

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción.

La siguiente investigación está constituido de la evaluación y condición actual y superficie de la carretera.

Es muy importante realizar evaluación superficial de una vía, el mantenimiento de la carretera, estructura y poder prolongar la vida útil de la carretera y reducir los costos de mantenimiento. Las características más notorias de las rutas que conforman la red de carretas de Tarija son: tener un aumento de flujo vehicular, que es notorio si observamos a diario el camino, ya que circulan transporte pesado, buses y de mediano transporte.

El proyecto de mantenimiento de la carretera se obtuvo como idea del libro de mantenimiento y gestión vial de autores varios, y una selección de los principales artículos.

Detectar y reparar oportunamente pequeñas fallas, o deformaciones en los pavimentos flexibles es de gran importancia e interés para el avance del país. Todos los pavimentos requieren de mantenimiento para evitar fisura, depresiones en todo tipo de fallas visibles al desgaste del pavimento.

En los pavimentos el tiempo de vida útil siempre está afectada por diversas variables como carga, temperatura y humedad, presentando anomalías tales como agrietamiento perdida de áridos, baches, ahuellamiento, rugosidad. También un buen diseño nos permite un adecuado funcionamiento de la carretera para el periodo de vida útil predeterminado.

Evaluar de forma superficial y estructural el tramo sin que esta sufra algún daño, utilizando métodos no destructivo, observando el estado actual del pavimento flexible entre el tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada de la ciudad de Tarija, para determinar sus posibles causas de deterioro y establecer un adecuado plan de tratamiento, reparación y mantenimiento que ayude a mejorar las condiciones de flujo vehicular,.

El consiguiente trabajo es factible ya que la universidad cuenta con toda la instrumentación y equipos requeridos para la evaluación del tramo en estudio.

1.1. Antecedentes.

Los caminos son sin duda uno de los principales medios de la comunicación y desarrollo, ya que son usados para el transporte de mercancías, personas, animales, etc. Construir caminos significa llevar progreso a las comunidades que lo requieren; y la historia de los caminos se remonta a la aparición del hombre.

Si bien construir y mantener las grandes autopistas es importante, impulsar la creación, modernización y conservación de caminos rurales y alimentadores, es fundamental para mejorar un verdadero desarrollo y cambio en el país y más allá de eso, es una obligación derivada de un principio de justicia social, ya que hacerlo fomenta el acceso de bienes y servicios a la población rural, contribuyendo a mejorar y consolidando con ello la integración regional.

1.2. Justificación.

1.2.1. Técnico académico.

La evaluación superficial y estructural es muy importante, con lo cual se verificará el daño o estado en la cual se encuentra el tramo estación de servicio el Portillo – unidad educativa La Pintada de la ciudad de Tarija utilizando tres métodos IRI, PCI y PSI, se analizará sus situaciones y se sugerirá una solución adecuada para los diferentes daños que se encuentre en el recorrido.

1.2.2. Social.

Las características más notorias de la ruta que conforma la red de carreteras de Tarija es tener un aumento de flujo vehicular, que está en aumento cada día tanto en camiones buses maquinaria, autos etc. Un ejemplo de ello es el tramo estación de servicio el Portillo – unidad educativa La Pintada, es uno de las principales vías por la cual transitan los turistas con rumbo a las campiñas tarijeñas como ser el Valle, Chocoloca, etc.

Es uno de los sectores más importantes ya que el tramo comunica con la provincia de Uriondo, Chaguaya, Padcaya, etc. Es el sector donde se encuentra la gran parte del comercio y producción de los alimentos, animales y vegetales.

1.2.3. Económica.

Los instrumentos a utilizar se encuentran en laboratorio de topografía, se utilizará una estación total, se realizará un levantamiento topográfico, se realizará también una clasificación de suelo en laboratorio de suelos para ver el tipo de suelo que se utilizó en la estructura del pavimento.

1.3. Situación problemática.

Los caminos rurales de bajo volumen de tránsito, como pueden ser los de acceso del agricultor al mercado, los que enlazan a las comunidades y los usados para explotaciones mineras y forestales son partes necesarias de cualquier sistema de transportación que le dé servicio al público en zonas rurales, para mejorar el flujo de bienes y servicios, para ayudar a promover el desarrollo, la salud pública y la educación, y como una ayuda en la administración del uso del suelo y de los recursos naturales. Al mismo tiempo, los caminos y las zonas afectadas pueden producir cantidades importantes de sedimentos y pueden constituir uno de los más grandes impactos negativos sobre el medio ambiente local, la calidad del agua y la vida acuática. Los caminos pueden inducir erosión significativa, crear barrancas, causar efectos en el agua subterránea, la fauna silvestre y la vegetación, afectar la estructura social, degradar los valores escénicos, desperdiciar los fondos económicos limitados, y hacer improductivas las tierras útiles.

La evaluación de las condiciones y mantenimiento actual y superficial del camino rural, observar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, la evaluación de pavimento tiene el análisis y la estimación del valor estructural, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la información necesaria para la investigación, donde las características topográfica son determinantes condicionales es muy importante para la determinación de la ubicación actual de la vía.

Es posible analizar alternativas de solución, para ello es necesario evaluar todo el tramo desde la estación de servicio El portillo hasta la unidad educativa La Pintada, de

acuerdo a los resultados que esta en funcion de los datos obtenidos se dirá el tipo de mantenimiento que se recomienda.

1.3.1. Problema.

- **Problema de investigación**

¿Será que una evaluación superficial y estructural determinará las posibles causas de deterioro del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa la Pintada?

El proceso de evaluación del tramo se realizará el primer semestre del 2019, se comenzará por el levantamiento de datos superficiales, la evaluación a realizarse es factible ya que se cuenta con los equipos e instrumentos en laboratorio de asfaltos como en topografía.

- **Breve descripción sobre: delimitación de tiempo, facilidad y espacio.**

El tiempo de la investigación de todo el proyecto se llevar a cabo en 4 meses en los cuales se realizará una avaluación de todos los componentes y características actuales de una carretera para luego determinar el tipo de mantenimiento sugerido para él.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Evaluar de forma superficial y estructural por métodos no destructivo, el estado actual del pavimento flexible del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa la Pintada de la ciudad de Tarija, establecer un adecuado mantenimiento que ayude a mejorar las condiciones de flujo vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Clasificar los deterioros y las fallas superficiales que se presentan en el pavimento flexible del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada de acuerdo a la gravedad de los mismos.

- Evaluar los daños encontrados en el pavimento flexible del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada.
- Analizar el tipo de deterioro, las posibles causas que generan un tipo de deterioro en particular.
- Determinar el estado del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada empleando la viga benkelman.
- Recomendar posibles métodos de rehabilitación en función de la evaluación que se realice en base al análisis obtenido la solución adecuada para la rehabilitación.

1.5. Hipótesis.

Si se realiza una evaluación de las condiciones actuales de la carretera indicando el lugar de la falla tanto superficial como estructural y ubicándolas según la topografía, entonces, se puede establecer las técnicas y el tipo de mantenimiento para mejorar el tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada.

1.5.1. Identificación de variables.

1.5.1.1. Variable independiente.

X= evaluación superficial.

X= evaluación estructural.

1.5.1.2. Variable dependiente.

Y= mantenimiento superficial.

1.5.1.3. Conceptualización y operacionalización.

Variable dependiente.

Variable dependiente	Dimencion	Indicador	Valor/Accion
Evaluación y mantenimiento de un camino rural	Evaluación de la capa de rodadura	evaluación superficial	la evaluación se realiza en diferentes tramos
	paquete estructural	aptitud de la estructura	la evaluación se realiza en diferentes tramos
	topografía	levantamiento de la superficie	evaluación de puntos
	Mantenimiento	mantenimiento menor	preventivo
		mantenimiento mayor.	correctivo

Variable independiente.

Variable independiente	Dimencion	Indicador	Valor/Accion
Evaluación y mantenimiento del camino	Evaluación de la capa de rodadura	agregados	granulometría
		asfalto	tamaño máximo
			cantidad CA
	paquete estructural	capa estructural de pavimento	clasificación
			límites de atterberg
			Densidades
			CBR
			viga benkelman
	topografía	lev. Topográfico	levantamiento de datos del perfil longitudinal

1.6. Diseño metodológico.

La investigación a realizarse en el tramo estación de sircio El Portillo – unidad educativa La Pintada es de Investigación explicativa.

1.6.1. Unidad de estudio población y muestra.

Población

La población esta expresada en km.

Muestra

La población esta expresada en km.

1.6.2. Tamaño de muestra.

Será el siguiente:

Z=1.64 Confianza

e=0.05 Error aceptable

$\sigma^2 = 0.10$ Desviación estándar

N=5.60 km Muestra

$$n = \frac{Z^2 N * \sigma^2}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * \sigma^2} =$$
$$n = \frac{1.64^2 * 5.6 * 0.10^2}{(5.6 - 1) * 0,05^2 + 1.64^2 * \sigma 0.10^2} = 5.40 = 6 \text{unid.}$$

1.7. Esquema de la perspectiva usada.

1.7.1. Definición en el alcance.

El alcance principal de este estudio es proporcionar claramente información conceptual del procedimiento y metodologías de la ejecución de las actividades de evaluación superficial y estructural que ayuden con la conservación de la vía.

En el presente trabajo se refleja el trabajo de evaluación del estado actual del tramo estación de servicio El Portillo – unidad educativa La Pintada de la ciudad de Tarija. Para tal efecto se dividirá en dos partes: Evaluación superficial y evaluación estructural.

Primeramente se realizará una inspección visual y un recorrido general en ambos sentidos, de este modo se lograra obtener un conocimiento del tramo que nos distinguirán los tramos mas deteriorados, los mismos serán selecciones donde se analizara cada falla que se logren observar, y de este modo realizar los ensayos que indiquen el estado superficial y estructural del tramo.

Para la evaluación superficial del tramo se realizará el ensayo. el índice de regularidad internacional (IRI), índice de condición del pavimento (PCI) y),

índice de serviciabilidad presente (PSI). Para el levantamiento de datos por el método del iri, solo se usará mira y nivel. Estos métodos son apropiados para la convalidación y calibración de otros métodos. Por su bajo rendimiento y excesiva exactitud, comparada con la incertidumbre de la trayectoria recorrida, no se aconseja como adecuados para grandes auscultaciones.

CAPITULO II
CONSERVACIÓN Y
MANTENIMIENTO

CAPITULO II

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. Funciones de un pavimento.

Un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitarán y del volumen de tráfico.¹

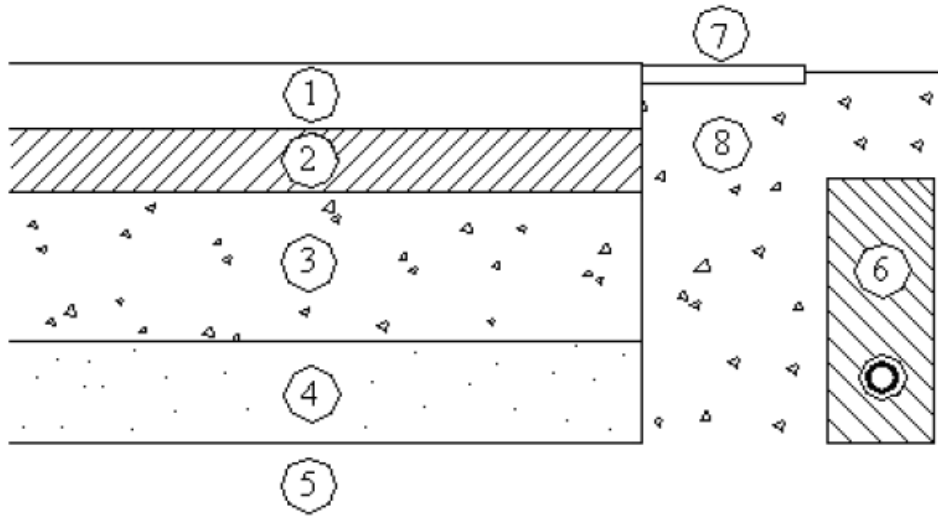
La Ingeniería de Pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose, esencialmente, de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de las Ingenierías: Geotecnia, de Estructuras, de Materiales, de Transportes y de Sistemas, en vista de la importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes.

2.1.2. Componentes de un pavimento.

En la Figura 2.1 se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

¹ Pavimentos (universidad mayor de San Simón)

Figura 2. 1. Sección típica de un pavimento.



Fuente: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Ingeniería de Pavimentos, Brasil, 2000.

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de Rodadura | 5. Subrasante |
| 2. Capa Base | 6. Sub-drenaje longitudinal |
| 3. Capa Sub-base | 7. Revestimiento de Hombreras |
| 4. Suelo Compactado | 8. Sub-base de Hombreras |

2.1.3. Tipos de pavimentos.

Esta estructura puede ser construida bajo diferentes tipos de materiales; los pavimentos se clasifican en: Pavimentos rígidos, pavimentos flexibles y pavimentos semirrígidos.²

2.1.3.1. Pavimentos rígidos.

“Pavimento formado por una capa de rodadura de alta rigidez y por una base de apoyo de material seleccionado y/o tratado. Esta última se puede omitir si el material de fundación es apropiado. Normalmente, están constituidos por losas de hormigón de cemento hidráulico, simple o reforzado, colocadas sobre

² Metodología de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito.

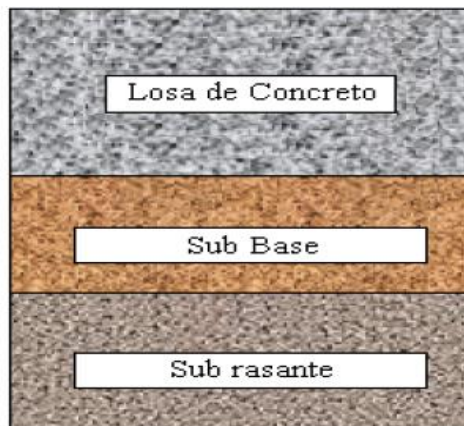
una subbase de agregado granular. Debido a la rigidez del sistema, las cargas de ruedas son soportadas principalmente por la resistencia a la flexión de las losas de hormigón, disipándose ampliamente su efecto en el suelo bajo la subrasante”. (Manual de Carretera, Volumen 7, 2016).

La capa de rodadura, está compuesta por diferentes tipos de materiales, que en conjunto conforman hormigón, material de alta dureza que se comporta de manera excelente a la compresión, esto lo hace ideal para soportar cargas de tránsito. Esta capa puede ir o no reforzada con armadura.

Los materiales que componen el hormigón son: Agua, cemento, áridos y posible inclusión de aditivos.

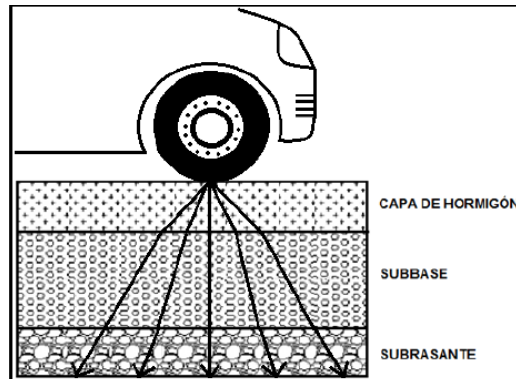
El paquete estructural de un pavimento rígido se compone de la forma que muestra la **figura 2.2**. En ocasiones se ocupa una capa más, base, entre la subbase y la subrasante, cuando por temas de cálculos lo amerita. La función de la capa de hormigón es repartir la carga a la subbase que un vehículo pueda accionar al pavimento, como así también la subbase es la encargada de repartir aún más las cargas hacía la subrasante. Así la carga llega a la subrasante lo más disipada posible, reduciendo el esfuerzo que está debe resistir. La idea de disipar la carga se grafica en la **figura 2.3**

Figura 2. 2. Composición pavimento Rígido.



Fuente: Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles.

Figura 2. 3. Repartición de carga.



Fuente: Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito.

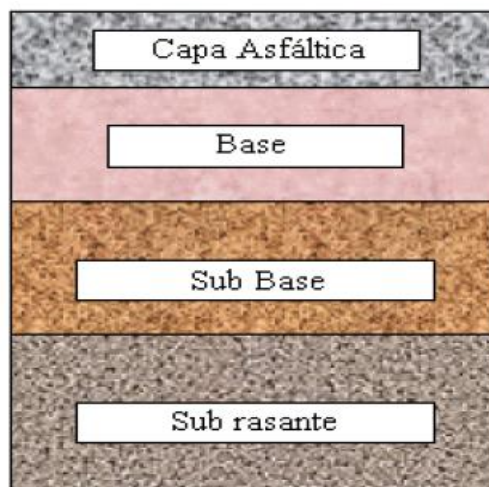
2.1.3.1.1. Proceso constructivo de pavimentos rígidos.

- Escarpes del terreno.
- Realización de las excavaciones de movimiento de tierras necesarias para realizar la línea de proyecto.
- Preparación de la subrasante.
- Compactación de la subrasante.
- Preparación de la subbase.
- Compactación de la subbase.
- Preparación de los moldajes laterales, ya sea contra terreno o por medio de estacas.
- Colocación de armadura del pavimento, si el diseño así lo requiere.
- Colocación del hormigón.
- Vibrado del hormigón.
- Controles de calidad.
- Realización de las juntas en fresco del hormigón.
- Terminación superficial.
- Curado del hormigón.

2.1.3.2. Pavimentos flexibles.

“Pavimento formado por una o varias capas asfálticas y/o materiales seleccionados o tratados, de módulos elásticos decrecientes con la profundidad. Normalmente, la capa de rodadura corresponde a una mezcla asfáltica o a una capa asfáltica de protección y las capas profundas, a materiales granulares de tipo base o subbase. En este caso, las cargas de ruedas son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación”. (Manual de Carretera, Volumen 7, 2016).

Figura 2. 4. Composición Pavimento Flexible.



Fuente: Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles.

2.1.3.2.1. Capas de un pavimento flexible.

Previo a caracterizar las capas que componen el paquete estructural de un pavimento flexible, son:

- Paquete estructural
- Rasante
- Subrasante

Definido estos conceptos básicos de pavimentos, las capas del paquete estructural se dividen en:

- Capa asfáltica
- Base
- Subbase

La finalidad de cada capa tiene por finalidad disipar las cargas a las que será sometido el paquete estructural. Para así lograr un menor CBR en la capa más inferior.

El espesor de cada capa y la utilización de ella dependerán de diseños previos.

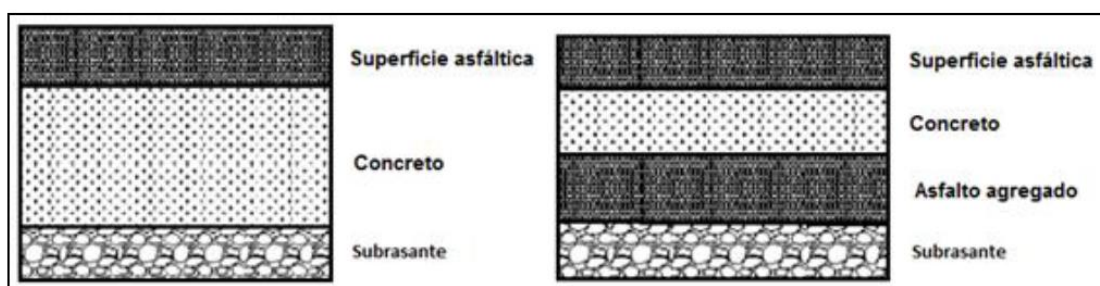
2.1.3.2.2. Proceso constructivo de pavimentos flexibles.

