadística

Para obtener el promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas mediante el IRI realizaremos una depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados; es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media } (\bar{x}) = 3,01$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 0,09$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = 0,31$$

RANGO

$$\text{Máximo } (\bar{x} + 2\sigma) = 3,62$$

$$\text{Mínimo } (\bar{x} - 2\sigma) = 2,40$$

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomar en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de

IRI=3,01m/km que se encuentra en el rango de 2,0-3,5 de calificación BUENO y También analizando el cuadro 2.1, representa a una rugosidad de pavimento antiguo con una superficie con imperfecciones superficiales, mencionar que este ensayo se lo realizó por la huella externa del carril, evitando algunas fallas considerables que se encuentran en la calzada. El cálculo para cada una de las muestras se puede apreciar (ver anexo II).

Gráfica 4.4: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril izquierdo)



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Estudio Superficial Por el método PCI

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

Posteriormente se procedió a determinar por cada falla de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas los valores deducidos VD, los valores deducidos corregidos CDV, el número de valores deducidos (q) mayores que 2, y con el valor deducido total y con el

máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente PCI en cada unidad de muestreo de todo el tramo en estudio.

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

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

Tabla 4.5: Fallas existentes

Falla	Cantidad						Total
1 M	25,9						25,9
10 L	98,8	10,6					109,4
14 L	0,9						0,9
11M	21	4,2					25,2
14L	4,16	3,6					7,76

Fuente: Elaboración propia.

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

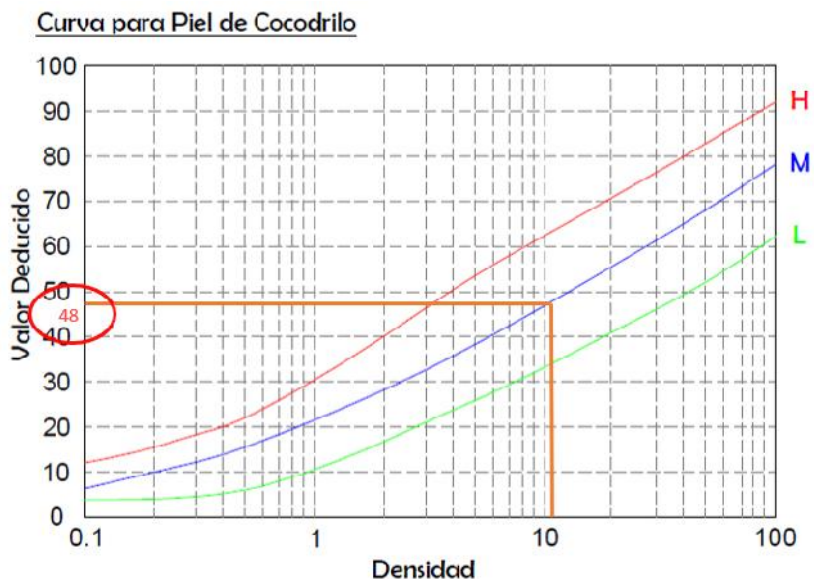
Cálculo de la densidad

$$\text{Densidad} = \left(\frac{\text{Área total de falla}}{\text{Área de la unidad d muestra}} \right) * 100$$

$$\text{Densidad} = \left(\frac{25,9}{224} \right) * 100$$

$$\text{Densidad}=11,563 \%$$

Para calcular el “Valor deducido” se determina mediante el uso de las curvas o tablas denominadas “Valor de deducción” de acuerdo con el tipo de falla.

Gráfica 4.5: Obtención del valor deducido:

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin- Khon)

Tabla 4.6: Resultado de valor deducido

Falla	Cantidad				Total	Densidad	Valor deducido
1M	25,9				25,9	11,563	48
10L	98,8	10,6			109,4	48,839	20
14L	0,9				0,9	0,402	3
11M	21	4,2			25,2	11,250	31
14L	4,16	3,6			7,76	3,464	18

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 4.7: Valores deducidos reordenados

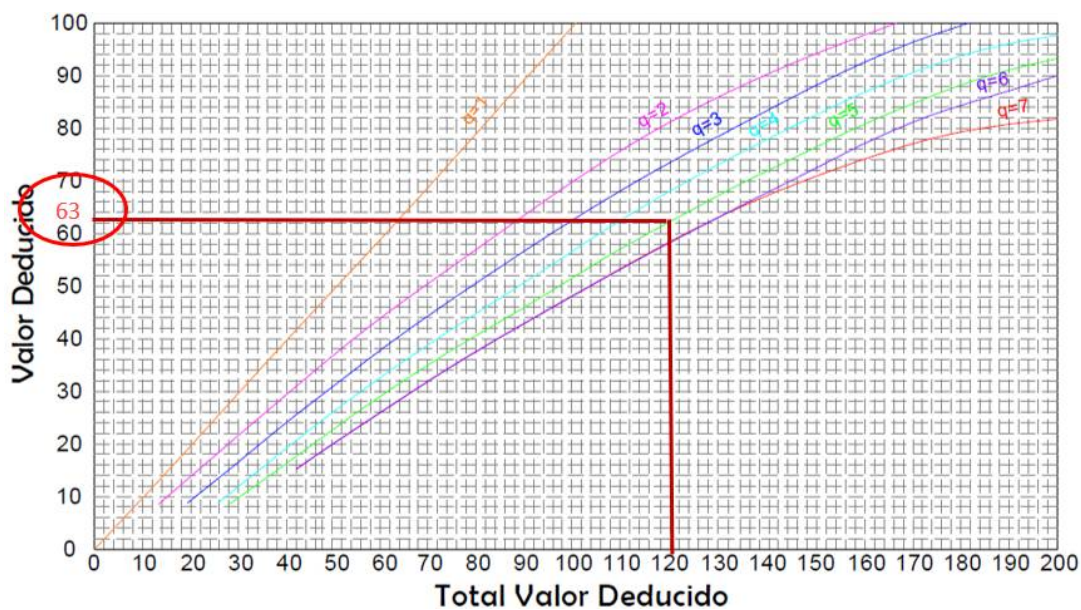
Cálculo del máximo valor deducido												
#	Valor deducido								Total	q	CDV	
1	48	31	20	18	3				120	5	63	
2	48	31	20	18	2				119	4	67	
3	48	31	20	2	2				103	3	65	
4	48	31	2	2	2				85	2	61	
5	48	2	2	2	2				56	1	56	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo del valor deducido corregido

Con los totales de valores deducidos, se determina el Valor Deducido Corregido en las curvas denominadas Valor deducido corregido (ver ANEXO III).

Gráfica 4.6: Curva de deducción del valor deducido corregido (VDC)



Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin- Khon)

Tabla 4.8: Resultado del valor deducidos corregidos

CÁLCULO DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO												
#	Valor deducido								Total	q	CDV	
1	48	31	20	18	3				120	5	63	
2	48	31	20	18	2				119	4	67	
3	48	31	20	2	2				103	3	65	
4	48	31	2	2	2				85	2	61	
5	48	2	2	2	2				56	1	56	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de PCI:

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

Tabla 4.9: Resultado PCI de unidad de muestra 1

PCI= 100-CDV max	CDV max = 67
PCI=33 MALO	

Fuente:Elaboracion propia

El valor de PCI obtenido de la unidad de muestra 1 es igual a 33, de acuerdo a la escala de clasificación PCI del cuadro 4.2, la unidad de muestra se encuentra en estado **MALO**

Cuadro 4.2: Escala clasificación PCI

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

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-0

Tabla 4.10: Resultado del PCI de la muestra N°1

MÉTODO PCI								ESQUEMA:			
ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO											
HOJA DE REGISTRO											
NOMBRE DE LA VIA : Campo Pajoso- El Palmar								SECCION: 0+000 - 0+032		MUESTRA N°: 1	
EJECUTOR: Ayarde Valdez Verónica								FECHA: 18 diciembre 2020		AREA(m2)	224
1. Piel de cocodrilo		6. Depresión						11. Parches		16. Fisura parabólica o deslizamiento	
2. Exudación		7. Fisura de borde						12. Agregado pulido		17. Cruce de rieles	
3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta						13. Baches		18. Hinchamiento	
4. Elevaciones y hundimientos		9. Desnivel carril-berma						14. Ahuellamiento		19. Disgregación	
5. Corrugación		10. Fisuras long. y transv.						15. Desplazamiento			
FALLA	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	
1 M	25,9							25,9	11,563	48	
10 L	98,8	10,6						109,4	48,839	20	
14 L	0,9							0,9	0,402	3	
11 M	21	4,2						25,2	11,250	31	
14 L	4,16	3,6						7,76	3,464	18	

CALCULO DEL MAXIMO VALOR DEDUCIDO										
#	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	CDV
1	48	31	20	18	3			120	5	63
2	48	31	20	18	2			119	4	67
3	48	31	20	2	2			103	3	65
4	48	31	2	2	2			85	2	61
5	48	2	2	2	2			56	1	56
6										
7										

Max CDV=

67

PCI=

100 - Max CDV

PCI=

33

VALORACION=

MALO

Fuente: Elaboración propia

Se repite el mismo procedimiento de cálculo para las 45 unidades de muestra restante para el tramo “Campo Pajoso -El Palmar”.

El cálculo de las mismas se encuentra en Anexos (Ver anexo IV).

4.1.2.1. Resultados parciales del método PCI

A continuación, se resumen los resultados del Índice de Condición de Pavimentos (PCI) del tramo “Campo Pajoso-El Palmar”, para cada km evaluado.

Tabla 4.11: Resultados del km 1

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Tramo N°	Progresivas Inicio- final	Valor del PCI	Calificación
1	0+000 - 0+032	33	Malo
5	0+144 - 0+176	40	Regular
9	0+256 - 0+288	34	Malo
13	0+368 - 0+400	79	Muy bueno
17	0+480 - 0+512	41	Regular
21	0+592 - 0+624	81	Muy bueno
25	0+704 - 0+736	57	Bueno
29	0+816 - 0+848	78	Muy Bueno
33	0+928 -0+960	76	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12: Resultados del km 2

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Tramo N°	Progresivas inicio- final	Valor del PCI	Calificación
37	1+040 - 1+072	28	Malo
41	1+152 - 1+184	71	Muy bueno
45	1+264 - 1+296	19	Muy malo
49	1+376 - 0+448	72	Muy bueno
53	1+488 - 1+520	33	Malo
57	1+600 - 1+632	45	Regular
61	1+712 - 1+744	47	Regular
65	1+824 - 1+856	30	Malo
69	1+936 – 1+968	62	bueno

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13: Resultados PCI km 3

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Tramo N°	Progresivas Inicio- final	Valor del PCI	Calificación
73	2+048 - 2+080	28	Malo
77	2+160 - 2+192	46	Regular
81	2+272 - 2+304	26	Malo
85	2+384 - 2+416	52	Regular
89	2+496 - 2+528	59	Bueno
93	2+608 - 2+640	72	Muy bueno
97	2+720 - 2+752	66	Bueno
101	2+832 - 2+864	98	Excelente
105	2+944 - 2+976	53	Regular

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Resultados PCI km 4

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Tramo N°	Progresivas Inicio- final	Valor del PCI	Calificación
109	3+056 - 3+088	60	Bueno
113	3+168 - 3+200	34	Malo
117	3+280 - 3+320	76	Muy bueno
121	3+392 - 3+448	52	Regular
125	3+504 - 3+576	66	Bueno
129	3+616 - 3+704	76	Muy bueno
133	3+728 - 3+832	24	Muy Malo
137	3+840 - 3+960	71	Muy bueno
141	3+952 - 3+088	60	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15: Resultados PCI km 5

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Tramo N°	Progresivas Inicio- final	Valor del PCI	Calificación
145	4+064 - 4+032	37	Malo
149	4+176 - 4+192	58	Bueno
153	4+288 - 4+320	45	Regular
157	4+400 - 4+448	87	Excelente
161	4+512 - 4+576	56	Bueno
165	4+624 - 4+704	74	Muy bueno
169	4+736 - 4+832	50	Regular
173	4+848 - 4+960	66	Bueno
177	4+960 - 4+088	43	Regular
181	5+072 - 5+184	63	Bueno

Fuente: Elaboración propia

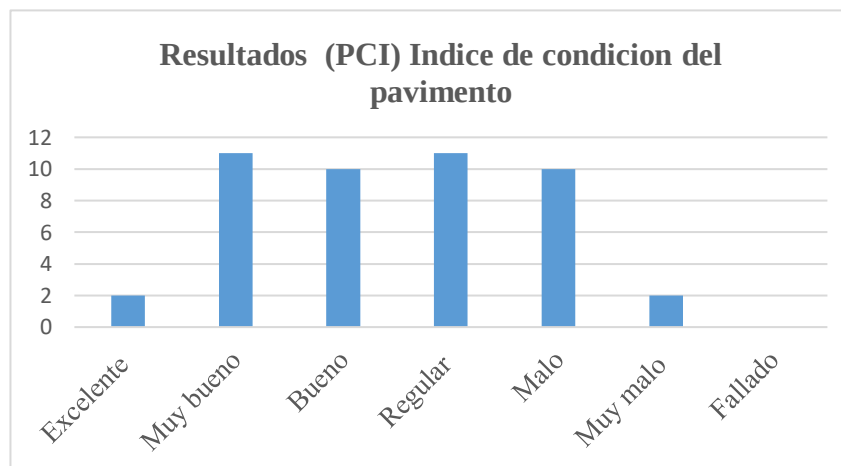
Tabla 4.16: Resultados PCI de todo el tramo

TRAMO DE EVALUACION		INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO	CONDICION DEL PAVIMENTO
Tramo N°	Progresivas Inicio- final	Valor del PCI	Calificación
1	0+000 - 0+032	33	Malo
5	0+144 - 0+176	40	Regular
9	0+256 - 0+288	34	Malo
13	0+368 - 0+400	79	Muy bueno
17	0+480 - 0+512	41	Regular
21	0+592 - 0+624	81	Muy bueno
25	0+704 - 0+736	57	Bueno
29	0+816 - 0+848	78	Muy Bueno
33	0+928 - 0+960	76	Muy Bueno
37	1+040 - 1+072	28	Malo
41	1+152 - 1+184	71	Muy bueno
45	1+264 - 1+296	19	Muy malo
49	1+376 - 1+448	72	Muy bueno
53	1+488 - 1+520	33	Malo
57	1+600 - 1+632	45	Regular
61	1+712 - 1+744	47	Regular
65	1+824 - 1+856	30	Malo
69	1+936 - 1+968	62	bueno

