

CAPÍTULO I (DISEÑO TEÓRICO)

1.1. Introducción

Las vías tienen una función esencial en la actualidad y es el de facilitar el transporte tanto de personas como bienes con total comodidad y seguridad haciendo necesaria la provisión de una red que satisfaga estas necesidades.

En la actualidad es importante ofrecer una red vial de gran calidad, debido a la parte económica y el ahorro en el tiempo y costos de operación de los vehículos, llevando consigo un beneficio considerable al usuario final.

Debido a la falta de recursos económicos del país para las carreteras y los altos costos de construcción de estas, es necesario pensar en el mantenimiento y mejoramiento de las vías existentes, se hace necesario crear una cultura en cuanto a mantenimiento y rehabilitación de la red vial para brindar un buen funcionamiento y comodidad a los usuarios de las vías, quienes finalmente son los beneficiarios de este servicio.

El mantenimiento vial, es una actividad de gran utilidad para el buen funcionamiento y aumento de la vida útil de las vías; a esta actividad no se le brinda la importancia que amerita. La vía que se evaluara es una carretera de gran interés regional, ya que comunica a la ciudad de Tarija con el Lago San Jacinto y Campo Ferial San Jacinto localizado a proximidades del lago, haciendo de este lugar, una zona turística.

Una de las etapas iniciales y fundamentales para establecer las condiciones actuales del pavimento es la evaluación de fallas que se efectuara sobre la vía el Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto, para el presente trabajo se realizara una identificación y valoración de las fallas en el tramo de vía el Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto apoyándose en la metodología PCI (índice de condición del pavimento) y la metodología IFI (Índice de fricción internacional) para una evaluación superficial, posteriormente para la evaluación estructural se basara en el ensayo de la Viga Benkelman.

1.2. Justificación

Las características más notorias de las rutas que conforman 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 livianos, etc. Un ejemplo de ellos es el tramo “El Gallinazo – campo ferial San Jacinto”, es una de las principales vías de comunicación por el que transitan turistas, como también habitantes de la zona, debido a esto es que conocer el estado en el que se encuentra en tramo tanto superficial como estructural y en función a ello obtener las metodologías de rehabilitación adecuadas para la vía, de tal manera que cumpla con las expectativas de resistencia, seguridad y serviciabilidad durante toda su vida útil requerida y que resulte lo más económico posible, es por ello que el realizar una adecuada evaluación tanto superficial como estructural es fundamental para plantear el mejor método de solución además de contar con información que ayude a prevenir algún deterioro en particular.

La alternativa presentada de evaluación superficial y estructural en este estudio es “no destructiva” y se basa en los resultados obtenidos de calificación de PCI (índice de condición del pavimento) y en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie del pavimento evaluado, las deflexiones en la superficie del pavimento reflejan una respuesta global del pavimento bajo una carga dada, su medición es no destructiva, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema de la estructura de la vía.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

El tramo “El Gallinazo – campo ferial San Jacinto” de la ciudad de Tarija en la totalidad de su tramo, se puede observar fallas que afectan de manera directa, a la circulación vehicular de la población que usa esta ruta, tanto habitantes de la zona como también turistas que visitan el lago San Jacinto, además de la gran cantidad de población de la ciudad de Tarija se concentra en el campo ferial San Jacinto en los días de la Feria Expo Sur, y hoy en día la Feria Fexpo Tarija debido a ello es un trayecto muy transitado por ser la principal ruta de acceso, a las zonas mencionadas, a ello se

debe tomar en cuenta que cada vez se incrementa el número de vehículos que transitan diariamente.

Como es conocido, todos los pavimentos se van deteriorando con el tiempo conllevando a la aparición de fallas que no constituye solo un problema de aspecto visual o estético, al tener una carretera con estas dificultades reducirán su calidad e incrementaran los costos de los usuarios, al mismo tiempo de que estas fallas pueden producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos, aparte de provocar demoras en la transitabilidad habitual de los usuarios.

Estos deterioros pueden haberse producido por diferentes motivos provocando efectos desfavorables sobre el camino, por lo que su control y conservación oportuna resulta valiosa para asegurar la vida útil deseada del proyecto, de modo que mediante este se pueda implementar y planificar políticas de mantenimiento adecuadas. No basta con intervenir cuando las vías se vuelven intransitables, sino que se tiene que se tiene que evaluar el comportamiento de la vía, para saber el momento adecuado en darle mantenimiento, y no tener que llegar a una reparación que necesariamente acarrea un costo mayor.

1.3.2. Problema

Los problemas e inquietudes ya mencionadas nos conducen a hacernos una pregunta **¿Será que una evaluación superficial y estructural determine las posibles causas de deterioro del tramo El Gallinazo- Campo Ferial San Jacinto?**

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General:

Evaluar superficial y estructuralmente por el método no destructivo, el estado actual del pavimento flexible del tramo **“Gallinazo - campo ferial San Jacinto”** de la ciudad de Tarija, para determinar sus posibles causas y establecer un adecuado plan de reparación y mantenimiento que ayude a mejorar las condiciones de flujo vehicular.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- 1) Clasificar los deterioros y las fallas superficiales que se presentan en el pavimento flexible del tramo “Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto” de acuerdo a la gravedad de los mismos.
- 2) Evaluar la severidad de los daños encontrados en el pavimento flexible del tramo “Gallinazo - campo ferial San Jacinto”.
- 3) Analizar las posibles causas que generan un tipo de deterioro en particular.
- 4) Determinar el estado del tramo “Gallinazo - campo ferial San Jacinto” empleando la Viga Benkelman.
- 5) Recomendar posibles métodos de rehabilitación en función a la evaluación que se realice en base al análisis obtener la solución adecuada para la rehabilitación.

1.5. Hipótesis

Si se realiza una evaluación superficial y estructural del estado actual del tramo “Gallinazo - campo ferial San Jacinto” de la ciudad de Tarija, permitirá optar por seleccionar un adecuado plan de reparación y mantenimiento del pavimento flexible de dicha carretera.

1.6. Definición de variables independientes y dependientes.

1.6.1. Variables Independientes:

- El estado actual del pavimento flexible
- Causas de fallas

1.6.2. Variable Dependiente:

- El plan de mantenimiento

1.6.3. Conceptualización y operacionalización de las variables:

1.6.3.1. Variable independiente

Independiente	Operacionalización			
variable nominal	conceptualización	dimensión	indicador	valor acción técnicas a usar
Estado actual del pavimento	Permite conocer el estado y situación actual de la estructura del paquete estructural y la carpeta asfáltica de esa manera establecer medidas correctivas.	Carpeta asfáltica	agregados	Granulometría
				Tamaño máximo
		Paquete estructural	asfalto	Cantidad C.A.
			capa base capa Sub base Sub rasante y Sub rasante mejorada	Clasificación
				Límites de atterberg
				Densidades
				C.B.R.
			Viga de Benkelman	
		Topografía	Lev. Topográfico	levantamiento de datos

Fuente: Elaboración propia

1.6.3.2. Variable independiente

Independiente	Operacionalización			
variable nominal	conceptualización	dimensión	indicador	valor acción técnicas a usar
Causas de fallas	Las fallas son el producto de la desatención de la carreteras lo cual origina el deterioro de la estructura del pavimento	Fallas	Tipo de fallas	superficial
				estructural
			Nivel de severidad	índice de deterioro
		Obras de arte	Evaluación	Métodos y técnicas de medición
			Cunetas	Condiciones de funcionamiento en las que se encuentran
		Alcantarillas		
		Métodos de evaluación	PCI	Identificación del tipo de fallas
			Péndulo Británico	Calificación de la fricción y textura de la sup. asfáltica
			Circulo de arena	

Fuente: Elaboración propia

1.6.3.3.Variable dependiente

dependiente	operacionalizacion			
variable nominal	conceptualización	dimensión	indicador	valor acción técnicas a usar
El plan de mantenimiento optimo	El mantenimiento incluye acciones que se aplican a áreas del pavimento para corregir fallas, mejorar su condición y/o controlar el deterioro. Debiendo realizarse un mantenimiento rutinario que debe ejecutarse continuamente, e iniciarse tan pronto como el pavimento muestre los primeros síntomas de falla.	mantenimiento menor	preventivo	limpieza de alcantarillas
				limpieza de cunetas
				control de vegetación
				señalización
		mantenimiento mayor	correctivo	sellado de grietas
				bacheo
				Sobre capa o recapado superficial

Fuente: Elaboración propia

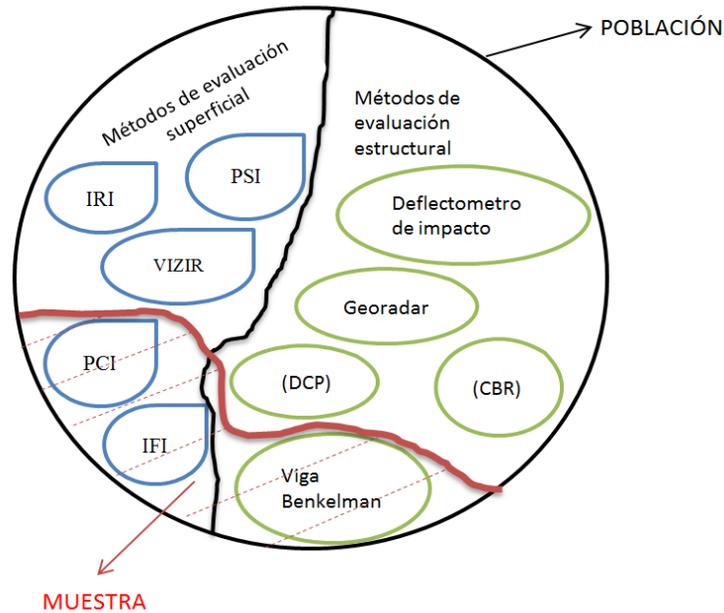
1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Unidad de estudio

- Estado actual del pavimento flexible

1.7.2. Población

➤ Métodos de evaluación superficial y estructural



Fuente: Elaboración propia

1.7.3. Muestra

Los métodos seleccionados para la evaluación superficial son el método PCI (índice de condición del pavimento), el método IFI (Índice de fricción internacional) y para la evaluación estructural la Viga de Benkelman.

1.7.4. Muestreo

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

1.7.5. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación aplicada o tecnológica, a un nivel de investigación descriptiva se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos, se diagnostica las falla tanto de la estructura

y la superficie de la vía dando las posibles motivos de falla, caracterizándolos de manera cuantitativa y cualitativa.

La información que se obtenga al aplicar este tipo de investigación incrementa los conocimientos sobre el tramo evaluado y será de mucha utilidad para tener ciertos parámetros en las cuales se deben incidir por parte de un profesional responsable y de las autoridades competentes al momento de la rehabilitación.

1.8. Alcance de la investigación.

El alcance de la presente tesis se refleja en el trabajo de evaluación del estado actual del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”, para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: Evaluación superficial y evaluación estructural.

Primeramente se realizará una detallada inspección visual y un recorrido general en ambos sentidos, de este modo se lograra obtener un conocimiento general del tramo de tal manera se distinguirán los tramos más deteriorados, los mismos serán secciones donde se analizara cada una de las fallas 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 que establezca la condición del pavimento PCI (Pavement Condition Index) que es el índice de condición del pavimento, Para este método deberá realizarse la inspección visual en toda la superficie del pavimento, recolectando medidas que consideren y califiquen las fallas existentes, además se realizará el método IFI (International Friction Index) que es el índice de fricción internacional, se efectuara con mediciones de campo de dos parámetros que son la textura y fricción para los cuales se realizaran los ensayos del círculo de arena y péndulo británico, se adoptará el criterio de realizar los ensayos en los puntos más críticos de deterioro del pavimento y si es necesario en puntos donde se encuentre valores de PCI aceptables.

La evaluación estructural del tramo se realizará mediante el ensayo de la Viga Benkelman en su totalidad del tramo de evaluación, este ensayo mide la restitución de las deflexiones del pavimento, a partir de estas mediciones se obtienen valores de

deflexiones máximas y radios de curvatura mediante los cuales se evaluara la condición estructural.

1.9. Metodología de Trabajo.

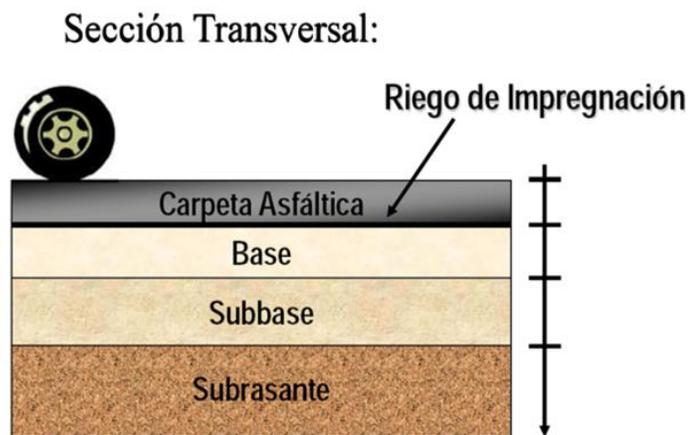


CAPÍTULO II (ESTADO DE CONOCIMIENTO)

2.1. Definición de pavimento.

Un pavimento es una estructura de vía formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo, esfuerzos y deformaciones tolerables por este. Desde el punto de vista estructural, un pavimento transmite de forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación, es decir, sin rotura de los materiales o deformaciones exageradas para la estructura ¹.

Figura 2.1. Paquete estructural



Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible.

Fuente: *pirhua.udep.edu.pe*.

2.2. Características de un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir las siguientes exigencias:

- ✓ Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Resistir ante los agentes del intemperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la

seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios en función a las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de diseño.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Debe presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.
- ✓ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- ✓ Debe ser económico
- ✓ Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito. ²

2.3. Clasificación de pavimentos

No siempre un pavimento se compone de las capas señaladas en la figura 2.1, La ausencia o reemplazo de una o varias de esas capas depende de diversos factores, como por ejemplo del soporte de la subrasante, de la clase de material a usarse, de la intensidad de tránsito, entre otros.