- Preparación de la subrasante.
- Compactación de la subrasante.
- Barrido de la superficie.
- Imprimación del ligante bituminoso sobre la superficie.
- Colocación del asfalto sobre la superficie, con la ayuda de una maquina terminadora (Finisher).
- Controles de calidad.
- Compactación de la superficie con compactadora neumático o rodillo liso.
- Realización de juntas transversales. (En caso de ser necesario)
- Realización de juntas longitudinales. (En caso de ser necesario)

2.1.3.3. Pavimentos semirrígidos.

“Pavimento que se caracteriza por emplear como capa de rodadura una mezcla asfáltica y tener al menos una capa inferior de material de agregado granular aglomerado con cemento, como base tratada con cemento, base de grava cemento, hormigón compactado con rodillo u otros materiales similares”. (Manual de Carretera, Volumen 7, 2016)

Figura 2. 5. Composición Pavimento Semirrígido.



Fuente: Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito.

2.1.4. Fallas de pavimento.

2.1.4.1. Fallas de un pavimento.

Las fallas en los pavimentos, sea de cualquier tipo, suelen ser muy comunes y un problema muy grande para las autoridades que están a cargo de un buen funcionamiento de los caminos. Las fallas de pavimentos se pueden originar tanto en el exterior del paquete estructural cómo en el interior, en cuanto a agentes externos nos referimos las causas de fallas pueden ser:

- Espesor de alguna o todas las capas del paquete estructural inadecuado para la carga que será expuesta.

- Mal sistema de drenaje, siendo el agente adverso, el agua atacando y penetrando las capas de pavimento, dañando así la vida útil del paquete.
- Una mezcla asfáltica muy rígida, refiriéndonos a los pavimentos flexibles.
- Baja capacidad de soporte de la subrasante.
- Falta de confinamiento del paquete estructural, causando mala adherencia entre carpetas de losas.
- Asentamientos de capas inferiores por compactaciones mal realizadas
- Juntas de losas mal realizadas.

2.1.4.2. Tipos de fallas en pavimentos flexibles:

Los diferentes tipos de fallas que existen en pavimentos flexibles son los siguientes:

Fisuras y grietas

Por fatigamientos.

En bloques.

De borde.

Longitudinales.

Transversales.

Reflejadas.

Deterioro superficial

Parches deteriorados.

Baches en carpeta asfáltica.

Baches en tratamiento superficial.

Ahuellamiento.

Deformación transversal.

Exudación.

Desgaste.

Perdida de árido.

Ondulaciones.

Otros deterioros

Descenso de berma.

Surgencia de finos y agua.

Separación entre berma y pavimentos.

2.1.5. Marco referencial.

2.1.5.1. Métodos de evaluación superficial de pavimentos flexibles

En la actualidad existen varios métodos para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible, en el presente proyecto aremos mayor énfasis en los métodos del Índice de Rugosidad Superficial (IRI), Índice de condición del pavimento (PCI), Índice de serviciabilidad presente (PSI) y Medición de deflexiones viga benkelman.

2.1.5.2. Índice internacional de rugosidad.

El Índice Internacional de Rugosidad, comúnmente llamado IRI por sus siglas en inglés (International Roughness Index), es la unidad estandarizada utilizada por excelencia para la medición de la rugosidad.³

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad se define como la acumulación de desplazamientos verticales en valor absoluto, de la masa

³ Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

del vehículo con respecto a la masa asociada a la suspensión de un modelo de vehículo, entre la distancia recorrida sobre un camino que se produce por los movimientos al vehículo (Ver Figura 5). Así, las unidades del IRI serán de longitud entre longitud, que debido a las magnitudes de estas se expresan mm/m, m/km, in/mi, etc. (IMT,1998).

2.1.5.2.1. Antecedentes.

En los años sesenta el Banco Mundial invirtió en la investigación de diversas vías en países subdesarrollados, llegando a concluir que la poca inversión en infraestructura vial solo llevaba a gastos mayores de los usuarios al circular por estas. Se identificó así, que la rugosidad en la capa de rodadura era una de las variables principales en cuanto al gasto por circular.

Una gran dificultad encontrada en la investigación fue que los datos de diversas carreteras eran muy difíciles de comparar, dado que cada país contaba con diferentes métodos y unidades para medir la rugosidad. Es por ello que se pensó en buscar una escala única que pudiera servir de parámetro de comparación y estandarización.

Fue así que, en 1982, el Banco Mundial comenzó a experimentar con diferentes métodos para lograr establecer correlaciones y un estándar único de calibración para la rugosidad en Brasil. Debido a que todos se basaban en deformaciones se logró llegar a correlacionar los diferentes métodos y una vez establecido este punto, se planteó como objetivo principal encontrar un índice de referencia conocido hoy en día como el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Sus primeras investigaciones tuvieron lugar en un programa norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y estuvo basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP. Actualmente se basa en un modelo complejo

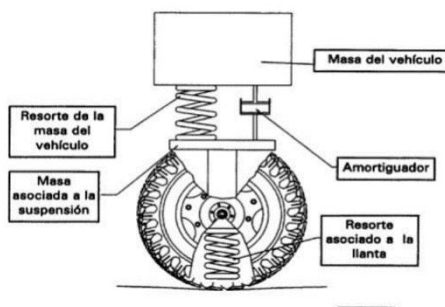
de cuarto de carro que se describe en el siguiente acápite (Sayers y Karamihas, 1998).

2.1.5.2.2. El modelo cuarto de carro.

Para el cálculo del IRI emplearon ecuaciones que se basaron simplemente en las deflexiones y que no dependieran de parámetros como el tiempo de muestreo. Se buscó un modelo que representase las vibraciones que podría tener un pasajero en un vehículo cualquiera, por lo que se eligió un modelo de cuarto de carro.

El modelo de cuarto de carro (quarter car) se basa en una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador y la masa del vehículo soportada por la suspensión de la ruda (Figura 2.6). Las deflexiones a lo largo del camino son acumuladas y divididas entre la distancia horizontal para calcular la rugosidad en IRI como dice su propia definición (Sayers y Karamihas, 1998).

Figura 2. 6. Respuesta dinámica de un cuarto de carro y el índice internacional de rugosidad (IMT,1995)



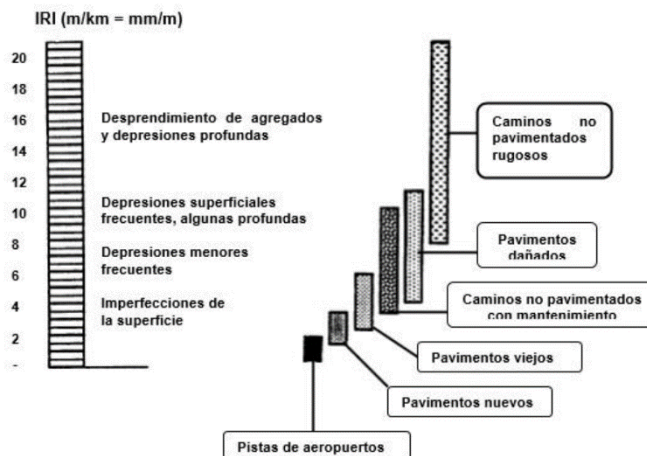
Fuente. aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

2.1.5.2.3. Escala y características del IRI

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi. Varía de 0 a 20 m/km o 0 a 1260 in/mi (rugosidad 0 m/km es un camino uniforme perfecto y 20 m/km

uno ya casi imposible de transitar). En la Figura 2.7 se muestran las rugosidades para diferentes tipos de pavimentos.

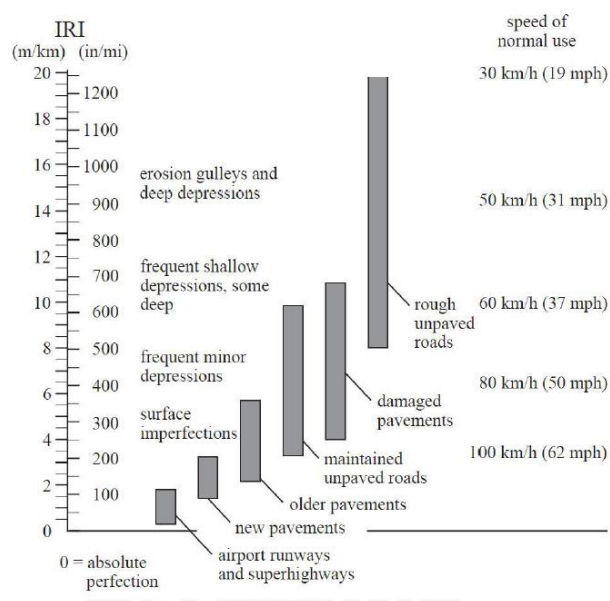
Figura 2. 7. Rugosidad en diferentes pavimentos (IMT,2002)



Fuente. aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

Luego de diversos muestreos en diferentes tipos de pavimentos con diferentes rugosidades, el departamento de transporte de la universidad de Michigan concluyó en 1998 la tabla expuesta a continuación (Figura 2.8) donde estipula la velocidad máxima que se puede desarrollar según la rugosidad de la vía. Es una tabla muy importante pues es con esta que se basan los márgenes de rugosidad para diferentes proyectos según la velocidad que se permitirá como límite superior, por ejemplo, el caso de la norma peruana que exige máximo 2.5 m/km de IRI para vías expresas, tiene que ver con el límite de velocidad máxima con la que se diseñan estas vías de entre 80 y 100 km/h.

Figura 2. 8. Límites de velocidades según el tipo de pavimento (Sayers y Karamihas, 1998).



Fuente. aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

2.1.5.2.4. Método de medición del IRI.

Como mencionamos con anterioridad, la clasificación IRI fue propuesta por el Banco Mundial para estandarizar la medición de la rugosidad y poder estipular la calidad y confort de los pavimentos a nivel mundial. Según el uso de la vía la rugosidad puede llegar a ser un factor determinante para la seguridad y funcionalidad de esta.

Con el tiempo el Banco Mundial estipulo que los métodos para medir la rugosidad podían ser desde muy precisos hasta mera subjetividad por lo que decidió clasificarlos según la precisión (Sayers et al, 1986(b)). Según este, los métodos usados para la determinación del IRI pueden clasificarse en 4 clases de precisión:

- Clase 1: Perfiles de alta precisión

Son los métodos más exactos pero considerados de bajo rendimiento, ya que la recolección de datos es lenta y requiere de mayor cantidad de horas en campo (hombre, máquina y herramienta), se basa en perfiles topográficos levantados cada 0.25 m con precisión de 0.5 mm (Referencia). Los métodos para esta clase son la Mira y Nivel y TRRL Beam. Figura 2.9

Figura 2. 9. sistema de datos con nivel y mira en pavimentos (Nava,2007)



Fuente. aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

➤ Clase 2: Obtención de IRI directo por ecuaciones

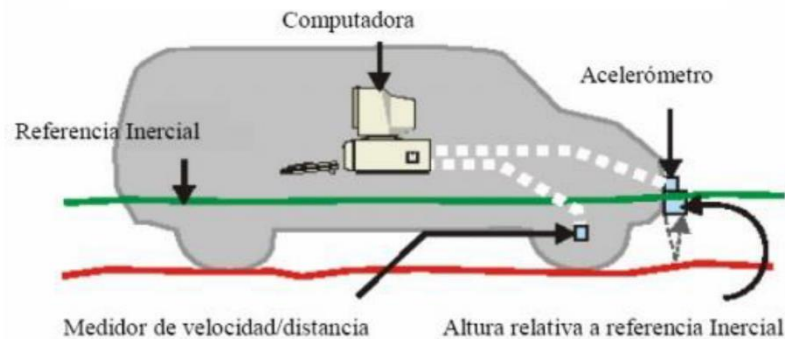
Agrupar a los demás métodos que no cumplen con los niveles de precisión para la Clase 1 pero también se basan en medir el perfil longitudinal directamente por medios digitalizados. Se usa generalmente en vías extensas y de importante confiabilidad, como vías expresas o alimentadoras dada la alta velocidad de medición.

Los perfilómetros buscan correlacionar la variación de los niveles respecto a una horizontal que se mueve con ellos, por lo que hace que el proceso de medición sea mucho más rápido. Un ejemplo de perfilómetros de alta velocidad son el APL Trailer y GMR Type Inertial Profilometer (Del Aguila,1999(b)), pero en esta clase se ubican muchos otros métodos tanto dinámicos como estáticos. En la Figura 2.10 se muestra un ejemplo de perfilómetro estático frente a la Figura 2.11 que presenta uno dinámico.

Figura 2. 10. Perfilómetro estático (Nava,2007).



Figura 2. 11. Perfilómetro dinámico (Nava,2007)



Fuente. aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en lima.

➤ Clase 3: Estimación de IRI con ecuaciones de correlación
También llamados de tipo respuesta, se ubican todos los métodos basados en ecuaciones de correlación para estimar el IRI, sin mayores factores que afecten y corrijan los datos obtenidos en campo. Los métodos de esta clasificación más conocidos son Bump integrator, Mays meter y NAASRA Meter (Del Aguila,1999(b)).

➤ Clase 4: métodos subjetivos y no calibrados
Permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

2.1.6. Índice de condición del pavimento (PCI-Pavement Condition Index).

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su

severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “*valores deducidos*”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la tabla 2.1. se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 2. 1. Rangos de calificación 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).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

2.1.6.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Las Figuras 1 y 2 ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

2.1.6.2. Unidades de Muestreo.

Tabla 2. 2. Formato de exploración de condición para carreteras con superficie asfáltica.

Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)			
Zona de estudio: "Estación de Servicio El Portillo – Unidad Educativa La Pintada"			
Prog. Inicio:		área (m2):	inspeccionado por:
Prog. Final:		Fecha:	
Tipos de fallas en pavimentos			
Fallas	unidad de medida	Fallas	unidad de medida
1.- Piel de cocodrilo	m ²	11.- parches	m ²
2.- Exudación	m ²	12.- Agregado pulido	m ²
3.- Fisuras en bloque	m ²	13.- Huecos	N#
4.- Elevaciones - Hundimientos	m ²	14.- Acceso a puentes - Rejilla de drenaje	m ²
5.- Corrugaciones	m ²	15.- Ahuellamiento	m ²
6.- Depresiones	m ²	16.- Deformación por empuje	m ²
7.- Fisuras de borde	m	17.- Deslizamiento	m ²
8.- Fisuras de reflexión de juntas	m	18.- Hinchamiento	m ²
9.- Desnivel carril - berma	m	19.- Disgregación - desintegración	m ²
10.- Fisuras longitudinales y transversales	m		

Fuente: Elaboración propia

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:

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la tabla 2.3. se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 2. 3. Longitud de unidad de muestreo.

Ancho de calzada (m)	longitud de la unidad de muestreo (m)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (Max.)	31.50

Fuente: Maestría en vías terrestre.

2.1.6.3. Selección de Unidades de Muestreo Adicionales.

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

2.1.6.4. Evaluación de la Condición.

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

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

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

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

- c) 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.

2.1.6.5. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo.

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y

se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

2.1.6.5.1. Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica.

Etapas 1. Cálculo de los Valores Deducidos.

- a) Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- b) Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c) Determine el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapas 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m).

- a) Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.
- b) Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- c) Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la Ecuación 3:

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV) \quad \text{Ecuación 2.2. Carreteras pavimentadas.}$$

Donde:

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

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

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

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

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a) Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
- b) Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- c) Determine el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- d) Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que q sea igual a 1.
- e) El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Etapa 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3.

2.1.6.6. Calidad de tránsito (Ride Quality).

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea. A continuación, se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

L: (Low: Bajo). Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

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

La calidad de tránsito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanas a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

2.1.6.7. Fallas, niveles de severidad y unidad de medida.

2.1.6.7.1. Piel de cocodrilo.

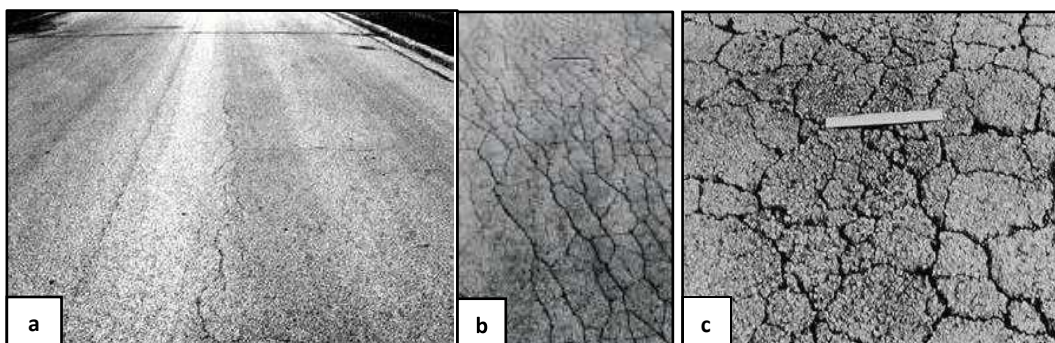
L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas. **Ver figura 2. 15.a.**

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. **Ver figura 2.15.b.**

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico. **Ver figura 2.15.**

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

Figura 2. 12. Piel de Cocodrilo.



Piel de cocodrilo de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

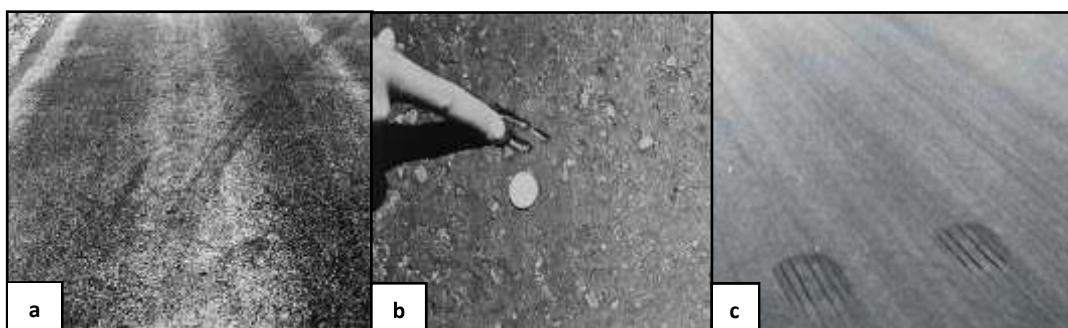
2.1.6.7.2. Exudación

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos. **Ver figura 2. 16.a.**

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año **Ver figura 2.16.b.**

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año. **Ver figura 2.16.c.**

Figura 2. 13. Exudación.



Exudación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrado

2.1.6.7.3. Fisuras en bloque.

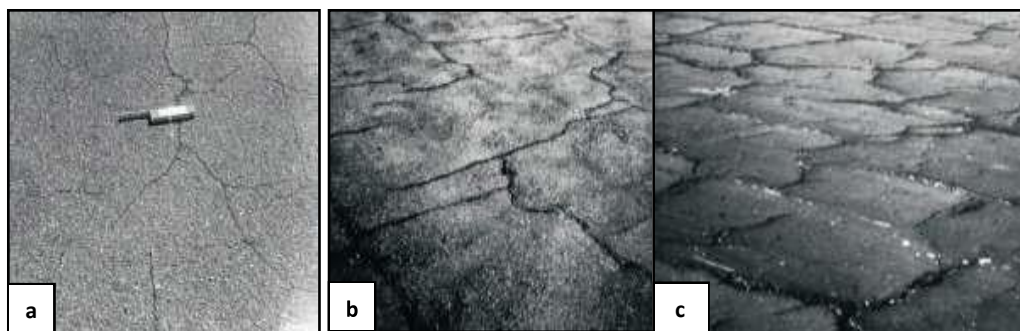
L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad. **Ver figura 2. 17.a.**

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad. **Ver figura 2.17.b.**

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad. **Ver figura 2.17.c.**

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

Figura 2. 14. Fisuras en bloque.