73	2+048 - 2+080	28	Malo
77	2+160 - 2+192	46	Regular
81	2+272 - 2+304	26	Malo
85	2+384 - 2+416	52	Regular
89	2+496 - 2+528	59	Bueno
93	2+608 - 2+640	72	Muy bueno
97	2+720 - 2+752	66	Bueno
101	2+832 - 2+864	98	Excelente
105	2+944 - 2+976	53	Regular
109	3+056 - 3+088	60	Bueno
113	3+168 - 3+200	34	Malo
117	3+280 - 3+320	76	Muy bueno
121	3+392 - 3+448	52	Regular
125	3+504 - 3+576	66	Bueno
129	3+616 - 3+704	76	Muy bueno
133	3+728 - 3+832	24	Muy Malo
137	3+840 - 3+960	71	Muy bueno
141	3+952 - 3+088	37	Bueno
145	4+064 - 4+032	37	Malo
149	4+176 - 4+192	58	Bueno
153	4+288 - 4+320	45	Regular
157	4+400 - 4+448	87	Excelente
161	4+512 - 4+576	56	Bueno
165	4+624 - 4+704	74	Muy bueno
169	4+736 - 4+832	50	Regular
173	4+848 - 4+960	66	Bueno
177	4+960 - 4+088	43	Regular
181	5+072 - 5+184	63	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.7: Representación gráfica del comportamiento del PCI del tramo



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2 Cantidad de sección afectada según su severidad del tramo

Tabla 4.17: Cuantificación de fallas según su severidad

Tipo de falla	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Piel de cocodrilo	m ²	550,12	670,9	96,30
Exudación	m ²	56,38	14,50	25
Fisuras en bloque	m ²	77,50	19,85	0
Elevaciones y hundimientos	m	12,63	40,86	0,3
Fisura de borde	m	49,65	33,30	0
Desnivel carril-berma	m	5	22,90	0
Fisuras long. y transversales	m	218,70	133,10	4
Parches	m ²	69,83	193,40	0
Agregado pulido	m ²	101,52	0	0
Baches	m ²	12,79	4	0
Ahuellamiento	m ²	12,66	5,50	0
Hinchamiento	m ²	0	1,31	0,33
Disgregación	m ²	29,35	87,5	0
Total=		1196,13	1227,12	125,93

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3 Análisis de resultados del PCI Índice de condición del pavimento

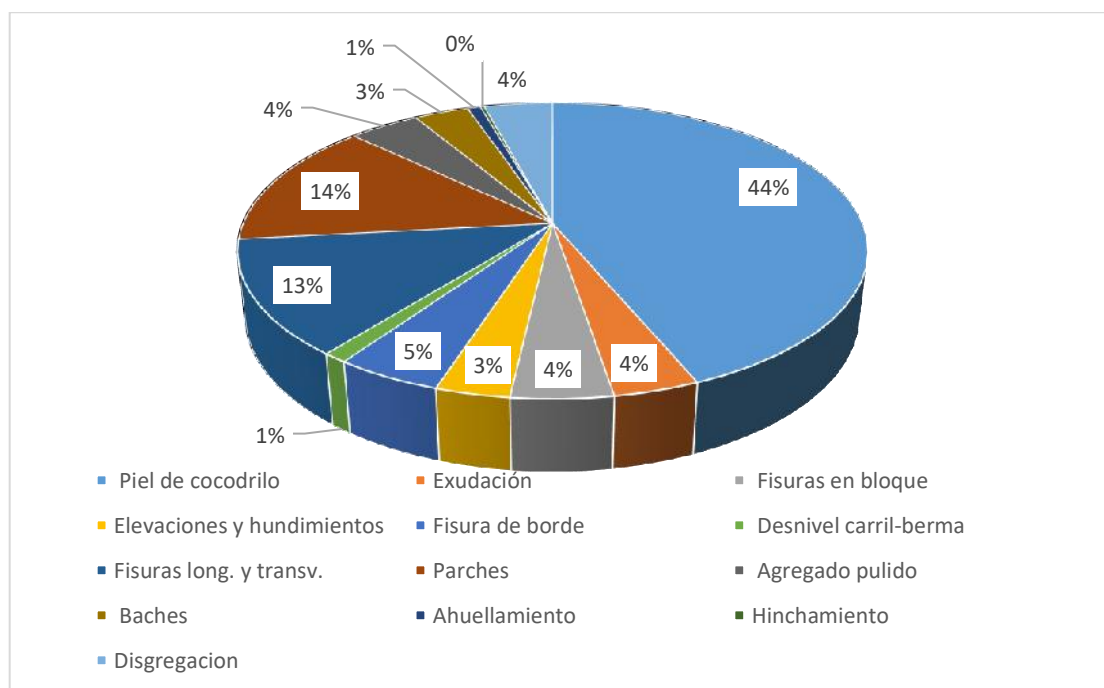
Tabla 4.18: Porcentaje de fallas

Tipo de fallas	%
Piel de cocodrilo (m ²)	43,67
Exudación (m ²)	3,73
Fisuras en bloque (m ²)	4,40
Elevaciones y hundimientos (m)	3,22
Fisura de borde (m)	4,65
Desnivel carril-berma (m)	1,07
Fisuras long. y transversales (m)	12,55
Parches (m ²)	13,83
Agregado Pulido (m ²)	4,31
Baches o Huecos (m ²)	3,33

Ahuellamiento (m ²)	0,80
Hinchamiento (m ²)	0,24
Disgregación (m ²)	4,20

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.8: Representación gráfica porcentual de fallas 0+000-5+200



Fuente: Elaboración propia

El tipo de falla predominante a lo largo del tramo son Piel de cocodrilo con un porcentaje del 44% Parches ocupa el segundo lugar con 14% del total las fallas, seguido de Fisuras longitudinales y Transversales con 13% ocupando el tercer lugar. El resto de las fallas son menos considerables y con porcentajes mucho más bajos comparado al de las fallas ya mencionadas, es por eso que se mostrara un análisis de las tres fallas más influyentes en el tramo estudiado.

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 rodamiento bajo acción repetida de las cargas de

tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas.

Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m. El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las ruedas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que este sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión.

Nivel de severidad Bajo (L)

Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están “descascaradas”, es decir, no presentan pérdida del material a lo largo de sus lados.

Nivel de severidad Medio (M)

Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente “descascaradas”. Inicia el proceso de interconexión.

Nivel de severidad Alto (H)

Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y “descascarados” los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el efecto del tránsito. Pueden venir acompañadas de ahuellamiento

Opciones de reparación

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

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

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

Parches

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto, no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área bacheada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).

Nivel de severidad Bajo (L)

El bache está en buena condición y es satisfactorio. El efecto sobre la calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

Nivel de severidad Medio (M)

El bache está moderadamente deteriorado o el efecto sobre la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

Nivel de severidad Alto (H)

El bache está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad. Requiere pronta sustitución.

Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del bache.

H: Sustitución del bache

Fisuras longitudinales y transversales

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

- Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Nivel de severidad Bajo (L)

Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
- Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

Nivel de severidad Medio (M)

Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
- Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

Nivel de severidad Alto (H)

Existe una de las siguientes condiciones:

- Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
- Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
- Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Tabla 4.19: Resultados del índice de condición del pavimento

TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR PROG. 0+000 a PROG. 5+200		
Tramo de evaluación	Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
PROGRESIVA	PCI CALCULADO	CALIFICACION
0+000 – 5+200	55	BUENO

Fuente: Elaboración propia.

En los 5.200 Km de trayecto de vía en el que se realizó el estudio superficial por el método PCI índice de condición del pavimento se obtiene un valor de PCI de 55 en promedio de todo el tramo, dicho valor se encuentra calificado en una condición de pavimento **BUENO**, Este tipo de calificación denota que el estado del pavimento ocasiona una disminución de la velocidad de los vehículos que transitan por las zonas afectadas, en su mayoría aquellas donde la carpeta asfáltica es inexistente. de igual manera serán muy importantes los trabajos de mantenimiento y prevención para solucionar las fallas que presente la vía y así siga brindando comodidad y calidad de tránsito a los usuarios ya que el tramo Campo Pajoso -El Palmar pertenece a la red fundamental vial del departamento de Tarija.

4.1.3 Procedimiento de Estudio Superficial Por el método IFI

4.1.3.1 Procedimiento del cálculo IFI

Para realizar el ensayo del círculo de la arena se midieron 5 diámetros por cada ensayo para obtener mejores resultados.

Tabla 4.20: Datos obtenidos del ensayo círculo de arena por carril

ENSAYO DEL CÍRCULO DE LA ARENA						
PROYECTO:		TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR				
FECHA: 09 enero 2021		EJECUTOR: Ayarde Valdez Verónica				
Progresivas		Volumen de la arena: 25 ml		Número de muestra:		1
Inicial	Final	Carril Ida				
0+000	0+200	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
		37	38	40	39	38
		35	36	37	38	35

ENSAYO DEL CIRCULO DE LA ARENA						
PROYECTO:		TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR				
FECHA:		EJECUTOR:				
09 enero 2021		Ayarde Valdez Veronica				
Progresivas		Volumen de la Arena:		Número de muestra:		1
		25 ml				
Inicial	Final	Carril Vuelta				
5+200	5+000	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
		25	25	25	25	22
		22	24	23	24	22

Fuente: Elaboracion Propia.

4.1.3.1.1 Cálculo de la media aritmética

Se realizó el cálculo de la media aritmética de los valores obtenidos

$$Dp = \frac{\sum_{i=1}^n ai}{n}$$

$$Dp = \frac{192}{5}$$

$$D_p = 38,2 \text{ cm (progresiva 0+000)}$$

$$D_p = 36,2 \text{ cm (progresiva 0+200)}$$

Se hace el mismo cálculo para cada uno de las muestras de ensayo para cada progresivas

4.1.3.1.2 Cálculo del valor de Tx

El cálculo de la macrotextura (Tx) se determina con la siguiente ecuación

$$HS \text{ o } TX = \frac{4 * V}{u * D_p^2}$$

$$TX = \frac{4 * 25000 \text{ mm}^3}{u * (382 \text{ mm})^2}$$

$$TX = 0.218 \text{ (progresiva 0+000)}$$

$$TX = 0.243 \text{ (progresiva 0+200)}$$

4.1.3.1.3 Determinación de la constante de velocidad Sp

$$Sp = a + b (Tx)$$

Donde las constantes a y b según norma ASTM 965

$$a = -11.5981 \quad b = 113.63246$$

$$Sp = a + b (0.218)$$

$$Sp = 13.17 \text{ km/hr (progresiva 0+000)}$$

$$Sp = a + b (0.243)$$

$$Sp = 16.01 \text{ km/hr (progresiva 0+200)}$$

Tabla 4.21: Datos obtenidos del ensayo péndulo británico por carril

ENSAYO DEL PENDULO INGLES						
PROYECTO		TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR				
FECHA: 09 enero 2021		EJECUTOR:	Ayarde Valdez Veronica			
PROGRESIVAS		TEMPERATURAS:		46°C 0+000	47°C 0+200	
Inicial	Final	Carril Ida				
0+000	0+200	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
		78	78	77	77	76
		75	76	74	75	76

ENSAYO DEL PENDULO INGLES						
PROYECTO		TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR				
FECHA: 09 de enero 2021		EJECUTOR:	Ayarde Valdez Veronica			
PROGRESIVAS		TEMPERATURAS =		48°C 0+000	47°C 0+200	
Inicial	Final	Carril Vuelta				
0+000	0+200	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
		84	90	91	91	90
		83	85	88	85	87

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos las mediciones del ensayo del péndulo británico y las mediciones del ensayo del círculo de la arena se procede de la siguiente manera para el cálculo del IFI se calcula el valor de la fricción del pavimento para una velocidad de 60 km/hr “FR60”, se utiliza el valor promedio de fricción de las mediciones obtenidas en campo “FRS”

(mediciones realizadas en la unidad de muestra que se realizó el ensayo del círculo de la arena) con un valor de $S = 10 \text{ Km/hr}$

4.1.3.1.4 Determinación del parámetro F60

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

$$\mathbf{FR60 = 80,32 * e^{\left(\frac{10-60}{13,17}\right)}}$$

$$\mathbf{FR60=1,81 \text{ (progresiva 0+000)}}$$

$$\mathbf{FR60=3,45 \text{ (progresiva 0+200)}}$$

Con este valor obtenido obtenemos el parámetro F60 usando el cálculo mostrado a continuación.

$$\mathbf{F60=A+B*FR60}$$

Las constantes A y B según la norma ASTM 274

$$\mathbf{A=0.078 \quad \text{y} \quad B = 0.0107}$$

$$\mathbf{F60=0,078+0.0107*1.81}$$

$$\mathbf{F60=0,097 \text{ (progresivas 0+000)}}$$

$$\mathbf{F60=0,115 \text{ (progresivas 0+200)}}$$

Finalmente se puede calcular la fricción a cualquier velocidad

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

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

Tabla 4.22: Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de círculo de arena con el respectivo volumen (carril ida)