Por esta razón, pueden identificarse 2 grandes tipos de pavimentos, que se diferencian principalmente por el paquete estructural que presentan.

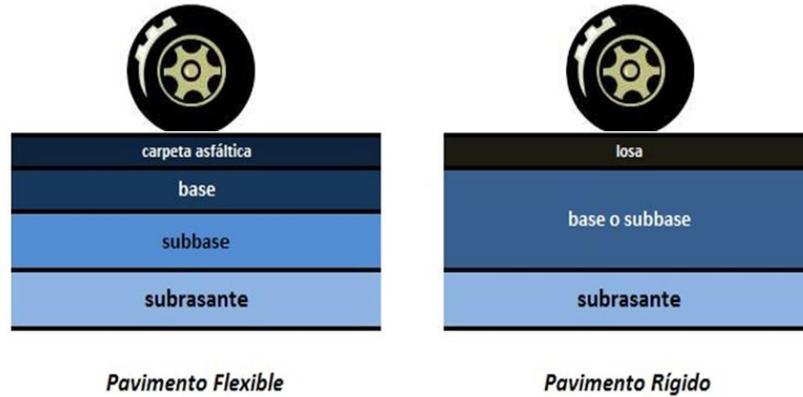
¹. *Pavimentos. División de Investigación y Asesorías Universidad de Medellín., 1997*

². *Notasdepavimentos.blogspot.com/2011/04/caracteristicas-que-debe-reunir-un.html*

Clasificación de pavimento:

- a) Pavimento flexible.
- b) Pavimento rígido.

Figura 2.2. Pavimento rígido y flexible.



Esquema de paquete estructural para pavimento flexible y rígido

Fuente: pirhua.udel.edu.pe

2.4. Pavimento flexible

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentra la base granular y la capa subbase, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte las capas antes mencionadas.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.³

³. American Society for Testing and Materials. (2004) *Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos.*

2.5. Componentes de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase, y subrazante.

2.5.1. Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos (cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm).

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuado funcionamiento.

2.5.1.1. Tipos de carpetas asfálticas

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar así:

- **Tratamientos superficiales** 
 - Doble o de dos riegos
 - Triple o de tres riegos
 - Simple o de un riego

- **Macadam asfáltico**

-  ➤ **Mezcla en el lugar**

Elaborado con moto niveladora

↳ **Mezcla en planta**
Elaborado con mezcladora ambulante

→ Dosificada por volumen

Antes de explicar en qué consiste cada una de las carpetas asfálticas ya indicadas, es necesario hacer notar que para construir cualquiera de ellas, se debe contar de antemano con una Base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

El riego de impregnación consiste en lo siguiente. Se procede a barrer la base para retirar las partículas sueltas y el exceso de polvo en la superficie, inmediatamente realizado este procedimiento se procede al riego de producto asfáltico de fraguado medio, esperando unos dos días para que penetre y seque. El número de fraguado medio a emplear depende de la textura de la base.

Tratamiento superficial simple

El riego superficial simple consiste en un riego de material asfáltico cubierto de agregado pétreo de baja gradación, el mismo que es nivelado y compactado. Esta carpeta es aconsejable para bajas densidades de tráfico, inferior a 200 vehículos por día.

Tratamiento superficial doble

El tratamiento superficial doble es similar al anterior, cambian las cantidades de material y en algún caso los materiales, además de agregarse otro riego superficial y de agregados que son nivelados y compactados. Este tipo de carpeta es aconsejable para un tráfico menor a los 600 vehículos por día.

Tratamiento superficial triple

El tratamiento superficial triple consiste en un tratamiento superficial simple con cantidades de asfalto y agregado pétreo en mayor cantidad que uno normal, sobre el cual se aplica un tratamiento superficial doble, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Este tipo de tratamiento puede resistir un tráfico de 1000 vehículos por día.

➤ **Macadam asfáltico**

El macadam asfáltico o también llamado de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en capas sucesivas de agregados limpios y angulosos, variando su tamaño de mayor a menor de manera ascendente, cada una de las capas se extiende, nivela y compacta mediante el uso de rodillos lisos vibrocompactadores, luego de hacer esto en cada capa, se aplica un producto asfáltico.

➤ **Mezcla en el lugar**

La mezcla asfáltica en el lugar se obtiene mediante la acción sucesiva de revolver los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoniveladoras o empleando mezcladoras ambulantes este proceso se efectúa en el lugar de aplicación de la mezcla, el material obtenido de la mezcla es debidamente distribuido, nivelado y compactado.

➤ **Mezcla en planta**

Como su nombre lo indica se trata de mezclas elaboradas en una planta, la misma que se encarga de elaborar una mezcla asfáltica en proporciones deseadas y que cumpla con todas las especificaciones técnicas. La mezcla deberá ser transportada a los puntos de aplicación. ⁴

⁴<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10577/Capitulo7.pdf>

2.5.2. Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural.

2.5.3. Subbase.

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento.

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

2.5.4.- Subrasante.

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

⁵<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10577/Capitulo7.pdf>

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

2.6. Comportamiento estructural de un pavimento flexible frente a cargas de tránsito

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma como se reparten las cargas. Ver figura 2.3.

En un pavimento flexible, la distribución de la carga está determinada por las características del sistema de capas que lo conforman. Las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores.

Figura 2.3 Comportamiento del pavimento frente a cargas de tránsito



Distribución de la carga en pavimento flexible

Fuente: pirhua.udep.edu.pe

2.7. Características de un pavimento flexible

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- a) Resistencia estructural
- b) Deformabilidad
- c) Durabilidad
- d) Costo
- e) Requerimientos de conservación
- f) Comodidad

2.7.1. Resistencia estructural

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los esfuerzos producidos por la aceleración, el frenado de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura

2.7.2. Deformabilidad

Una de las propiedades de un pavimento flexible, como su nombre lo indica es la capacidad de deformarse y restituirse a su forma original ante la repetición de las cargas actuantes

2.7.3. Durabilidad

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se desee dar a un camino, depende de la importancia del mismo. Es más económico

realizar mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones que un pavimento nuevo

2.7.4. Costo

Al ser este un tipo de pavimento que para la conformación de su estructura utiliza material pétreo de acceso local y que para su carpeta de rodadura pueden utilizarse mezclas fabricadas in situ, además que los espesores de la capa superficial son reducidos en relación a los de un pavimento rígido, resulta económico siempre y cuando se realicen las obras de conservación necesarias para garantizar y extender la vida útil del pavimento flexible.

2.7.5. Requerimientos de conservación

Los factores climáticos tienen gran influencia en la vida de un pavimento, otro factor es la intensidad del tránsito, debe preverse el crecimiento futuro. Debe tomarse en cuenta el comportamiento futuro de las capas estructurales, la degradación de las mismas por la repetición de las cargas, deformaciones y derrumbes. La falta de conservación sistemática reduce la vida de un pavimento flexible. ⁶

2.7.6. Comodidad

Tendrá una superficie final suave uniforme y regular, resistente al deslizamiento, resistente al rozamiento y que no produzca sonidos molestos en el interior del vehículo del usuario ni en el exterior al entorno. ⁶

⁶. (Rico y Del Castillo 1984.)

2.8. Fallas en pavimentos flexibles.

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

Existen dos tipos de fallas: estructurales y de superficie.

2.8.1. Fallas estructurales

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

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

Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado. ⁽⁶⁾

2.8.2. Fallas de superficie

Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario. ^{7.}

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

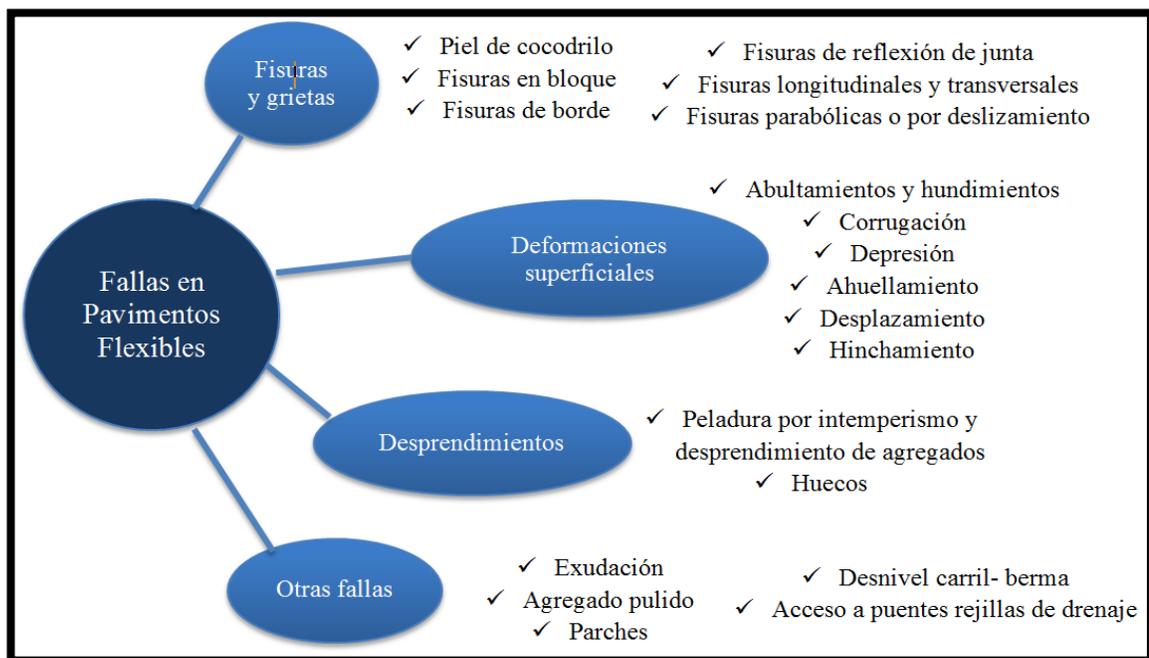
Las fallas de superficie se pueden jerarquizar de acuerdo con la prioridad de la reparación y con su efecto sobre la comodidad y seguridad para el usuario y sobre el estado del pavimento, lo cual permite planificar los recursos y las soluciones. Para

pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: 1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desintegración de pavimentos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas. Ver figura 2.4

Fallas comunes en los pavimentos según la clasificación de el “Cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos” en el método PCI (Pavement Condition Index)

En el manual del “Método de evaluación de pavimentos PCI” existen 19 tipos de falla comúnmente encontrados en pavimentos, que son los siguientes:

Figura 2.4. Fallas en pavimentos flexibles



Resumen de fallas en pavimentos flexibles.

Fuente: *pirhua.udel.edu.pe*

⁷. "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de castilla" Piura, Octubre 2009

Las fallas en los pavimentos informan sobre su condición y las causas posibles de la misma. El inventario de los danos de un pavimento representa una información fundamental en el proceso de la evaluación del estado del pavimento.

2.9. Evaluación de pavimentos

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada. ⁸

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre. ⁸

2.9.1. Importancia de la evaluación de pavimentos.

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

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

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

2.9.2. La evaluación de pavimentos tiene dos componentes:

- a. Evaluación Superficial
- b. Evaluación estructural

2.9.2.1. Evaluación superficial

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

2.9.2.2. Evaluación estructural

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

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

2.10. Evaluación superficial de un pavimento flexible

2.10.1. Evaluación de la condición de los pavimentos PCI (Índice de condición del pavimento)

El método PCI (*Pavement Condition Index*) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (*American Public Work Association*) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (procedimiento

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

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

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

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

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

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

⁸. “Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de castilla” Piura, Octubre 2009

- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio. ⁹

2.10.2. Rangos de calificación del PCI

El PCI es un índice que varía desde cero (0), para un pavimento en mal estado (Fallado), hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado (Excelente), la tabla 1 presenta los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento, como se aprecia en el cuadro 2.1

Cuadro 2.1.- Rangos 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) Para Pavimentos Asfálticos y de Concretos en Carreteras, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, Abril de 2006.

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

⁹. "Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de castilla" Piura, Octubre 2009

2.10.3. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican cuidadosamente los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. En el Cuadro No. 2.2, se ilustra el formato adoptado para el presente trabajo, y una segunda etapa que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, **La clase**, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, elevaciones, entre otros, cada uno de ellos se describe según cada tipo de falla ¹⁰

La severidad, representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. [8]. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, ósea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:

Bajo (B): se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo , por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de la velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Las elevaciones y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero no provoca incomodidad. ¹⁰

Medio (M): las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; las elevaciones o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad. ¹⁰

Alto (H): las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; las elevaciones o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo. ¹⁰

Cuadro 2.2. Hoja de registro en vías de pavimento flexible

METODO PCI (ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO)					
ZONA DE ESTUDIO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"					
PROG. INICIO:		Esquema:			
PROG. FINAL:					
AREA (m ²):					
FECHA:					
UNIDAD MUESTRA:					
INSPECCIONADO POR:					
Fallas	Unidad de Medida	Fallas	Unidad de Medida		
1.- Piel de cocodrilo	m ²	10.- Fisuras longitudinales y transversales	m		
2.- Exudación	m ²	11.- Parches	m ²		
3.- Fisuras en bloque	m ²	12.- Agregado pulido	m ²		
4.- Elevaciones - Hundimientos	m	13.- Huecos	N#		
5.- Corrugaciones	m ²	14.- Acceso a puentes- rejillas de drenaje	m ²		
6.- Depresiones	m ²	15.- Ahuellamiento	m ²		
7.- Fisura de borde	m	16.- Deformación por empuje	m ²		
8.- Fisura de reflexión de juntas	m	17.- Deslizamiento	m ²		
9.- Desnivel carril - berma	m	18.- Hinchamiento	m ²		
		19.- Disgregación - desintegración	m ²		
TIPO DE FALLA		SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

Fuente. Elaboracion propia

2.10.4. División del pavimento en unidades de muestra

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

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 ± 93 m². En el cuadro No 2.3 se presentan algunas relaciones longitud _ ancho de calzada pavimentada.