Fisuras en bloque de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.4. Abultamientos y hundimientos

L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad. **Ver figura 2. 18.a.**

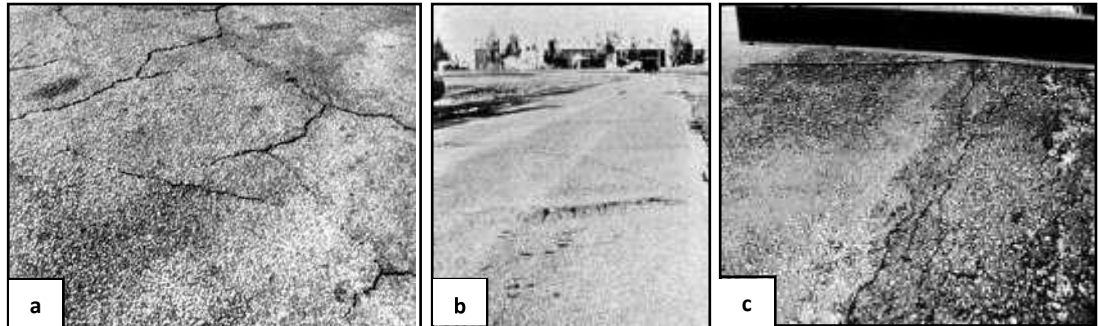
M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad. **Ver figura 2.18.b.**

H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad. Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo. **Ver figura 2.18.c.**

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales.

Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

Figura 2. 15. Abultamientos y hundimientos.



Abultamientos y hundimientos de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.5. Corrugación.

L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. **Ver figura 2. 19.a.**

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. **Ver figura 2.19.b.**

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. **Ver figura 2.19.c.**

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

Figura 2. 16. Corrugación.



Corrugación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.6. Depresión

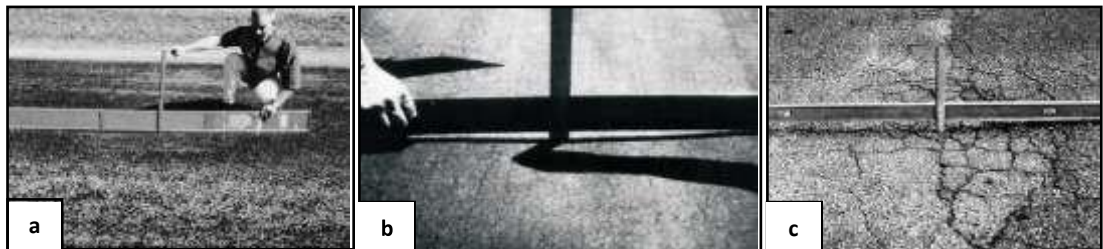
L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm. **Ver figura 2.20.a.**

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm. **Ver figura 2.20.b.**

H – La depresión tiene más de 50 mm. **Ver figura 2.20.c.**

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadro.

Figura 2. 17. Depresión.



Depresión de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.7. Fisura de borde

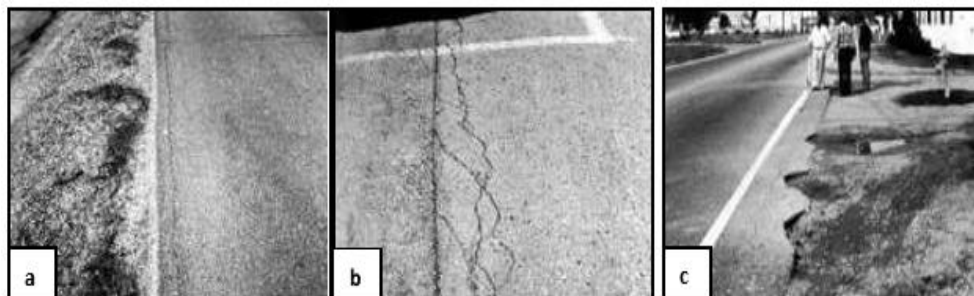
L – Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento. Ver figura 2. 21.a.

M – Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento. Ver figura 2.21.b.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde. Ver figura 2.21.c.

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

Figura 2. 18. Fisura de borde.



Fisura de borde de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.8. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)

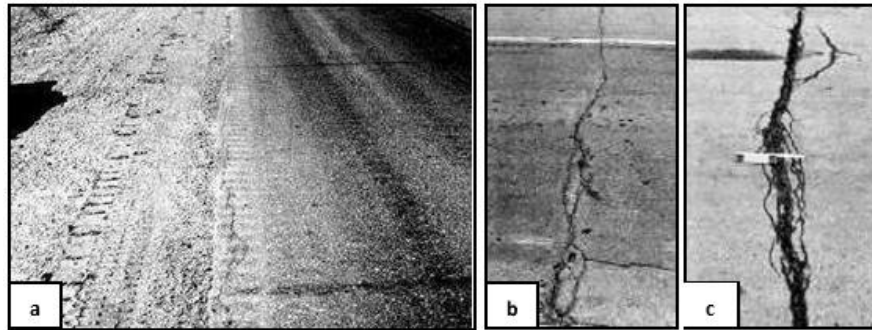
L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones). **Ver figura 2. 22.a.**

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad. **Ver figura 2.22.b.**

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado. **Ver figura 2.22.c.**

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado. Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

Figura 2. 19. Fisura de reflexión de junta.



Fisura de reflexión de junta de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.9. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm. **Ver figura 2. 23.a.**

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm. **Ver figura 2.23.b.**

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm. **Ver figura 2.23.c.**

Unidad de medida – El desnivel carril-berma es medido en metros lineales. Figura 3.12. Desnivel carril – berma.

Figura 2. 20. Desnivel carril– berma.



Desnivel carril - berma de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.10. Fisuras longitudinales y transversales.

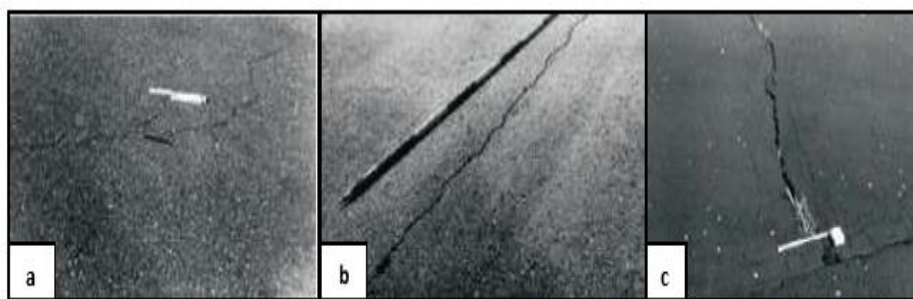
L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones). **Ver figura 2. 24.a.**

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria. **Ver figura 2.24.b.**

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado. **Ver figura 2.24.c.**

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

Figura 2. 21. Fisuras longitudinales y transversales.



Fisuras de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.11. Parches y parches de cortes utilitarios.

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad. **Ver figura 2. 25.a.**

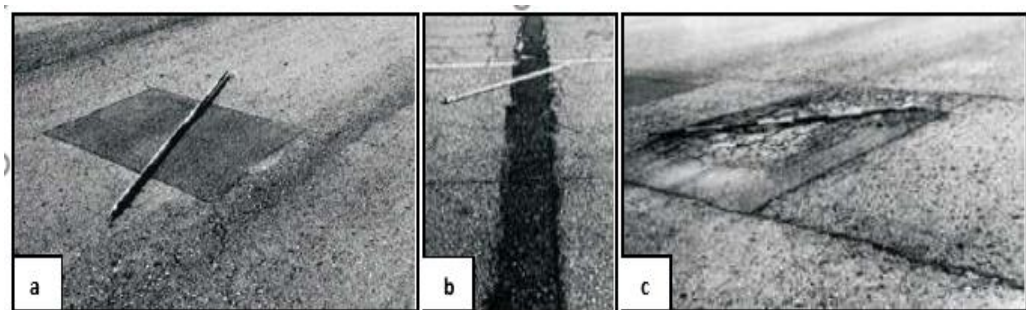
M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad. **Ver figura 2.25.b.**

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad. **Ver figura 2.25.c.**

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

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

Figura 2. 22. Parches y parches de cortes utilitarios.



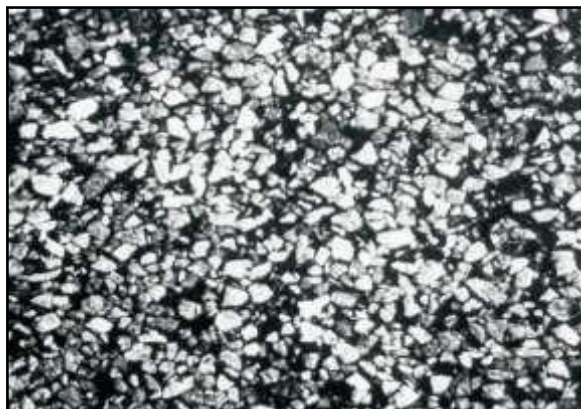
Parches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.12. Agregado pulido.

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto. **Ver figura 2.26.**

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

Figura 2. 23. Agregado pulido.



El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos.

2.1.6.7.13. Baches

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro están determinados de acuerdo a la tabla 3.4. En la **figura 2.27.a** se puede apreciar un bache de severidad baja.

Tabla 2. 4. Niveles de severidad para baches de diámetro menor a 750 mm.

Máxima profundidad del bache	Diámetro Promedio (mm)		
	100 a 200	200 a 450	450 a 750
≥ 13 y ≤ 25 mm	L	L	M
> 25 y ≤ 50 mm	L	M	H
> 50 mm	M	M	H

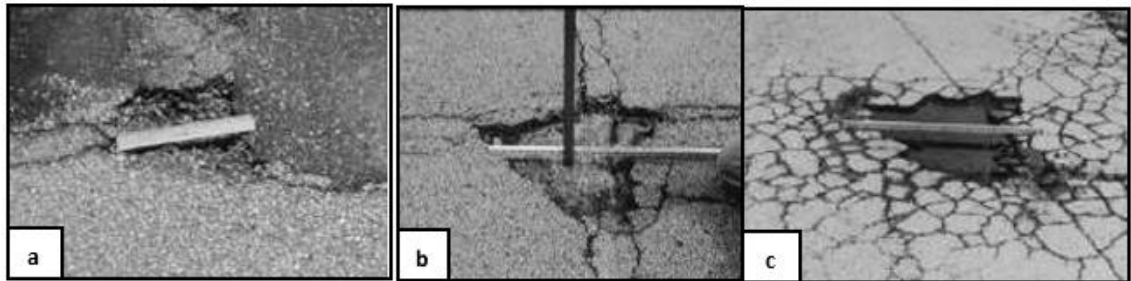
Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m^2 para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana

severidad (**ver figura 2.27.b**); en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad (**ver figura 2.27.c**).

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

Figura 2. 24. Baches.



Baches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.14. Ahuellamiento

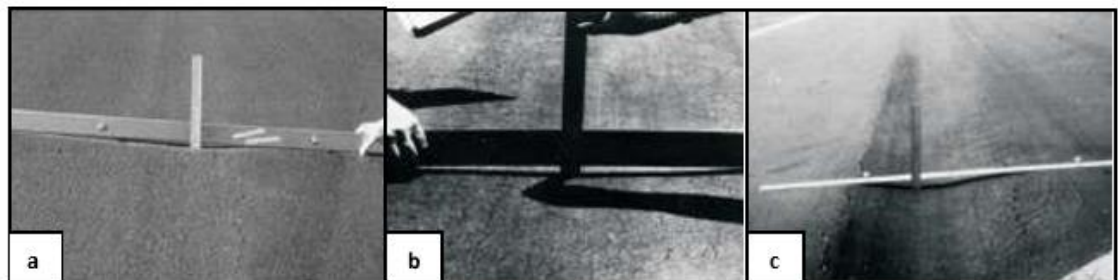
L – La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm. **Ver figura 2.28.a.**

M – La depresión va entre 13 y 25 mm. **Ver figura 2.28.b.**

H – La depresión es mayor a 25 mm. **Ver figura 2.28.c.**

Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 2. 25. Ahuellamiento.



Ahuellamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.15. Desplazamiento.

L –El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad. **Ver figura**

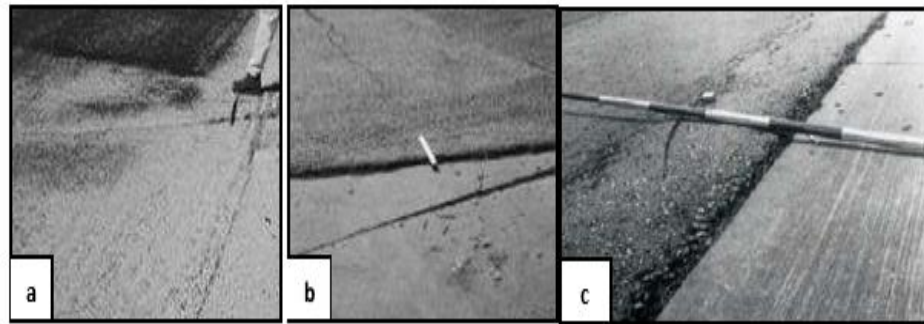
2.29.a.

M – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad. **Ver figura 2.29.b.**

H – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad. **Ver figura 2.29.c.**

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

Figura 2. 26. Desplazamiento.



Desplazamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.16. Fisura parabólica o por deslizamiento.

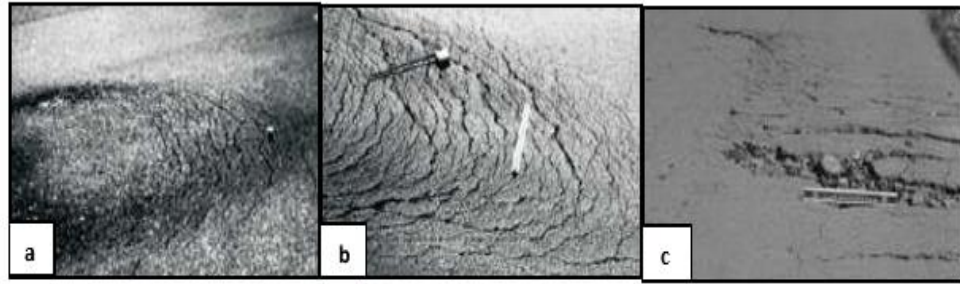
L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm. **Ver figura 2.30.a.**

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras. **Ver figura 2.30.b.**

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas. **Ver figura 2.30.c.**

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

Figura 2. 27. Fisura. parabólica.



Fisura parabólica de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.6.7.17. Hinchamiento.

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta. **Ver figura 2.31.**

Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

Figura 2. 28. Hinchamiento.



Hinchamiento de alta severidad.

2.1.6.7.18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.

L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda. **Ver figura 2.32.a.**

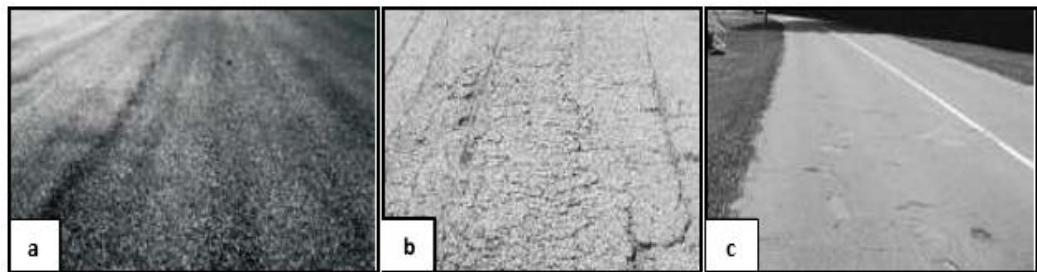
M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite,

la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda. **Ver figura 2.32.b.**

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los derrames de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse. **Ver figura 2.32.c.**

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

Figura 2. 29. Peladura.



Peladura de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

2.1.7. Índice de servicialidad presente (PSI. Recent serviste index).

La evaluación de estado del pavimento con este método consiste en el relevamiento de las fallas más significativas que afectan al mismo. Estas son:

- Deformación longitudinal.
- De formación transversal.
- Fisuración.
- Desprendimiento.

El índice de serviciabilidad presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario. Por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se adoptada una escala que envase

a estudios realizados por el Instituto de asfalto está en un rango de 0 a 5, De acuerdo a esta escala el PSI (Presente índice Service) es igual a 5 siendo este índice más alto de serviciabilidad valor que en la práctica no se obtiene por el contrario si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy alta.⁴

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles, es la utilización de la siguiente ecuación.

Ecuación 2.2.

$$PSI=6.20-0.8*C1-0.3*C2-0.1*C3$$

C₁, C₂, C₃ Son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala.

Tabla 2. 5. Coeficientes C1, C2, C3.

Rugosidad longitudinal	valor C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta ⁴	4
Extremadamente rugosa	5
Intensidad de grietas y parches	valor C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
Deformación transversal	valor C3
Sin deformación ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y a huellado	2
Fuertemente deformado y a huellado	3

Fuente: Manual del PSI

El valor del índice de serviciabilidad presente PSI es:

⁴ Evaluación superficial del pavimento flexible

Ecuación 2.3.

$$PSI = \sum_n PSI$$

PSI= PSI de cada unidad evaluada.

n= Número de unidades existentes en la sección.

El rango de calificación del PSI luego de haber realizado la evaluación superficial es la siguiente.

Tabla 2. 6. Rango de calificación del PSI.

Rango	Calificación
5,00 - 4,25	Excelente
4,25 - 3,50	Muy Bueno
3,50 - 2,75	Bueno
2,75 - 2,00	regular
2,00 - 1,25	Malo
1,25 - 0,50	Muy Malo
0,50 - 0,00	Fallado

Fuente: manual PSI.

2.1.8. Evaluación estructural

2.1.8.1. Medición de deflexiones viga benkelman

2.1.8.1.1. Generalidades

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo 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.⁵

2.1.8.1.2. Esquema y operación de 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 2.33, 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.