Progr.	T °C	Coef. De Corr.	BPN corregido (adim.)						Prom.	Progr.	V (cm3)	Dp (cm)
0+000	46,00	3,12	81,12	81,12	80,12	80,12	79,12	80,32		0+000	25	38,20
0+200	47,00	3,105	78,11	79,11	77,11	78,11	79,11	78,31		0+200	25	36,20
0+400	48,00	3,08	83,08	84,08	86,08	86,08	85,08	84,88		0+400	25	31,50
0+600	48,00	3,08	82,08	80,08	79,08	80,08	79,08	80,08		0+600	25	26,80
0+800	47,00	3,105	78,11	81,11	79,11	78,11	80,11	79,31		0+800	25	35,20
1+000	47,00	3,105	86,11	86,11	85,11	87,11	86,11	86,11		1+000	25	38,90
1+200	49,00	3,045	88,05	87,05	86,05	89,05	90,05	88,05		1+200	25	27,40
1+400	48,00	3,08	82,08	85,08	85,08	85,08	86,08	84,68		1+400	25	30,30
1+600	46,00	3,12	79,12	80,12	81,12	79,12	81,12	80,12		1+600	25	24,80
1+800	45,00	3,125	89,13	91,13	88,13	88,13	89,13	89,13		1+800	25	27,20
2+000	45,00	3,125	84,13	87,13	88,13	88,13	88,13	87,13		2+000	25	32,30
2+200	43,00	3,105	93,11	93,11	87,11	89,11	90,11	90,51		2+200	25	27,20
2+400	47,00	3,105	82,11	86,11	86,11	88,11	88,11	86,11		2+400	25	25,60
2+600	48,00	3,08	102,08	104,08	103,08	102,08	103,08	102,88		2+600	25	28,40
2+800	46,00	3,12	88,12	92,12	91,12	89,12	90,12	90,12		2+800	25	24,40
3+000	46,00	3,12	91,12	97,12	97,12	94,12	96,12	95,12		3+000	25	23,50
3+200	46,00	3,12	87,12	88,12	90,12	92,12	91,12	89,72		3+200	25	29,80
3+400	46,00	3,12	93,12	93,12	94,12	92,12	94,12	93,32		3+400	25	28,60
3+600	47,00	3,105	84,11	88,11	83,11	85,11	86,11	85,31		3+600	25	32,40
3+800	47,00	3,105	88,11	86,11	87,11	89,11	88,11	87,71		3+800	25	24,00
4+000	46,00	3,12	91,12	92,12	96,12	94,12	96,12	93,92		4+000	25	32,80
4+200	45,00	3,125	97,13	94,13	96,13	95,13	93,13	95,13		4+200	25	20,80
4+400	46,00	3,12	83,12	88,12	89,12	92,12	93,12	89,12		4+400	25	26,20
4+600	47,00	3,105	81,11	82,11	83,11	85,11	83,11	82,91		4+600	25	34,20
4+800	46,00	3,12	78,12	80,12	83,12	80,12	82,12	80,72		4+800	25	27,20
5+000	46,00	3,12	97,12	98,12	99,12	94,12	93,12	96,32		5+000	25	27,40
5+200	45,00	3,125	89,13	86,13	87,13	89,13	88,13	87,93		5+200	25	39,00
Promedio =									87,59	Promedio =	29,64	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.23: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo círculo de arena

Progresiva	Círculo de la arena					DV	E (%)
	Error absoluto						
0+000	12,00	2,00	13,00	8,00	7,00	8,40	2,20
0+200	12,00	2,00	8,00	18,00	12,00	10,40	2,87
0+400	15,00	15,00	5,00	10,00	15,00	12,00	3,81
0+600	18,00	12,00	2,00	8,00	12,00	10,40	3,88
0+800	2,00	8,00	12,00	8,00	2,00	6,40	1,82
1+000	11,00	6,00	9,00	1,00	9,00	7,20	1,85
1+200	24,00	4,00	6,00	6,00	16,00	11,20	4,09
1+400	12,00	3,00	8,00	2,00	3,00	5,60	1,85
1+600	8,00	12,00	2,00	2,00	8,00	6,40	2,58
1+800	22,00	12,00	8,00	8,00	18,00	13,60	5,00
2+000	12,00	8,00	3,00	2,00	3,00	5,60	1,73
2+200	28,00	8,00	2,00	22,00	12,00	14,40	5,29
2+400	4,00	4,00	1,00	11,00	4,00	4,80	1,88
2+600	24,00	4,00	16,00	4,00	16,00	12,80	4,51
2+800	6,00	4,00	14,00	6,00	6,00	7,20	2,95
3+000	15,00	0,00	5,00	0,00	10,00	6,00	2,55
3+200	2,00	8,00	2,00	12,00	8,00	6,40	2,15
3+400	16,00	6,00	6,00	14,00	14,00	11,20	3,92
3+600	14,00	4,00	6,00	16,00	4,00	8,80	2,72
3+800	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	8,00	3,33
4+000	12,00	18,00	2,00	12,00	8,00	10,40	3,17
4+200	8,00	8,00	12,00	2,00	2,00	6,40	3,08
4+400	18,00	12,00	8,00	12,00	2,00	10,40	3,97
4+600	32,00	12,00	8,00	18,00	18,00	17,60	5,15
4+800	2,00	8,00	12,00	8,00	2,00	6,40	2,35
5+000	11,00	9,00	14,00	6,00	6,00	9,20	3,36
5+200	10,00	0,00	10,00	10,00	10,00	8,00	2,05
Valor máximo=							5,29

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo péndulo inglés

Progresiva	Péndulo Británico					DV	E (%)
	Error absoluto						
0+000	0,80	0,80	0,20	0,20	1,20	0,64	0,83
0+200	0,20	0,80	1,20	0,20	0,80	0,64	0,85
0+400	1,80	0,80	1,20	1,20	0,20	1,04	1,27
0+600	2,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,80	1,04
0+800	1,20	1,80	0,20	1,20	0,80	1,04	1,36
1+000	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,40	0,48
1+200	0,00	1,00	2,00	1,00	2,00	1,20	1,41
1+400	2,60	0,40	0,00	0,40	1,40	0,96	1,18
1+600	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,80	1,04
1+800	0,00	2,00	1,00	1,00	0,00	0,80	0,93
2+000	3,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,43
2+200	2,60	2,60	3,40	1,40	0,40	2,08	2,38
2+400	4,00	0,00	0,00	2,00	2,00	1,60	1,93
2+600	0,80	1,20	0,20	0,80	0,20	0,64	0,64
2+800	2,00	2,00	1,00	1,00	0,00	1,20	1,38
3+000	4,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	2,17
3+200	2,60	1,60	0,40	2,40	1,40	1,68	1,94
3+400	0,20	0,20	0,80	1,20	0,80	0,64	0,71
3+600	1,20	2,80	2,20	0,20	0,80	1,44	1,75
3+800	0,40	1,60	0,60	1,40	0,40	0,88	1,04
4+000	2,80	1,80	2,20	0,20	2,20	1,84	2,03
4+200	2,00	1,00	1,00	0,00	2,00	1,20	1,30
4+400	6,00	1,00	0,00	3,00	4,00	2,80	3,26
4+600	1,80	0,80	0,20	2,20	0,20	1,04	1,30
4+800	2,60	0,60	2,40	0,60	1,40	1,52	1,96
5+000	0,80	1,80	2,80	2,20	3,20	2,16	2,32
5+200	1,20	1,80	0,80	1,20	0,20	1,04	1,23
Valor máximo=							3,26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.25: Tabla de cálculos IFI (ida)

Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	80,32	38,20	0,218	13,17	1,81	0,097
0+200	78,31	36,20	0,243	16,01	3,45	0,115
0+400	84,88	31,50	0,321	24,88	11,38	0,200
0+600	80,08	26,80	0,443	38,74	22,03	0,314
0+800	79,31	35,20	0,257	17,61	4,63	0,128
1+000	86,11	38,90	0,210	12,26	1,46	0,094
1+200	88,05	27,40	0,424	36,58	22,45	0,318
1+400	84,68	30,30	0,347	27,83	14,05	0,228
1+600	80,12	24,80	0,518	47,26	27,82	0,376
1+800	89,13	27,20	0,430	37,26	23,30	0,327
2+000	87,13	32,30	0,305	23,06	9,97	0,185
2+200	90,51	27,20	0,430	37,26	23,66	0,331
2+400	86,11	25,60	0,486	43,63	27,37	0,371
2+600	102,88	28,40	0,395	33,29	22,91	0,323
2+800	90,12	24,40	0,535	49,20	32,62	0,427
3+000	95,12	23,50	0,576	53,85	37,59	0,480
3+200	89,72	29,80	0,358	29,08	16,08	0,250
3+400	93,32	28,60	0,389	32,60	20,14	0,293
3+600	85,31	32,40	0,303	22,83	9,55	0,180
3+800	87,71	24,00	0,553	51,24	33,06	0,432
4+000	93,92	32,80	0,296	22,04	9,71	0,182
4+200	95,13	20,80	0,736	72,04	47,52	0,586
4+400	89,12	26,20	0,464	41,13	26,42	0,361
4+600	82,91	34,20	0,272	19,31	6,22	0,145
4+800	80,72	27,20	0,430	37,26	21,10	0,304
5+000	96,32	27,40	0,424	36,58	24,55	0,341
5+200	87,93	39,00	0,209	12,15	1,44	0,093
Promedio =				32,895		0,277

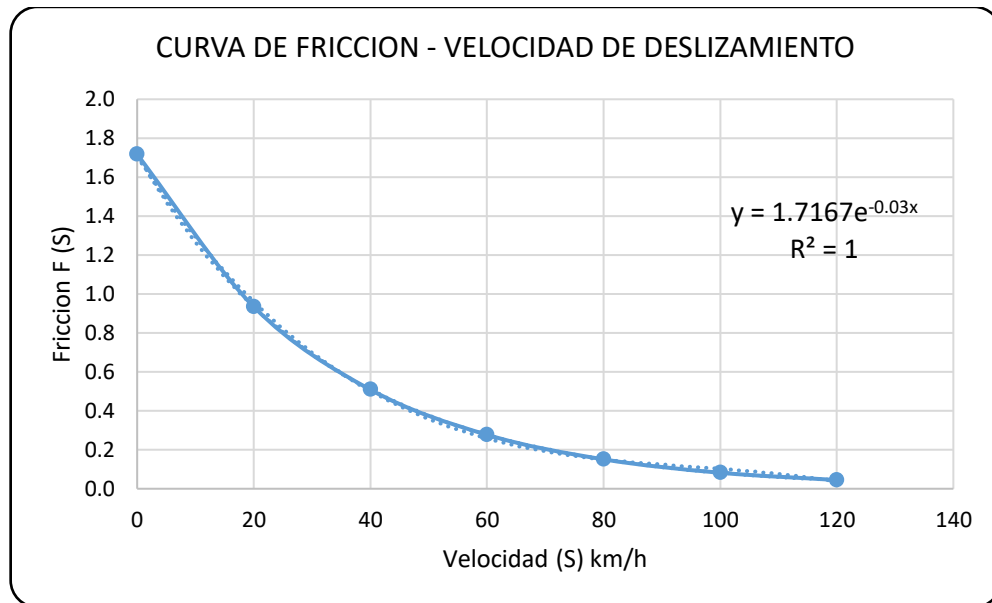
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.26: Fricción encontrada a partir de la velocidad S

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,717	0,935	0,509	0,277	0,151	0,082	0,045

Fuente: Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0.373

Gráfica 4.9: Curva fricción vs velocidad de deslizamiento (carril ida)

Velocidad máxima segura = 50,89 km/hr

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27: Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de círculo de arena con el respectivo volumen (carril vuelta)

Progr.	T °C	Coef. De Corr.	BPN corregido (adim.)						Prom.	Progr.	V (cm3)	Dp (cm)
5+200	48,00	3,08	87,08	93,08	94,08	94,08	93,08	92,28		5+200	25	24,10
5+000	47,00	3,105	86,11	88,11	91,11	88,11	90,11	88,71		5+000	25	23,00
4+800	48,00	3,08	81,08	79,08	80,08	80,08	83,08	80,68		4+800	25	21,60
4+600	49,00	3,045	84,05	88,05	83,05	83,05	83,05	84,25		4+600	25	26,80
4+400	48,00	3,08	90,08	93,08	94,08	93,08	92,08	92,48		4+400	25	29,80
4+200	47,00	3,105	102,11	101,11	100,11	102,11	102,11	101,51		4+200	25	27,60
4+000	48,00	3,08	99,08	102,08	102,08	103,08	103,08	101,88		4+000	25	23,10
3+800	47,00	3,105	91,11	95,11	96,11	93,11	94,11	93,91		3+800	25	30,80
3+600	47,00	3,105	97,11	97,11	96,11	94,11	96,11	96,11		3+600	25	33,40
3+400	46,00	3,12	98,12	93,12	93,12	93,12	88,12	93,12		3+400	25	23,40
3+200	45,00	3,125	88,13	89,13	89,13	88,13	89,13	88,73		3+200	25	25,20
3+000	45,00	3,125	83,13	82,13	86,13	88,13	87,13	85,33		3+000	25	31,00
2+800	44,00	3,12	91,12	90,12	91,12	88,12	90,12	90,12		2+800	25	22,10
2+600	44,00	3,12	98,12	93,12	93,12	98,12	99,12	96,32		2+600	25	20,80
2+400	45,00	3,125	103,13	103,13	98,13	102,13	102,13	101,73		2+400	25	20,40
2+200	45,00	3,125	98,13	102,13	100,13	98,13	101,13	99,93		2+200	25	29,40
2+000	44,00	3,12	83,12	86,12	87,12	88,12	87,12	86,32		2+000	25	32,80
1+800	45,00	3,125	97,13	96,13	96,13	97,13	97,13	96,73		1+800	25	36,80
1+600	45,00	3,125	82,13	83,13	88,13	86,13	88,13	85,53		1+600	25	27,20
1+400	44,00	3,12	85,12	83,12	86,12	87,12	85,12	85,32		1+400	25	37,80
1+200	44,00	3,12	78,12	78,12	80,12	79,12	81,12	79,32		1+200	25	28,50
1+000	43,00	3,105	78,11	81,11	79,11	81,11	78,11	79,51		1+000	25	38,80
0+800	43,00	3,105	83,11	82,11	78,11	83,11	83,11	81,91		0+800	25	32,20
0+600	43,00	3,105	87,11	90,11	86,11	86,11	85,11	86,91		0+600	25	31,40
0+400	42,00	3,08	88,08	88,08	88,08	87,08	84,08	87,08		0+400	25	38,60
0+200	42,00	3,08	86,08	86,08	88,08	88,08	87,08	87,08		0+200	25	31,80
0+000	41,00	3,045	89,05	88,05	89,05	89,05	89,05	88,85		0+000	25	31,40
Promedio =									90,06	Promedio =		28,88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.28: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo circulo de arena