¹⁰ Apéndice C (Manual de Daños de la Evaluación de la Condición de Pavimentos).

Cuadro 2.3.- 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 (máx.)	31,50

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

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

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

2.10.5. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación

En la “Evaluación de una red vial” pueden tenerse un número muy grande de unidades de muestreo, cuya inspección demandara tiempo y recursos considerables, por lo tanto es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades, sin embargo, de no ser posible, el número de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación del número mínimo de unidades a evaluar. La cual produce un estimado del PCI del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

¹⁰ Apéndice C (Manual de Daños de la Evaluación de la Condición de Pavimentos).

2.10.5.1. Evaluación de un proyecto

EL muestreo se lleva a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación.

1. Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
2. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
3. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
4. Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
5. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.
 - 5.1. Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.
 - 5.2. El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95% de confiabilidad), es calculado empleando la Ec. 1 y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

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

Dónde:

n: Número mínimo de unidades a evaluar.

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

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e= +/-5%).

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

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

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

2.10.6. Selección de las unidades de muestreo para la inspección

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

El intervalo de sección (i) se expresa mediante la siguiente ecuación:

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

Dónde:

N: número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior.

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

Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), etc. Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para la inspección seleccionada es 3 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 4, las siguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 7, 11, 15, etc.

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

2.10.7. Selección de las unidades de muestreo adicionales

Una desventaja del método aleatorio es que en algunos casos excluye de la evaluación algunas unidades de muestreo en muy mal estado, también puede darse que queden excluidas unidades de muestreo que presenten fallas que se encuentren solo una vez, por ejemplo cruce de rieles. Para evitar este tipo de situación la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como a una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el PCI es ligeramente modificado para evitar la extrapolación las condiciones inusuales en toda la sección.

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

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

2.10.8. Materiales e instrumentos para determinar el PCI

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

La evaluación de condición incluye los siguientes aspectos:

2.10.8.1. Equipo

- Huincha de 50 m. para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

2.10.8.2. Procedimiento

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de acuerdo con el manual de daños y se registra la información en el formato correspondiente ver anexos. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de la medida de los daños. Teniendo como apoyo una hoja de datos de campo acompañado de un plano donde se esquematiza la red de vía que será evaluada, donde se registrara el daño, su extensión y su nivel de severidad.

2.10.8.3. Seguridad

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

2.11. Metodología para el calculo del PCI en carreteras con capa de rodadura asfáltica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Dónde:

M_i : número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i .

HDV_i : Es el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

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

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

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo.

3. a. Determinar el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.

3. b. Determinar el “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

3. c. Determinar el CDV con q y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al pavimento.

3. d. Reducir a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repetir las etapas 3.a a 3.c. hasta que q sea igual a 1.

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

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

$$PCI = 100 - \text{máx. CDV}$$

Dónde:

PCI = índice de condición presente

Max. CDV =máximo valor corregido deducido.

Cuadro 2.4. Formato Para la Obtención del Máximo Valor Deducido Corregido.

N #	Valores Deducidos						Total	q	CDV
1									
2									
3									
4									
n									

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

2.12. Metodología de Cálculo del PCI de una sección de pavimento

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

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

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

Dónde:

PCIs: PCI de la sección del pavimento.

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

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: número de unidades de muestreo en la sección.

A: número de unidades de muestreo adicionales.

2.13. Criterios de inspección

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

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

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

En vista de las variaciones de severidad que presentan los distintos tipos de falla, se han descrito tres niveles de severidad **H:** (High: alto); **M:** (Medium: medio); **L:** (Low: bajo)

2.14.1. Piel de cocodrilo.

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

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

a. Niveles de severidad:

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

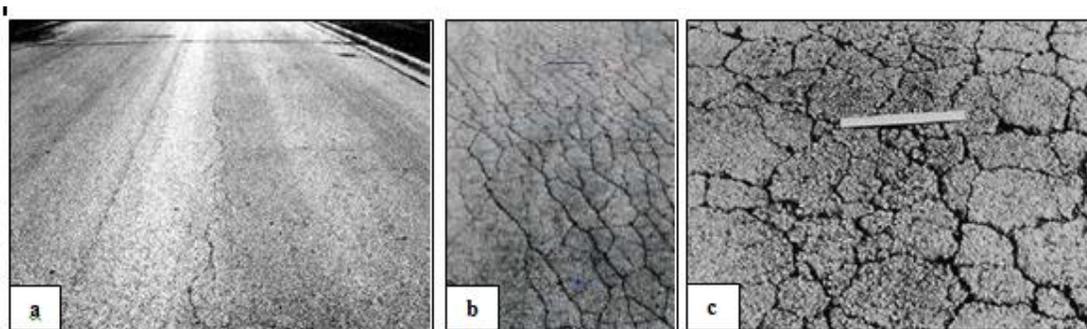
M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. Ver figura. b.

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. c.

b. Unidad de medida:

La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla éstas 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 2.5 Piel de cocodrilo



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

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

c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada, sello superficial, sobrecarpeta

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

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

2.14.2. Exudación.

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

a. Niveles de severidad

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 .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 .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 .c.

b. Unidad de medida

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

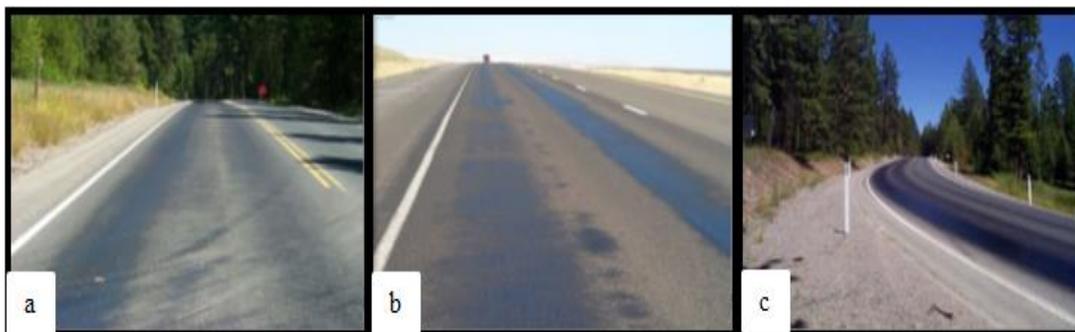
c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: se aplica arena / agregados y cilindrado.

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

Figura 2.6 Exudación



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

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

2.14.3. Fisuras en bloque.

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

a. Niveles de severidad

L – Los bloques están definidos por finas de baja severidad. Ver figura. a.

H - Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad. Ver figura. c.

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

H - Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad. Ver figura. c.

b. 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.

c. Opciones de reparación

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

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

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

Figura 2.7 Fisuras en bloque



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

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

2.14.4. Elevaciones y hundimientos.

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

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

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

a. Niveles de severidad

L – Las elevaciones 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. Las elevaciones o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad. Ver figura .a.

M – Las elevaciones 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. Las elevaciones o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad. Ver figura .b.

H – Las elevaciones 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. Las elevaciones 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 .c.

b. Medida

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

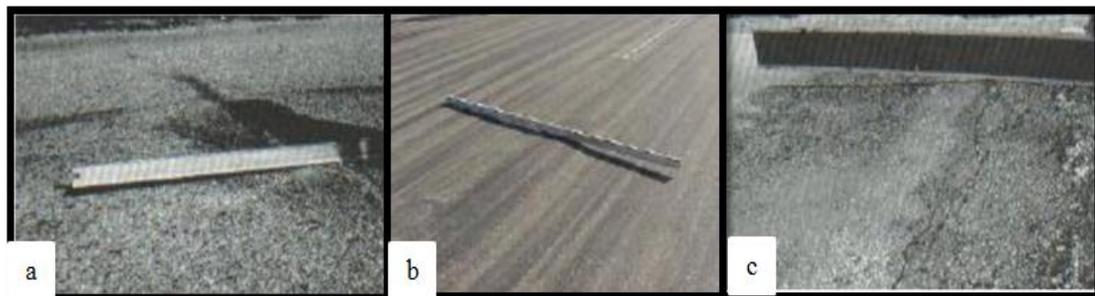
c. Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

Figura 2.8 Elevaciones y hundimientos



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

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

2.14.5. Corrugación.

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base

inestables. Si las elevaciones ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

a. Niveles de severidad

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

b. Medida

La corrugación es medida en metros cuadrados de área afectada.

c. Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción

H: Reconstrucción

Figura 2.9 Corrugación



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

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

2.14.6. Depresión.

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar hidropneumático. Los hundimientos a diferencia de las depresiones, son las caídas bruscas del nivel.

a. Niveles de severidad

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

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

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

b. Medición:

Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

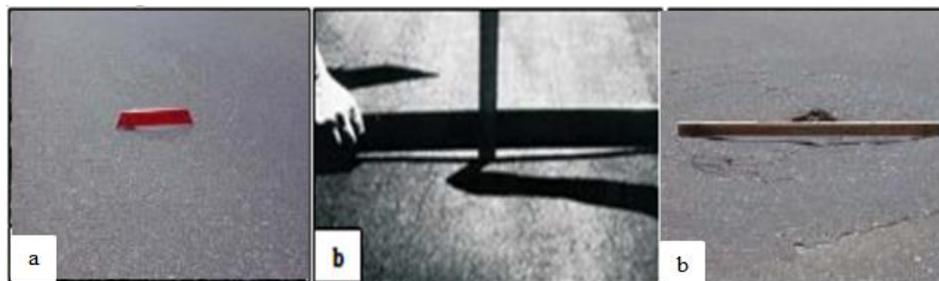
c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 2.10 Depresión



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

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

2.14.7. Fisura de borde.

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

a. Niveles de severidad

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

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

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

b. Medición:

La fisura de borde se mide en metros lineales.

c. Opciones de reparación

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

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

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 2.11 Fisura de borde.



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

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

2.14.8. Fisura de reflexión de junta.

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

a. Niveles de Severidad

L	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).
M	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeado de un ligero agrietamiento aleatorio.
H	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

b. Medida

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

c. Opciones de Reparación

L: sellado para ancho mayor a 3mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

Figura 2.12 Fisura de reflexión de junta.



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

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

2.14.9. Desnivel carril – berma.

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

a. Niveles de severidad

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

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

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

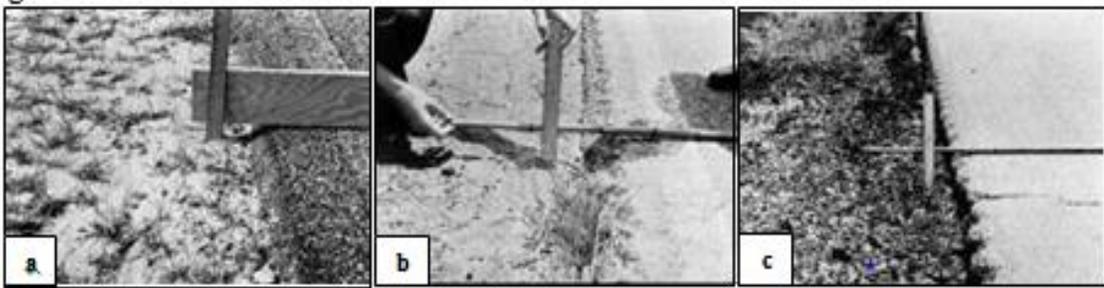
b. Medida

El desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

c. Opciones de reparación:

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

Figura 2.13 Desnivel carril - berma



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

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

2.14.10. Fisuras longitudinales y transversales.

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

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto. Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga.

a. Niveles de Severidad

L	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o 2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del
M	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeado de un ligero

H	<p>Existe una de las siguientes condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad. 2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm. 3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas
---	---

b. Medida

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

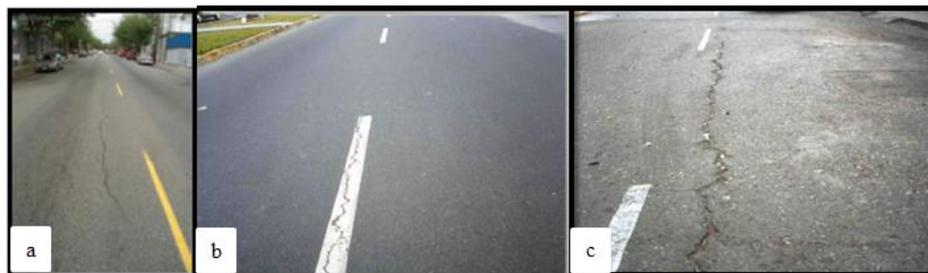
c. Opciones de reparación

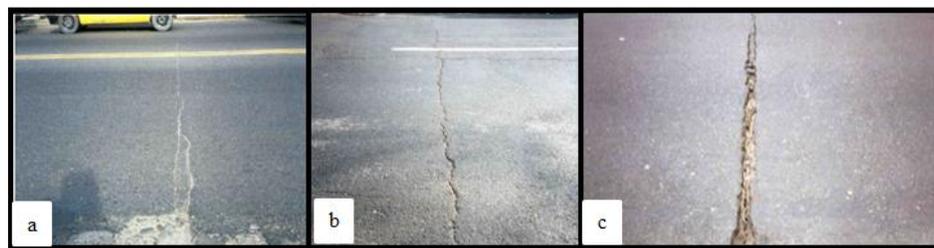
L: No se hace nada, sellado de grietas con ancho mayor a 3mm.

M: Sellado de grietas.

H: sellado de grietas, Parcheo parcial.

Figura 2.14 fisuras longitudinales y transversales





Figuras longitudinales y transversales de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

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

2.14.11. Parches y parches de cortes utilitarios.

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

a. Niveles de Severidad

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

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

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

b. Medida

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

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

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.