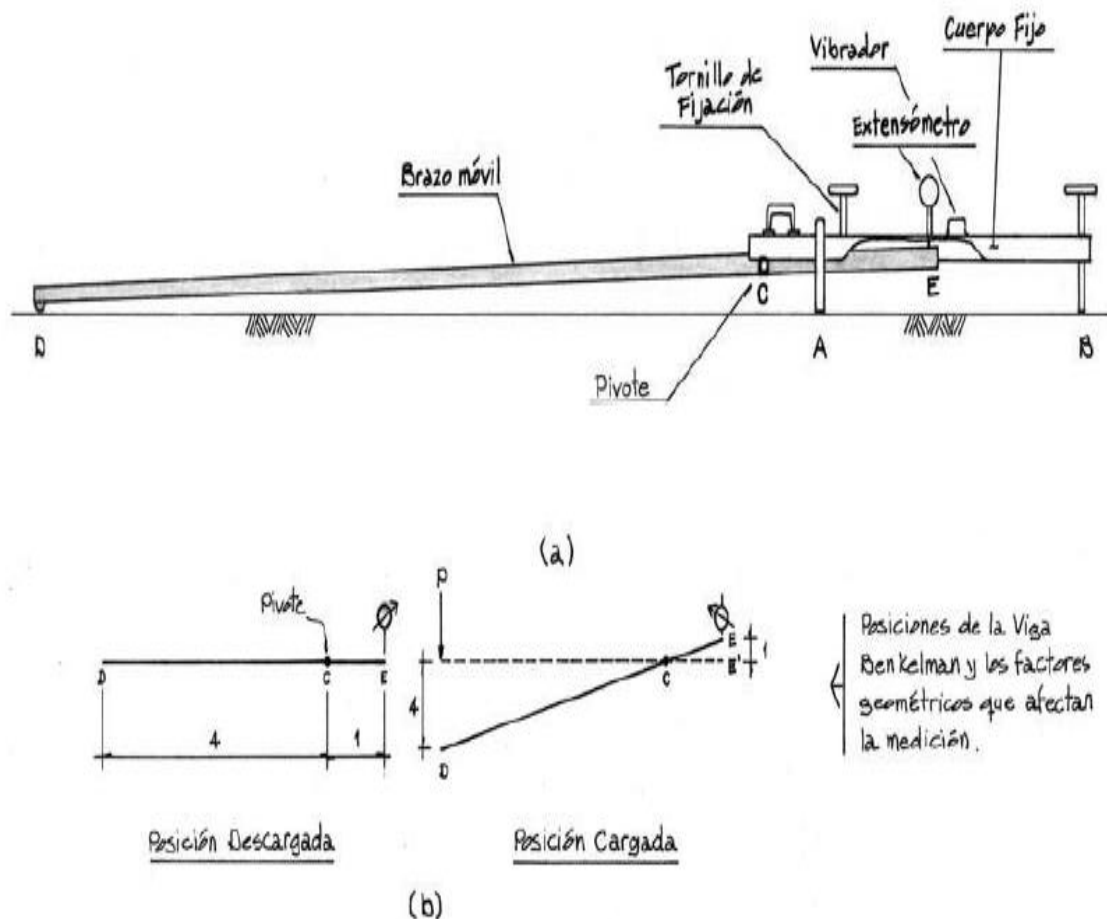
El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado 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

⁵ Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto

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 deflactó 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. 30. Esquema y principio de operación de la Regla Benkelman.



Fuente: análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto.

2.1.8.1.3. Ensayos de medición de deflexiones

2.1.8.1.3.1. Equipo requerido

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

- a) Difractómetro Viga Benkelman, con relación de brazos 1:2.
- b) Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm.
- c) 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.
- d) Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo (camioneta).
- e) Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- f) Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.)

2.1.8.1.3.2. Procedimiento

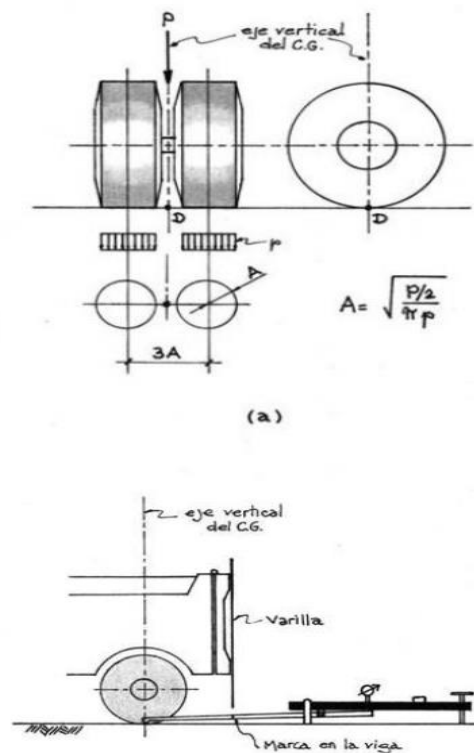
La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 libras (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 2, punto "D").

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas

alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 2 b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

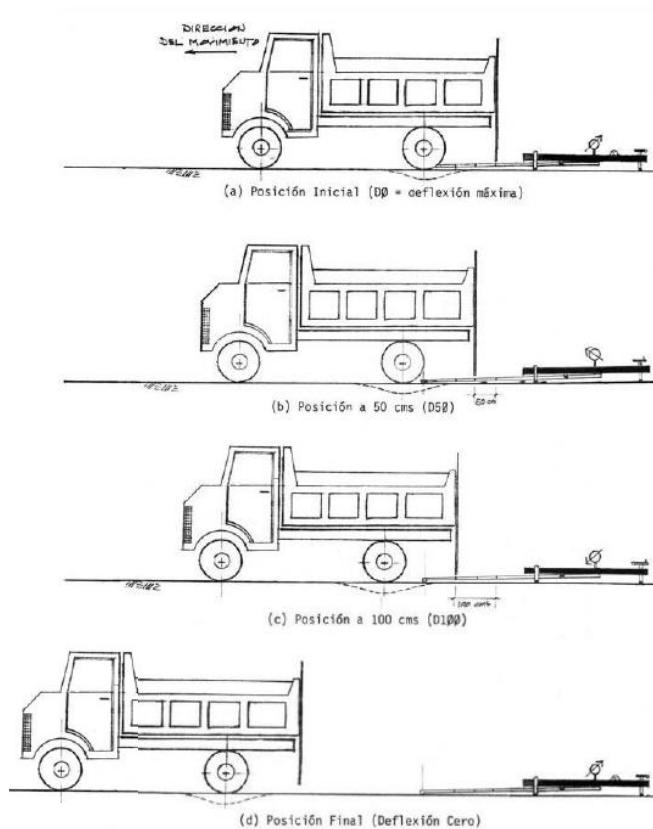
Figura 2. 31. Configuración geométrica del sistema de carga.



Fuente: análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto.

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, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen. Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Figura 2. 32. Esquema del proceso de medición.



Fuente: análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el deflectómetro de impacto.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 2. 35 a), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 2.35 b,c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimientos

(Aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

2.1.9. Clasificación de mantenimiento

Generalmente las actividades de mantenimiento de pavimentos se agrupan en dos categorías, preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro. Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas.⁶

2.1.9.1. Acción de mantenimiento y rehabilitación

Se clasifican en Mantenimiento Menor y Mantenimiento Mayor. Adicionalmente, se han considerado un grupo de acciones denominadas acciones complementarias, las cuales, principalmente se requieren para corregir problemas en vías urbanas.

2.1.9.1.1. Mantenimiento menor

Dentro del mantenimiento menor se contemplan acciones aplicadas localmente, entre las cuales se pueden mencionar:

- Sellado de
- Bacheo
- Sello asfáltico localizado.
- Nivelación localizada
- Fresado y texturización localizada

El mantenimiento menor preventivo consiste en aquellas acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas en su estado inicial de evolución. El mantenimiento correctivo se refiere a acciones ejecutadas

⁶ Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles

para corregir o reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios. Si la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectivas, difícilmente pueden mejorar la condición integral de la vía, y solo se logra mantenerla en una condición deficiente a un altísimo costo. Estos dos aspectos, tanto el nivel de calidad; como el costo del mantenimiento menor son indicadores de falla y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor.

2.1.9.1.2. Mantenimiento mayor

Las acciones de mantenimiento mayor son aplicadas a un tramo de vía, o al menos a una sección importante de la misma. Son actividades programadas y ejecutadas para el mejoramiento sustancial del pavimento. Este tipo de mantenimiento se ha clasificado en: efectivo y correctivo, este último se aplica cuando el nivel de servicio de una vía está por debajo del mínimo aceptable desde el punto de vista funcional, o presenta importante debilitamiento estructural. En estos casos, se requieren acciones de mantenimiento mayor para corregir integralmente el problema. Este tipo de acciones se aplican al pavimento clasificado como "malo". Por su parte el mantenimiento mayor efectivo, se aplica antes que la condición del pavimento alcance un estado crítico, condición regular-baja, dentro de la zona "óptima" de rehabilitación.

En esta condición, el pavimento generalmente aún conserva buena parte de su estructura original, y acciones de mantenimiento mayor son altamente recomendables desde el punto de vista económico por las siguientes razones: (a) se requiere poca acción preparatoria, bacheo, etc. (b) un pequeño aporte estructural alarga considerablemente la vida del pavimento (c) rara vez se requieren capas de nivelación (especialmente inconveniente en vías urbanas), (d) los espesores de refuerzo -de requerirse- son reducidos y, (e) los costos de la rehabilitación son considerablemente menores.

Estos aspectos han sido muy estudiados recientemente dentro del marco de los esquemas de Gerencia de Pavimentos. En base a estudios de costos en el ciclo de vida de un pavimento, es invariablemente más económico y ventajoso el aplicar acciones de mantenimiento mayor antes de que la estructura alcance el punto de falla, este punto es el denominado punto "óptimo de rehabilitación".

Dentro de las acciones de mantenimiento mayor se han considerado las siguientes:

- Tratamientos superficiales
- Capas asfálticas
- Remoción por fresado
- Reciclado

2.1.9.1.3. Acciones Complementarias

Dentro de estas acciones se agrupan aquellas actividades generalmente localizadas que se requieren para corregir aspectos que afectan la condición de rodaje, y que no dependen directamente del pavimento y su resistencia estructural.

Estas acciones son generalmente necesarias en vías urbanas, se refieren mayormente a:

- Nivelación de bocas de visita
- Nivelación de sumideros.
- Suministro de rejillas y marcos metálicos.
- Obras menores complementarias (demolición y construcción de aceras, brocales, etc.).

Estas actividades o similares son eventualmente requeridas para lograr que las acciones de mantenimiento y rehabilitación cumplan totalmente con su cometido principal, como es el mejoramiento de la calidad de rodaje de una vía. Es importante que estas acciones se prevean en las contrataciones respectivas.

CAPITULO III
RELEVAMIENTO DE
INFORMACIÓN

CAPITULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACION

3.1. Aplicación de la práctica

3.1.1. Información del área de estudio

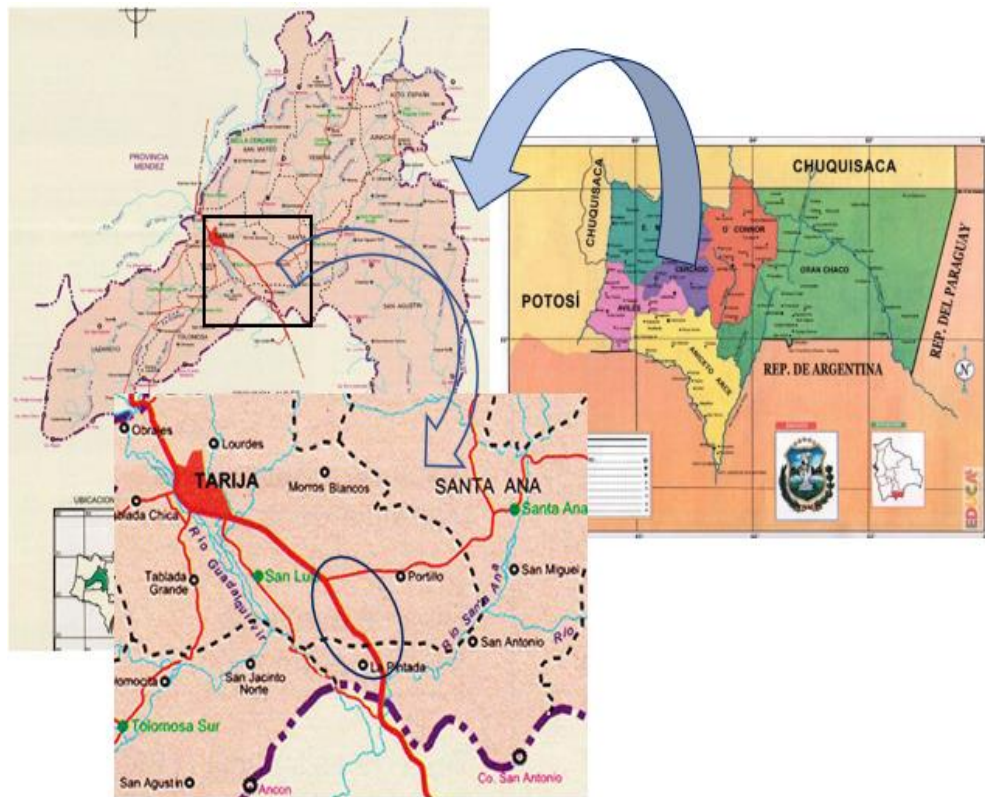
Debido a las condiciones y al estado en la que se encuentra el tramo Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada se decidió hacer un estudio de las condiciones y estado en la que se encuentra el tramo para darle un adecuado mantenimiento al tramo en estudio.

3.1.2. Ubicación

El tramo en estudio se encuentra en la ciudad de Tarija en la provincia Cercado está ubicada en el centro – oeste del departamento. Limita al noroeste con Méndez, al oeste con Berdet O'Connor, al sur con arce y al sur oeste con Avilés. Su capital es Tarija, que también es todo el departamento. El tramo empieza en el Barrio el Portillo, Estación de Servicio el Portillo, finalizando en Unidad Educativa la Pintada, perteneciente a la comunidad de Santa Ana.

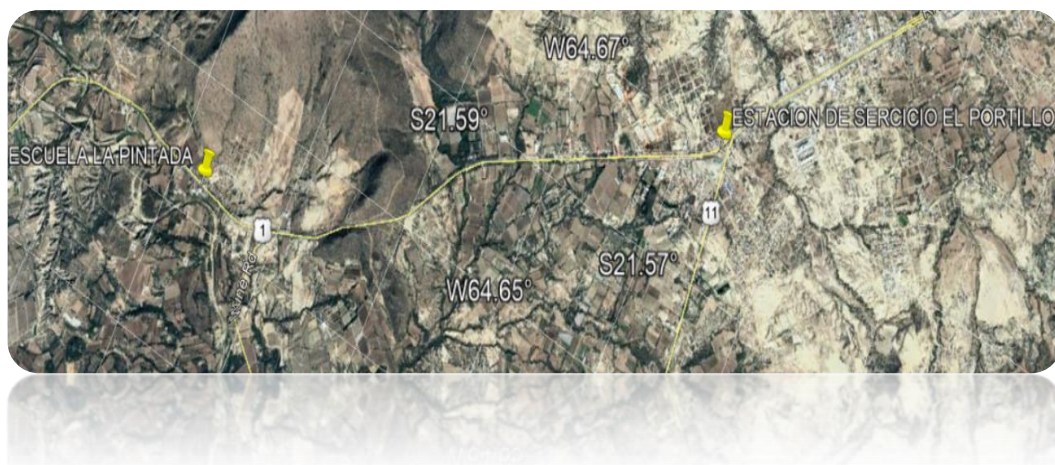
La longitud en estudio es de aproximadamente de 5.6 km.

Figura 3. 1. Ubicación geográfica en estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 2. Coordenadas de la ubicación del tramo Estación de Servicio El Portillo – Unidad Educativa La Pintada.



Fuente: Google Earth.

Estación de servicio el portillo:	Unidad Educativa la Pintada
Latitud: 21°34'1.25"S	Latitud: 21°36'29.11"S
Longitud: 64°40'12.74"O	Longitud: 64°38'33.14"O
Altitud: 1863 m.s.n.m.	Altitud: 1798 m.s.n.m.

Con una altura media del tramo de 1894 m.s.n.m.

3.1.3. Antecedentes.

No se encontró con datos del tramo, aun así, se indago para conseguir información con lo cual no se logró mucho. El tramo Estación de Servicio El Portillo – Unidad Educativa La Pintada ha sido diseñado y ejecutado por CEDECA aproximadamente el año 1970.

Características geométricas del tramo son:

Ancho de la calzada:	7.30 m
Bermas:	1.00 m
Longitud de la ruta:	5.600m
Capa de rodadura:	tratamiento superficial triple
Numero de ejes equivalentes	9130821

Debido a que no se logró obtener antecedentes históricos del servicio departamental de camino (SEDECA) del tramo en estudio, se izó la complementación de la información para complementar el estudio

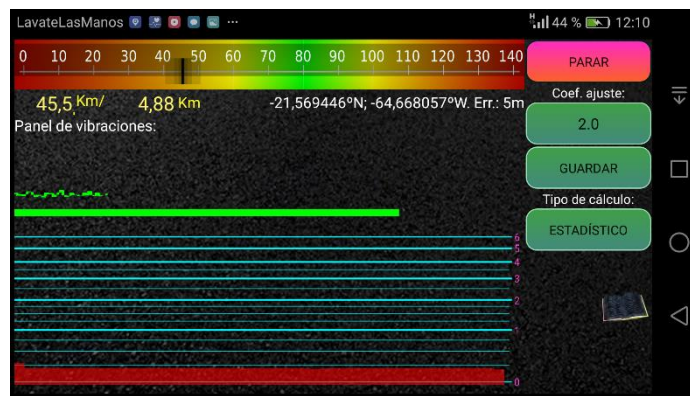
Longitud de la ruta: para la terminación del tramo se hizo un trazo en el programa de Google earth, para luego realizar el correspondiente levantamiento topográfico, los materiales que se utilizaron fueron: Un Estación total, GPS, prisma, estacas, brocha, y pintura, en la cual se obtuvo los datos correspondientes.

Se idéntico el punto de inicio en el cual se lo denomino la progresiva 0 + 000, con el GPS se estacionaron dos puntos para su posterior referencia y ensamblar la

estación total, de esa manera realizar los disparos cada 50 m y su posterior anotación de cada progresiva a 0 + 100 y así consecuentemente asta realizar el relevamiento del tramo para luego dar inicio a los ensayos para la evaluación superficial y estructural para luego determinar en qué estado se encuentra la carretera y así poder determinar el tipo de mantenimiento que se realizara.

Estudio superficial IRI regularidad (Software): Para la determinación del estado superficial del tramo se hizo recorrido de ida como de vuelta en las siguientes velocidades de 20, 40 y 60km/h para determinar la deformidad actual en la que se encuentra el tramo en estudio ver Anexo.

Figura 3. 3. Medición del IRI a una velocidad de 40 km/h.



Fuente: elaboración propia

Capa de rodadura: Las características en la capa de rodadura eran inciertas, se realizó el sondeo respectivo a pesar de que el servicio departamental de caminos nos informó que la capa de rodadura era triple, con el fin de determinar claramente de que está compuesto la carpeta asfáltica se extrajo las muestras respectivas, por cada medio kilómetro se extrajo tres muestras posteriormente se analizó en laboratorio la muestra para lo cual se hizo calentar las muestras asta estar disueltas, se dispuso del equipo centrifuga para realizar el lavado de la muestra cuarteada dicho equipo permite que la muestra gire a una determinada velocidad en el cual se echó un disolvente que es el kerosene para disolver el sementó asfaltico y quedar limpio el agregado, así poder realizar el tamizado y obtener la degradación del mismo haciendo las relaciones correspondientes entre peso con y sin cemento asfaltico, también se obtuvo el sementó asfaltico.

Figura 3. 4. Muestra progresiva 1+500 y proceso de separación de ligante y agregado.



Fuente: elaboración propia.

Paquete estructural: Con el objetivo de identificar la composición y conformación del paquete estructural se dispuso a realizar un sondeo en las progresivas 0+000, 2+500 y 5+500, realizándose el Ensayo de penetrómetro dinámico de cono (PDC) y CBR, donde se utilizaron pala, pico, bolsas, para la extracción y su respectivo sondeo, se excavó para identificar el número de capas que tenía el paquete estructural. Paralelamente se extrajo las muestras de cada capa identificada, en primera se identificó la capa Base, Sub base y sub rasante natural.

- **Ensayo de penetrómetro dinámico de cono (PDC):** el modelo consta de acero de penetración de 16 mm de diámetro en su extremo inferior un cono de acero temperado de 60 grados y de 20mm de diámetro, el PDC es introducido en el suelo por un martillo deslizante de 8kg que cae desde una altura de 575mm. La aplicación del Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) se llevó a cabo en las diferentes progresivas mencionadas anteriormente, al realizar el ensayo en cada punto medimos la penetración dinámica por golpe mm/golpes tanto para la base sub base con el que de acuerdo a cualquier formulación se puede obtener el valor de CBR in situ, pero en este caso las pendientes obtenidas servirán para correlacionar pendientes (DN) con los valores de CBR en lab.