Progresiva	círculo de la arena					DV	E(%)
	Error absoluto						
5+200	4,00	4,00	4,00	9,00	21,00	8,40	3,49
5+000	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	8,00	3,48
4+800	6,00	16,00	6,00	14,00	14,00	11,20	5,19
4+600	3,00	12,00	2,00	3,00	8,00	5,60	2,09
4+400	18,00	12,00	2,00	12,00	8,00	10,40	3,49
4+200	4,00	16,00	6,00	4,00	14,00	8,80	3,19
4+000	1,00	1,00	4,00	11,00	9,00	5,20	2,25
3+800	2,00	12,00	8,00	8,00	2,00	6,40	2,08
3+600	6,00	14,00	4,00	4,00	16,00	8,80	2,63
3+400	1,00	6,00	1,00	4,00	4,00	3,20	1,37
3+200	8,00	12,00	2,00	2,00	8,00	6,40	2,54
3+000	10,00	10,00	0,00	10,00	10,00	8,00	2,58
2+800	6,00	1,00	9,00	1,00	1,00	3,60	1,63
2+600	8,00	12,00	2,00	2,00	8,00	6,40	3,08
2+400	4,00	14,00	4,00	16,00	6,00	8,80	4,31
2+200	26,00	6,00	4,00	14,00	14,00	12,80	4,35
2+000	8,00	8,00	12,00	2,00	2,00	6,40	1,95
1+800	18,00	8,00	12,00	12,00	2,00	10,40	2,83
1+600	2,00	8,00	8,00	2,00	12,00	6,40	2,35
1+400	2,00	8,00	12,00	2,00	8,00	6,40	2,60
1+200	5,00	5,00	6,00	16,00	5,00	7,40	3,33
1+000	2,00	8,00	22,00	18,00	2,00	10,40	2,68
0+800	8,00	2,00	12,00	8,00	2,00	6,40	1,99
0+600	14,00	4,00	4,00	6,00	16,00	8,80	2,80
0+400	14,00	6,00	14,00	16,00	6,00	11,20	2,90
0+200	2,00	12,00	18,00	8,00	12,00	10,40	3,27
0+000	6,00	16,00	4,00	14,00	4,00	8,80	2,80
Valor máximo=							5,19

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.29: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo péndulo
ingles**

Progresiva	Péndulo Británico					DV	E (%)
	Error absoluto						
5+200	5,20	0,80	1,80	1,80	0,80	2,08	2,33
5+000	2,60	0,60	2,40	0,60	1,40	1,52	1,78
4+800	0,40	1,60	0,60	0,60	2,40	1,12	1,44
4+600	0,20	3,80	1,20	1,20	1,20	1,52	1,87
4+400	2,40	0,60	1,60	0,60	0,40	1,12	1,25
4+200	0,60	0,40	1,40	0,60	0,60	0,72	0,73
4+000	2,80	0,20	0,20	1,20	1,20	1,12	1,13
3+800	2,80	1,20	2,20	0,80	0,20	1,44	1,59
3+600	1,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,80	0,86
3+400	5,00	0,00	0,00	0,00	5,00	2,00	2,22
3+200	0,60	0,40	0,40	0,60	0,40	0,48	0,56
3+000	2,20	3,20	0,80	2,80	1,80	2,16	2,63
2+800	1,00	0,00	1,00	2,00	0,00	0,80	0,92
2+600	1,80	3,20	3,20	1,80	2,80	2,56	2,75
2+400	1,40	1,40	3,60	0,40	0,40	1,44	1,46
2+200	1,80	2,20	0,20	1,80	1,20	1,44	1,49
2+000	3,20	0,20	0,80	1,80	0,80	1,36	1,63
1+800	0,40	0,60	0,60	0,40	0,40	0,48	0,51
1+600	3,40	2,40	2,60	0,60	2,60	2,32	2,82
1+400	0,20	2,20	0,80	1,80	0,20	1,04	1,27
1+200	1,20	1,20	0,80	0,20	1,80	1,04	1,36
1+000	1,40	1,60	0,40	1,60	1,40	1,28	1,68
0+800	1,20	0,20	3,80	1,20	1,20	1,52	1,93
0+600	0,20	3,20	0,80	0,80	1,80	1,36	1,62
0+400	1,00	1,00	1,00	0,00	3,00	1,20	1,43
0+200	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,80	0,95
0+000	0,20	0,80	0,20	0,20	0,20	0,32	0,37
Valor máximo=							2,82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.30: Tabla de los cálculos (IFI) vuelta

Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
5+200	92,28	24,10	0,548	50,67	34,40	0,446
5+000	88,71	23,00	0,602	56,81	36,79	0,472
4+800	80,68	21,60	0,682	65,90	37,78	0,482
4+600	84,25	26,80	0,443	38,74	23,18	0,326
4+400	92,48	29,80	0,358	29,08	16,57	0,255
4+200	101,51	27,60	0,418	35,90	25,21	0,348
4+000	101,88	23,10	0,597	56,24	41,88	0,526
3+800	93,91	30,80	0,336	26,58	14,32	0,231
3+600	96,11	33,40	0,285	20,79	8,67	0,171
3+400	93,12	23,40	0,581	54,42	37,16	0,476
3+200	88,73	25,20	0,501	45,33	29,45	0,393
3+000	85,33	31,00	0,331	26,01	12,48	0,212
2+800	90,12	22,10	0,652	62,49	40,49	0,511
2+600	96,32	20,80	0,736	72,04	48,11	0,593
2+400	101,73	20,40	0,765	75,33	52,38	0,638
2+200	99,93	29,40	0,368	30,22	19,10	0,282
2+000	86,32	32,80	0,296	22,04	8,93	0,174
1+800	96,73	36,80	0,235	15,11	3,53	0,116
1+600	85,53	27,20	0,430	37,26	22,36	0,317
1+400	85,32	37,80	0,223	13,74	2,24	0,102
1+200	79,32	28,50	0,392	32,95	17,39	0,264
1+000	79,51	38,80	0,211	12,38	1,40	0,093
0+800	81,91	32,20	0,307	23,29	9,57	0,180
0+600	86,91	31,40	0,323	25,11	11,86	0,205
0+400	87,08	38,60	0,214	12,72	1,71	0,096
0+200	87,08	31,80	0,315	24,20	11,03	0,196
0+000	88,85	31,40	0,323	25,11	12,13	0,208
Promedio =				36,68		0,308

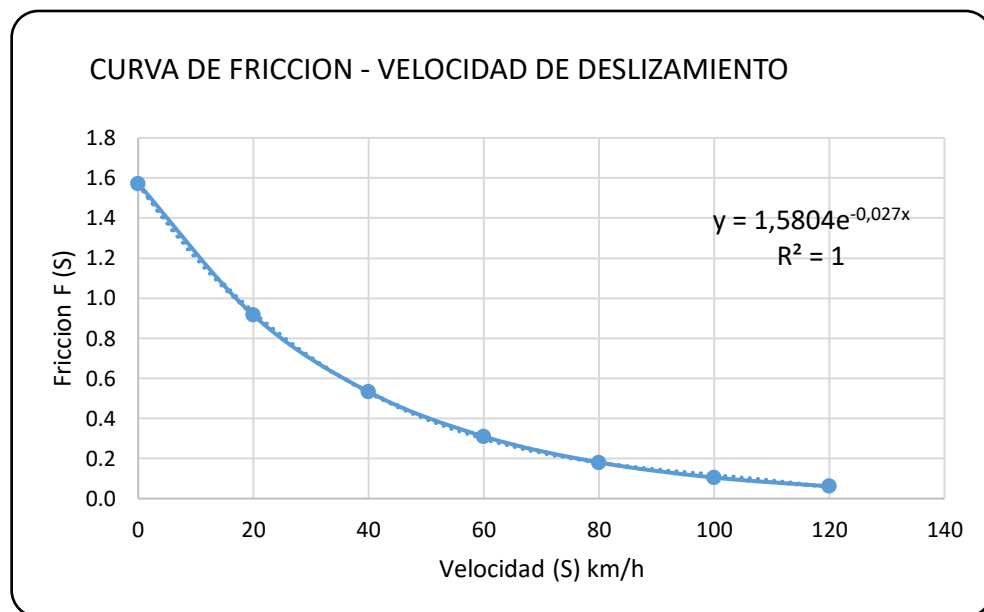
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.31: Fricción encontrada a partir de la velocidad S

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,580	0,916	0,531	0,308	0,178	0,103	0,060

Fuente: Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC =0.373

Gráfica 4.10: Curva fricción vs velocidad de deslizamiento (carril vuelta)

Velocidad máxima segura = 53,29 km/hr

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 Resultados del método IFI

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (Tx=PT) para carril de ida.

Tabla 4.32: Resultados según PT para carril ida

Progresiva	Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	Tx	Textura parcial
	1	2	3	4	5			
0+000	370	380	395	390	375	382,00	0,22	Fina
0+200	350	360	370	380	350	362,00	0,24	Fina
0+400	330	300	310	305	330	315,00	0,32	Fina
0+600	250	280	270	260	280	268,00	0,44	Media
0+800	350	360	340	360	350	352,00	0,26	Fina
1+000	400	395	380	390	380	389,00	0,21	Fina
1+200	250	270	280	280	290	274,00	0,42	Media
1+400	315	300	295	305	300	303,00	0,35	Fina
1+600	240	260	250	250	240	248,00	0,52	Media
1+800	250	260	280	280	290	272,00	0,43	Media
2+000	335	315	320	325	320	323,00	0,31	Fina
2+200	300	280	270	250	260	272,00	0,43	Media
2+400	260	260	255	245	260	256,00	0,49	Media
2+600	260	280	300	280	300	284,00	0,39	Fina
2+800	250	240	230	250	250	244,00	0,53	Media
3+000	250	235	230	235	225	235,00	0,58	Media
3+200	300	290	300	310	290	298,00	0,36	Fina
3+400	270	280	280	300	300	286,00	0,39	Fina
3+600	310	320	330	340	320	324,00	0,30	Fina
3+800	230	230	250	250	240	240,00	0,55	Media
4+000	340	310	330	340	320	328,00	0,30	Fina
4+200	200	200	220	210	210	208,00	0,74	Media
4+400	280	250	270	250	260	262,00	0,46	Media
4+600	310	330	350	360	360	342,00	0,27	Fina
4+800	270	280	260	280	270	272,00	0,43	Media
5+000	285	265	260	280	280	274,00	0,42	Media
5+200	380	390	400	380	400	390,00	0,21	Fina

Tx	Textura final
0,39	Fina

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de coeficiente de V resistencia al deslizamiento (CRD) para carril de ida

Tabla 4.33: Resultados según el CRD para carril de ida

Progresiva	Temp (°C)	FA	Lecturas					Prom.	BPNA	CRD	Calificación parcial
			1	2	3	4	5				
0+000	46	1,16	78	78	77	77	76	77,20	89,4	0,89	Bueno a regular
0+200	47	1,17	75	76	74	75	76	75,2	87,6	0,88	Bueno a regular
0+400	48	1,17	80	81	83	83	82	81,8	95,9	0,96	Malo
0+600	48	1,17	79	77	76	77	76	77	90,3	0,90	Bueno a regular
0+800	47	1,17	75	78	76	75	77	76,2	88,8	0,89	Bueno a regular
1+000	47	1,17	83	83	82	84	83	83	96,7	0,97	Malo
1+200	49	1,18	85	84	83	86	87	85	100,3	1,00	Malo
1+400	48	1,17	79	82	82	82	83	81,6	95,7	0,96	Malo
1+600	46	1,16	76	77	78	76	78	77	89,2	0,89	Bueno a regular
1+800	45	1,15	86	88	85	85	86	86	99,0	0,99	Malo
2+000	45	1,15	81	84	85	85	85	84	96,7	0,97	Malo
2+200	43	1,14	90	90	84	86	87	87,4	99,4	0,99	Malo
2+400	47	1,17	79	83	83	85	85	83	96,7	0,97	Malo
2+600	48	1,17	99	101	100	99	100	99,8	117,0	1,17	Malo
2+800	46	1,16	85	89	88	86	87	87	100,8	1,01	Malo
3+000	46	1,16	88	94	94	91	93	92	106,5	1,07	Malo
3+200	46	1,16	84	85	87	89	88	86,6	100,3	1,00	Malo
3+400	46	1,16	90	90	91	89	91	90,2	104,5	1,04	Malo
3+600	47	1,17	81	85	80	82	83	82,2	95,8	0,96	Malo
3+800	47	1,17	85	83	84	86	85	84,6	98,6	0,99	Malo
4+000	46	1,16	88	89	93	91	93	90,8	105,2	1,05	Malo
4+200	45	1,15	94	91	93	92	90	92	105,9	1,06	Malo
4+400	46	1,16	80	85	86	89	90	86	99,6	1,00	Malo
4+600	47	1,17	78	79	80	82	80	79,8	93,0	0,93	Malo
4+800	46	1,16	75	77	80	77	79	77,6	89,9	0,90	Bueno a regular
5+000	46	1,16	94	95	96	91	90	93,2	107,9	1,08	Malo
5+200	45	1,15	86	83	84	86	85	84,8	97,6	0,98	Malo

CRD	Calificación final
0,98	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta la profundidad de textura (Tx=PT) para carril de Vuelta

Tabla 4.34: Resultados según PT para carril Vuelta

Progresiva	Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial
	1	2	3	4	5			
5+200	245	245	245	250	220	241,00	0,55	Media
5+000	220	240	230	240	220	230,00	0,60	Media
4+800	210	200	210	230	230	216,00	0,68	Media
4+600	265	280	270	265	260	268,00	0,44	Media
4+400	280	310	300	310	290	298,00	0,36	Fina
4+200	280	260	270	280	290	276,00	0,42	Media
4+000	230	230	235	220	240	231,00	0,60	Media
3+800	310	320	300	300	310	308,00	0,34	Fina
3+600	340	320	330	330	350	334,00	0,29	Fina
3+400	235	240	235	230	230	234,00	0,58	Media
3+200	260	240	250	250	260	252,00	0,50	Media
3+000	300	320	310	300	320	310,00	0,33	Fina
2+800	215	220	230	220	220	221,00	0,65	Media
2+600	200	220	210	210	200	208,00	0,74	Media
2+400	200	190	200	220	210	204,00	0,76	Media
2+200	320	300	290	280	280	294,00	0,37	Fina
2+000	320	320	340	330	330	328,00	0,30	Fina
1+800	350	360	380	380	370	368,00	0,24	Fina
1+600	270	280	280	270	260	272,00	0,43	Media
1+400	380	370	390	380	370	378,00	0,22	Fina
1+200	280	280	285	290	290	285,00	0,39	Fina
1+000	390	380	410	370	390	388,00	0,21	Fina
0+800	330	320	310	330	320	322,00	0,31	Fina
0+600	300	310	310	320	330	314,00	0,32	Fina
0+400	400	380	400	370	380	386,00	0,21	Fina
0+200	320	330	300	310	330	318,00	0,31	Fina
0+000	320	330	310	300	310	314,00	0,32	Fina

MTD	Textura final
0,42	Media

Fuente: Elaboración propia.