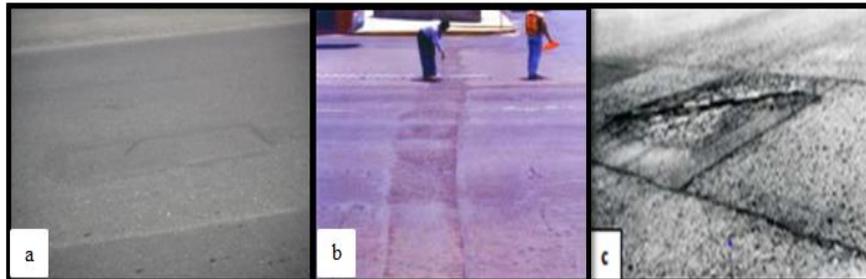
c. Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del bache.

H: Sustitución del bache.

Figura 2.15 Parches y parches de cortes utilitarios



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

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

2.14.12. Agregados pulidos.

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de

un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa

a. Niveles de severidad

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

b. Medida

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

c. Opciones de reparación

L, M, H: No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

Figura 2.16 Agregado pulido



Agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos.

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

2.14.13. Huecos.

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

a. Niveles de severidad

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

Cuadro 2.5.- Niveles de seguridad para los huecos

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)
------------------------------	---------------------

	102 a 203 mm.	203 a 457 mm.	457 a 762 mm.
12,7 a 25,4 mm.	L	L	M
> 25,4 a 50,8 mm.	L	M	H
> 50,8 mm.	M	M	H

Fuente: Procedimiento estandar para la inspeccion del indice de condicion del pavimento en caminos y estacionamientos
ASTM D6433-03

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

b. Medida

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

c. Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo

M: Parcheo parcial o profundo

H: Parcheo profundo.

Figura 2.17 Huecos



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

2.14.14. Cruce de rieles, por accesos a puentes y rejillas de drenaje.

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

a. Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad. (Ver Figura a.)

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de mediana severidad. (Ver figura b.)

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de alta severidad. (Ver figura b.)

b. Medición:

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Si el cruce no afecta la calidad del tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por rieles debe registrarse como parte del cruce.

c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

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

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

Figura 2.18 Cruce de rieles por acceso a puentes y rejillas.



Cruce de rieles por acceso a puentes y rejillas de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

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

2.14.15. Ahuellamiento.

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

a. Niveles de severidad

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

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

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

b. Medición:

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del

mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad media.

c. Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

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

Figura 2.19 Ahuellamiento.



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

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

2.14.16. Desplazamiento o deformación por empuje.

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

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

a. Niveles de severidad

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

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

H – El desplazamiento genera genera una calidad de transito de alta severidad Ver figura c

b. 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.

c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 2.20 Desplazamiento o deformación por empuje



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

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

2.14.17. Fisura parabólica o por deslizamiento.

Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de

una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

a. Niveles de severidad

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

b. 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.

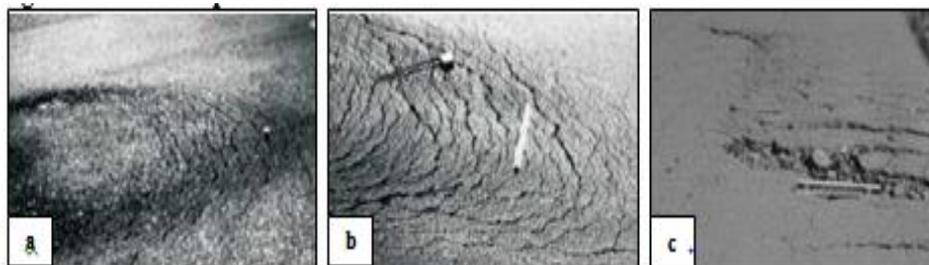
c. Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

Figura 2.21 Fisura parabólica o por deslizamiento



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

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

2.14.18. Hinchamiento.

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

a. Nivel de severidad

L – El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento. Si existe un hinchamiento se producirá un movimiento hacia arriba. (Ver figura a.)

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

H – El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad. (Ver figura c.)

b. Medida

El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

c. Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Figura 2.22 Hinchamiento



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

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

2.14.19. Disgregación y desintegración.

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

A. Niveles de severidad

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

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

H: Se han perdido de forma considerable los agregados y el ligante. La textura superficial es sumamente rugosa y bastante ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores a 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm. Áreas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el asfalto ha perdido su condición ligante y los agregados se encuentran sueltos.

b. Medición:

Se mide en área afectada en metros cuadrados.

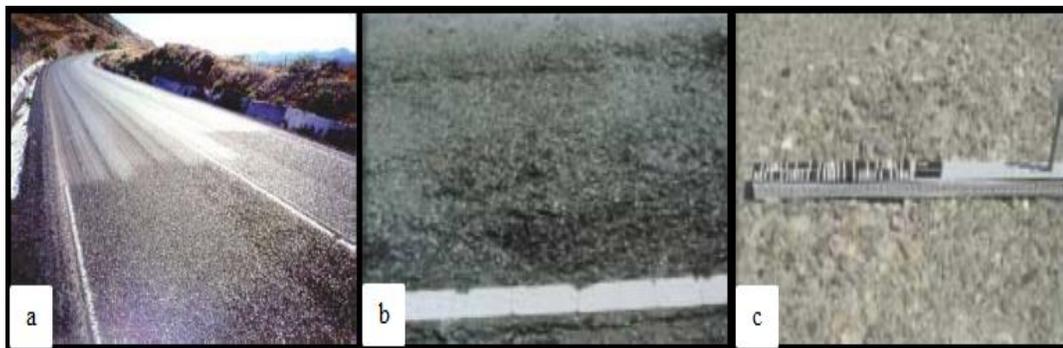
c. Opciones de reparación:

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

Figura 2.23 Disgregación y desintegración



Disgregación y desintegración Hinchamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).

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

2.15. Resistencia al deslizamiento

2.15.1. Definición

La resistencia al deslizamiento, denominada a veces fricción superficial, es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos, que resiste el deslizamiento de estos últimos cuando se aplican los frenos al vehículo ¹².

2.15.2. Características de la fricción

- ✓ La fricción suele ser suficiente cuando la superficie está seca.
- ✓ En un pavimento húmedo, el agua actúa como lubricante que reduce el contacto directo neumático – superficie
- ✓ Si la película de agua llega a ser muy espesa o la velocidad del vehículo muy alta, los neumáticos pueden perder contacto con la superficie, creándose el fenómeno conocido como **hidroplaneo**.

Figura 2.24 Fenómeno de hidroplaneo.



Fuente: Guía para la evaluación de pavimentos (Ing. Fernando Sánchez Sabogal)

Las características de la superficie son importantes tanto para el confort como para la seguridad de los usuarios. La superficie de un pavimento debe proveer una fricción adecuada y mantener un nivel adecuado de calidad de ruedo para asegurar la satisfacción de los conductores. En particular, la fricción que se desarrolla entre las llantas del vehículo y la superficie del pavimento es un factor crítico para controlar y reducir los accidentes de tránsito.

La fricción llanta-pavimento y la textura en la superficie del pavimento son características que influyen de manera considerable en la seguridad del conductor, sobre todo cuando el pavimento está mojado, por lo que deben ser parámetros que

¹². “Evaluación de pavimentos” Ing. Fernando Sánchez Sabogal

debe considerarse en el diseño de la superficie del pavimento y monitoreado a lo largo de la vida útil del pavimento.

2.15.3. Factores que afectan la fricción neumático – pavimento

La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes según la influencia de factores tales como:

- **La película de agua sobre la superficie del pavimento.** Actúa como lubricante y disminuye el contacto neumático – pavimento.
- **Los neumáticos.** Influye significativamente la presión de inflado, el material, el dibujo y la profundidad de la banda de rodadura. Esta última contribuye en la pronta eliminación de la película de agua.
- **La velocidad de circulación.** A mayor velocidad menor adherencia neumático-pavimento en presencia de agua.
- **Época del año.** Además de los cambios de humedad estacional (verano-invierno) que condicionan la presencia de agua en la calzada o superficie del pavimento, se tiene que la variación de la temperatura ambiente puede modificar las características del material del neumático. Adicionalmente, la característica termoplástica del ligante asfáltico (cemento asfáltico) condiciona su viscosidad o grado de fluidez en función la temperatura, haciéndolo menos fluido (aumentando su rigidez) a bajas temperaturas y haciéndolo más fluido a medida que aumenta la temperatura. Estas circunstancias afectan la adherencia neumático-pavimento.
- **La textura de la superficie del pavimento.** Es el único factor que puede ser controlado por el Ingeniero de pavimentos, ya que el mismo está

relacionado con el origen mineralógico de la fuente de agregados (préstamos) y con la composición porcentual de los diferentes agregados seleccionados para la producción de las mezclas a ser empleadas en la capa de rodamiento. La textura se sub-divide en dos elementos. La macrotextura y la microtextura.

13.

2.15.4. Caracterización de la superficie.

La textura tiene un rol muy importante en la evacuación del agua en el sistema neumático – pavimento y afecta directamente a la adherencia entre los neumáticos del vehículo y la capa de rodadura, estos aspectos de la textura son determinantes en la seguridad de circulación, puesto que son los que mantienen al vehículo en la vía al momento de frenado o en una curva en cualquier lugar aun cuando esta se encuentre bajo los efectos de la lluvia. Esta textura se ve disminuida en el tiempo por los efectos del tráfico que genera pulimento de los agregados y otros tipos de falla que disminuyen la adherencia entre el vehículo y el pavimento. La textura también influye directamente en los niveles de sonoridad que percibe tanto el usuario al interior de su vehículo, como también el ruido que produce en el exterior que afecta la calidad de vida de las áreas pobladas que son adyacentes a la carretera. En el aspecto económico afecta en el consumo de combustible, el desgaste de los vehículos y principalmente en el desgaste de los neumáticos.

Figura 2.25 Microtextura y macrotextura

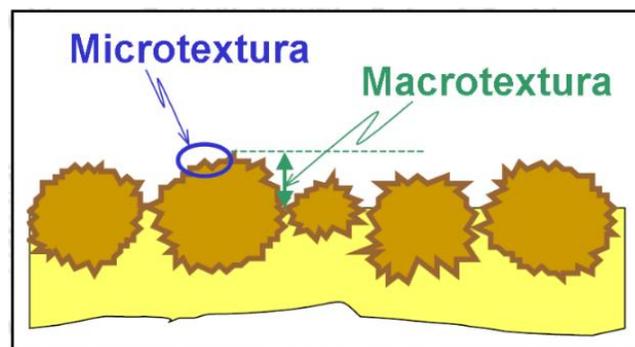


Ilustración de la Microtextura (textura del árido) y la Macrotextura (textura de la superficie del camino)

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

^{a13}. LANAMME (Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos Péndulo británico (TRRL))

Las características de resistencia al desizamiento de un pavimento, se puede definir considerado que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: microtextura y macrotextura.

2.15.4.1. Microtextura

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

La micro textura es la que se encarga de otorgar resistencia al deslizamiento en superficies mojadas en la interfaz neumático – pavimento, permite la penetración del agua entre el neumático y el pavimento de manera que se genere el agarre necesario

2.15.4.2. Macrotextura

La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0.5 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que las de los dibujos de los neumáticos. La macro textura proviene del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Las propiedades de la macro textura están determinadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie.

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

Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento que presente un pavimento, será en general el resultado de la combinación microtextura – macrotextura que presente la superficie.

2.16. IFI (Índice de fricción del Internacional)

2.16.1. Definición de IFI (Índice de fricción internacional)

El índice de fricción internacional, designado como **IFI**, es el segundo de una, probablemente, larga serie de indicadores internacionales que definen el estado de una carretera. El desarrollo de indicadores internacionales comenzó con el IRI Índice de Regularidad Internacional. El uso de este índice presenta la gran ventaja de permitir la comparación entre los pavimentos empleados en cualquier país del mundo y, por tanto, el intercambio de información entre los profesionales y las Administraciones. Así hablar de un pavimento de IFI (0,35, 120) significa que el pavimento, esté donde esté, presenta las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado.

Estudios realizados han demostrado que, para interpretar mejor los fenómenos que suceden en el contacto neumático-pavimento asociados a situaciones de riesgo durante las operaciones de frenado en pavimentos mojados.

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación de agua en los “huecos” del neumático y del pavimento se pueden razonablemente asegurar con pavimentos que tengan determinados valores de microtextura y de macrotextura. Es decir, la microtextura influye en la fricción y la macrotextura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, impidiendo o dificultando los fenómenos de hidroplaneo, lo que también ayuda a mejorar la fricción

Tradicionalmente se ha venido caracterizando el pavimento por el valor de un coeficiente de rozamiento, determinado mediante equipos y ensayos más o menos modernos, y mejor o peor adaptados a las condiciones actuales de la circulación y de los pavimentos.

La materialización de representar en un solo índice las características relacionadas con la seguridad vial en condiciones de frenado se ha conseguido realizando el Experimento Internacional (Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Publicación AIPCR- 01-04.T-1995). Las conclusiones del Experimento han probado la necesidad de representar ese índice, el IFI, por dos números procedentes de dos medidas, una de fricción y otra de macrotextura.

Por tanto, el IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por una coma, el primero representa la fricción y el segundo la macrotextura. El primero es un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla como la anterior, el segundo número que compone el IFI.

La explicación del IFI, tal y como se deduce del Informe del Experimento es la siguiente:

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

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

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

Internacional), dos tipos de medidas sobre el pavimento: una de fricción y otra de textura. Una vez obtenidas las medidas de los equipos se expresan en formato IFI de acuerdo con lo que sigue:

El Índice de Fricción Internacional (IFI) se basa en el modelo AIPCR que relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo sobre él. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante (FR60) referida a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h. La ecuación queda de la forma siguiente:

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

La ecuación anterior permite convertir la medida de fricción, FRS, realizada a cualquier velocidad a la medida de la fricción a 60 km/h, FR60.