Figura 3. 5. Equipo de PDC y Realizando el levantamiento de datos para el PDC.



Fuente: elaboración propia.

Se realizaron ensayos de granulometría del material fino y grueso, límites de Atterberg, clasificación, proctor y CBR (capacidad de soporte), se desarrolló de la siguiente manera:

- **Granulometría de los agregados:** Para realizar la granulometría de la base, sub base, sub rasante y rasante natural, se cuarteó las muestras para posteriormente tamizar el material separa en la serie de tamices desde el tamiz 3” a N°10 y el pasante se hizo la granulometría por el método del lavado obteniendo los pesos retenidos con los cuales se obtuvo la curva granulométrica para cada una de las capas.
- **Limites Atterverg:** De igual forma se hizo los límites de Atterberg para todas las capas mencionadas anteriormente con la finalidad de obtener el límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.
- **Clasificación de los materiales:** Con los datos obtenidos en los puntos anteriores de realizo la clasificación de los materiales para las capas base, sub base y rasante natural ya que los datos son imprescindibles para la realización del ensayo capacidad de soporte del suelo.
- **Proctor (Densidades):** De igual manera se realizaron los ensayos de proctor para todas las capas, con la finalidad de obtener la densidad máxima y humedad

óptima de los materiales, se realizó el ensayo de Proctor T-180 para las muestras gruesas y T-99 para las muestras finas, los datos obtenidos en los ensayos realizados son imprescindibles para la realización del ensayo de capacidad de soporte del suelo.

- **CBR (Capacidad de Soporte del Suelo):** Se realizó el ensayo de todas las capas base, sub base y rasante natural. Dicho ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo las condiciones de humedad y densidad controladas permitiendo obtener un porcentaje (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normatizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normatizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

Figura 3. 6. Extracción de calicata progresiva 2+500 y espesores de la capa base, subbase y rasante natural.



Fuente: elaboración propia.

3.2. Procedimiento de la medición de las fallas superficiales

El procedimiento que se describe a continuación es el que se seguirá durante la práctica de este proyecto, para realizar las respectivas evaluaciones tanto superficial como estructural las que nos podrán ayudar a definir el tipo de mantenimiento que se realizara.

Primeramente, los factores más importantes que debemos tomar en cuenta para la medición de fallas superficiales es el siguiente:

- Seguridad
- Personal
- Equipo y material de trabajo

3.2.1. Seguridad

Se refiere a la seguridad integral que se brindó a las personas tanto al autor del proyecto como del personal de apoyo que ayudaron al mismo en la práctica, ya que el tramo es una carretera fundamental en el cual circulan movilizaciones livianas, de alto tonelaje donde circulan aproximadamente 3000 vehículos diarios, por tratarse de una evaluación superficial la cual se tiene autorización de la autoridad competente, en la cual se especifica la señalización vertical que se pondrá en los tramos respectivos como ser: conos, triángulos, bandereros, etc. Para la prevención de los conductores y evitar cualquier tipo de accidente.

3.2.2. Personal

Para la evaluación se brindó una inducción de los tipos de evaluación al personal de apoyo, indicando como se debe medir y hacer el respectivo levantamiento, el personal de apoyo fueron tres personas los mismos que también se encargaron de colaborar en la señalización.

3.2.3. Equipo y material de trabajo

En el presente proyecto se utilizó una estación total para determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI, el equipo cuenta con dos prismas y sus respectivos jalones, un trípode y demás accesorios para el registro. El material de trabajo utilizado es una huincha, de 50 metros, planilla de las diferentes fallas, bolígrafo, reglas, flexómetro. cámara fotográfica, tiza, pintura y brocha para la localización y demarcación de las fallas.

Todo el material se obtiene con anticipación para no tener ningún altercado ni contratiempo para el día de la práctica.

Figura 3. 7. Equipo de trabajo y material de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Evaluación superficial del tramo

Para la evaluación superficial del tramo Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada se evaluaron tres parámetros; IRI (Índice Internacional de Rugosidad), PCI (Índice de Condición del Pavimento) y PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) lo cual se detalla a continuación.

3.3.1. Medición de los datos para la determinación del IRI

Para comenzar a medir las fallas y daños superficiales del pavimento flexible se deben seguir los siguientes pasos.

- Preparamos todo el material y equipo necesario y personal de apoyo, coordinando con las autoridades competentes y planificamos la metodología de trabajo.
- Inspeccionamos el tramo y determinamos el punto de inicio para el levantamiento de las fallas.
- Aseguramos el tramo de estudio utilizando la señalización de seguridad vial.

- Una vez que aseguramos el tramo donde se realizaría la medición se procedió a medir los puntos para la determinación del IRI.
- Se instala y arma el equipo topográfico en lugares donde se tiene mayor visibilidad hacia el tramo que se deseaba medir y hacia los posteriores tramos, con la ayuda de una huincha se extiende la misma sobre una de las huellas del pavimento longitudinal, se lectura a cada 0.50 m y el mismo procedimiento se realizó en los otros carriles de sentido contrario.
- Para este tipo de medición es necesario tomar en cuenta la prevención de inconvenientes que pueden presentar.
- Los datos lecturados para la determinación del IRI quedaron grabados en la memoria de la estación total, pero se anotaron debidamente los puntos de inicio, fin de los tramos y otro que fueron relevantes para el procesamiento de los datos en gabinete.

Figura 3. 8. Levantamiento de datos del perfil de rodadura.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Metodologías planteadas

3.3.2.1. Procedimiento de campo

La metodología de medición de fallas que se menciona anteriormente (procedimiento de medición de fallas superficiales), donde primeramente se realiza procedimiento de campo con la medición de fallas utilizando planillas de anotación para facilitar en la ordenación de datos, los parámetros de medición son las unidades en las que serán medidas las fallas; es decir en unidades de longitud (m), unidades de área (m²).

La longitud total del tramo en estudio es aproximadamente 5.600,00 m. todo el tramo carretero fue evaluado, y se lo dividió en tramos pequeños para tener mayor exactitud en el detalle de fallas del pavimento, los tramos de muestreo fueron de 100 metros, los cuales fueron marcados y evaluados respectivamente.

Esta metodología que se realiza en el procedimiento de campo indica en el nivel de severidad de las fallas superficiales y cuantificara la cantidad de la misma. En la **figura 3.9.** se muestra la metodología de medición que se planteó y se realizó en el campo.

Figura 3. 9. Metodología de medición de fallas (m²).



Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Aplicación del método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

3.3.3.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

Se detalla la metodología aplicada para la evaluación superficial el caso particular del tramo Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI, Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición de la superficie del tramo, este método al ser moroso y requerir mucho tiempo para realizarlo en la bibliografía menciona que solamente se seleccione cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo.

3.3.3.2. Muestreo y unidad de muestreo

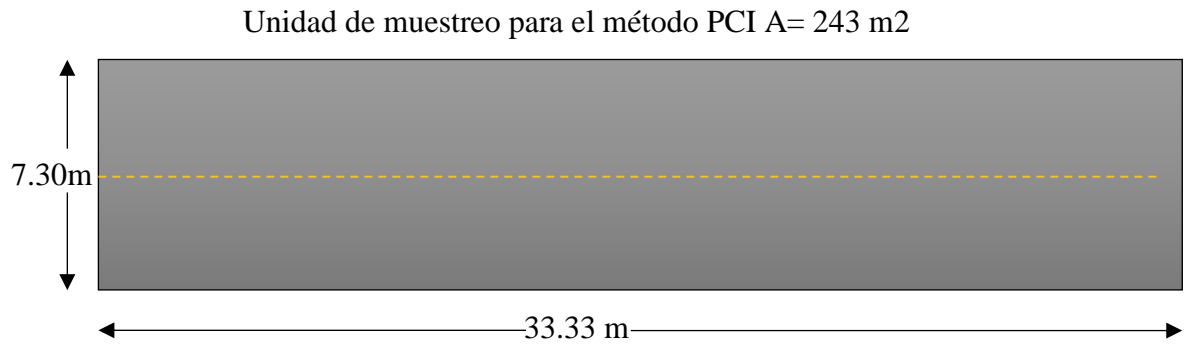
Las áreas de muestreo según el método PCI del cuerpo de la armada de los Estados Unidos menciona que se deben tener una superficie comprendida entre el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como se observa en la tabla 3.1, que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 3. 1. Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas.

Ancho de calzada (m)	longitud de la unidad de muestreo (m)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (Max.)	31.50

Fuente: Paviment Condition Index (PCI), Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, Preparado por Ing. Esp. Luis Vásquez Varela febrero 2002.

En función de las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento en el tramo Estación de Servicio El Portillo – Unidad Educativa La Pintada es de 7.30 m, debido a esto se adoptó una longitud de 33 m para cada una de las áreas.



Fuente: elaboración propia

Obteniendo de esta manera un área de 243 m² que se encuentra dentro del tramo establecido por el método PCI, con el fin de unificar la sección de estudio se usa un área uniforme de 243.00 m² en base al levantamiento topográfico que se hizo del tramo en estudio se tiene un tramo total a evaluar de 5600 m. en base a las áreas de sección establecidas para la evaluación superficial, se inspeccionó minuciosamente el tramo tanto de ida como también de vuelta, la primera unidad de muestra se inició a partir de la progresiva 0 + 000 y así sucesivamente, para tener la información de todo el tramo.

3.3.3.3. Procedimiento de evaluación del índice de condición del pavimento (PCI)

Se inspecciono cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas en base al levantamiento topográfico realizado de manera anticipada, para medir el tipo, cantidad y veracidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI. En base a la siguiente tabla.

Tabla 3. 2. Tipos de fallas de pavimentos.

Tipos de fallas en pavimentos			
Fallas	Unidad de medida	Fallas	Unidad de medida
1.- Piel de cocodrilo	m ²	11.- parches	m ²
2.- Exudación	m ²	12.- Agregado pulido	m ²
3.- Fisuras en bloque	m ²	13.- Huecos	N#
4.- Elevaciones - Hundimientos	m ²	14.- Acceso a puentes - Rejilla de drenaje	m ²
5.- Corrugaciones	m ²	15.- Ahuellamiento	m ²
6.- Depresiones	m ²	16.- Deformación por empuje	m ²
7.- Fisuras de borde	m	17.- Deslizamiento	m ²
8.- Fisuras de reflexión de juntas	m	18.- Hinchamiento	m ²
9.- Desnivel carril - berma	m	19.- Disgregación - desintegración	m ²
10.- Fisuras longitudinales y transversales	m		

Fuente: elaboración propia

Se registró la información en el formato adoptado, para tal se debe conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimiento de medida para determinar el tipo de falla, seguidamente se desarrolla un resumen de la forma de medición e identificación para cada falla del tramo en estudio.

- **Piel de cocodrilo:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con grietas interconectadas, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición aproximada del área, para esto se hizo la medición de un ancho y largo

aproximado asemejándose a una figura rectangular, la unidad de medición el m².

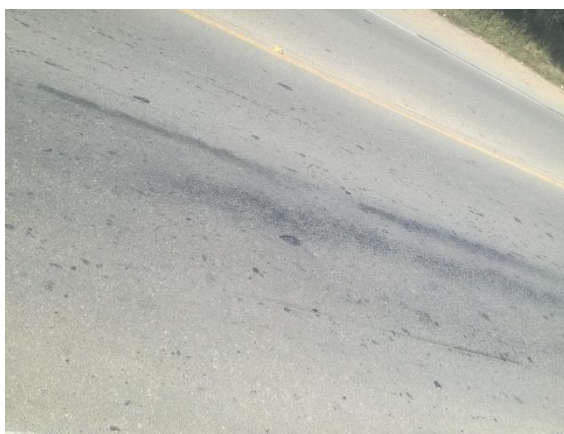
Figura 3. 10. Piel de cocodrilo.



Fuente: Elaboración propia.

- **Exudación:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con una película de un material bituminoso en la superficie del pavimento, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición aproximada del área, para esto se hizo la medición de un ancho y largo aproximado asemejándose a una figura rectangular, la unidad de medición el m².

Figura 3. 11. Tipo de falla exudación.



Fuente: Elaboración propia.

- **Fisuras en bloque:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con grietas interconectadas que dividen el pavimento en

pedazos aproximadamente rectangulares a diferencia de las fallas piel de cocodrilo los bloques varían de cm a 30.0 cm, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición aproximada asemejándole a una figura rectangular, unidad de medición en m².

Figura 3. 12. Tipo de falla fisura en bloque.



Fuente: Elaboración propia.

- **Elevaciones – hundimientos:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con elevaciones o desplazamientos pequeños hacia arriba o hacia abajo con una regla metálica para verificar el desnivel que existe en el pavimento, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición aproximada de la longitud horizontal donde se presentan desplazamientos, la unidad de medida es el m.
- **Fisuras de borde:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con grietas longitudinales paralela en dirección del carril separadas hasta 60 cm del borde exterior del pavimento, una vez identificadas las fallas se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición de la longitud de las fisuras con una wincha, la unidad de medición es el m.

Figura 3. 13. Tipo de falla Fisura de borde.



Fuente: Elaboración propia.

- **Desnivel carril – berma:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con diferentes desniveles entre el carril y la berma, una vez identificado la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición de la longitud con una wincha donde se presentan los desniveles, unidad de medida en m.

Figura 3. 14. Tipo de falla desnivel de carril.



Fuente: Elaboración propia.

- **Fisuras longitudinales – transversales:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con fisuras en el eje o paralelas al mismo, una vez identificado las fallas se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición de la longitud con wincha donde se presentó este tipo de falla, la unidad de medida es el m.

Figura 3. 15. Tipo de falla fisura transversal.



Fuente: Elaboración propia.

- **Parche:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores del pavimento ha sido reemplazado con material nuevo para reparar el pavimento existente, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición aproximada del área para esto se hizo la medición de un ancho y largo aproximado asemejándole a una figura rectangular, la unidad de medición es m².

Figura 3. 16. Tipo de falla parche.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente registrar los datos en una planilla de toma de datos para cada una de las unidades de muestreo que fueron señaladas en un pavimento e identificadas por medio de un código, por ejemplo, U-3 (Unidad de muestra No 3). Esto permitió su fácil localización en caso se quiera verificar alguna información para los ensayos posteriores, se registró el tipo de falla, su extensión y severidad, además de tomar en cuenta todas las medidas de seguridad para una buena inspección de las áreas de muestreo, en la **tabla 3.3.** se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Tabla 3. 3. Planilla de muestreo de datos método PCI.

Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)							
Zona de estudio: "Estación de Servicio El Portillo – Unidad Educativa La Pintada"							
Prog. Inicio:		área (m2):		inspeccionado por:			
Prog. Final:		Fecha:					
Tipos de fallas en pavimentos							
Fallas		Unidad de medida	Fallas		Unidad de medida		
1.- Piel de cocodrilo		m ²	11.- parches		m ²		
2.- Exudación		m ²	12.- Agregado pulido		m ²		
3.- Fisuras en bloque		m ²	13.- Huecos		N#		
4.- Elevaciones - Hundimientos		m ²	14.- Acceso a puentes - Rejilla de drenaje		m ²		
5.- Corrugaciones		m ²	15.- Ahuellamiento		m ²		
6.- Depresiones		m ²	16.- Deformación por empuje		m ²		
7.- Fisuras de borde		m	17.- Deslizamiento		m ²		
8.- Fisuras de reflexión de juntas		m	18.- Hinchamiento		m ²		
9.- Desnivel carril - berma		m	19.- Disgregación desintegración		m ²		
10.- Fisuras longitudinales y transversales		m					
Progresiva		Unidad de muestreo	Tipo de falla	Severidad	Total		
Inicial	Final				H	M	L

Fuente: elaboración propia

3.3.4. Procedimiento del Índice de serviciabilidad presente (PSI- Present Service Index)

3.3.4.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

Para la evaluación se consideran los tramos ya mencionados reglones arriba, consiste en ver las fallas más significativas que se encuentran en cada tramo, con una orientación y un análisis del estado del pavimento desde el punto de vista se realiza una evaluación según la rugosidad en términos de serviciabilidad y para ese fin se adopta la escala que varía en un rango de 5 a 0 ya mencionada en el capítulo anterior de los cuales se selecciona los coeficientes C1, C2 y C3 de la tabla.

Tabla 3. 4. Coeficientes C1, C2 y C3.

Rugosidad longitudinal	valor C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
Intensidad de grietas y parches	valor C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
Deformación transversal	valor C3
sin deformación ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellamiento	2
Fuertemente deformado y ahuellamiento	3

Fuente; Manual del PSI.

3.3.5. Evaluación estructural del tramo.

3.3.5.1. Procedimiento evaluación Viga Benkelman

La evaluación estructural fue realizada en cada uno de los tramos tanto de ida como de vuelta, la evaluación se hizo en los lugares ya mencionados en la evaluación superficial.

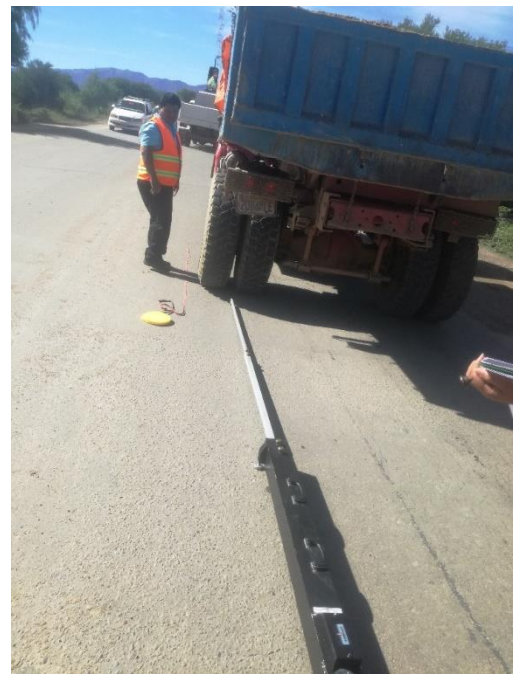
Efectuar la calibración de la viga Benkelman en laboratorio de asfaltos de la universidad, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para su manejo en campo, mediante la calibración definir la constante K que será utilizado para el cálculo de las deflexiones, donde se obtuvo una constante $k=2$.

Para la practica alquilar una volqueta con una capacidad de 8.00 m^3 con ejes traseros simple de llantas dobles, cada llanta con una presión de 80 psi, realizar el pesaje de la parte trasera de la volqueta dejando una tercera parte libre, tenido el peso de la parte trasera cargar a volqueta hasta llegar a un peso de 8200 kg (8.20 tn).

Teniendo todo el material preparado para realizar la práctica definir los puntos donde se tomarán las medidas, una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual de la volqueta deberá ser colocado en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles. Las mediciones en un punto se realizan a diferentes distancias pueden ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. Para la práctica se asieron mediciones a cada 50 cm.

En esta metodología de análisis se tomaron 4 muestras, una vez las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 o 6 metros).

Figura 3. 17. Pesaje del volquete y medición de la Viga Benkelman.



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV
EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

CAPITULO IV

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

4.1. Procedimiento de evaluación superficial

4.1.1. Evaluación superficial por el método del IRI

4.1.1.1. Procedimiento de cálculo del IRI (Índice Internacional de Rugosidad)

Se introducen los datos del levantamiento en una hoja de cálculo, en la cual se hace un filtro con los datos para determinar posibles errores en la medición a captura de los datos.