Según criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) para carril de vuelta

Tabla 4.35: Resultados según el CRD para carril de Vuelta

Progresiva	Temp (°C)	FA	Lecturas					Prom.	BPNA	CRD	Calificación parcial
			1	2	3	4	5				
5+200	48	1,172	84	90	91	91	90	89,20	104,6	1,05	Malo
5+000	47	1,165	83	85	88	85	87	85,6	99,7	1,00	Malo
4+800	48	1,172	78	76	77	77	80	77,6	91,0	0,91	Bueno a regular
4+600	49	1,180	81	85	80	80	80	81,2	95,8	0,96	Malo
4+400	48	1,172	87	90	91	90	89	89,4	104,8	1,05	Malo
4+200	47	1,165	99	98	97	99	99	98,4	114,7	1,15	Malo
4+000	48	1,172	96	99	99	100	100	98,8	115,8	1,16	Malo
3+800	47	1,165	88	92	93	90	91	90,8	105,8	1,06	Malo
3+600	47	1,165	94	94	93	91	93	93	108,4	1,08	Malo
3+400	46	1,158	95	90	90	90	85	90	104,2	1,04	Malo
3+200	45	1,151	85	86	86	85	86	85,6	98,5	0,99	Malo
3+000	45	1,151	80	79	83	85	84	82,2	94,6	0,95	Malo
2+800	44	1,144	88	87	88	85	87	87	99,5	1,00	Malo
2+600	44	1,144	95	90	90	95	96	93,2	106,6	1,07	Malo
2+400	45	1,151	100	100	95	99	99	98,6	113,5	1,13	Malo
2+200	45	1,151	95	99	97	95	98	96,8	111,4	1,11	Malo
2+000	44	1,144	80	83	84	85	84	83,2	95,2	0,95	Malo
1+800	45	1,151	94	93	93	94	94	93,6	107,7	1,08	Malo
1+600	45	1,151	79	80	85	83	85	82,4	94,8	0,95	Malo
1+400	44	1,144	82	80	83	84	82	82,2	94,1	0,94	Malo
1+200	44	1,144	75	75	77	76	78	76,2	87,2	0,87	Bueno a regular
1+000	43	1,137	75	78	76	78	75	76,4	86,9	0,87	Bueno a regular
0+800	43	1,137	80	79	75	80	80	78,8	89,6	0,90	Bueno a regular
0+600	43	1,137	84	87	83	83	82	83,8	95,3	0,95	Malo
0+400	42	1,131	85	85	85	84	81	84	95,0	0,95	Malo
0+200	42	1,131	83	83	85	85	84	84	95,0	0,95	Malo
0+000	41	1,124	86	85	86	86	86	85,8	96,4	0,96	Malo

CRD	Calificación final
1,00	Malo

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3 análisis de los resultados

En los 5,200 km de trayecto de vía en el que se realizó el estudio superficial determinando el índice de fricción internacional IFI se presentaron los siguientes resultados tanto de los

valores IFI como así también de la calificación de la textura y fricción, se realizará un análisis para ambos carriles de ida y vuelta.

Cuadro 4.3: Textura en pavimento para el círculo de la arena

Textura	Círculo de arena HS (mm)
Muy fina	$HS < 0,20$
Fina	$0,2 < HS < 0,4$
Media	$0,4 < HS < 0,8$
Gruesa	$0,8 < HS < 1,2$
Muy gruesa	$> 1,2$

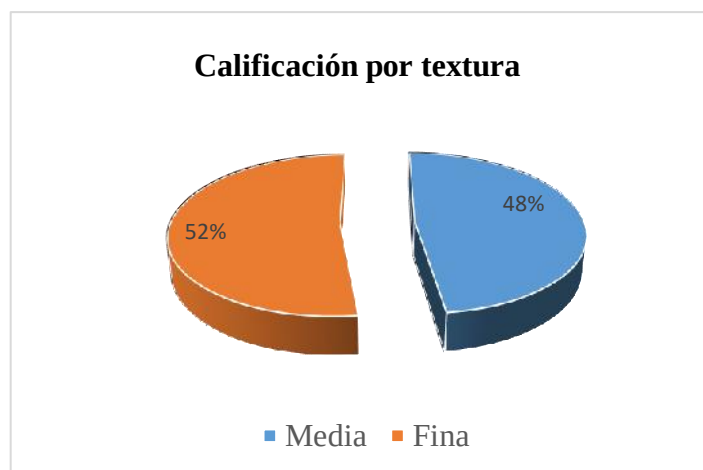
Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

Cuadro 4.4: valores de fricción con péndulo británico

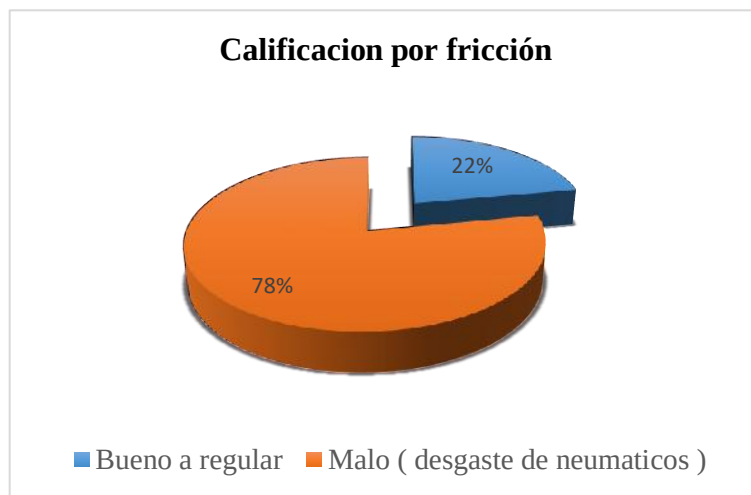
Calificación	Fricción
Malo (Deslizamiento del vehículo)	$< 0,5$
De regular a bueno	0,51-0,60
Bueno	0,61-0,80
De bueno a regular	0,81-0,90
Malo (Desgaste de los neumáticos)	$> 0,91$

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

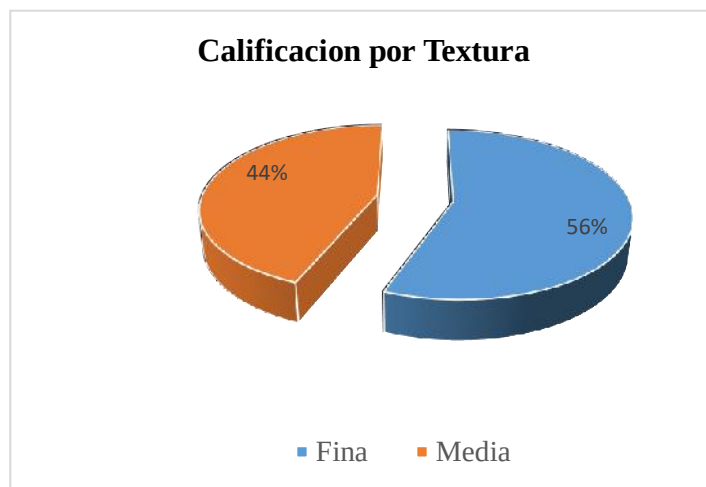
Gráfica 4.11: Porcentaje de calificación de textura (carril ida)



Fuente: Elaboración propia

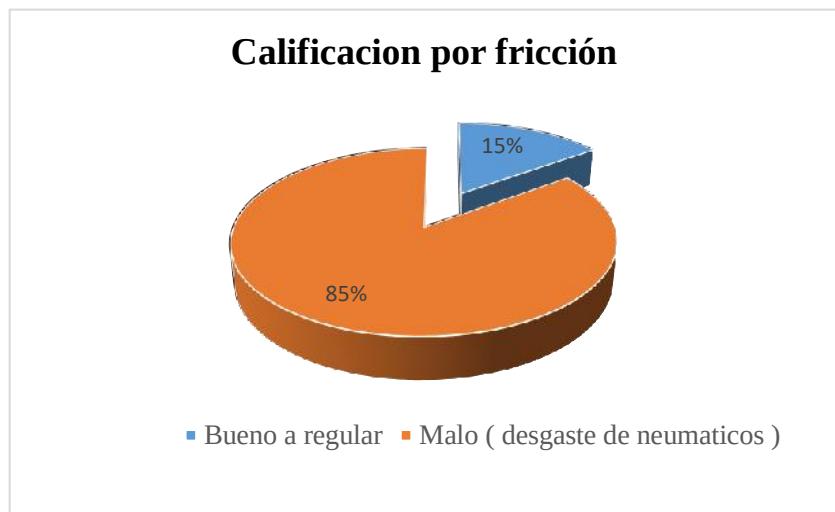
Gráfica 4.12: Porcentaje de calificación de la fricción (carril ida)

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.13: Porcentaje de calificación de Textura (carril vuelta)

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.14: Porcentaje de calificación de la fricción (carril vuelta)



Fuente: Elaboración propia.

Calificación de la textura

En los resultados obtenidos se puede observar que en los primeros 2 km predomina una textura “fina “con valores de 0,21 a 0,52, mientras que en los 3 km restantes los valores de textura tienden a subir hasta 0,74 de Tx.

Mediante el ensayo del círculo de la arena se pudo evidenciar que los resultados obtenidos estuvieron en los rangos (0,21 a 0,74) para el carril derecho, sacando un promedio de 0,39 correspondiente a una textura **FINA**.

Para el carril de Vuelta se puede apreciar que en los primeros 3 km la textura es de calificación “media” y para los 2 km restantes es de textura “fina”, dando como resultado un promedio de 0,42 que corresponde a una textura de clasificación **MEDIA**

en general los valores de Tx se encuentran en los rangos de (0,21 a 0,76) tanto para el carril de ida como para el carril de Vuelta se puede observar que en la mayoría de los puntos de ensayo los valores se encuentran en los rangos de $0,2 < HS < 0,4$.

para todo el tramo de ida y vuelta se cuenta con un porcentaje arriba del 50% como primer lugar que según la calificación del cuadro 4.3 corresponde a una calificación **FINA** y

como segundo lugar se presenta una calificación de textura **MEDIA** con un porcentaje arriba del 40%, esto significa que la textura Sólo para tramos raramente se superan los 80 Km/h en áreas urbanas y Para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 Km/h.

Calificación de la fricción

Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos para el carril derecho estuvieron en los rangos (0,88 a 1,17), se puede apreciar claramente en los resultados obtenidos del ensayo del péndulo británico que en los primeros 2 km presenta valores de fricción entre 0,88 a 1 dando a una clasificación de “bueno a regular”

Por lo cual en los posteriores 3 kilómetros presenta valores de 0,96 a 1,17; la cual relacionando con la tabla de valores de fricción del péndulo británico se sitúa en el primer lugar con una calificación “malo”. Dando como resultado un promedio de 0,98 de calificación **MALO** para todo el carril de ida.

para el carril Izquierdo estuvieron en los rangos (0,87 a 1,16), donde se puede apreciar que en los primeros 2 kilómetros presenta valores 0,91 a 1,16 dando una clasificación en estado malo, por lo cual en los restantes 3 kilómetros presenta valores de 0,94 a 1,13 donde también nos da una clasificación en estado “malo”, como resultado se obtuvo un promedio de 1,00 de calificación en estado **MALO** para todo el carril de vuelta.

Como se puede observar en los resultados de porcentajes para ambos carriles en la mayoría de los puntos de ensayo se obtuvo una calificación según el cuadro 4.4, corresponde a una calificación **MALO** (Desgaste de neumáticos) como primer lugar con el 78% y 85% y como segundo lugar se presenta una calificación de **BUENO A REGULAR** con un porcentaje del 22% y 15% esto significa que la adherencia entre el neumático del vehículo no es buena por lo que en las aceleraciones y frenadas fuertes las ruedas sufren un desgastamiento , mientras que la calificación del segundo lugar de bueno a regular , propician condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad con tránsito medio.

por lo tanto, la capa de rodadura todavía cuenta con una buena adherencia es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren mucho desgaste por fricción, Se debe evaluar periódicamente el CRD y PT.

mencionar que los ensayos para el método IFI se lo realizó por la huella externa del carril evitando algunas fallas considerables que se encuentran en la calzada.