Dónde:

FR(60) = Valor de fricción ajustado

FR(S) = valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento S

S = velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo, km/h

Sp = gradiente de velocidad calculado en el paso anterior, km/h

2.16.2. Medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento

Para la medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento se utilizara el péndulo inglés AASHTO T 278-90 (1999), AASHTO M-261-96 (2004) y para medir la macro textura se utilizara el ensayo del círculo de arena ASTM E 965, ASTM E 1005.

2.16.2.1. Péndulo Ingles o péndulo (TRRL)

Este ensayo simula la acción de frenado de un vehículo que se desplaza a 10 km/h, consiste en un brazo pendular con un patín de caucho en un extremo que se deja caer para que resbale sobre la superficie a medir. La medida de la resistencia al deslizamiento se basa en la pérdida de energía del patín de caucho al pasar por la superficie. Los resultados que entrega esta medición se expresan en BPN (British pendulum number). ¹⁴.

Figura 2.26 Péndulo inglés.



Fuente: resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos

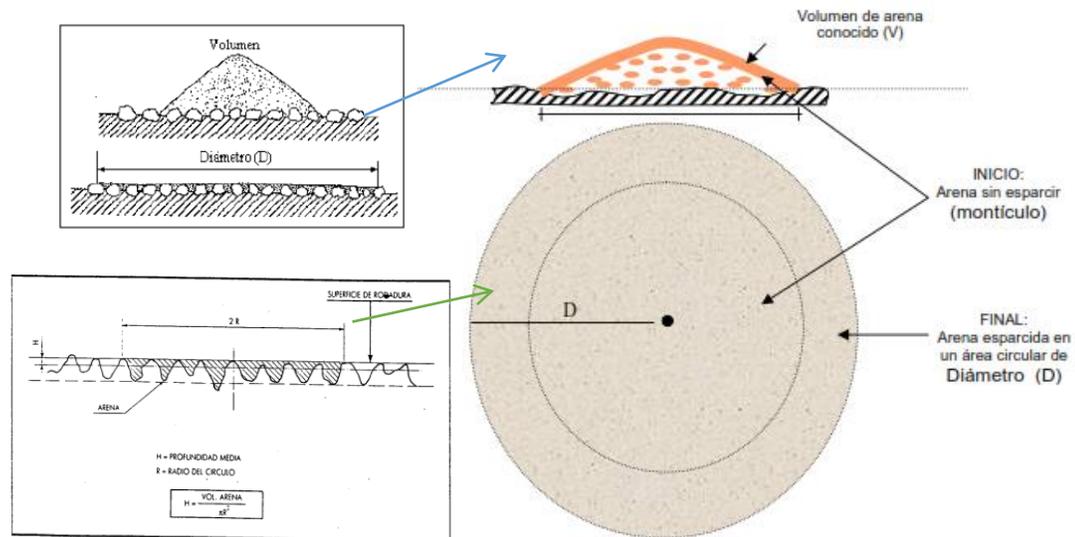
2.16.2.2. Ensayo del círculo de arena

Es un procedimiento que consiste en la cuidadosa aplicación de un volumen conocido de material sobre la superficie del pavimento y el posterior cálculo de la profundidad de textura a partir de la medición del diámetro promedio formado de la mancha de arena de material esparcido. La arena utilizada tiene una granulometría especificada en el método.

Este método proporciona un valor conocido como profundidad de textura media (Mean texture depth, MTD).

¹⁴. <http://es.slideshare.net/FALM1971/resistencia-al-deslizamiento>

Figura 2.27 Circulo de arena.



Fuente: Guía para la evaluación de pavimentos

2.17. Procedimiento de evaluación de la resistencia al deslizamiento

Como se definió anteriormente, El ensayo se realizara en los tramos se sección más críticos que se obtengan en función a la evaluación por el método PCI, tomando en cuenta tanto el carril de ida como también el carril de vuelta, en función del deterioro de la carretera, para estas condiciones se tomara en cuenta los siguientes condiciones para la realización de los cálculos.

2.18. Equipo y metodología para determinar la resistencia al deslizamiento del pavimento

2.18.1. Péndulo Británico (TRRL)

2.18.1.1. Material

- **Péndulo británico.** Equipo para la realización del ensayo.
- **Regla graduada.** Una regla graduada, cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2.5 mm

- **Termómetro.** Un termómetro con graduación en grados celcius y escala de - 10 a + 60 oC
- **Recipiente para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapon, conteniendo agua potable o destilada.
- **Cepillo.** De cerdas para la superficie a medir.
- **Cinta métrica.** Para situar los puntos de medida.

2.18.1.2. Procedimiento

- La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiara con un chorro de agua a presión.
- Se debe registrar la temperatura en cada punto de ensayo. las condiciones de temperatura deben encontrarse en un rango de 5 a 40 oC.
- Con el péndulo colgando libremente se bajara el mismo hasta que el borde de la zapata toque justamente el área a medir, determinada por el espaciador, se asegura la cabeza del péndulo, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.
- Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se realizan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registran las lecturas.
- Se vuelve a mojar la superficie de contacto y se realizan cuatro movimientos oscilatorios, remojando la zona de ensayo antes de cada uno y se registran los datos.

2.18.2. Ensayo del circulo de arena

2.18.2.1. Material

- Se debe contar con **arena** normalizada obtenidas mediante la preparación de estas en laboratorio, debido a que deben ser limpias de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar en ensayo.

- **Tubo cilíndrico graduado** para para medir el volumen de arena a utilizar.
- **Un tapón**, para extender la arena formado por un disco de madera con mango y provisto de un disco de goma dura en su cara inferior
- **Un regla graduada**, para medir el diámetro resultante

2.18.2.2. Procedimiento

- Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, debe encontrarse seca y limpia, de forma que la arena se pueda esparcir libremente sobre la superficie y la medida represente el estado real del pavimento.
- Con ayuda de la cara plana de goma del tampón se extiende con movimientos circulares hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular y asegurándose de que la arena ocupe todos los vacíos generados por las depresiones.
- Se mide el diámetro del círculo de arena con una regla.
- Se debe proteger del viento al momento en que se esté desarrollando el ensayo, previamente se debe realizar una inspección visual a modo de determinar los sectores homogéneos en los que se realizara el ensayo.

2.18.3. Metodología de cálculo

- **Cálculo del valor Tx**

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

$$HS \text{ o } Tx = \frac{4 * V}{\mu * Dp^2}$$

Dónde:

HS o Tx: Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm)

V: Volumen de la muestra (mm³)

Dp: Diámetro promedio del área cubierta (mm)

➤ **Cálculo de valor Sp**

Este valor está en función de la macro textura realizada en campo.

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Sp = a + b * Tx$$

Dónde:

Sp: Velocidad de referencia

“a” y “b” toman los siguientes valores según la norma ASTM E 965:

a: -11.5981

b: 113.63246

➤ **Cálculo del valor FR60**

Para estimar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

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

Dónde:

S: Velocidad del péndulo (10 Km/h)

Sp: Velocidad de referencia

FRS: Valor de fricción obtenido en campo

➤ **Cálculo del valor F60**

Este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$F60 = A + B * FR60$$

Dónde:

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

A: 0.078

B: 0.01071

➤ **Cálculo del valor F(S)**

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

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

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

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

Cuadro 2.6 Valores de fricción con péndulo británico

Fricción	Calificación
< 0,5	Malo (Deslizamiento del vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (Desgaste de los neumáticos)

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

Cuadro 2.7 Textura en pavimento para el círculo de arena

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

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

2.19. Evaluación estructural de un pavimento flexible.

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

La necesidad de evaluar estructuralmente los pavimentos aumenta a medida que se completa el periodo de diseño, y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación. ¹⁵.

La evaluación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio.

Dentro de las mediciones realizadas en la evolución estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir errores al interpretar los resultados:

¹⁵. Pablo M. Del Aguila, B.Sc. Lagesa Ingenieros consultores

¹⁵. Pablo M. Del Aguila, B.Sc. Lagesa Ingenieros consultores

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

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

2.20. Medición de deflexiones

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

2.21. 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 2.28, 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.

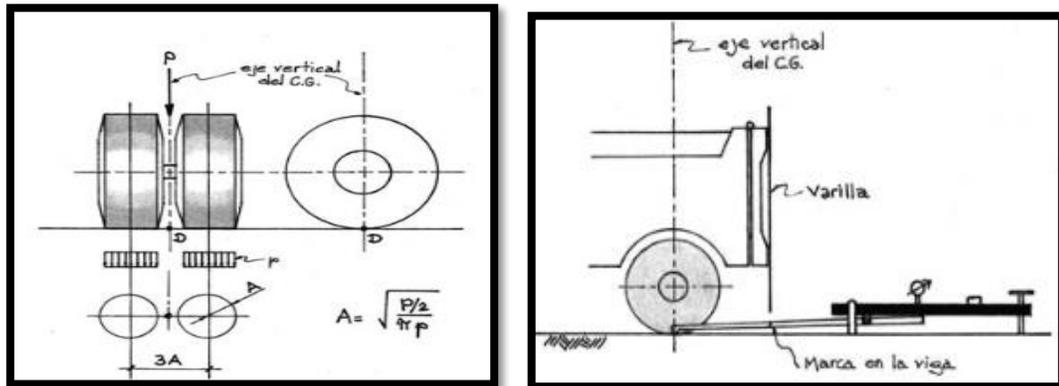
El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado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

- Vehículo auxiliar para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.)

2.22.1.2. Procedimiento de la medición

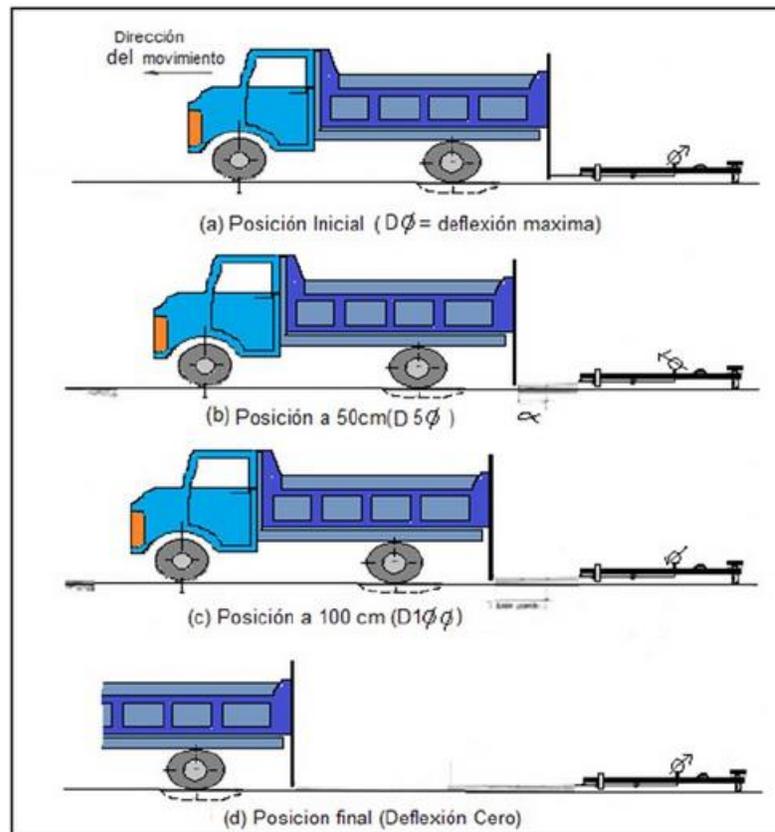
- Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8.2 Ton (18000 Lb) puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.
- Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.
- Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.
- Centrado del extremo delantero de la Viga Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del par de ruedas (ver figura 2.29, punto “D”).
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 0 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el “0” con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.
- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, la velocidad recomendada es de 1cm/seg.
- Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0.25m. y cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (>5 m).
- Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.
- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo

Figura 2.29 Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural -Pablo M. del Águila

Figura 2.30 Esquema del proceso de medición de la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural -Pablo M. del Águila

2.22.1.3. Metodología de cálculo

❖ Cálculo de la deflexión máxima

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

Dónde:

D_o : Deflexión máxima

K : Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración.

L_o : Lectura inicial

L_f : Lectura final

❖ Deflexión media a la distancia

$$D25 = K * (L25 - Lf)$$

Dónde:

D25: Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0.25 m)

K: Constante de la Viga Benkelman depende de la relación de brazos y de la calibración.