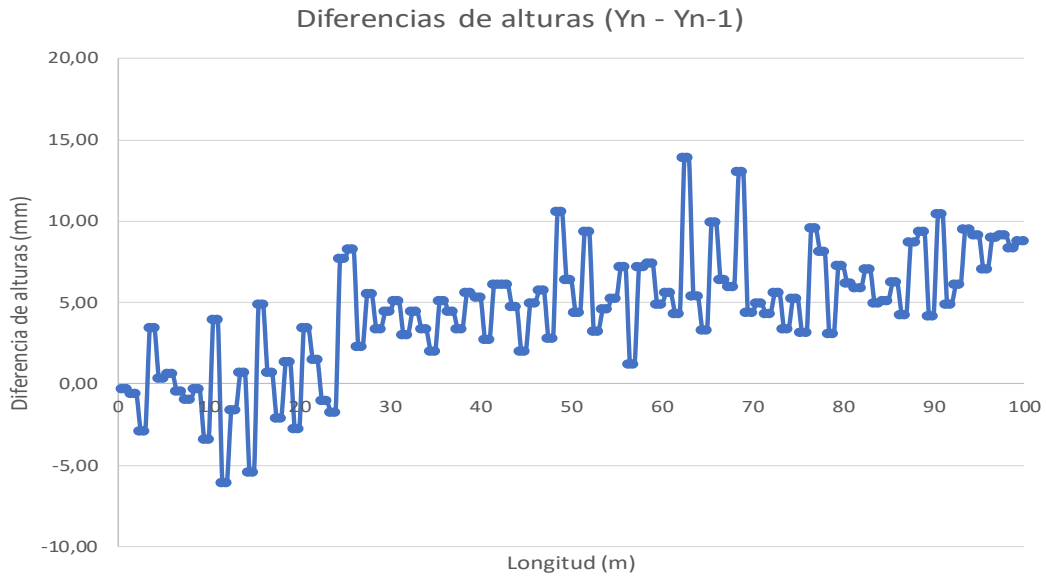
Este filtro se realiza graficando las diferencias de alturas de todos los puntos del levantamiento de la siguiente manera:

Supóngase que en la columna A se encuentran el número de puntas evaluados desde 1 hasta "n"; en la columna B están los datos de las alturas del levantamiento topográfico, así la altura Y_1 para cuando $X = 0$ m se encuentra en la celda B1, la altura Y_2 para cuando $X = 0.5$ m está en la celda B2 y así sucesivamente hasta "n"; en la celda C2 se escribe la fórmula: $+A2-A_1$, que representa la diferencia de alturas entre el punta actual y el anterior ($Y_2 - Y_1$), esta fórmula se copia para el resto de la columna C, excepto para C1.

Se grafica la columna A en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas la columna C, se observa como los valores de las diferencias de alturas siguen una cierta secuencia que se puede representar mediante una banda a rango flexible. Si todos los valores se encuentran dentro de esta banda a no son mayores al doble de ella se puede afirmar que los datos son correctos (**ver Figura 4.1**). En el caso en que existan valores que se salen del doble de este rango, se determina si alguno o algunos de ellos son las puntas de importancia que se registraron en el levantamiento topográfico, en caso contrario se procede a analizar la secuencia de las diferencias de alturas anteriores y posteriores en la columna C al dato incorrecto para ser modificado de una

manera aproximada.

Figura 4. 1. Diferencia de alturas



Fuente: Elaboración propia.

El índice Internacional de seguridad es la acumulación de deformaciones con respecto a un eje, este índice nos indica la irregularidad superficial es decir la diferencia entre lo real de lo ideal, se lo conoce como rugosidad del pavimento, pero una rugosidad desde el punto de vista de las deformaciones y no así de la aspereza del pavimento. Debido a que para el procesamiento de los datos de campo para realización manualmente sería demasiado moroso y tedioso ya que son bastantes puntos que se deben procesar, para ello se recurrió a la ayuda de un programa computacional para el procesamiento de los datos y cálculos y así calcular el índice.

Figura 4. 2. Imagen software INPACO.



Fuente: Elaboración propia.

El software INPACO fue creado en el instituto de vías de la Universidad de Cauca de Colombia. Este programa tiene la característica de procesar los datos en 6 pasos los cuales se menciona a continuación:

1. Delta X
2. Identificación del tramo
3. Entrada de datos
4. Cálculo del IRI
5. Grafica
6. Imprime información

Delta X (DX): En la primera parte de hacer correr el programa donde nos permite escoger el incremento de la abscisa de los datos del levantamiento, en el mismo se presentan las siguientes alternativas:

Cuadro 4. 1. Deltas según la longitud máxima.

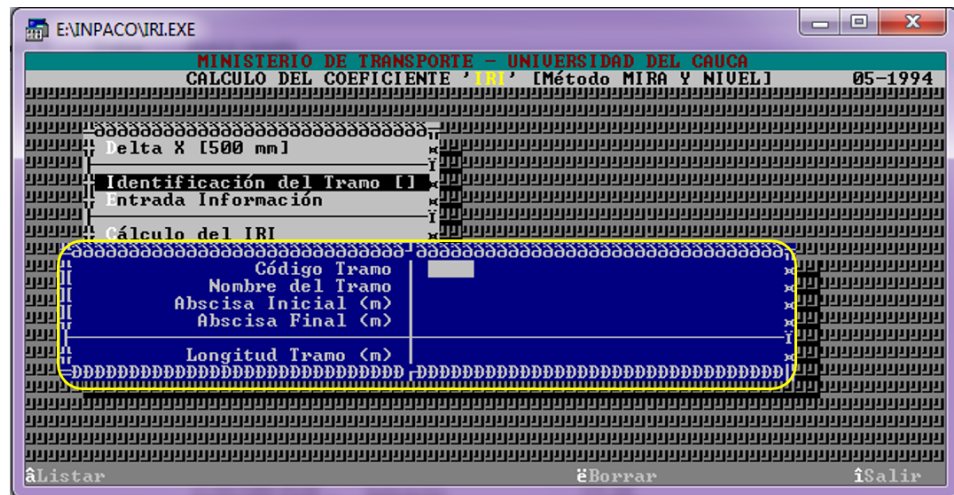
delta x	longitud máxima
50.0	800
100.0	1600
152.4	2438
166.7	2667
200.0	3200
250.0	4000
304.8	4876
333.3	5332
500.0	8000

Fuente: Software INPACO.

Identificación del tramo

La opción nos permite introducir el nombre del tramo en estudio e identificar con un código para distinguirlo de los demás, la cual se presenta se muestra en la Figura 4.2 es la siguiente:

Figura 4. 3. Identificación del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

Donde las abscisas delimitan el inicio y fin de la longitud del tramo en estudio del IRI, para este proyecto es de 100 m.

Entrada de información

En esta información se ingresan los datos de levantamiento (cotas de los puntos lectura dos).

Cálculo del IRI

1. Se calcula el índice de rugosidad internacional teniendo en cuenta la información digitalizada anteriormente.
2. En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identifica el proceso de cálculo necesario para encontrar el IRI.
3. Delta Y (delta escogido). Número total de datos (es la cantidad de abscisas existente en el tramo) Z1, Z2, Z3, Sumatoria de RSi: Variables requeridas por el sistema IRI valor de índice de rugosidad internacional calculado.

Gráfica

Sacará una gráfica del perfil del tramo como dos ejes de coordenadas que son: (X-Abscisa y Y-Cotas), dando la posibilidad de definir límites superior e inferior.

Imprimir información

Se obtendrá un listado por la impresora de todos los datos digitalizados anteriormente, el IRI encontrado se debe de analizar, para luego dar una conclusión del estado de rugosidad de la superficie del pavimento del tramo de estudio.

4.1.2. Análisis de los resultados obtenidos

Una vez realizado el análisis de los datos registrados en el proceso de campo y evaluación de los gráficos de los datos obtenidos e ingresados en el programa INPACO y en el software para el cálculo del IRI. Los datos registrados en el proceso de campo y los resultados con la gráfica de su perfil longitudinal se presentan en el ANEXO N 1.

Los resultados del IRI promedio por carril de la vía se lo presentan en el cuadro 4.2.

Cuadro 4. 2. Valores finales del IRI.

Progresiva	Tramo	Longitud	IRI (m/km)	
	N	m	Carril de ida	Carril de vuelta
00+000 - 00+100	0	100	4,70	3,16
00+450 - 00+550	1	100	3,27	3,40
01+450 - 01+550	2	100	3,02	1,88
02+450 - 02+550	3	100	2,65	2,44
03+450 - 03+550	4	100	3,71	3,20
04+450 - 04+550	5	100	5,77	4,53
05+450 - 05+550	6	100	5,27	5,31
IRI Total (m/km)			4,06	3,42

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del IRI promedio del tramo en estudio de la Estación de servicio El Portillo - Unidad Educativa La Pintada, para cada carril es de:

Carril de ida. IRI=4.06 m/km Pavimento moderadamente deteriorado.

Carril De vuelta. IRI=3.42 m/km Pavimento moderadamente deteriorado.

Análisis de resultado con el software se puede observar que los resultados son similares, para la velocidad del 20 km/hr son alto ya que a menor velocidad mayor será el IRI como se puede observar en el cuadro siguiente.

Cuadro 4. 3. resultados con el software

Vel (km/ hr)	IRI (m/km)	
	Carril de Ida	Carril de Vuelta
20	5,24	5,27
40	4,88	4,67
60	4,59	4,62
IRI Total (m/km)	4,90	4,85

Fuente: Elaboración propia.

Carril de ida. IRI=4.90 m/km Pavimento moderadamente deteriorado.

Carril De vuelta. IRI=4,85 m/km Pavimento moderadamente deteriorado.

4.2. Evaluación superficial por el método PCI

4.2.1. Procedimiento de cálculo del PCI (Índice de condición del pavimento)

Luego de culminar la inspección, la información de las fallas presentes en las unidades de muestreo y los grados de severidad que estas fueron recopilados, registrados para el cálculo del PCI, es cálculo del PCI puede realizarse de forma manual o computarizada.

Posteriormente se procede 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, con el valor deducido total y con el máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente PCI en el tramo de 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 fallas y su severidad y registrarlos en las casillas correspondientes. Los datos pueden ser medidos en áreas o longitud o por su número según el tipo de falla existente, ver **cuadro 4.4.**

Cuadro 4. 4. Fallas Existentes.

Progresiva		Unidad de muestreo	Tipo de falla	Severidad	Total		
Inicial	Final				H	M	L
0+000		0-U1	1.- Piel de cocodrilo	L			3,48
			4.- Elevaciones - Hundimientos	L			0,86
			7.- Fisuras de borde	H	23,06		
			9.- Desnivel carril - berma	L			1,18
				M		5,4	
				H	17,88		
			10.- Fisuras longitudinales y transversales	L			52,9
				M		0,86	
0+033,33		12.- Agregado pulido	L			243	

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

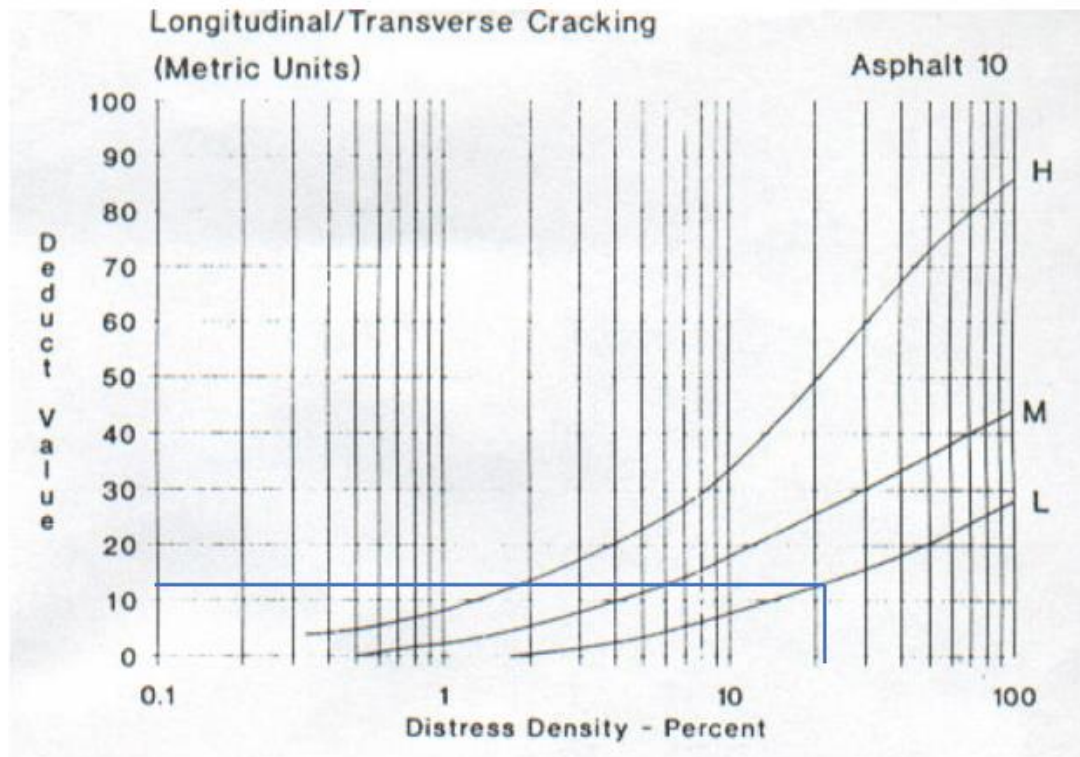
$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de falla (tipo y severidad)}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} \times 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{52.90}{243} \times 100$$

$$\text{Densidad} = 21.8\%$$

Para calcular el “Valor deducido” se determina mediante el uso de las curvas o tablas denominadas “Valor de deducción “de acuerdo con el tipo de falla, **ver gráfico 4.1.**

Tabla 4. 1. Obtención del valor deducido (VD).



Valores deducidos para pavimentos – grietas longitudinales y transversal.

Fuente: Pavement Condition Index (Shahin – Khon).

En este caso se trata de una falla número 10 fisuras longitudinales y transversales de severidad baja y de una densidad de 21.08 % en funciona a estos datos se obtiene un valor de deducción de 13. Para obtener el valor de deducción se deben entrar en un gráfico con el valor de deducción y proyectar una línea vertical hasta que intercepté con la densidad de la falla, este tipo de fallas se encuentra en el nivel de severidad “baja”, para obtener el valor de deducido mediante el grafico se proyecta una línea horizontal hasta que intercepté en eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala

de "valor de deducción", o de lo contrario interpolar el valor deducido en la **tabla 4.1**. Uno para obtener mayor exactitud de valor deducido.

Se repite la misma operación para cada tipo de Falla, severidad y se registran en la casilla de "valor deducido", ver **cuadro 4.5**.

Cuadro 4. 5. Tramo 0-U1 resultados del valor deducido (VD).

Tipo de falla	Severidad	Total	Densidad	Valor Deducido
1.- Piel de cocodrilo	L	3,48	1,4	14
4.- Elevaciones - Hundimientos	L	0,86	0,4	1
7.- Fisuras de borde	H	23,06	9,5	23
9.- Desnivel carril - berma	L	1,18	0,5	0
	M	5,40	2,2	5
	H	17,88	7,4	11
10.- Fisuras longitudinales y transversales	L	52,90	21,8	13
	M	0,86	0,4	0
12.- Agregado pulido	L	243,31	100,1	20

Fuente: elaboración propia.

Una vez registrado todos los valores de deducidos del área de muestra, debe tomarse en cuenta sí ninguno o tan solo uno de los valores de deducidos son mayores que 2, se usa el valor deducido total en lugares del valor de deducido corregido (CDV), de lo contrario se colocan en orden descendente los valores deducidos mayores de 2 hasta que cumpla la igualdad a 1. (**Ver cuadro 4.6**).

Cuadro 4. 6. Tramo 0-U1 resultados de valor deducidos corregidos (VDC).

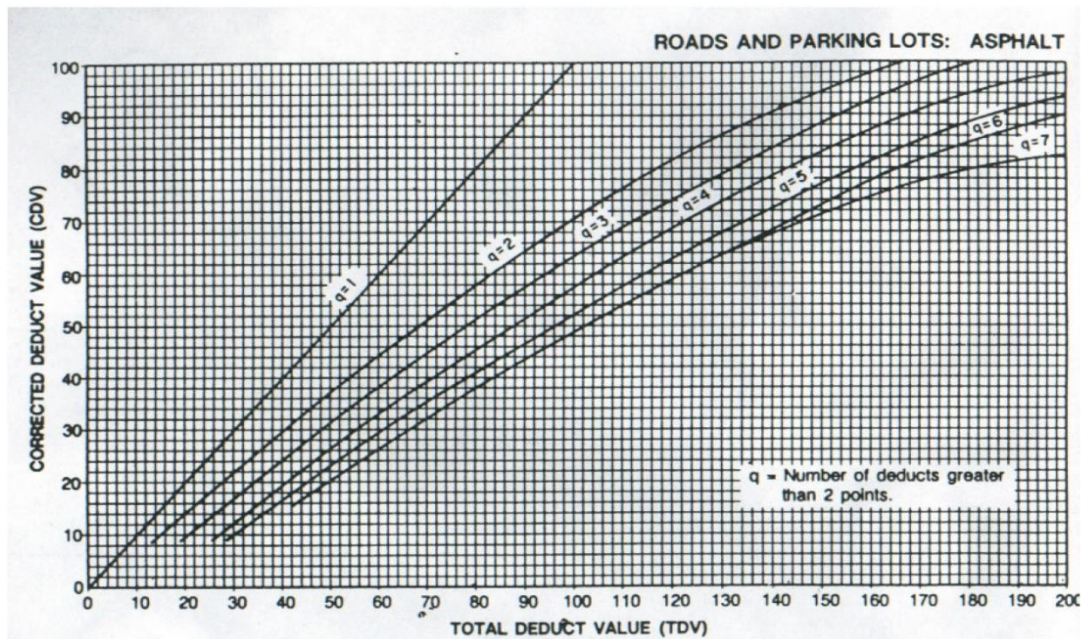
N	Valor deducido									Total	q	CDV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	23	20	14	13	11	5	0,07			86,07	6	41
2	23	20	14	13	11	2	0,07			83,07	5	43
3	23	20	14	13	2	2	0,07			74,07	4	42
4	23	20	14	2	2	2	0,07			63,07	3	40
5	23	20	2	2	2	2	0,07			51,07	2	37
6	23	2	2	2	2	2	0,07			33,07	1	33

Max CDV= 43
 PCI= 57
 Rating= BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Para cada valor individual se determinó el valor deducido corregido en el gráfico. Ver **Cuadro 4.6**, para obtener mayor exactitud en el cálculo del valor deducido corregido se utilizó la **tabla 4.2**, de los valores deducidos corregidos se escoge el “máximo valor deducido corregido (CDV)” para determinar el PCI, restando 100 al valor deducido corregido máximo obtenido.

Tabla 4. 2. Curva de obtención del valor deducido corregido (VDC).



Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon).

El PCI obtenido fue de 57, lo que indica según el siguiente esquema, que la condición de la unidad de muestra 0-U1 del pavimento está en un estado bueno (entre 55-70) ver **cuadro 4.7.**

Cuadro 4. 7. Rango de calificación de PCI.

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

Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación.

Fuente: Pavement Condition Index (PCI), traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril de 2006.

Cuadro 4. 8. Resultados de la unidad de muestra 0-U1.