4.2 ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL TRAMO

4.2.1 Procedimiento de cálculo del método de la viga Benkelman

Tabla 4.36: Planilla de cálculo de la viga Benkelman carril derecho (ida)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIOS DE LOS METODOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CONDICION EN EL TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR TRAMO: CAMPO PAJOSO-EL PALMAR CARRIL: DERECHO (IDA) FECHA: 09 DE ENERO DE 2021																
Nº	PROG. (Km)	LECTURAS DEL DIAL						PARÁMETROS DE ESTUDIO			PARÁMETROS CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMP.		Espesor asfalto
		L- a 0cm 0,01 mm	L- a 50cm 0,01 mm	L- a 100cm 0,01 mm	L- a 150cm 0,01 mm	L- a 200cm 0,01 mm	L-a 500cm 0,01 mm	Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)	Do 0,01 (mm)	D50 0,01 (mm)	Rc (m)	Amb. °C	Asfalto °C	
1	00+000	0	15	16	2	14	29	29,00	14,00	208	26	13	230	37,0	41,0	5,0
2	00+200	0	18	20	5	25	30	30,00	12,00	174	27	11	192	37,0	41,0	5,0
3	00+400	0	22	23	4	24	36	36,00	14,00	142	33	13	157	37,0	41,0	5,0
4	00+600	0	14	12	14	18	28	28,00	14,00	223	25	13	247	37,0	41,0	5,0
5	00+800	0	20	10	12	28	34	34,00	14,00	156	31	13	173	37,0	42,0	5,0
6	01+000	0	10	6	4	14	24	24,00	14,00	313	22	13	347	37,0	42,0	5,0
7	01+200	0	31	20	38	25	35	35,00	4,00	101	32	4	112	37,0	42,0	5,0
8	01+400	0	14	22	5	10	30	30,00	16,00	223	27	14	249	37,0	43,0	5,0
9	01+600	0	12	18	14	6	25	25,00	13,00	260	22	12	290	37,0	43,0	5,0
10	01+800	0	10	13	18	8	28	28,00	18,00	313	25	16	348	37,0	43,0	5,0
11	02+000	0	8	6	2	9	28	28,00	20,00	391	25	18	436	37,0	43,0	5,0
12	02+200	0	14	2	2	2	15	15,00	1,00	223	13	1	249	36,0	43,0	5,0
13	02+400	0	7	2	2	0	29	29,00	22,00	446	26	20	498	36,0	43,0	5,0

14	02+600	0	8	2	0	22	10	10,00	2,00	391	9	2	432	36,0	41,0	5,0
15	02+800	0	18	4	20	6	35	35,00	17,00	174	32	15	192	36,0	41,0	5,0
16	03+000	0	8	22	30	14	37	37,00	29,00	391	33	26	432	36,0	41,0	5,0
17	03+200	0	6	12	8	9	15	15,00	9,00	521	14	8	576	36,0	41,0	5,0
18	03+400	0	8	10	10	14	26	26,00	18,00	391	23	16	434	36,0	42,0	5,0
19	03+600	0	7	20	14	15	24	24,00	17,00	446	22	15	496	36,0	42,0	5,0
20	03+800	0	10	28	18	12	25	25,00	15,00	313	23	14	347	36,0	42,0	5,0
21	04+000	0	12	10	22	26	28	28,00	16,00	260	25	14	289	36,0	42,0	5,0
22	04+200	0	12	4	10	22	31	31,00	19,00	260	28	17	289	36,0	42,0	5,0
23	04+400	0	8	6	8	14	18	18,00	10,00	391	16	9	434	37,0	42,0	5,0
24	04+600	0	18	12	18	18	32	32,00	14,00	174	29	13	193	37,0	42,0	5,0
25	04+800	0	20	15	14	12	37	37,00	17,00	156	33	15	176	37,0	45,0	5,0
26	05+000	0	16	26	30	10	36	36,00	20,00	195	32	18	220	37,0	45,0	5,0
27	05+200	0	8	22	10	14	30	30,00	22,00	391	27	20	439	37,0	45,0	5,0

Fuente: Elaboración propia

Tratamiento estadístico:

Cálculo de la deflexión característica (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D=Deflexión recuperable promedio= 25,2

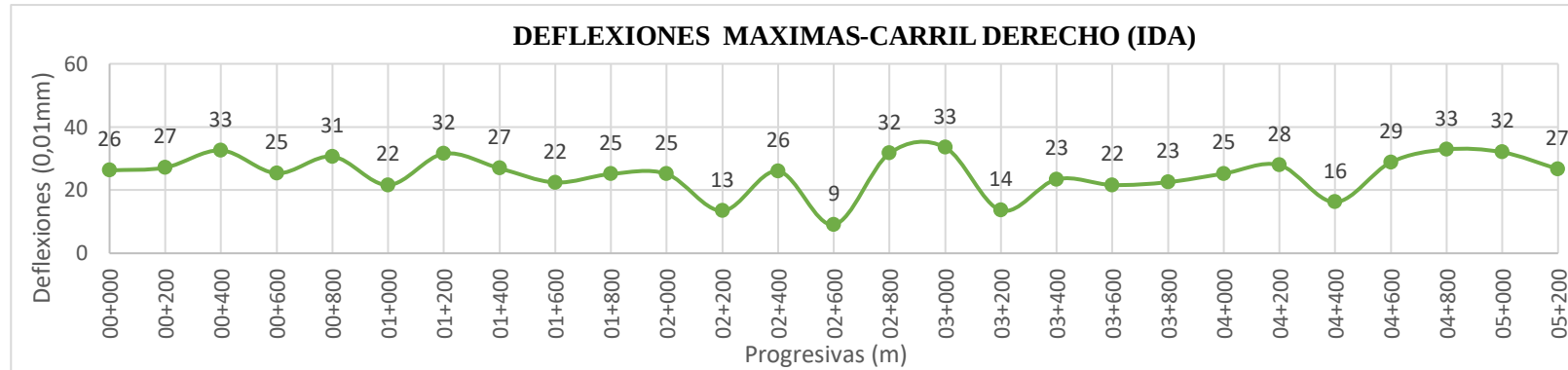
Ds=Desviación Estándar= 6,3

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

$$D_c = 35,51 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

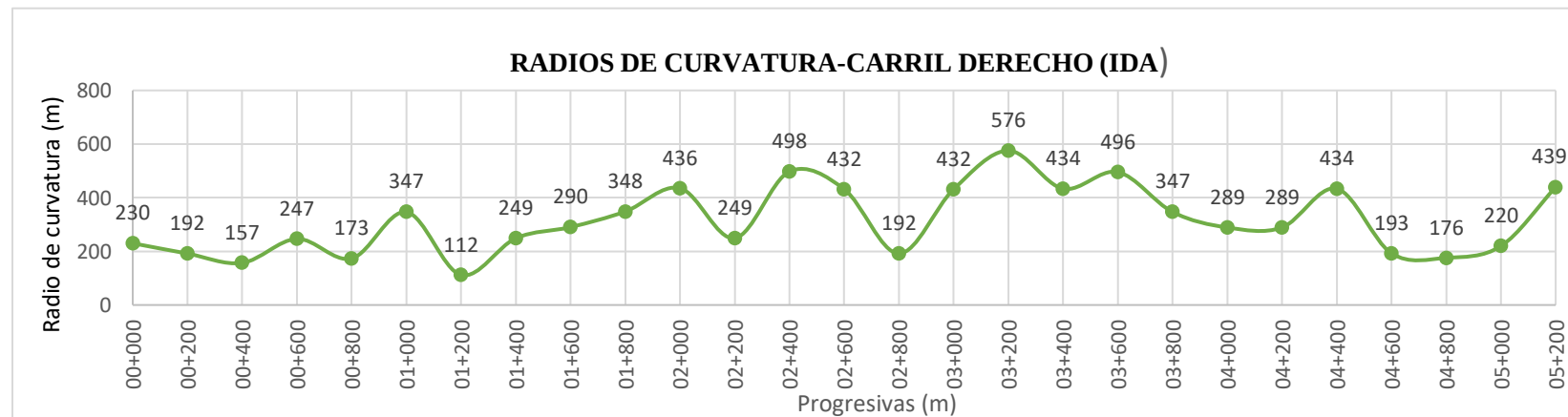
Numero de muestras	27	27	27
Sumatoria	679	361	8474
Promedio	25,2	13,4	313,8
Deflexión mínima	9	1	112
Deflexión máxima	33	26	576
Desviación estándar	6,3	5,4	124,8
Varianza	39,6	29,6	15573,7
Coeficiente de varianza	25,0	40,8	39,8
Valor característico	35,51	22,3	519,1

Gráfica 4.15: Deflexiones máximas (carril ida)



Elaboración propia.

Gráfica 4.16: Radios de curvatura (carril ida)



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.37: Planilla de cálculo de la viga Benkelman carril izquierdo (vuelta)

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIOS DE LOS METODOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR LA CONDICION EN EL TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR TRAMO: CAMPO PAJOSO-EL PALMAR CARRIL: IZQUIERDO (VUELTA) FECHA: 09 DE ENERO DE 2021																
Nº	PROG. (Km)	LECTURAS DEL DIAL						PARÁMETROS DE ESTUDIO			PARÁMETROS CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMP.		Espesor asfalto (cm)
		L- a 0cm 0,01 mm	L- a 50cm 0,01 mm	L- a 100cm 0,01 mm	L- a 150cm 0,01 mm	L- a 200cm 0,01 mm	L-a 500cm 0,01 mm	Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)	Do (0,01 (mm)	D50 (0,01 (mm)	Rc (m)	Amb. °C	Asfalto °C	
1	05+200	0	12	9	8	12	28	28,00	16,00	260	25	14	288	37,0	41,0	5,0
2	05+000	0	12	21	2	2	30	30,00	18,00	260	27	16	288	37,0	41,0	5,0
3	04+800	0	8	12	13	10	28	28,00	20,00	391	25	18	432	37,0	41,0	5,0
4	04+600	0	22	25	12	12	30	30,00	8,00	142	27	7	157	37,0	41,0	5,0
5	04+400	0	25	33	33	33	32	32,00	7,00	125	29	6	139	37,0	42,0	5,0
6	04+200	0	20	22	22	11	27	27,00	7,00	156	24	6	173	37,0	42,0	5,0
7	04+000	0	25	26	10	10	28	28,00	3,00	125	25	3	139	36,0	42,0	5,0
8	03+800	0	28	11	10	12	30	30,00	2,00	112	27	2	124	36,0	43,0	5,0
9	03+600	0	8	12	9	12	22	22,00	14,00	391	20	13	436	36,0	43,0	5,0
10	03+400	0	12	12	10	14	29	29,00	17,00	260	26	15	290	36,0	43,0	5,0
11	03+200	0	16	14	14	17	25	25,00	9,00	195	22	8	218	36,0	43,0	5,0
12	03+000	0	12	14	16	15	30	30,00	18,00	260	27	16	290	36,0	43,0	5,0
13	02+800	0	20	22	20	23	22	22,00	2,00	156	20	2	174	36,0	43,0	5,0

14	02+600	0	28	9	12	11	30	30,00	2,00	112	27	2	123	36,0	41,0	5,0
15	02+400	0	8	8	10	9	12	12,00	4,00	391	11	4	432	36,0	41,0	5,0
16	02+200	0	22	11	11	12	25	25,00	3,00	142	23	3	157	36,0	41,0	5,0
17	02+000	0	20	12	14	12	22	22,00	2,00	156	20	2	173	35,0	41,0	5,0
18	01+800	0	10	14	14	17	24	24,00	14,00	313	22	13	345	35,0	41,0	5,0
19	01+600	0	17	12	16	18	24	24,00	7,00	184	22	6	203	35,0	41,0	5,0
20	01+400	0	20	10	10	14	24	24,00	4,00	156	22	4	173	35,0	41,0	5,0
21	01+200	0	20	9	12	11	30	30,00	10,00	156	27	9	173	35,0	41,0	5,0
22	01+000	0	30	18	18	20	32	32,00	2,00	104	29	2	115	32,0	41,0	5,0
23	00+800	0	21	9	12	11	22	22,00	1,00	149	20	1	164	32,0	41,0	5,0
24	00+600	0	12	8	10	18	30	30,00	18,00	260	27	16	286	32,0	40,0	5,0
25	00+400	0	14	15	10	12	24	24,00	10,00	223	22	9	246	32,0	40,0	5,0
26	00+200	0	15	12	15	12	30	30,00	15,00	208	27	14	229	30,0	40,0	5,0
27	00+000	0	21	14	14	17	30	30,00	9,00	149	27	8	164	30,0	40,0	5,0

Fuente: Elaboración propia.

Tratamiento estadístico

Cálculo de la deflexión característica (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde: D=Deflexión recuperable promedio= 24,1