L25: Lectura a 0.25m de la posición inicial

Lf: Lectura final

❖ Corrección por temperatura

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

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

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

Dónde:

D20: Deflexión a la temperatura standard 20°C

Dt: Deflexión a la temperatura t

k: Coeficiente de temperatura ($1 * 10^{-3} \text{°C/cm.}$)

t: Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e: Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

❖ Corrección por estacionalidad

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

Cuadro 2.8 Factor de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACIÓN LLUVIOSA	ESTACIÓN SECA
Arenosa - Permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa - sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

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

❖ Cálculo del Radio de curvatura

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

$$Rc = \frac{6250}{K * (Do - D25)}$$

Dónde:

Rc: Radio de curvatura (m)

Do: Deflexión máxima corregida

D25: Deflexión a 0.25 m corregida

Limites

❖ Deflexión admisible

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

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

Dónde:

Da: Deflexión admisible (mm)

N18: Número total de ejes equivalentes a 8.2 Ton (18000Lb)

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

$$Do < Dadm$$

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

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

$$(R_c > 100 m)$$

- b) El radio de curvatura promedio está comprendido entre 300-500 m.

$$(300 < R_c < 500)$$

CAPÍTULO III (RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN)

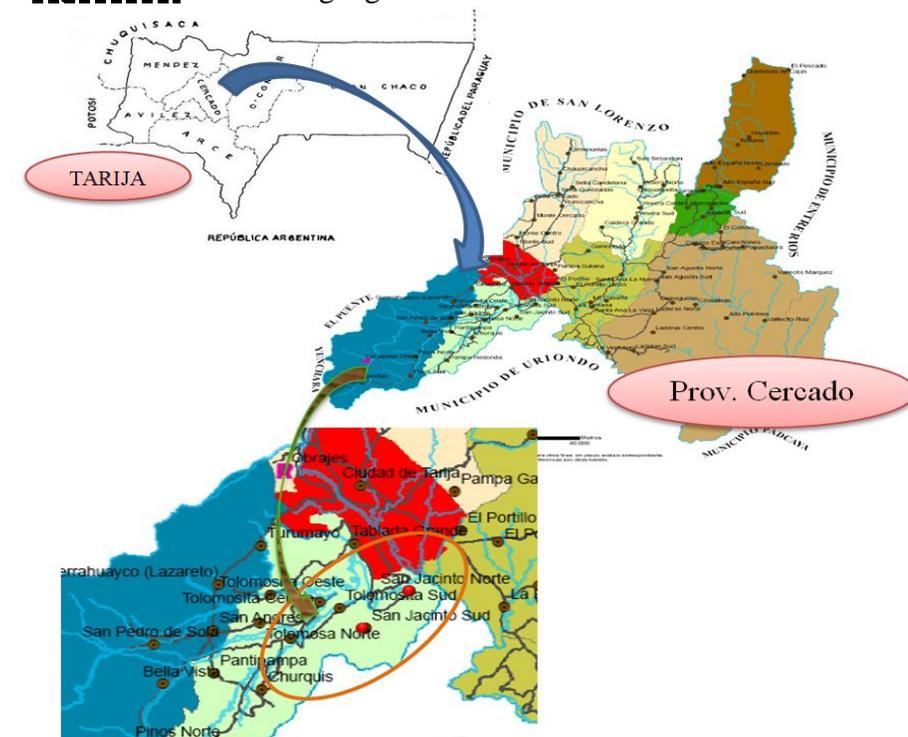
3.1.- Información preliminar del tramo de estudio.

Debido a las fallencias que presenta el tramo Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto se vio la necesidad de realizar la evaluación superficial y estructural para lo cual se realizó el relevamiento de la información lo cual se desarrolla en los siguientes puntos:

3.1.1.- Ubicación:

El tramo “Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” se encuentra ubicado en el distrito 16, cantón de Tolomosa área rural de la provincia cercado del departamento de Tarija, al sur de Bolivia, es el principal acceso hacia el lago San Jacinto, la longitud del tramo es aproximadamente de 6.4 km.

Figura 3.1 Ubicación geográfica de la zona en estudio.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.2 Coordenadas de ubicación del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto.



Fuente: Google Earth

Cuesta el Gallinazo:

Latitud: 21°31'13.43" S

Longitud: 64°32'15.93" O

Altitud: 2130 m.s.n.m.m.

La altura media del tramo es de 2224 m.s.n.m.m.

Campo Ferial San Jacinto:

Latitud: 21°28'50.47" S

Longitud: 64°30'40.38" O

Altitud: 2219 m.s.n.m.m.

3.1.2.- Antecedentes

El tramo “Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” ha sido ejecutado por el servicio departamental de caminos (SEDECA), hace más de 16 años atrás y a la fecha nunca se realizó un mantenimiento periódico (recapamiento), por lo cual se cuenta con la siguiente información:

Características geométricas del tramo son:

Longitud de la ruta: 6400 m

Capa de rodadura: Tratamiento superficial triple.

Paquete estructural: Subrasante mejorada, Capa Sub Base, Capa Base. (Ver Anexo 9)

Numero de ejes equivalentes: 1.060.260

Debido a que no se logró obtener antecedentes históricos del servicio departamental de caminos (SEDECA) del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”, es que se

realizó la complementación de la información para complementar el relevamiento de la información:

Longitud de la Ruta: Con el objetivo de determinar la longitud a estudiar se realizó un levantamiento topográfico del tramo en estudio para lo cual se utilizaron los siguientes materiales Un Estación Total, GPS, Prismas, estacas, brocha y pintura, para dar inicio con el levantamiento topográfico en primer lugar se identificó el punto de inicio para la evaluación y se lo denominó progresiva 0+000, con el GPS se estacionaron dos puntos para posteriormente referenciar el punto de partida para ensamblar el estación total y de esta manera iniciar con el disparo de puntos 2 puntos cada 20 m dejando un línea de referencia y a los 100 m se anotó la progresiva 0+100 y así consecuentemente con la finalidad que una vez que se inicie con el relevamiento de fallas y los ensayos para la evaluación estructural y superficial se considere las progresivas para la ubicación de cada falla.



Capa Rodadura: Las características de la capa rodadura hasta realizar el sondeo no eran claras a pesar de que el servicio departamental de caminos nos informó que la capa rodadura era un tratamiento superficial triple, con el fin de determinar claramente de que está compuesto la carpeta asfáltica se extrajo una muestra en progresiva 0+802, posteriormente se analizó en laboratorio la muestra para lo cual se hizo calentar la muestra hasta que la misma quede disuelta, luego se dispuso del equipo llamado Centrifuga para realizar el lavado de la muestra cuarteada dicho equipo permitía que la muestra gire a una velocidad considerable, se tuvo que echar kerosene para que el cemento asfáltico se disuelva por completo donde finalmente se obtuvo el agregado utilizado limpio para posteriormente realizar el tamizado para obtener la gradación del

mismo haciendo las relaciones correspondientes entre los pesos con y sin cemento asfáltico también se pudo obtener el contenido de Cemento Asfáltico.



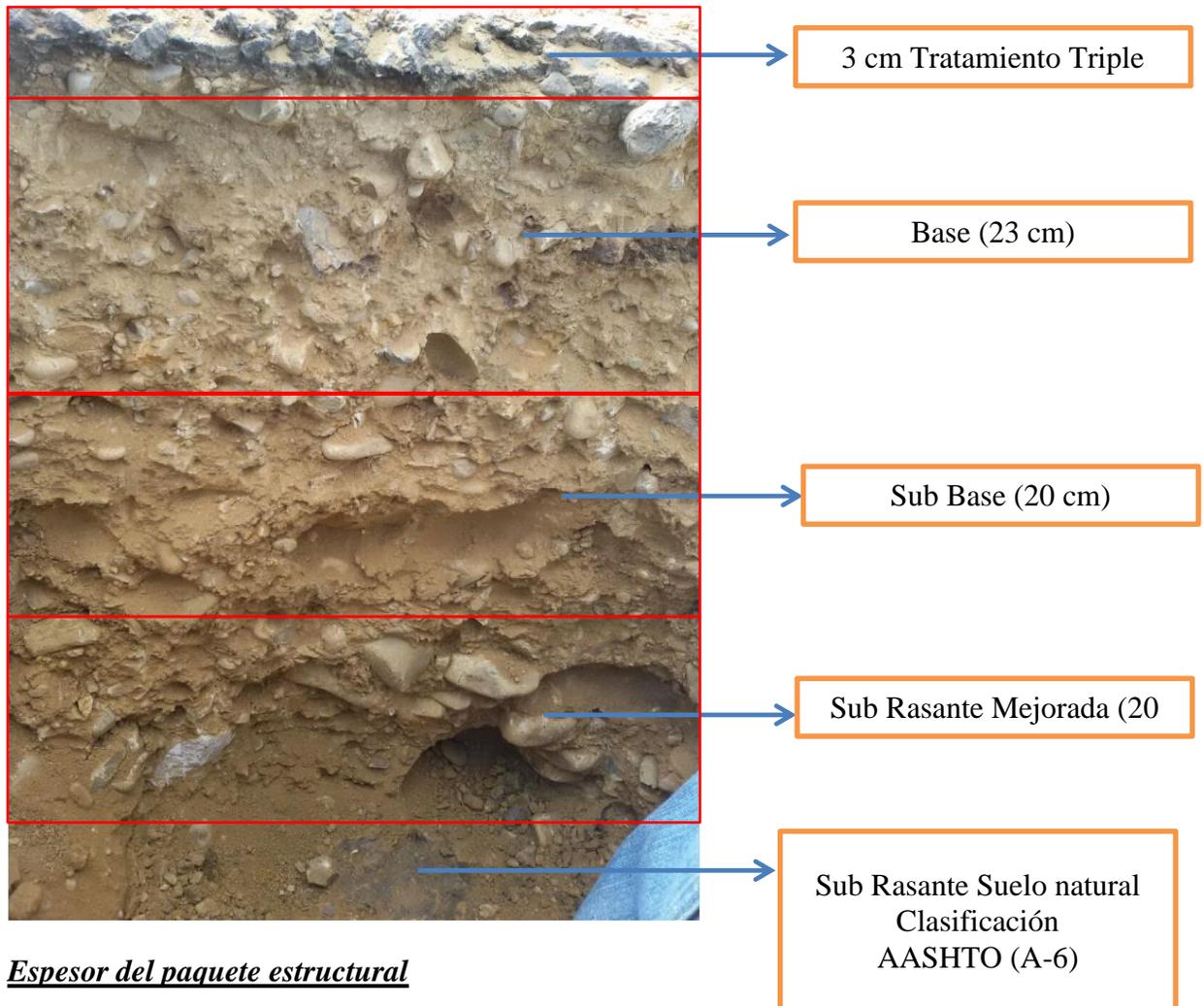
Paquete estructural: Con el objetivo de identificar la composición y la conformación del paquete estructural se dispuso a a realizar un sondeo también en progresiva 0+802, para cual inicialmente se utilizaron las herramientas excavador, un pala, un pico y bolsas, para proceder con el sondeo se inició la excavación de para identificar de numero de capas que componía el paquete estructural paralelamente se extrajo muestras de cada capa identificada, en primer se identificó la Capa Base, posteriormente la Sub Base, Sub Rasante Mejorada y finalmente la Subrasante Natural de las cuales e obtuvo muestras la cuales fueron es analizadas en laboratorio realizando los siguientes ensayos como ser Granulometría del material fino y grueso, Limites de Atterberg, Clasificación, Proctor y CBR (Capacidad de Soporte), para realizar los ensayos mencionados en el laboratorio se desarrollaron de la siguiente manera:

- **Granulometría de los agregados:** El procedimiento para realizar la granulometría de los materiales como ser muestra de la Base, Sub Base, Sub Rasante Mejorada y Sub Rasante Natural en primer lugar se cuarteo las muestras para posteriormente tamizar el material separado en la serie de tamices desde el tamiz 3” a N°10 y el pasante se hizo la granulometría por el método lavado obteniendo los pesos retenidos con los cuales se obtuvo la curva granulométrica para cada una de las capas.
- **Limites Atterberg:** De igual manera se realizaron los límites de Atterberg para todas las capas Base, Sub Base, Sub Rasante Mejorada y Sub Rasante Natural

con la finalidad de obtener el Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad.

- **Clasificación de los materiales:** Con los datos obtenidos en los puntos anteriores se realizó la clasificación de los materiales para las capas Base, Sub Base, Sub Rasante Mejorada y Sub Rasante Natural, ya que estos 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 Base, Sub Base, Sub Rasante Mejorada y Sub Rasante Natural, con la finalidad de obtener la Densidad Máxima y Húmeda Óptima de los materiales, se realizó el ensayo de Proctor T-180 para las muestras gruesas y el T-99 para las muestras finas, los datos obtenidos en los ensayos realizados son imprescindibles para la realización del ensayo Capacidad de Soporte del Suelo.
- **CBR (Capacidad Soporte del Suelo):** Se realizó el ensayo de CBR para todas las capas Base, Sub Base, Sub Rasante Mejorada y Sub Rasante Natural. Dicho ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.





Numero de ejes equivalentes: Luego de identificar al Numero de ejes equivalentes como un dato preponderante para la realización de la evaluación se dispuso a realizar el levantamiento de la información con la finalidad de obtener la el tráfico que transita actualmente por el tramo Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto, para el relevamiento de la información inicialmente se identificaron días (3días) y horarios críticos (de 6:00

a 13:00) para realizar los aforos, este relevamiento de la información se realizó en progresiva 1+000 considerando el conteo de Automóviles, Buses de Transporte Público y Camiones de Eje Simple y Camiones de Eje Doble, posteriormente se realizó el cálculo del número de ejes equivalentes

3.2.- Evaluación superficial del tramo.

Para la evaluación superficial del tramo “Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” se evaluaron 2 Parámetros; PCI (Índice de Condición del Pavimento) e IFI (Índice de Fricción Internacional), lo cual se detalla de mejor manera en los puntos posteriores.

3.2.1.- Aplicación del método PCI (Índice de condición del pavimento)

3.2.1.1.- Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

Se detallará la metodología aplicada para la evaluación superficial el caso particular del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI, Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento, ya que el método PCI permitirá conocer el estado de la superficie del tramo, este método al ser moroso y requerir mucho tiempo para realizarlo en la bibliografía menciona que solamente se seleccione cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo, pero para el presente estudio se realizó el relevamiento de fallas en todo el tramo desde progresiva 0+000 a 6+400, con la finalidad de obtener resultados confiables.

3.6.1.2.- Muestreo y unidades de muestra.

Las áreas de muestreo según el método PCI del cuerpo de la armada de los Estados Unidos deben tener una superficie comprendida entre el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como

se observa en el cuadro 3.1, que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada.

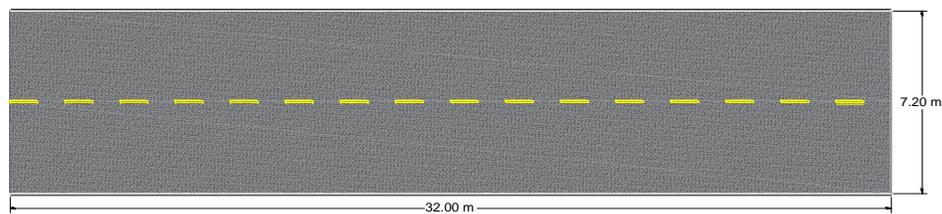
Cuadro 3.1.- Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas

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 (máx.)	31,50

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

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento en el tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” es de 7.2 m, debido a esto se adoptó una longitud de 32 m. para cada una de las áreas.