Metodo PCI (Indise de Condicion del Pavimento)				
Zona de estudio: "Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada"				
Prog. Inicio:	0+000,00			
Prog. Final:	0+033,33			
Area (m2)	243			
Fecha:	18/04/2019			
Unidad de muestra:	0-U1			
Inspeccionado por:				
Maguiver Porco Mamani				
Fallas	unidad de medida	Fallas	unidad de medida	
1.- Piel de cocodrilo	m ²	11.- parches	m ²	
2.- Exudación	m ²	12.- Agregado pulido	m ²	
3.- Fisuras en bloque	m ²	13.- Huecos	N#	
4.- Elevaciones - Hundimientos	m ²	14.- Acceso a puentes - Rejilla de drenaje	m ²	
5.- Corrugaciones	m ²	15.- Ahuellamiento	m ²	
6.- Depresiones	m ²	16.- Deformación por empuje	m ²	
7.- Fisuras de borde	m	17.- Deslizamiento	m ²	
8.- Fisuras de reflexión de juntas	m	18.- Hinchamiento	m ²	
9.- Desnivel carril - berma	m	19.- Disgregación - desintegración	m ²	
10.- Fisuras longitudinales y transversales	m			
Tipo de falla	Severidad	Total	Densidad	Valor Deducido
1.- Piel de cocodrilo	L	3,48	1,4	14
4.- Elevaciones - Hundimientos	L	0,86	0,4	1
7.- Fisuras de borde	H	23,06	9,5	23
9.- Desnivel carril - berma	L	1,18	0,5	0
	M	5,40	2,2	5
	H	17,88	7,4	11
10.- Fisuras longitudinales y transversales	L	52,90	21,8	13
	M	0,86	0,4	0
12.- Agregado pulido	L	243,31	100,1	20

N	Valor deducido									Total	q	CDV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	23	20	14	13	11	5	0,07			86,07	6	41
2	23	20	14	13	11	2	0,07			83,07	5	43
3	23	20	14	13	2	2	0,07			74,07	4	42
4	23	20	14	2	2	2	0,07			63,07	3	40
5	23	20	2	2	2	2	0,07			51,07	2	37
6	23	2	2	2	2	2	0,07			33,07	1	33

Max CDV= 43
 PCI= 57
 Rating= BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Se repite todo el procedimiento de cálculo anterior descrito para todas las unidades de muestreo existente en el tramo evaluado “Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada” los cuales se presentan en el ANEXO 2.

4.2.2. Resultados

4.2.2.1. Resultados parciales de PCI

En el siguiente cuadro se resume los resultados de todas las unidades de muestreo del tramo “Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa la Pintada”.

Cuadro 4. 9. Resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Tramo Estacion de servicio el Portillo - Unidad Educativa La pintada					
Prog 0+000 a Prog. 5+600					
Tramo de evaluacion				Indice de condicion del pavimento	Condicion del pavimento
unidad de muestreo	Progresiva			Valor del PCI	Calificacion
	Inicail	-	Final		
1	0+000	-	1+000	64,83	BUENO
2	1+000	-	2+000	63,00	BUENO
3	2+000	-	3+000	74,67	MUY BUENO
4	3+000	-	4+000	74,67	MUY BUENO
5	4+000	-	5+000	70,00	MUY BUENO
6	5+000	-	6+000	72,33	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2. Resultados del estado de las unidades de muestreo del tramo.

Cuadro 4. 10. Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) del tramo.

Tramo Estacion de servicio el Portillo - Unidad Educativa La pintada					
Prog 0+000 a Prog. 5+600					
Tramo de evaluacion				Indice de condicion del pavimento	Condicion del pavimento
Progresiva			Valor del PCI	Calificacion	
Inicail	-	Final			
0+000	-	5+600	69,19	BUENO	

Fuente: Elaboración propia.

El valor final del PCI promedio de la estación de servicio el puertillo la unidad educativa la Pintada es de 69,19 una clasificación estado pavimento bueno.

4.2.2.3. Análisis de resultados del PCI Índice de condición del pavimento.

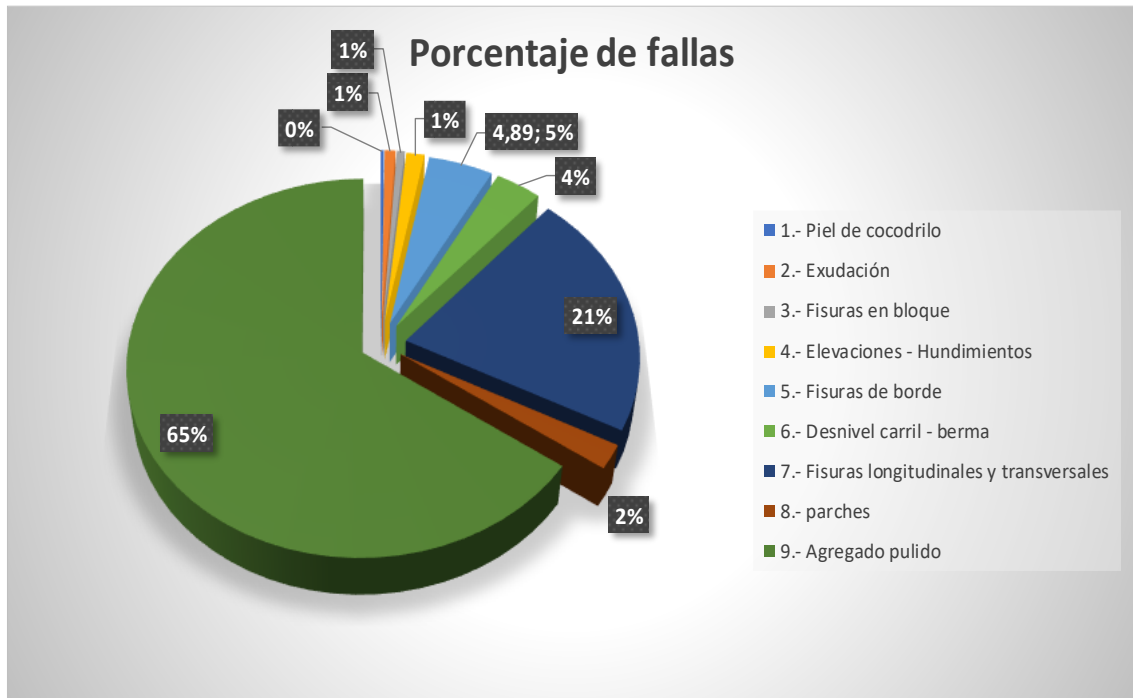
En los 5.60 km de trayecto de la vía en el que se realizó la evaluación superficial por el método PCI Índice de condición del pavimento se presentaron los siguientes tipos de fallas representativos para la metodología.

Figura 4. 4. Porcentaje de falla Prog 0+000 a Prog 5+600 PCI.

"Estacion de Servicio EL Portillo - Unidad Educativa La Pintada"	
Prog 0+000 a Prog. 5+600	
Tipo de falla	% Falla
1.- Piel de cocodrilo	0,23
2.- Exudación	0,81
3.- Fisuras en bloque	0,59
4.- Elevaciones - Hundimientos	1,38
5.- Fisuras de borde	4,89
6.- Desnivel carril - berma	3,50
7.- Fisuras longitudinales y transversales	21,27
8.- parches	2,09
9.- Agregado pulido	65,24

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 5. Panel de fallas Prog. 0+000 a Prog. 5+600



Fuente: Elaboración propia

Las fallas predominantes en los 5.6 km de la vía es el agregado pulido, con un porcentaje de 65,24 % entre las fallas existentes en el tramo evaluado. La fisura longitudinal y transversal ocupa un segundo lugar con un 21.27 % sobre el área total y fisuras de borde ocupa el tercer lugar con un porcentaje del 4,89 % sobre el área total, son las fallas que se presentan en mayor porcentaje lo cual se analiza seguidamente.

- **Agregado pulido:** Este tipo de falla se encuentra en gran parte de la vía, este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito que se produce a lo largo de la vida del proyecto, 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 exudación del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo, el pulimento de agregado debe contarse cuando un examen revela que la agregado que se extiende sobre la superficie es de tratable 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 a caído desde una evaluación previa, en este este tipo de falla no se realiza ningún tipo de mantenimiento a menos que sea muy severo.

- **Fisura longitudinal transversal:** Las grietas longitudinales y transversales ocupan el segundo lugar en el análisis de resultados con un porcentaje de fallas de 21.27 % Sobre el área total de estudio, éstas se presentan debido a una junta de carril de 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 de la capa base, este tipo de grieta no está asociado a la carga del tráfico en este caso al presentarse un gran porcentaje de este tipo de falla hay varios factores por los cuales se presentan este tipo de fallas, por otro lado el tráfico en los últimos años se ha incrementado considerablemente ocasionando fisuras pequeñas que al presentarse precipitaciones pluviales ase qué las mismas aumenten de tamaño es decir su longitud en la mayor parte se pueden apreciar claramente que la mayoría de las fallas de este tipo que se registraron son debido al deterioro de la carpeta asfáltica.
- **Fisura de borde:** las grietas de bordes son paralelas y generalmente están a una distancia entre 0.30-0.60 metros del borde exterior del pavimento este daño se acelera por las cargas de tránsito y pueden originarse por debilitamiento de vida debido a condiciones climáticas de la base o de la subrasante próxima al borde del pavimento el área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma cómo se agrieta.

4.3. Evaluación superficial por el método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

4.3.1. Procedimiento de análisis y evaluación del método PSI

Es el índice de serviciabilidad presente refleja el estado del pavimento desde el punto vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se toma una escala que nos propone el

Road Test de AASHO la más utilizada en muchos países cuya escala varia de 0 a 5 donde el valor de 0 Representa una carretera con un nivel de Estado muy malo y el valor de 5 indica un estado muy bueno.

El procedimiento para la determinación del PSI se encuentra en el capítulo anterior y los coeficientes de cálculo de terminan basándose en la **tabla 2.5**.

Los cálculos del índice de serviciabilidad presente se presentan en el **ANEXO N 3** por lo que a continuación se presenta el resultado final del índice de serviciabilidad presente PSI.

El valor final del PSI promedio de la estación de servicio El Portillo la unidad educativa La Pintada. Para cada carril es de:

Carril de ida. PSI=3.43 Estado del pavimento bueno.

Carril de vuelta. PSI=3.40 Estado del pavimento bueno.

4.4. Análisis de la relación IRI, PCI, PSI

Después de haber realizado los cálculos y llegar a los resultados de los índices que indicarán el estado del pavimento los mismos están relacionados de acuerdo a sus valores, en el cuadro siguiente mostraremos los rangos de comparación de los 3 índices planteados al inicio de este trabajo. Este cuadro es planteado por la norma ASHTO Para poder comparar los resultados obtenidos.

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

Cuadro 4. 11. Rango de relación IRI, PCI, PSI.

IRI m/km	PCI	Clasificación	PSI	Descripción
0 - 1,6	90 - 100	Muy bueno, excelente	3,0 - 5,0	El pavimento es nuevo.
1,6 - 2,8	60 - 90	Bueno	2,5 - 3	Pavimento de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe manchas ni corrugaciones
2,8 - 5,2	40 - 60	Regular	1,0 - 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.
2,8 - 5,2	20 - 40	Muy pobre	1,0 - 2,5	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m, 2% de baches), depreciaciones de 20-40 mm cada 5 m. 10-20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/hora.
5,2 - 8,8	0 - 20	Fallado	0,4 - 1,0	El pavimento está severamente afectado con depreciaciones profundas y desiguales. (>20 mm/3m). Baches cada 50 m 15% de baches).

Fuente: Norma ASHTHO

Con la ayuda de este cuadro que relacionan los tres índices se observa que los métodos.

4.5. Procedimiento de Evaluación Estructural

4.5.1. Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento

Una vez recogidos los datos de campo en el tramo Estación de Servicio del Portillo - unidad educativa la Pintada, cómo las lecturas que se toman en el dial corresponden al componentes de deformación en un proceso de descarga el valor o lectura final será menor que es inicial que tal cómo se puede observar en el formato de cálculo de deflexiones, se procede a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son las deflexión máxima y el radio de curvatura a continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de los mismos.

Cálculo de la deflexión máxima.

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

$$D_o = 2.00 * (7 - 16)$$

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

Factor de corrección por temperatura.

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

$$D = \frac{16}{0.001 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}} (32 - 20 \text{ }^\circ\text{C}) * 7 \text{ cm} + 1}$$

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

Radio de curvatura.

La curvatura que experimentan la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 50 cm, A partir de deflexión máxima.

Para las de formación de radio de curvatura se ha establecido la siguiente expresión empírica.

$$R_c = \frac{6250}{K(D_o - D_f)}$$

$$R_c = \frac{6250}{2.00 * (15 - 8)}$$

$$R_c = 484 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos de la evaluación superficial tramo estación El portillo – unidad educativa La Pintada. El resto de tablas y gráfico se encuentra en el ANEXO 4.

Deflexión admisible

La deflexión admisible es un parámetro que está definido en función al tráfico de diseño, que establecer un límite para la reflexión por encima del cuál no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura en el periodo considerado la expresión que define este parámetro es:

$$Da = \left(\frac{1.15}{N18} \right)^{1/4}$$

$$Da = \left(\frac{1.15}{9130821} \right)^{1/4}$$

$$Da = 188,39 * 10^{-2} \text{ mm}$$

N18=Número total de ejes equivalentes de 8.2 tn.

El pavimento del tramo en estudio tendrá capacidad estructural suficiente, pero resistir las solicitaciones del tráfico de diseño para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

4.5.1. Resultados

4.5.1.1. Resultados parciales de la evaluación estructural

Cuadro 4. 12. Resultados parciales de la evaluación estructural Ida.

**EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
ENSAYOS CON VIGA BENKELMAN**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: "ESTACION DE SERVICIO EL PORTILLO – UNIDAD EDUCATIVA LA PINTADA "
SECTOR: EXTRANCA EL PORTILLO - COMUNIDAD EL PORTILLO (TRAMO EN ESTUDIO)
CARRIL: DERECHO (IDA)
FECHA: 09 de abril de 2019

(Nº)	(Km)	LECTURAS DEL DIAL						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMPERATURAS		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	00+000	0	7	2	4	8	16	16,00	9,00	446	15	8	484	35,0	32,0	7,0
2	00+500	0	8	16	16	4	20	20,00	12,00	391	18	11	432	38,0	35,0	7,0
3	01+000	0	6	8	4	16	28	28,00	22,00	521	25	20	576	38,0	35,0	7,0
4	01+500	0	10	4	2	16	28	28,00	18,00	313	25	16	350	38,0	37,0	7,0
5	02+000	0	6	12	2	8	22	22,00	16,00	521	20	14	583	40,0	37,0	7,0
6	02+500	0	6	4	6	20	20	20,00	14,00	521	18	13	583	40,0	37,0	7,0
7	03+000	0	12	20	10	16	18	18,00	6,00	260	16	5	291	40,0	37,0	7,0
8	03+500	0	8	14	12	8	18	18,00	10,00	391	16	9	437	40,0	37,0	7,0
9	04+000	0	14	16	12	12	22	22,00	8,00	223	20	7	250	40,0	37,0	7,0
10	04+500	0	10	12	18	28	18,4	18,40	8,40	313	16	8	350	40,0	37,0	7,0
11	05+000	0	7	4	6	10	14	14,00	7,00	446	13	6	500	40,0	37,0	7,0
12	05+500	0	6	4	2	0	18	18,00	12,00	521	16	11	583	40,0	37,0	7,0

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 18,1
Ds = Desviación standard = 3,8

NÚMERO DE MUESTRAS	12	12	12
SUMATORIA	218	128	5417
PROMEDIO:	18,1	10,7	451,4
DEFLEXIÓN MINIMA	13	5	250
DEFLEXIÓN MAXIMA	25	20	583
DESVIACION ESTÁNDAR	3,8	4,4	119,9
VARIANZA	14,8	19,1	14375,1

En el primer gráfico se observa a las deflexiones en los puntos evaluados y el segundo grafico muestra las correcciones de dichas curvas a una escala mayor. En la cual podemos que la estructura de pavimento se encuentra en buenas condiciones.

4.5.2. Analisis de resultado de la evaluación estructural

La de flexión máxima promedio obtenido de la evaluación estructural del tramo estación de servicio El Portillo-unidad educativa La Pintada es de $D_o=24.46*10^{-2}$ mm y la deformación admisible del tramo obtenida en función de N18 (ejes equivalentes de diseño) que establece un límite para la reflexión máxima en de $D_a= 188,39*10^{-2}$ mm. dónde los valores por encima del cuál no se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado, se puede observar que las deformaciones obtenidas mediante el ensayo de la viga benkelman D_o (deformación máxima) de todo el tramo son menores de la D_a (deformación admisible), Por lo tanto el pavimento sujeto a la evaluación tienes la capacidad de estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño el valor del $R_c=484$ m Por lo tanto se puede indicar que el pavimento evaluado se clasifica cómo satisfactorio debido a que cumple con el criterio adoptado valores del radio de curvatura calculados mayores a 100 m y el radio de curvatura promedio está comprendido entre 300 y 500 m lo que indica un adecuado comportamiento estructural del pavimento evaluado.

Los valores obtenidos de deflexión máxima son menores a la depleción admisible los valores de radio de curvatura obtenidos muestran que no existe falla estructural en el tramo estación de servicio El Portillo - unidad educativa La Pintada, los valores obtenidos en las deflexiones son menores a la admisible.

El paquete estructural del tramo se encuentra en buenas condiciones, ya que las deflexiones máximas son menores a la deflexión admisible, para corroborar lo mencionado se realizó la extracción de tres calicatas del paquete estructural con la finalidad de tener más información que sustente este análisis.

Cuadro 4. 13. Clasificación de suelos para la infraestructura de pavimentos

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de clasificación	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 -7	Pobre a regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, GW, SM, SP, GP	A1-b, A2-5, A3, A2-6
>50	Exelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J. (1980)

El cuadro anterior muestra la clasificación de los diferentes suelos que podrían llegar a componer una capa base sub base y rasante. Según el cuadro anterior podemos observar que los ensayos realizados son satisfactorios y cumple con los valores exigidos y la clasificación se encuentra dentro de los rangos en el cuadro anterior, a continuación, se muestran los resultados de la primera calicata, los resultados obtenidos se encuentran en el Anexo V.

Cuadro 4. 14. Resultados obtenidos en la 1ra calicata

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de clasificación	
			UNIFICADO	AASHTO
9	Regular	Sub-rasante	CL	A7
64	Exelente	Sub-base	GM	A2-4
75	Exelente	Base	GW	A1-a

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó una caracterización de los materiales de la base y sub base según la norma mexicana, se verifica la calidad de los materiales que se utilizan en la construcción de la capa base y sub base. Esta caracterización depende de la carga en ejes equivalentes que tenga a lo largo de su vida útil.

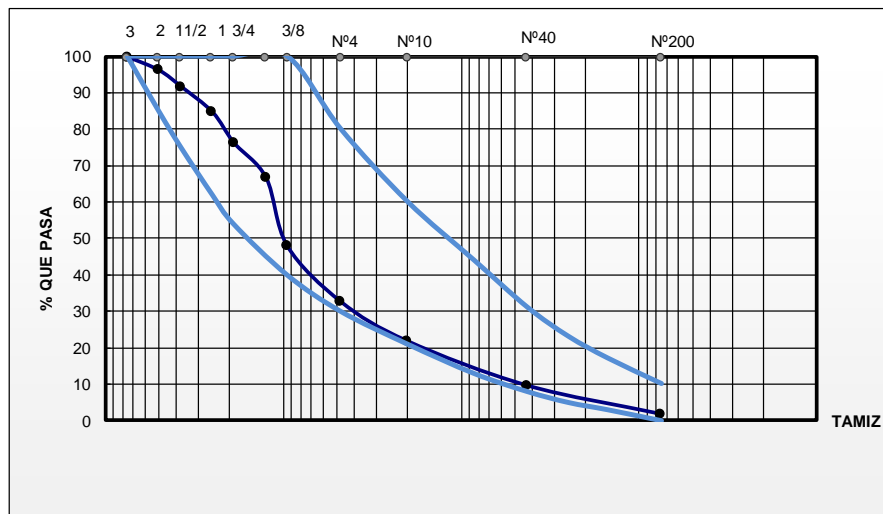
Cuadro 4. 15. Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos asfálticos

malla		menos de 10 millones de ejes equivalentes		mas de 10 millones de ejes equivalentes	
abertura mm	Designacion	LI	LS	LI	LS
3"	75	100	100	100	100
2"	50	85	100	85	100
1 1/2"	37,50	75	100	75	100
1"	25,00	62	100	62	90
3/4"	19,00	54	100	54	83
3/8"	9,50	40	100	40	65
Nº4	4,75	30	80	30	50
Nº10	2,00	21	60	21	36
Nº20	0,85	13	44	13	25
Nº40	0,425	8	31	8	17
Nº60	0,25	5	23	5	12
Nº100	0,15	3	17	3	9
Nº200	0,075	0	10	0	5

Fuente: CMT. Características de los materiales

Según el cuadro anterior se graficará con menos de 10 mil ejes equivalentes ya que el tramo no excede los 10 mil ejes equivalentes, se realizó una verificación de la muestra para ver si el material utilizado se encuentra en los rangos permitidos según dicha norma. Todos los cálculos realizados se encuentran en el anexo V.