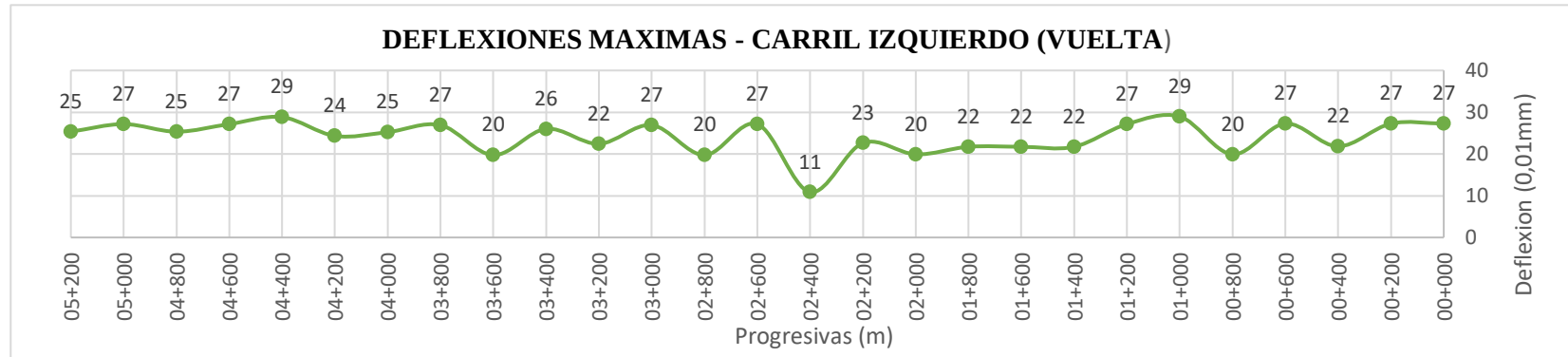
Ds=Desviación Estándar= 4

t=constante de probabilidad al 95

$$D_c = 30,65 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

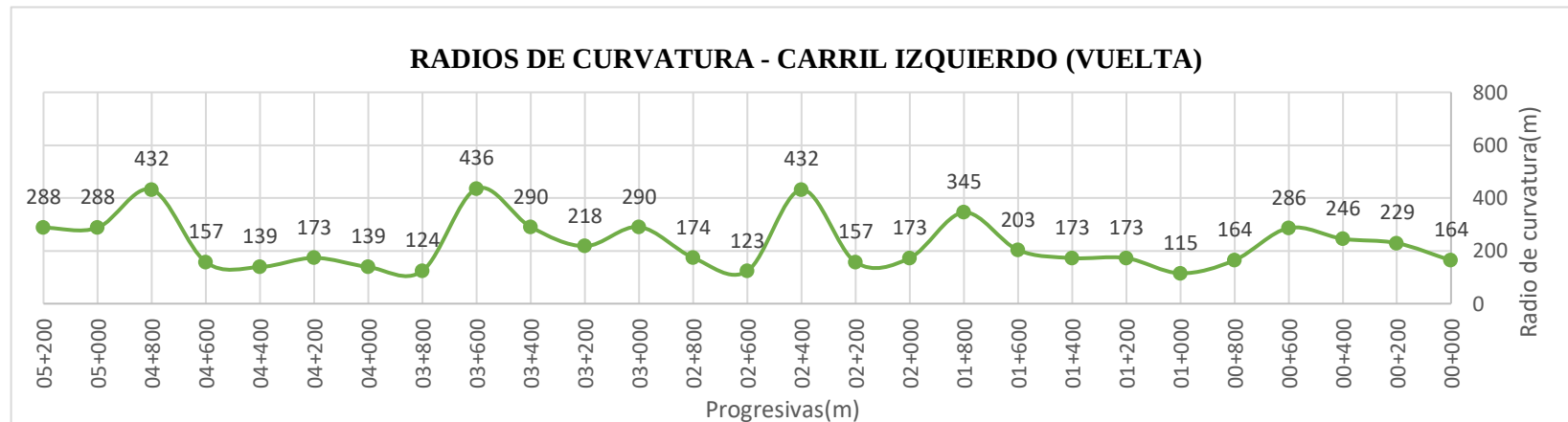
Numero de muestras	27	27	27
Sumatoria	650	219	6130
Promedio	24,1	8,1	227,1
Deflexión mínima	11	1	115
Deflexión máxima	29	18	436
Desviación estándar	4,0	5,6	96,6
Varianza	15,9	31,7	9338,8
Coeficiente de varianza	16,5	69,5	42,6
Valor característico	30,65	17,4	386,0

Gráfica 4.17: Deflexiones máximas (carril vuelta)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.18: Radios de curvatura (carril vuelta)



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis de los resultados de la viga Benkelman

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en el tramo, a continuación, se realizará un análisis de ambos carriles.

La deflexión máxima obtenida en el carril derecho del tramo Campo Pajoso - El Palmar es 33×10^{-2} mm es menor a la deflexión característica de 35×10^{-2} mm, sabiendo que la deflexión admisible, es un parámetro definido en función al tráfico de diseño, que establece un límite para la deflexión característica, por encima del cual no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura, durante el periodo considerado, por lo tanto las deflexiones máximas no sobrepasan y cumplen satisfactoriamente esta condición, por lo tanto el pavimento estudiado tiene capacidad aun para resistir los esfuerzos del tráfico.

También se puede ver que la gran mayoría de los radios de curvaturas están dentro de los rangos aceptados 100 menores R_c menor a 500 a excepción de la progresiva 03+200 se pasa del valor aceptado, teniendo así un promedio $R_c=313,8$ m por lo tanto se puede indicar que el pavimento estudiado califica como satisfactorio debido a que cumple con el criterio adoptado.

En el carril izquierdo se puede apreciar que la deflexión máxima es de 29×10^{-2} mm que es menor a la deflexión característica de $30,34 \times 10^{-2}$ mm y los radios de curvaturas están dentro de los rangos establecidos con un promedio de $R_c=228$ m lo que significa que ambos carriles de la vía son capaz de resistir las sollicitaciones de tráfico.

Tabla 4.38: Resultados en general por km de todo el tramo en estudio

PROGRESIVAS		EVALUACIÓN SUPERFICIAL							EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	
		IRI		PCI	CÍRCULO DE ARENA (calificación de la textura)		PENDULO DE FRICCIÓN		VIGA BENKELMAN 100<Rc<500	
INICIO	FINAL	DER	IZQ		DER	IZQ	DER	IZQ	DER	IZQ
0+000	1+000	Bueno	Bueno	Bueno	Fina	Fina	Bueno a regular	Bueno a regular	Bueno	Bueno
1+000	2+000	Bueno	Bueno	Regular	Media	Fina	Malo	Malo	Bueno	Bueno
2+000	3+000	Bueno	Bueno	Bueno	Media	Media	Malo	Malo	Bueno	Bueno
3+000	4+000	Regular	Bueno	Bueno	Media	Media	Malo	Malo	Bueno	Bueno
4+000	5+200	Bueno	Bueno	Bueno	Media	Media	Malo	Malo	Bueno	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

4.3: ANÁLISIS DE RELACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL CON EL ESTADO ESTRUCTURAL

Como se puede observar en la tabla 4.38 la evaluación mediante los métodos no destructivos varia en cada kilómetro estudiado debido a que algunos ensayos se realizaron en los puntos más desfavorables del tramo, en la evaluación superficial presenta un pavimento en buenas condiciones para el tráfico, sin embargo, se nota un deterioro progresivo de la calzada, Para sustentar lo mencionado se utilizó calicatas de muestras y la aforación de vehículos para el cálculo de numero de ejes equivalentes que se realizó del estudio de diseño técnico de preinversión del tramo Villamontes-Yacuiba del paquete estructural proporcionado por la administradora boliviana de carreteras (ABC) Con la finalidad de obtener mayor información que sustente este análisis para lo cual se extrajo los siguientes datos solicitado para dichas capas y se realiza la siguiente comparación:

Cuadro 4.5: Requisitos para materiales de base granular

Ensayo	Requisitos
CBR mínimo	95
Limite plástico	20
Limite liquido	25
Índice de plasticidad máximo	6

Fuente: Garnica, P., Gómez, J. A. y Sesma, J. A. (2002).

Tabla 4.39: Resultados EDTP

Ensayo	0+500	3+000	4+000
CBR 95%	71,1	96,8	53,2
Índice de Plasticidad	NP	NP	NP

Fuente: Administradora boliviana de carreteras (ABC)

valores mínimos para la capa base, según parámetros de diseño que se muestran en el cuadro el valor del cbr debe ser mayor o igual al 95 %, el CBR obtenido de la calicatas no cumplen el valor requerido, excepto en la muestra de la progresiva 3+000 cumple con la condición, la clasificación no es la adecuada, razón por lo cual es un terreno inestable.

Cuadro 4.6: Características técnicas de la sub rasante y del diseño geométrico

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

Fuente: Arguello, J (2004)

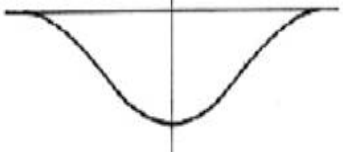
Tabla 4.40: Resultados Subrasante EDTP

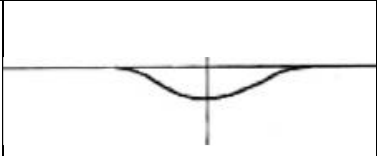
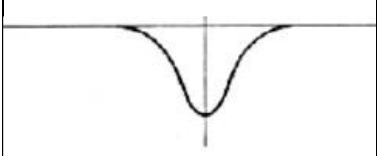
Ensayo	0+500	3+000	4+000
CBR al 95%	61,3	26,4	44,1
Clasificación SUCS	SM-SP	SM	SM
Clasificación ASSHTO	A-1-b	A1b	A24
Índice de plasticidad	NP	NP	NP

Fuente: Administradora boliviana de carreteras (ABC)

la muestra 1, posee una alta resistencia a esfuerzos cortantes, la muestra 2 y 3 pertenece a un suelo arena limoso a pesar de que el suelo no corresponda al recomendado, pero tiene un cbr bueno para subrasantes.

Cuadro 4.7: Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones

Tipo	Cuenco de deflexiones	Curva media	Pavimento evaluado
I		Curva extensa Poco profunda	Buen pavimento Buena Sub rasante
II		Curva Extensa profunda	Buen pavimento Mala subrasante

III		Curva corta poco profunda	Mal pavimento Buena subrasante
IV		Curva Corta Profunda	Mal Pavimento Mala Subrasante

Fuente: Método Conrevial (2015).

De acuerdo al cuadro 4.7 la relación del cuenco de deflexiones con el CBR corresponde a una clasificación de tipo I: Estos modelos de deformación poseen un buen comportamiento estructural de subrasante y un buen comportamiento estructural del pavimento, ya que presentan un radio de curvatura mediana y una deflexión pequeña. Esto debido a que presentan un pavimento con sus capas en regular estado de deterioro, además de subrasante que posee materiales que cumplen con la calidad solicitada.

4.3.1 Cálculo de numero de ejes equivalentes EDTP

El Aforo Vehicular Clasificado que se realizó obtener los correspondientes volúmenes de tránsito, en el cual se especificó el tipo de vehículo y se registró la dirección por sentido de circulación en el tramo estudiado.

Los aforos se realizaron manualmente, registrando el tránsito de vehículos durante una semana las 24 horas del día, encada estación de aforo

Tabla 4.41 Aforo de vehículos por tipo y sentido de circulación

Tipo de vehículos	E1 Villamontes a campo pajoso	E2 campo pajoso Villamontes
Automóviles-Vagonetas	848	622
Camionetas	310	227
Minibuses	184	120
microbuses	20	33
Buses medianos	14	14
Buses grandes	7	7

Camiones mediano de 2 ejes	46	36
Camiones grandes de 2 ejes	34	27
Camiones de 3 ejes	25	22
Camiones semirremolques	38	53
Camiones remolques	11	24

Fuente: EDTP Villamontes Yacuiba (ABC).

Cuadro 4.8: Relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes (EE) para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos

Tipo de eje	Eje equivalente (EE 8.2 tn)
Eje simple de ruedas simples (EES1)	$EE_{S1} = (p/6.6)^{4.0}$
Eje simple de ruedas dobles (EES2)	$EE_{S2} = (p/8.2)^{4.0}$
Eje Tandem (1eje ruedas dobles +1 eje rueda simple) (EETA1)	$EE_{S1} = (p/14.8)^{4.0}$
Eje Tandem (2 Ejes d ruedas dobles)(EETA2)	$EE_{S1} = (p/15.1)^{4.0}$
Ejes trídem (2 ejes ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EETR1)	$EE_{S1} = (p/21.8)^{3.9}$
Ejes Tridem(3 ejes de ruedas dobles)(EETR2) EETR2	$EE_{S1} = (p/20.7)^{3.9}$
P= peso real por eje en toneladas	

Fuente: Ministerio de transporte y comunicaciones. (2013) Perú.

Tabla 4.42: Calculo del factor de carga E1

Tipo de vehículo		IMDa	Tipo eje	N° llantas	Carga eje Tn	Fp. flexible	f. IMDa flexible
		2020					
Vehículos ligeros	Autos	121,14	simple	2	1	0,000527	0,064
		121,14	simple	2	1	0,000527	0,064
	camioneta	44,29	simple	2	1	0,000527	0,023
		44,29	simple	2	1	0,000527	0,023
	Mini buses	26,28	simple	2	1	0,000527	0,014
		26,28	simple	2	1	0,000527	0,014
	Micro buses	2,85	simple	2	1	0,000527	0,002
		2,85	simple	2	1	0,000527	0,002
	Buses medianos	2	simple	2	1	0,000527	0,001
	2	simple	2	1	0,000527	0,001	
Vehículos Pesados	Buses grandes	3,5	simple	2	7	1,265367	4,428
		3,5	simple	4	11	3,238287	11,334
	Camión 2E	6,57	simple	2	7	1,265367	8,314
		6,57	simple	4	11	3,238287	21,278
	Camión grande 2E	4,85	simple	2	7	1,265367	6,137
		4,85	simple	4	11	3,238287	15,706
	Camión 3E	3,57	simple	2	7	1,265367	4,518
		3,57	tándem	8	18	2,019213	7,211
	Camiones semirremolques	5,42	simple	2	7	1,265367	6,868
		5,43	simple	4	11	3,238287	17,577
		5,43	simple	4	11	3,238287	17,577
		5,43	tándem	8	18	2,019213	10,960
	Camiones remolques	1,57	simple	2	7	1,265367	1,987
		1,57	simple	4	11	3,238287	5,087
		1,57	simple	4	11	3,238287	5,087
		1,57	tándem	8	20	3,077600	4,834
suma							149,109

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.43: cálculo del factor de carga Estación 2

Tipo de vehículo		IMDa	Tipo eje	N° llantas	Carga eje Tn	Fp. flexible	f. IMDa flexible
		2020					
Vehículos ligeros	Autos	88,86	simple	2	1	0,000527	0,047
		88,86	simple	2	1	0,000527	0,047
	camioneta	32,43	simple	2	1	0,000527	0,017
		32,43	simple	2	1	0,000527	0,017
	Mini buses	17,14	simple	2	1	0,000527	0,009
		17,14	simple	2	1	0,000527	0,009
	Micro buses	4,71	simple	2	1	0,000527	0,002
		4,71	simple	2	1	0,000527	0,002
	Buses medianos	2	simple	2	1	0,000527	0,001
		2	simple	2	1	0,000527	0,001
	Buses grandes	1	simple	2	7	1,265367	1,265
		1	simple	4	11	3,238287	3,238
	Camión 2E	5,14	simple	2	7	1,265367	6,504
		5,14	simple	4	11	3,238287	16,645
	Camión grande 2E	3,86	simple	2	7	1,265367	4,884
		3,86	simple	4	11	3,238287	12,499
	Camión 3E	3,14	simple	2	7	1,265367	3,973
		3,14	tándem	8	18	2,019213	6,340
	Camiones semirremolques	7,57	simple	2	7	1,265367	9,579
		7,57	simple	4	11	3,238287	24,514
		7,57	simple	4	11	3,238287	24,514
		7,57	tándem	8	18	2,019213	15,285
	Camiones remolques	3,43	simple	2	7	1,265367	4,340
		3,43	simple	4	11	3,238287	11,107
		3,43	simple	4	11	3,238287	11,107
		3,43	tándem	8	20	3,077600	10,556
suma		166,502					