UNIDAD DE MUESTREO PARA EL MÉTODO PCI $A=230.00 \text{ m}^2$



Fuente: Elaboración Propia

Consiguiendo de esta manera un área de 230.40 m^2 que está dentro del rango establecido por el método PCI, con el fin de uniformizar las secciones de estudio se usara un área uniforme de 230.00 m^2 . En base al levantamiento topográfico que se hizo del tramo en estudio se tiene una longitud total del tramo a evaluar de (6400 m), en base a las área de sección establecidas para la evaluación superficial, se inspecciono minuciosamente todo 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 se evaluaron 200 unidades de muestra de 230 m^2 .

3.2.1.3. 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 severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, en base a la siguiente tabla:

Cuadro 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	10.- Fisuras longitudinales y transversales	m
2.- Exudación	m ²	11.- Parches	m ²
3.- Fisuras en bloque	m ²	12.- Agregado pulido	m ²
4.- Elevaciones - Hundimientos	m	13.- Huecos	N#
5.- Corrugaciones	m ²	14.- Acceso a puentes- rejillas de drenaje	m ²
6.- Depresiones	m ²	15.- Ahuellamiento	m ²
7.- Fisura de borde	m	16.- Deformación por empuje	m ²
8.- Fisura de reflexión de juntas	m	17.- Deslizamiento	m ²
9.- Desnivel carril - berma	m	18.- Hinchamiento	m ²
		19.- Disgregación - desintegración	m ²

Fuente: Elaboración Propia

Se registró la información en el formato adoptado, para tal fin tuve que conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos 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 asemejándole a una figura rectangular, unidad de medición en m².

- **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 la falla piel de cocodrilo los bloques varían de 30 cm a 300 cm, 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, unidad de medición en m².
- **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 de madera 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, unidad de medición en m.
- **Fisura de borde:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con grietas longitudinales paralelas a la dirección del carril separadas hasta 60 cm del borde exterior del pavimento, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición de la longitud con una wincha de las fisuras, unidad de medición en m.
- **Desnivel carril – berma:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con diferencia de niveles entre el carril y la berma, una vez identificada la falla una vez identificada 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 medición en m.
- **Fisura longitudinal-transversal:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con fisuras en el eje o paralelas al mismo, una vez identificada la falla se evaluó la severidad de la misma, se realizó la medición de la longitud con una wincha donde se presentaron este tipo de fallas, unidad de medición en m.
- **Parche:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores donde el pavimento ha sido remplazado 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, unidad de medición en m².

- **Huecos:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando y haciendo el conteo de los huecos, posteriormente se evaluó la severidad de la misma.
- **Ahuellamiento:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores donde presentaban depresiones en dirección de la huella en la plataforma, 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, unidad de medición en m².
- **Desplazamiento o deformación por empuje:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con corrimiento longitudinal y permanente en un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito, 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 con una wincha del ancho y largo aproximado asemejándole a una figura rectangular, unidad de medición en m².
- **Deslizamiento:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con deslizamiento y grietas en forma de media luna, 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 con una wincha del ancho y largo aproximado asemejándole a una figura rectangular, unidad de medición en m².
- **Disgregación o desintegración:** Se realizó el recorrido del carril de ida y vuelta paralelamente identificando sectores con disgregación y desintegración y pérdida de 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 con una wincha del ancho y largo aproximado asemejándole a una figura rectangular, unidad de medición en m².

Posteriormente registre los datos en una planilla de toma de datos para cada una de las unidades de muestreo que fueron señaladas en el pavimento e identificadas por medio de un código, por ejemplo, U-7 (Unidad de muestra No7). 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 el Cuadro 3.1 se ilustra el modelo de la planilla de recolección de datos adoptado para el presente método.

Cuadro 3.3 Planilla de muestreo de datos Método PCI.

MÉTODO PCI (INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO)									
ZONA DE ESTUDIO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"									
PROG. INICIO:		0+000	AREA (m ²):		230	INSPECCIONADO POR:			
PROG. FINAL		6+400	FECHA:		12/08/2015	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH			
Fallas			Unidad de Medida		Fallas		Unidad de Medida		
1.- Piel de cocodrilo			m ²		10.- Fisuras longitudinales y transversales		m		
2.- Exudación			m ²		11.- Parches		m ²		
3.- Fisuras en bloque			m ²		12.- Agregado pulido		m ²		
4.- Elevaciones - Hundimientos			m		13.- Huecos		N#		
5.- Corrugaciones			m ²		14.- Acceso a puentes- rejillas de drenaje		m ²		
6.- Depresiones			m ²		15.- Ahuellamiento		m ²		
7.- Fisura de borde			m		16.- Deformación por empuje		m ²		
8.- Fisura de reflexión de juntas			m		17.- Deslizamiento		m ²		
9.- Desnivel carril - berma			m		18.- Hinchamiento		m ²		
					19.- Disgregación - desintegración		m ²		
PROGRESIVA		UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA		SEVERIDAD		TOTAL		
INICIAL	FINAL						H	M	L
0+480	0+512	16	Fisura longitudinal-transversal (m)		M		48,4		
			Fisura de borde (m)		M		13,8		
			Disgregación - desintegración (m ²)		M		43,6		
			Desnivel carril - berma (m)		L		19,4		
			Parches (m ²)		M		29,2		
			Fisuras en bloque (m ²)		L		3,7		

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Aplicación del método IFI (Índice de Fricción Internacional)

3.2.2.1. Procedimiento de medición

Los ensayos de El Péndulo como así también del Círculo De Arena, fueron realizados en las áreas de evaluación determinadas por el método PCI, en las unidades de muestreo que presentaron resultados bajos, tomando en cuenta tanto el carril de ida como también el carril de vuelta, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

Ensayo de Péndulo Británico.- Una vez que se concluyó con la identificación teórica de las áreas de estudio en función a los resultados más bajos obtenidos por el método



PCI, se realizó un listado con sus respectivas progresivas para poderlas identificar y realizar el ensayo del péndulo, los materiales utilizados para realizar el ensayo son los siguientes; Péndulo Británico, Termómetro, Envase de agua, brocha y una regla calibrada, seguidamente nos trasladamos al lugar de proyecto donde se identificó la

primera falla y para dar inicio con el ensamblaje del equipo, una vez concluido se procedió a nivelar el equipo con las manivelas de tal forma que la burbuja del ojo de pollo quede completamente centrada, se dio inicio con el ensayo se verifico que la punta de caucho



del brazo del péndulo al realizar el balanceo realice el rose con la superficie asfáltica solamente dentro del rango de la regla calibrada que trae consigo el equipo, antes de realizar el ensayo se tuvo que limpiar la superficie del pavimento

ensayar con una brocha limpiando toda impureza o polvo que presenta el pavimento debido al trafico una vez limpia la superficie se dio inicio a asegurar el brazo del péndulo y soltarlo de tal forma que una vez que la aguja



de medición no vuelva a descender en la medida marcada se sujeta el brazo en el ínterin de su regreso, posteriormente se anota en la planilla como primer dato se hizo dos repeticiones con la superficie seca y tres repeticiones con la superficie mojada para esto se dispuso de envase que funciona a presión para rosear la superficie del pavimento con agua dejando completamente saturada simulando una precipitación, se verifico la temperatura del pavimento al momento de realizar el ensayo, de esta manera se concluye para posteriormente pasar a realizar el mismo procedimiento en otro punto. (Ver figura 3.3)

Figura 3.3 Procedimiento de ensayo del péndulo británico.



Fuente: Elaboración propia

Círculo de Arena.- El ensayo del círculo de arena se realizó en de manera paralela a los ensayos realizados del Péndulo Británico, es decir fueron realizados en las mismas progresivas, para esto primeramente se tuvo que elaborar un esparcidor de caucho de diámetro de 50 mm con un sujetador de madera de tal forma que la base del esparcidor quede completamente plana una vez construido el equipo se calibro la arena haciendo pasar el material por el tamiz N°100 y el material a usar para el ensayo es el que se retiene en el

tamiz N°80 se tamizo aproximadamente 10 kilogramos.



Para proceder con el ensayo se utilizaron los siguientes materiales; Arena calibrada, esparcidor, tubo cilíndrico graduado, regla graduada, envase con punta cónica y una brocha, para dar inicio con el ensayo se realizó la medición de la cantidad de arena en el tubo cilíndrico graduado de 25000 mm³ posteriormente se vació la arena al envase con punta cónica de tal forma que al vaciar la arena el punto de ensayo quede en forma cónica con un diámetro regular, antes vaciar la arena se realizó la limpieza de la superficie del asfalto con una brocha sacando todas la impurezas polvo y otros, recién se vació la arena dejando que esta quede en forma cónica seguidamente se procedió a esparcir la arena cosa que vaya quedando en forma circular haciendo que la arena ocupe las fisuras y vacíos que presenta la superficie asfáltica, una vez que la arena quedo completamente esparcida llegando a nivelarse con la carpeta asfáltica se dispuso a medir el diámetro después de haberse esparcido la arena este procedimiento se realizó 3 veces en un punto y 5 veces en una unidad de muestreo. (Ver figura 3.4)

Figura 3.4 Procedimiento de ensayo del círculo de arena.



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Evaluación estructural del tramo

3.2.3.1. Procedimiento de medición Viga Benkelman

Los ensayos para la evaluación estructural se realizaron utilizando el mismo procedimiento adoptado anteriormente (en unidades de muestreo que presentaron resultados los resultados más bajos de PCI) de la siguiente manera:

Se efectuó inicialmente la calibración de la viga Benkelman en el laboratorio de suelos y hormigones de la universidad, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para ser manejado, mediante esta calibración definir el valor de la constante (K) a ser utilizada para el cálculo de las deflexiones, donde se obtuvo la constante $k=2$

La volqueta que se alquiló para la realización de los ensayos fue de 8.00 m³ de capacidad con eje trasero simple de llantas dobles, para realizar el ensayo se comunicó al chofer que realice la medición de la presión de inflado de las llantas de tal forma que registre 80 psi, posteriormente se pesó en el eje trasero de la volqueta para lograr el peso necesario de (8.2 Tn) 8200 Kg, una vez localizados las unidades de muestreo se marcaron y efectuaron mediciones cada 200 m, se definieron dos líneas de medición longitudinales al eje de la vía una en el carril de ida (El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto) y otra en el carril de vuelta (Campo Ferial San Jacinto - El Gallinazo) de 5 m. A una distancia de 0.60 a 0.90 m del borde de la carpeta, variando estas medidas en función a la ubicación del ensayo, en cada punto de ensayo en el formato adoptado se registraron lecturas a 0.25, 0.50, 0.75, 1, 2, 3 y 5 m, el procedimiento de ensayo se desarrolla de la siguiente manera; en primer lugar se procedió a ensamblar la viga ya que se tiene un brazo desplegable de dos módulos los cuales van ensamblados con tornillos de ajuste, posteriormente se nivela el apoyo principal con una manivela para lograr que el puntero del brazo de la viga este en contacto mínimo con la superficie asfáltica, este procedimiento se realizó de igual manera en los siguientes puntos definidos de estudio, las fotos que se incluyen a continuación ilustran en forma general el procedimiento de medición del ensayo Como se puede observar, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras de la volqueta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de la

llanta, dejando el otro extremo fijo sobre el pavimento, en cada punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las operaciones descritas a lo largo del tramo de estudio.

Figura 3.5 Procedimiento de medición viga bemkelman.



BALANZA ELECTRONICA " MENDOZA "	
KM 7.5 CARRE AL CHACO - CEL. 70218371 - 73451178	
Tarija - Bolivia	
N° 6667	Ingreso 07/05/2016 04:21:08 PM
Fecha 07/05/2016	Salida 07/05/2016 04:29:39 PM
BRUTO: 0	
TARA: 8,300	
NETO: 8,300	
	180.43 qq
	Monto Bs 15.0
Cliente ESTHER CRUZ ALEMAN	
Material VOLVO N7	
Chofer ALEXANDER ABAN	Placa 1009 HCB
Vendedor .NULL	
Observación	
SIN LLANTA DE AUXILIO EL PESO ES 8200 KG	
ENCARGADO: BALANZA 6663877	CLIENTE

Pesado de la volqueta

Fuente: Elaboración Propia





Procedimiento del ensayo de Viga Benkelman

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV (EVALUACIÓN Y ANÁLISIS)

4.1. Procedimiento de Evaluación Superficial

4.1.1. Evaluación superficial por el método PCI

4.1.1.1. Procedimiento de cálculo del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Luego de culminar la inspección de campo, la información las fallas presentes en las unidades de muestreo y los grados de severidad esta fueron recopilados, registrada para calcular el PCI, el cálculo del PCI puede realizarse de forma manual o computarizada.

Posteriormente se procedió a determinar por cada falla de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas los valores deducidos VD, los valores deducidos corregidos CDV, el número de valores deducidos (q) mayores que 2, y con el valor deducido total y con el máximo CDV se obtuvo el índice de condición presente PCI en 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 falla y su severidad y registrarlos en las casillas correspondientes. Los daños pueden ser medidos en área o longitud o por su número según el tipo de falla existente, ver cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Fallas existentes.