Figura 4. 6 Curva de caracterización de la muestra capa base.



Fuente: Elaboración propia.

Donde se observa que el material de la capa base cumple con los requisitos de calidad y es apto para el paquete estructural.

Cálculo del PDC: Con los datos obtenidos en campo se calculó el número el número de golpes PDC para cada una de las capas como base, sub base y rasante natural como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4. 16. Cálculo de la penetración por golpe capa base prog. 0+000

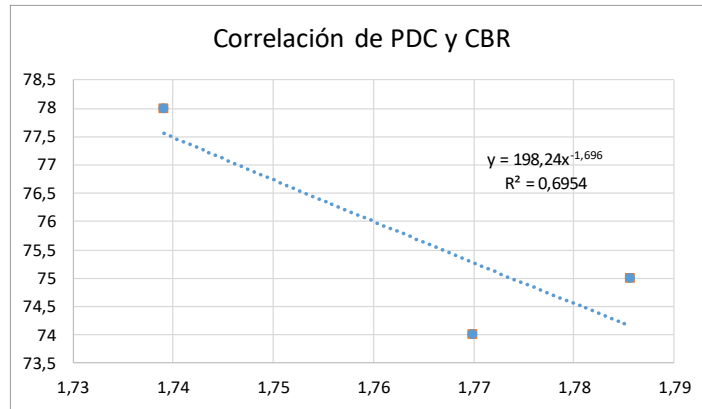
Capa: Base					
N	Número de golpes acumulado	Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Penetración por golpe (mm)
1	5	5	5,00	5,00	1,00
2	10	5	12,00	7,00	1,40
3	15	5	25,00	13,00	2,60
4	20	5	33,00	8,00	1,60
5	25	5	42,00	9,00	1,80
6	30	5	50,00	8,00	1,60
7	35	5	56,00	6,00	1,20
8	40	5	65,00	9,00	1,80
9	45	5	70,00	5,00	1,00
10	50	5	78,00	8,00	1,60
11	55	5	86,00	8,00	1,60
12	60	5	97,00	11,00	2,20
13	65	5	106,00	9,00	1,80
14	70	5	113,00	7,00	1,40
15	75	5	119,00	6,00	1,20
16	80	5	126,00	7,00	1,40
17	85	5	135,00	9,00	1,80
18	90	5	144,00	9,00	1,80
19	95	5	156,00	12,00	2,40
20	100	5	168,00	12,00	2,40
21	105	5	186,00	18,00	3,60

Fuente: Elaboración propia.

Con el número de golpes obtenidos y su CBR respectivo para cada capa de compuesta en el paquete estructural se realizó una correlación.

Correlación de PDC y CBR lab.: se realizó una evaluación minuciosa con las muestras extraídas y con los ensayos de laboratorio permitieron identificar y comparar el suelo evaluado.

Figura 4. 7. Correlación de PDC y CBR lab de la capa sub base.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez graficado los datos como se muestra en la figura anterior se determinó una línea de tendencia que representa la correlación P.D.C. con CBR y una ecuación potencial de la forma:

$$Y = 198,24x^{1,696} \text{ con } R^2 = 0,6954$$

En donde:

X = Numero de Golpes P.D.C.

Y = C.B.R. (%)

Una vez determinada la ecuación de la correlación P.D.C. con C.B.R. para los datos del tramo, se comparó con la ecuación del “US Army Corps of Engineers” que se muestra a continuación:

$$\text{C.B.R.} = 292 / \text{D.C.P.}^{1,12}$$

En donde:

D.C.P. = Índice P.D.C.

C.B.R. = Valor de Soporte del Suelo (%)

Para comparar las gráficas se utiliza el mismo rango de “Numero de Golpes P.D.C.” utilizado para hallar la ecuación de la correlación P.D.C. con C.B.R. y se hallan los valores de C.B.R. con las dos ecuaciones. Para lo anterior se tiene la siguiente tabla:

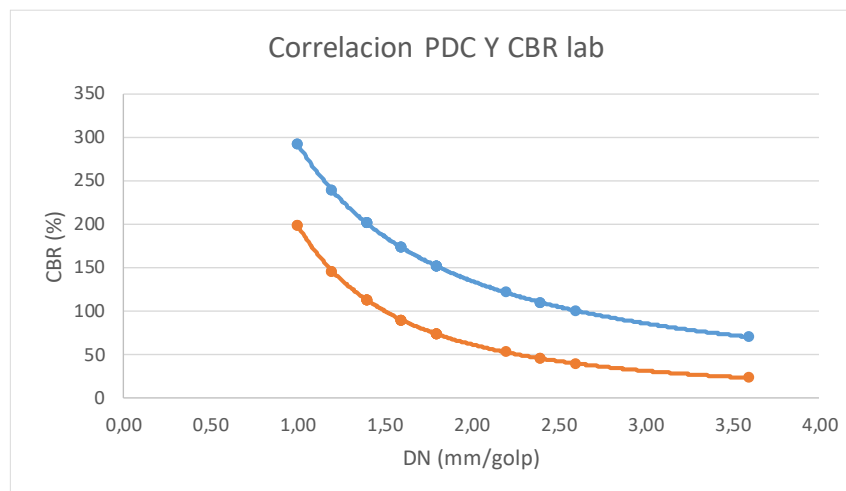
Cuadro 4. 17. Comparación entre CBR tesis y CBR US Army Corps of Engineers

Indice PDC (mm/golpe)	CBR (%)	CBR tesis
1,00	292,00	198,24
1,40	200,32	112,04
2,60	100,14	39,21
1,60	172,49	89,33
1,80	151,17	73,16
1,60	172,49	89,33
1,20	238,07	145,51
1,80	151,17	73,16
1,00	292,00	198,24
1,60	172,49	89,33
1,60	172,49	89,33
2,20	120,75	52,05
1,80	151,17	73,16
1,40	200,32	112,04
1,20	238,07	145,51
1,40	200,32	112,04
1,80	151,17	73,16
1,80	151,17	73,16
2,40	109,53	44,91
2,40	109,53	44,91
3,60	69,55	22,58

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos del cuadro 4. 17. Se obtuvo la siguiente figura.

Figura 4. 8. Comparación entre la correlación de la tesis con US Army Corps of Engineers



Fuente; Elaboración propia.

La comparación entre los resultados de CBR en lab con US Army Corps of Engineers son cercano a los obtenidos.

4.5.3. Mantenimiento del tramo

En general el pavimento flexible analizado se encuentra en buenas condiciones. La mayoría de sus fallas está en nivel leve.

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

- **Mantenimiento periódico:** Las actividades de mantenimiento periódico tienen la finalidad de reparar y/o mitigar los daños identificados en el pavimento, son importantes para mantener la vía en buenas condiciones. Para el tramo se propone realizar actividades de sellado de grietas bacheos superficiales y tratamientos superficiales localizados en las áreas de intervención con lechada asfáltica en la figura 4.9 se propone realizar tratamiento superficial localizado, la figura 4.10 se recomienda realizar una renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril, la figuras 4.11 se

muestran áreas de pavimento en las cuales deben realizarse actividades de sellado de grietas.

Figura 4. 9. Área para la ejecución de tratamiento superficial.



Figura 4. 10. Área para la ejecución de nivelación.



Figura 4. 11. Áreas para realizar sellado de grietas de borde, longitudinales y transversales.



Fuente: Elaboración propia

Realizar la limpieza de drenajes contempla la extracción y remoción de todo tipo de material que se encuentren depositados en la sección de las obras de drenaje de la vía.

4.5.4. Prueba de la hipótesis

La evaluación y mantenimiento del tramo estación de servicio el Portillo – Unidad Educativa La Pintada determina la siguiente hipótesis.

En la evaluación superficial de pavimento se utilizó tres metodos de los cuales con el fin de realizar la prueba de hipótesis se unificacar en uno solo en este caso se unificará a la prueba más confiable que es el método del PCI

Si se realiza una evaluación de las condiciones actuales de la carretera indicando el lugar de la falla tanto superficial como estructural y ubicando según la topografía, entonces, se puede establecer las técnicas y el tipo de mantenimiento para mejorar el tramo estación de servició El Portillo – unidad educativa La Pintada.

Número de muestra 21

Media de la muestra 69.19

Desviación de la muestra 10.35

Terminación de la prueba de hipótesis.

Datos

$N=21$

$\bar{x}=69.19$

$\sigma =10.35$

Tabla 4. 3. Identificación de

H_0	H_1
=	\neq
\leq	$>$
\geq	$<$

la hipótesis.

Hipótesis alternativa

H_1	H_0
$69.19 > 55$	$69.19 \leq 55$

Determinación del nivel de significancia

NC=95% $\alpha=0.05$

Cálculo de $t = 21 - 1 = 20$ se ingresa en la tabla de t student y se obtiene $t=1.725$

$$Zc = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{69.19 - 55}{\frac{10.35}{\sqrt{21}}}$$
$$t = 6.50$$

En la cual se puede confirmar que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones y recomendaciones

- Se logró cumplir con los objetivos específicos, se clasifico las fallas, los deterioros que se presentan el pavimento del tramo en estudio.

Progresiva	Tramo	Longitud	IRI (m/km)		Valor del PCI	Valor del PSI		clasificacion
			Carril de ida	Carril de vuelta		Carril de ida	Carril de vuelta	
00+000 - 00+100	0	100	4,70	3,16	64,67	2,43	2,53	BUENO
00+450 - 00+550	1	100	3,27	3,40	64,83	3,80	3,43	BUENO
01+450 - 01+550	2	100	3,02	1,88	63,00	3,6	3,37	BUENO
02+450 - 02+550	3	100	2,65	2,44	74,67	3,8	3,77	MUY BUENO
03+450 - 03+550	4	100	3,71	3,20	74,67	3,9	3,73	MUY BUENO
04+450 - 04+550	5	100	4,77	4,53	70,00	3,7	3,87	MUY BUENO
05+450 - 05+550	6	100	5,17	5,11	72,33	3,1	3,07	MUY BUENO
Pomedio			3,90	3,39	69,19	3,43	3,4	BUENO

- Se evaluó subjetivamente la severidad de los daños determinándose el tramo en estudio que se encuentra en buenas condiciones como de mostro en el cuadro siguiente.

Progresiva	Tramo	clasificación	ACCION	
			N	
00+000 - 00+100	0	BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas
00+450 - 00+550	1	BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas
01+450 - 01+550	2	BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas
02+450 - 02+550	3	MUY BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas
03+450 - 03+550	4	MUY BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas
04+450 - 04+550	5	MUY BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas y nivelacion localizada
05+450 - 05+550	6	MUY BUENO	Mantenimiento preventivo y rutinario y/o periodico	Sellado de grietas

- Se analizó las posibles causas de los deterioros en el tramo como la repetición de carga, cambio brusco de la temperatura, juntas mal construidas, utilización de ligantes viejos, erosión de la berma.
- Se pudo observar que el tramo carece de sistema de drenaje pluvial, lo cual hace que se produzcan daños superficiales con elevada severidad.

- Se determinó el estado promedio del tramo en estudio que arroja un IRI=3.90 m/km de ida y de vuelta un IRI=3.39 m/km
- En conclusión, con el resultado obtenido con la metodología del índice internacional de rugosidad IRI se puede decir que este, con un valor de: IRI=3.90 se encuentra en un buen estado con algunos vestigios de deterioro.
- Se puede decir en bien que los índices de condiciones y serviciabilidad. (PCI y PSI), ambos fundamentados en las fallas y daño superficiales, al haber dado como resultado los valores de: PCI= 69.19, PSI= 3.41 El Pavimento se clasifica en un estado bueno de acuerdo al cuadro 4.11. Donde nos indica la realidad del estado actual del tramo.
- Finalmente se concluye el trabajo afirmando que los métodos aplicados tienen grandes similitudes entre ellos demostrando del estado en el cual se encuentra la carretera.
- La totalidad de las de flexiones máxima en los sectores de evaluación se encuentran incomprendidas en un rango de $24.46 \cdot 10^{-2}$ $30.01 \cdot 10^{-2}$ mm por debajo de la deflación admisible para el tramo Estación de Servicio el portillo - Unidad Educativa en la Pintada con un valor de $188.39 \cdot 10^{-2}$ mm lo que indica un comportamiento de la estructura adecuado de operación de la misma. Asimismo, los radios de curvatura obtenidos en el tramo oscilan a los radios de curvatura óptimos comprendidas en un rango de 300-400 metros.
- En la prueba de hipótesis se puede afirmar que las evaluaciones realizadas por el método PCI en el tramo en estudio Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa La Pintada, los resultados del análisis en la mayor parte nos dará resultados mayores a 55 el cual según la clasificación PCI (tabla 2.1) es un estado bueno con un nivel de significancia de $\alpha = 5 \%$.
- Se determinó el estado bueno a muy bueno
- Los métodos de rehabilitación relacionados son: bacheo, sellado de grietas.
- Las fallas más comunes que se encuentran en el pavimento del tramo en estudio Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa La Pintada son agregado pulido, fisuras longitudinales y transversales, fisuras de borde y desnivel carril –

berma, situación que indica que en algunos sectores la carpeta asfáltica se encuentra en buenas condiciones.

- Estudiar inspeccionando detenidamente y superficialmente un pavimento flexible, consideramos importante puesto que se puede conocer con una buena precisión las condiciones actuales y el funcionamiento en la que se encuentra un pavimento determinado.
- Es importante hacer notar que para obtener resultados lo más precisos posibles y confiables del índice de serviciabilidad presente PSI se debe analizar minuciosamente las fallas medidas de cada tramo, tener experiencia con un conocimiento amplio de esta metodología.
- Es muy importante saber identificar cada una de las fallas que presenta un pavimento y clasificarlas cuidadosamente de acuerdo al tipo de falla, para poder dar una solución efectiva, así también poder aumentar la vida útil del pavimento.
- Es importante hacer notar la relevancia que tienen los sistemas de evaluación y mantenimiento rutinario de las vías, ya que estos ayudan a prevenir y mantener nuestras vías en buen estado y lograr que cumplan los ciclos de vida útil ofreciendo al usuario comodidad confort y seguridad en su desplazamiento por las mismas, evitando elevados gastos de rehabilitación pudiéndose llegar a un extremo que sería de la reconstrucción.
- Para evaluación superficial en general existen varios métodos y metodología, entre las más destacadas está en la metodología del índice internacional de rugosidad IRI, que miden las deformaciones longitudinales del pavimento, la otra metodología sería el índice de condición del pavimento (PCI) que se encarga de indicar el estado y las condiciones actuales del pavimento en función al tipo cantidad de seguridad de las fallas y finalmente se tiene el índice de serviciabilidad presente (PSI), que está orientado mundialmente al medir el confort que brinda el camino al usuario, en función de las fallas y daños del pavimento, todas estas metodologías fueron planteadas para el desarrollo de este proyecto y que dieron resultados relacionados con la realidad del estado en qué se encuentra el tramo en estudio y comparable entre ellos.

- Para obtención de datos y mediciones precisa es muy importante contar con un equipo adecuado en buenas condiciones, el material necesario y el personal requerido, el cuál debe ser al menos orientado acerca de la metodología que se utilizaran en las mediciones y obtención de datos.
- Vale la pena mencionar que finalizando el trabajo se puede recomendar que el procedimiento de evaluación más efectivo y el cuál presenta ventajas sobre los otros métodos es el método PCI, muestra detalladamente toda la superficie de la vía en estudio y fácilmente con la característica de falla que nos ofrece se puede determinar alternativas de solución más precisas.
- El mantenimiento y reparación del tramo depende de la administradora boliviana de caminos (ABC), luego de realizar la evaluación se ha podido identificar el tipo de solución para el tramo con la finalidad de mantener el trabajo en condiciones óptimas para el tránsito se recomienda las siguientes alternativas de refacción y mantenimiento menor.

El mantenimiento y reparación menor preventivo consiste en la que las acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas incipientes en su estado inicial de evolución el mantenimiento correctivo se refiere a acciones ejecutadas para corregir y reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, presentan peligro para los usuarios la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectiva, difícilmente pueden mejorar las condiciones integral de la vía, solo se logra mantener en una condición deficiente a un altísimo costo. Es todos dos aspectos tanto el nivel de calidad como el costo del mantenimiento menor son indicadores fallas y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor.

El mantenimiento menor incluye acciones que se aplica a pequeñas áreas del pavimento para conseguir fallas localizadas, mejorar su condición y controlar dicho periodo. El mantenimiento rutinario debe ejecutarse continuamente y al iniciarse tan pronto como el pavimento muestre los primeros deterioros o síntomas de fallas. Dentro del mantenimiento rutinario se incluyen aquellas acciones menores tanto programadas como de emergencia.

Mantenimiento menor

- ✓ Sellado de grietas
 - ✓ Bacheo
 - ✓ De emergencia
 - ✓ Bacheo superficial
 - ✓ De carpeta
 - ✓ Profundo
 - ✓ Sello asfáltico
 - ✓ Nivelación localizada
 - ✓ Fresado y/o texturización localizada
- El objetivo primordial de la evaluación actual del pavimento del tramo en estudio Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa La Pintada es determinar los trabajos adecuados de mantenimiento y rehabilitación con la finalidad de incrementar la vida útil del proyecto, proporcionando seguridad y confort a los usuarios.
- Las fallas más comunes que se encuentran en el pavimento del tramo en estudio Estación de Servicio el Portillo – Unidad Educativa La Pintada son agregado pulido, fisuras longitudinales y transversales, fisuras de borde y desnivel carril – berma, situación que indica que en algunos sectores la carpeta asfáltica se encuentra en buenas condiciones.
- Se recomienda realizar el reparado tomando muy en cuenta el diseño de las obras de drenaje ya que se puede observar que en el tramo actual carece de dicha obra, debido a que la falta de estas obras ocasiona graves problemas en el buen funcionamiento de una carpeta trayendo como consecuencia la aparición de fallas acarreado con ello molestias a los usuarios.
- El personal que realice una evaluación 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 podría producirse contratiempo y podrían incidir en los resultados al introducir datos erróneos que estropeen la evaluación.
- La entidad gubernamental competente debe llevar un historial de todas las intervenciones realizadas en una vía, con la finalidad de conocer parámetros reales

del comportamiento de la misma y así poder programar de manera óptima las actividades de mantenimiento que conlleven a ahorros en su intervención.

- Luego de ser intervenida la vía en mención, es aconsejable realizar monitoreos y evaluaciones periódicas, con la finalidad de dar un mantenimiento eficaz y oportuno, y así evitar daños prematuros y reparaciones que pueden generar costos altos.