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.9: cálculo del número de ejes equivalentes E1

Tasa anual de crecimiento vehículos pesados	r	0,05
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	33,07
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada ,2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*factor carril	Fd*Fc	0,5
Numero de ejes equivalentes (ESAL) $\#EE = 365 * (\sum f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	899913

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4.8: cálculo del número de ejes equivalentes E2

Tasa anual de crecimiento vehículos pesados	r	0,05
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n	20
Factor Fca vehículos pesados $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	33,07
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada ,2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional*factor carril	Fd*Fc	0,5
Numero de ejes equivalentes (ESAL) $\#EE = 365 * (\sum f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	1004885

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Cálculo de la deflexión admisible estación 1 carril izquierdo

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

$$D_{adm} = 0,930 \text{ mm}$$

$$D_{max} = 29 * 10^{-2}$$

4.3.3 Cálculo de la deflexión admisible estación 2 carril derecho

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

$$D_{adm} = 0,905 \text{ mm}$$

$$D_{max} = 33 * 10^{-2}$$

Después de tabular los datos obtenidos el EDTP “Villamontes- Yacuiba” se hizo un análisis de la capacidad estructural del tramo, la deflexión máxima para la estación 1 es $D_{max} = 29 * 10^{-2}$ mm, que se encuentra en la progresiva 04+400, el cual es menor a $D_{adm} = 0,976$ mm. La deflexión máxima para la estación 2 es $D_{max} = 33 * 10^{-2}$ que se encuentra en la progresiva 03+000, el cual es menor a la deflexión admisible $D_{adm} = 0,905$ mm. Por lo tanto, todas las deflexiones máximas se encuentran por debajo de la deformación admisible, lo que significa que el tramo “Campo Pajoso – El Palmar” tendrá capacidad estructural suficiente para resistir solicitaciones de tráfico, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

4.4 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

4.4.1 Plan de Rehabilitación y Mantenimiento de Pavimentos Flexibles

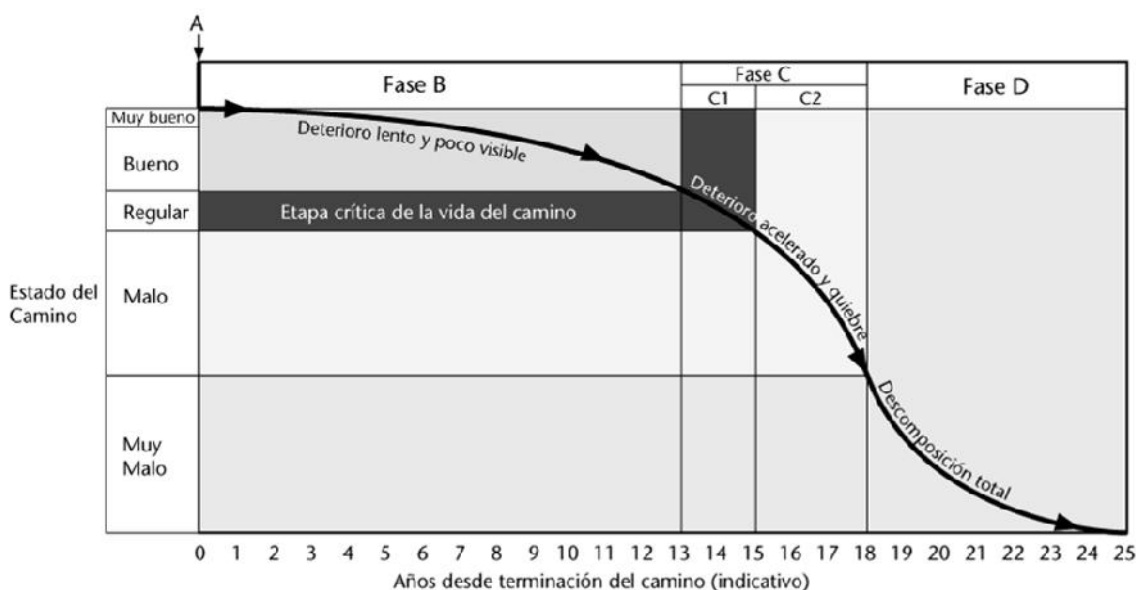
EL estado del pavimento flexible del tramo aún se encuentra en una condición BUENA, por lo tanto, es un buen momento para intervenir el tramo y evitar mayores fallas y por lo tanto un mayor costo de mantenimiento, para la presente propuesta se tomó en cuenta solo las fallas mas relevantes de clase severidad media y alta determinadas por el método PCI en el tramo campo pajoso-el palmar, solo en las progresivas que tienen mayor afectación de deterioros.

Al tratarse de una vía de carácter interdepartamental de considerable afluencia, que demanda un alto tráfico, se requiere de intervenciones en la capa de rodadura para mejorar las condiciones funcionales y el tránsito vehicular, dado que requieren una acción de mantenimiento.

Estructuralmente, la vía se encuentra afectada por parches dispersos, fisuras longitudinales y extensas áreas de piel de cocodrilo producidas principalmente por el desgaste de la capa asfáltica, En base a estas características, se propone determinadas actividades de

mantenimiento según el cuadro 4.9 y tomando en cuenta la curva de deterioro de un pavimento de acuerdo al estado del camino en este caso se encuentra en la fase B

Figura N° 4: Fase de deterioro de un pavimento



Fuente: Manual de conservación vial ABC

Fase B: deterioro lento y poco visible.

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un desgaste y un proceso de debilitamiento lento, principalmente en la superficie pavimentada, como, asimismo, aunque en un menor grado, en el resto de su estructura. Este desgaste se produce por la gran cantidad de vehículos pesados y livianos que circulan por él, aunque también por influencia del clima, del agua de lluvias o las aguas superficiales, la radiación solar, los cambios de temperatura, y otros factores, es necesario aplicar, con cierta frecuencia, diferentes medidas de conservación, principalmente en el pavimento y en las obras de drenaje. Además, hay que efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento. Si no se ejecutan estas actividades, se acorta el período de desgaste lento y poco visible; en vez de durar 10 ó 15 años, el período dura sólo seis u ocho. Durante toda la fase B el camino se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado, en el pleno sentido del término. (Sector B del gráfico).

Tabla 4.44 Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla

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

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una descripción de las actividades determinadas que se deben ejecutar en la vía, basado en las especificaciones generales para la construcción de caminos y el Manual de conservación vial ABC.

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 inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda, inicialmente las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan

formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo.

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.

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

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 importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).

Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Reparación recomendada

Para la falla de piel de cocodrilo y los parches de severidad leve y media

Bacheo superficial (reparación provisional) para superficies con grietas de más de 3 mm de ancho

Bacheo Superficial

Consiste en reconstruir áreas puntuales de la capa de rodadura hasta la capa superior del material de base, en los pequeños deterioros que empiezan a formarse y que posterior pueda afectar en la funcionalidad de la vía.

Personal

- Superintendente de obras
- Operador
- Chofer
- Peón

Equipo

- Camión volqueta 10 m³
- Compactador neumático o rodillo liso
- Cortadora de asfalto 13hp
- Compresor de aire 198cfm
- Placa vibratoria

procedimiento

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se a bachear en forma tal que los borde resulten con caras verticales.
- Se limpian el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- Se usa el cepillo para extender sobre las grietas, material asfaltico de gradación fina, mezclado en planta.
- Se compacta con un compactador vibrante plano, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- Se aplica una capa de pega.
- Se coloca un parche delgado con material asfaltico mezclado en caliente en planta. si se dispone de este material, se utiliza mezcla con asfalto líquido, antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- Se compacta el parche con un compactador vibrante plano si no se dispone de ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla.

Grietas longitudinales y transversales

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

- Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

Grietas de borde

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento.

El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Reparación recomendada

Para las fisuras longitudinales y transversales y fisuras de borde de severidad leve, media y alta, Sellado de fisuras y grietas.

Sellos de grietas con lechada asfáltica

El sellado de grietas consiste en la limpieza y sellado de las mismas con productos asfálticos, lechada o mezcla asfáltica, con la finalidad de impermeabilizar la superficie prevenir la entrada de agua y otros materiales a la estructura del pavimento y protegerlo del intemperismo para evitar que avance el envejecimiento (Higuera Sandoval, 2012).

Personal

- Superintendente de obra
- Operador
- Chofer
- Peón

Equipo

- Camión volqueta 10 m³.
- Cargador frontal
- Camión distribuidor de asfalto

- Distribuidor de arena

Procedimiento

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera

- Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- Se rellena las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- Mediante el distribuidor a presión se aplicará primero un riego de emulsión diluida en agua asegurando que se produzca un recubrimiento uniforme
- Se comprueba la nivelación con una regla.
- El sello con lechada asfáltica no se aplicará si la temperatura ambiente o del pavimento este descendiendo por debajo de los 10 °C.
- El área tratada solo podrá entregarse al tránsito cuando la lechada este lo suficiente firme, como para que no se levante por la acción de los neumáticos

Se cuenta con el total del área afectada y análisis de precios unitarios para cada tipo de trabajo de mantenimiento y rehabilitación para las fallas y nivel de severidad, para observar a detalle los precios unitarios en cada módulo ver el ANEXO 7.

El presupuesto es presentado a continuación:

Tabla 4.45 Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación

Nº	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	P. parcial
	M01 -Trabajos preliminares				10009,06
1	Trazado y replanteo en carpeta asfáltica	m ²	1225,1	8,17	10009,06
	M02-Movimientos de tierra y demolición				29598,41
2	Demolición de carpeta asfáltica	m ²	1225,1	24,16	29598,41

	M03-Sellado de grietas y fisuras				210972,45
3	Imprimación bituminosa	m ²	1225,1	9,11	11160,66
4	Bacheo superficial	m ²	790,90	245,17	193904,95
5	Lechada asfáltica	m	150,80	39,17	5906,83
	M04-Señalización horizontal				101380,43
6	Pintado de líneas continuas e=0,10m	m	10400	6,50	67600
7	Pintado de líneas discontinuas e=0,10m	m	5200	6,50	33800
	Total, presupuesto				351979,93
	Trescientos cincuenta y un mil novecientos setenta y nueve 93/100 Bs				

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Es necesario mencionar que al ver la preocupación de los transeúntes y habitantes de la zona del tramo “Campo pajoso -El palmar” y al observar que la vía presenta fallas a debido a su antigüedad, se ve la necesidad de realizar el estudio superficial y estructural, actualmente el pavimento presenta varias irregularidades las cuales fueron analizadas a detalle en la presente investigación.

Tras analizar los resultados de los indicadores del estado, se concluye que del estado superficial y estructural del tramo sobresale lo siguiente:

- En el tramo “Campo pajoso -El palmar” se realizó un estudio superficial por el método de Índice de Condición de Pavimento (PCI) en función al manual de fallas del manual para conservación vial ABC se realizó la inspección en 46 unidades de muestreo para tener una confiabilidad del 100%.
- El Índice de Condición del pavimento del tramo tienen un valor numérico de 55 valor que pertenece, según la escala del método al intervalo (40-55) que comprende valores de PCI de calificación “**BUENO**”, según el manual de fallas nos dice que el tramo pese a su antigüedad está apto para brindar adecuadas condiciones de circulación para los usuarios. Donde el mayor porcentaje de fallas que se pudo identificar fue piel de cocodrilo seguido de los parches, esto se debe al incremento esto se debe a que la carretera es una de la red vía fundamental para el transporte.
- Se analizó el procedimiento de las deformaciones longitudinales con el equipo del rugosímetro Merlín demostrando que el pavimento flexible se encuentra en un estado Aceptable ubicándose entre las escalas 2-3. que va desde pavimentos nuevos a pavimentos antiguos.

- los valores de la textura que refleja el ensayo corresponden a texturas de calificación de textura **FINA**, y calificaciones de la fricción **MALO** (desgaste de neumáticos) los resultados obtenidos demuestran que en el tramo estudiado provoca molestias de circulación, además de un desgaste a los neumáticos de los usuarios trayendo con ello costos de mantenimiento de los vehículos.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento esta estructuralmente en buenas condiciones y con capacidad suficiente de seguir resistiendo las cargas de tránsito solicitadas ya que los resultados se encuentran dentro de los rangos **$D_o < D_{adm} ; 100 < R_c < 500$** .
- Se complementó la presente investigación realizando una calicata en la progresiva 0+500 donde se pudo tomar medidas de espesores de las diferentes capas del paquete estructural del tramo, donde se pudo ver que cumplen con los parámetros de diseño que proporcione la administradora boliviana de carreteras (ABC)
- Se concluye que esta investigación es un aporte para que se tome medidas de mantenimiento en el tramo estudiado para prolongar la vida útil del tramo.

5.2 RECOMENDACIONES

- El personal que realice un estudio debe recibir una capacitación intensiva y profunda, teórica y práctica sobre el uso de los equipos, los procedimientos de medición y de cálculo, de lo contrario podrían producirse contratiempos y podrían incidir en los resultados al introducir datos erróneos que estropeen el estudio.
- Contar con los equipos de seguridad necesarios para realizar el estudio en campo como ser conos, chalecos fosforescentes, etc.

ya que al ser un tramo principal de la red fundamental del departamento es una carretera muy transitada, donde los vehículos se trasladan a diferentes velocidades.

- Se recomienda realizar trabajos de mantenimiento y rehabilitación inmediatamente debido a que el tramo presenta fallas en poco tiempo de su construcción.
- Se recomienda verificar la condición del pavimento flexible con el método PCI porque se observa visualmente los deterioros siendo un método no destructivo más completo confiable y económico.
- Despertar también el interés de la aplicación de la deflectometría para con la utilización de la viga Benkelman ya que su medición es rápida y sobre todo no destructiva.