PROGRESIVA		UNIDAD DE MUESTRA	TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	TOTAL		
INICIAL	FINAL				H	M	L
0+480		16	Fisura longitudinal-transversal (m)	M		48,4	
			Fisura de borde (m)	M		13,8	
			Disgregación – desintegración (m ²)	M		43,6	
			Desnivel carril - berma (m)	L			19,4
			Parches (m ²)	M		29,2	
	0+512		Fisuras en bloque (m ²)	M		3,7	

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:

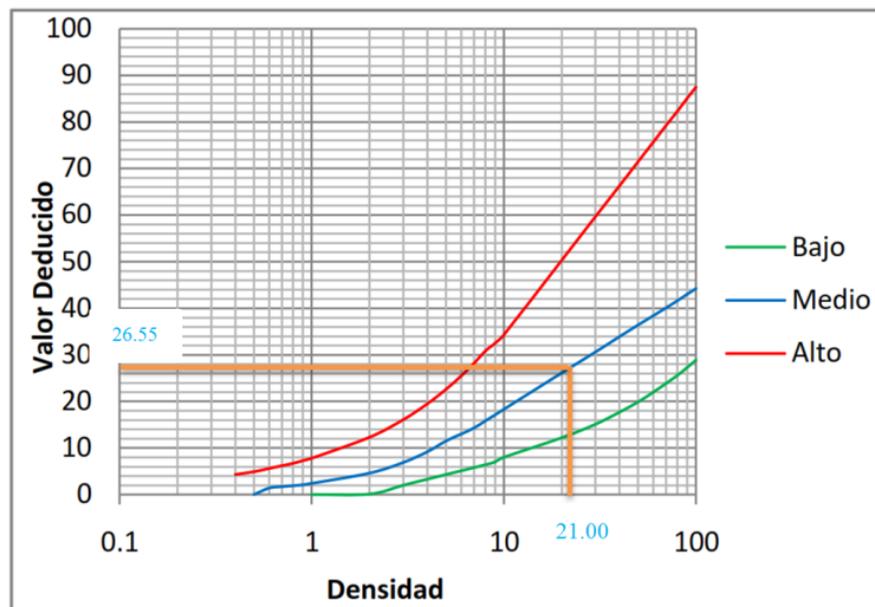
$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de fall (tipo y severidad)}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} \times 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{48.4}{230} \times 100$$

$$\text{Densidad} = 21.04\%$$

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) y (tabla 4.1)

Figura 4.1 Obtención del valor deducido (VD)



Valores deducidos para pavimentos.- Grietas longitudinales y trasversales

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

Cuadro 4.1.2. Obtención del valor deducido (VD)

GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL			
DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO		
	L	M	H
0,10	-	-	-
0,20	-	-	-
0,30	-	-	-
0,40	-	-	4,30
0,50	-	-	4,90
0,60	-	1,40	5,60
0,70	-	1,70	6,20
0,80	-	1,90	6,70
0,90	-	2,10	7,30
1,00	-	2,40	7,80
2,00	0,10	4,60	12,30
3,00	2,00	6,90	16,10
4,00	3,30	9,20	19,50
5,00	4,30	11,50	22,60
6,00	5,10	13,00	25,50
7,00	5,80	14,30	28,20
8,00	6,40	15,80	30,80
9,00	7,00	17,10	32,50
10,00	8,00	18,30	34,30
20,00	12,20	26,10	50,30
30,00	15,10	30,60	59,70
40,00	17,70	33,90	66,30
50,00	19,90	36,40	71,50
60,00	22,00	38,40	75,70
70,00	23,90	40,10	79,30
80,00	25,60	41,60	82,30
90,00	27,30	43,00	85,10
100,00	28,90	44,20	87,50

Valores deducidos para pavimentos.- Grietas longitudinales y trasversales

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

En este caso se trata de una falla # 10 (fisuras longitudinales y transversales) de severidad media y de una densidad de 21.04 %, en función a estos datos se obtiene un valor de deducción de 26.57. Para obtener el valor de deducción se debe entrar a la gráfica con el valor de densidad y proyectar una línea vertical hasta que

intersecte con la densidad de la falla, este tipo de falla se encuentra en el nivel de severidad “media”, para obtener el valor deducido mediante el grafico se proyecta una línea horizontal hasta que intersecte el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala de “Valor de deducción”, o de lo contrario interpolar el valor deducido de la tabla 4.1 para obtener mayor exactitud de valor deducido.

Se repite la misma operación para cada tipo de falla y su severidad y se registran en la casilla de “Valor deducido”, (ver cuadro 4.3) y (cuadro 4.4)

Cuadro 4.2 Resultados de valor deducido (VD)

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
Fisura longitudinal-transversal (m)	M	48,4	21,04	26,57
Fisura de borde (m)	M	13,8	6,00	11,20
Peladura	M	43,6	18,96	17,92
Desnivel carril - berma (m)	L	19,4	8,43	3,83
Parches (m ²)	M	29,2	12,70	34,06
Fisuras en bloque (m ²)	M	3,7	1,61	4,20

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.3 Resultados de valor deducido (VD)

VALORES PCI	
VALOR DEDUCIDO TOTAL VD =	89,8
NUMERO DE VALORES DEDUCIDOS > 2(q) :	3
Valor Deducido Más Alto (HDV):	37,06

Fuente: Elaboración propia

Una vez registrados todos los valores deducidos del área de muestra, debe tomarse en cuenta si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” son mayores que 2, se usa el valor deducido total en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), de lo contrario se colocan en orden descendente los valores deducidos mayores de 2 hasta que se cumpla la igualdad a 1. (Ver tabla 4.4)

Cuadro 4.4 Resultados de valor deducido corregido (VDC)

#	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	VDC
	1	2	3	4	5	6	7			
1	34,06	26,57	17,92	11,20	4,20	3,83		97,78	6	47,89
2	34,06	26,57	17,92	11,20	4,20	2,00		95,95	5	49,57
3	34,06	26,57	17,92	11,20	2,00	2,00		93,75	4	53,25
4	34,06	26,57	17,92	2,00	2,00	2,00		84,55	3	53,46
5	34,06	26,57	2,00	2,00	2,00	2,00		68,63	2	50,04
6	34,06	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		44,06	1	44,06
7										

MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
CDV =	53,46

$$PCI = 100 - CDV$$

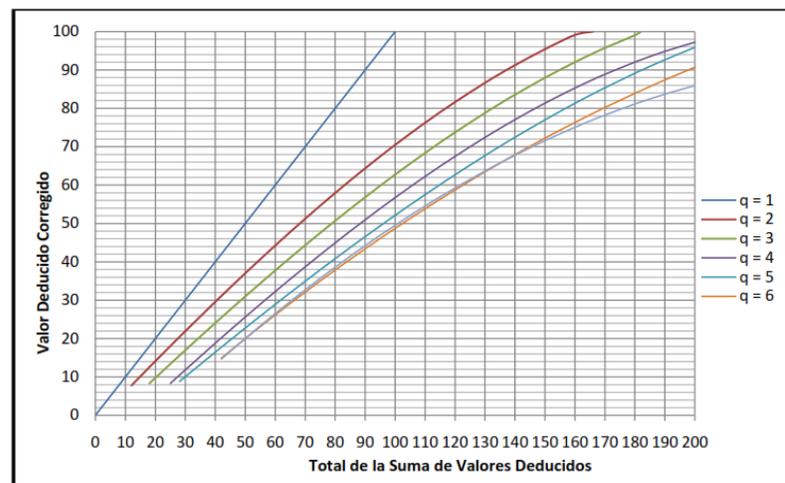
$$PCI = 46,54$$

CONDICION DEL PAVIMENTO :

REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Para cada valor individual se determinó el valor deducido corregido en el gráfico. (Ver gráfico 4.2), 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.

Figura 4.2 Curva de obtención del valor deducido corregido (VDC)

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

Tabla 4.2. Obtención del valor deducido corregido (VDC)

TOTAL DE VALORES DEDUCIDOS	CORRECCION DE VALORES DEDUCIDOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES						
	q 1	q 2	q 3	q 4	q 5	q 6	q 7
0,0	0,0	-					
10,0	10,0	-					
12,0	12,0	8,0					
18,0	18,0	12,5	8,0				
20,0	20,0	14,0	10,0				
25,0	25,0	18,0	13,5	8,0			
28,0	28,0	20,4	15,6	10,4	8,0		
30,0	30,0	22,0	17,0	12,0	10,0		
40,0	40,0	30,0	24,0	19,0	17,0		
42,0	42,0	31,4	25,4	20,4	18,2	15,0	15,0
50,0	50,0	37,0	31,0	26,0	23,0	20,0	20,0
60,0	60,0	44,0	38,0	33,0	29,0	26,0	26,0
70,0	70,0	51,0	44,5	39,0	35,0	32,0	32,0
80,0	80,0	58,0	50,5	45,0	41,0	38,0	38,0
90,0	90,0	64,0	57,0	51,0	46,0	44,0	44,0
100,0	100,0	71,0	63,0	57,0	52,0	49,0	49,0
110,0		76,0	68,0	62,0	57,0	54,0	54,0
120,0		81,0	73,0	68,0	62,0	59,0	59,0
130,0		86,0	78,5	73,0	67,0	63,0	63,0
135,0		88,5	81,5	75,5	69,5	65,0	65,0
140,0		91,0	84,0	78,0	72,0	68,0	67,0
150,0		94,0	88,0	82,0	76,0	72,0	70,0
160,0		98,0	93,0	86,0	81,0	76,0	74,0
166,0		100,0	94,8	88,4	83,4	79,0	75,2
170,0			96,0	90,0	85,0	81,0	76,0
180,0			99,0	93,0	88,0	84,0	79,0
182,0			100,0	93,6	88,6	84,8	79,6
190,0				96,0	91,0	88,0	82,0
200,0				98,0	94,0	90,0	84,0

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

El PCI obtenido fue de 46.54 lo que indica según el siguiente esquema, que la condición de la unidad de muestra 16 del pavimento está en un estado regular (entre 55 – 40) ver cuadro 4.5

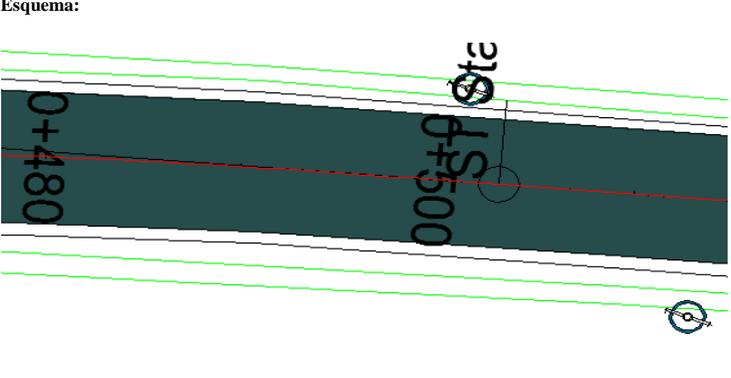
Cuadro 4.5.- Rangos de calificación de PCI

Rango		Clasificación
100	85	EXELENTE
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 4.6 Resultados de la unidad de muestra # 16

MÉTODO PCI (ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO) EN VÍAS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA				
ZONA DE ESTUDIO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"				
PROG. INICIO:	0+480	Esquema: 		
PROG. FINAL:	0+512			
AREA (m²):	230			
FECHA:	12/08/2015			
UNIDAD MUESTRA:	16			
INSPECCIONADO POR:				
CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH				
Fallas	Unidad de Medida	Fallas	Unidad de Medida	
1.- Piel de cocodrilo	m²	10.- Fisuras longitudinales y transversales	m	
2.- Exudación	m²	11.- Parches	m²	
3.- Fisuras en bloque	m²	12.- Agregado pulido	m²	
4.- Elevaciones - Hundimientos	m	13.- Huecos	N#	
5.- Corrugaciones	m²	14.- Acceso a puentes- rejillas de drenaje	m²	
6.- Depresiones	m²	15.- Ahuellamiento	m²	
7.- Fisura de borde	m	16.- Deformación por empuje	m²	
8.- Fisura de reflexión de juntas	m	17.- Deslizamiento	m²	
9.- Desnivel carril - berma	m	18.- Hinchamiento	m²	
		19.- Disgregación - desintegración	m²	
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
Fisura longitudinal-transversal (m)	M	48,4	21,04	26,57
Fisura de borde (m)	M	13,8	6,00	11,20
Peladura	M	43,6	18,96	17,92
Desnivel carril - berma (m)	L	19,4	8,43	3,83
Parches (m²)	M	29,2	12,70	34,06
Fisuras en bloque (m²)	M	3,7	1,61	4,20

#	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	VDC
	1	2	3	4	5	6				
1	34,06	26,57	17,92	11,20	4,20	3,83		97,78	6	47,89
2	34,06	26,57	17,92	11,20	4,20	2,00		95,95	5	49,57
3	34,06	26,57	17,92	11,20	2,00	2,00		93,75	4	53,25
4	34,06	26,57	17,92	2,00	2,00	2,00		84,55	3	53,46
5	34,06	26,57	2,00	2,00	2,00	2,00		68,63	2	50,04
6	34,06	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		44,06	1	44,06

MAXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	
CDV =	53,458

PCI = 100 - CDV

PCI = 46,542

CONDICION DEL PAVIMENTO : **REGULAR**

Fuente: Elaboración propia

Se repite todo el procedimiento de cálculo anteriormente descrito para todas las unidades de muestreo existentes en el tramo evaluado “El gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”.

4.1.1.2. Resultados

4.1.1.2.1. Resultados parciales del PCI

En la siguiente tabla se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo del tramo “El gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”:

Cuadro 4.7.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 1

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
1	0+000 - 0+032	2,62	FALLADO
2	0+032 - 0+064	20,28	MUY MALO
3	0+064 - 0+096	5,89	FALLADO
4	0+096 - 0+128	6,95	FALLADO
5	0+128 - 0+160	12,26	MUY MALO
6	0+160 - 0+192	0,95	FALLADO
7	0+192 - 0+224	5,28	FALLADO
8	0+224 - 0+256	6,95	FALLADO
9	0+256 - 0+288	-7,24	FALLADO
10	0+288 - 0+320	0,91	FALLADO
11	0+320 - 0+352	3,89	FALLADO
12	0+352 - 0+384	11,40	MUY MALO
13	0+384 - 0+416	11,94	MUY MALO
14	0+416 - 0+448	0,85	FALLADO
15	0+448 - 0+480	15,98	MUY MALO
16	0+480 - 0+512	46,54	REGULAR
17	0+512 - 0+544	44,80	REGULAR
18	0+544 - 0+576	31,93	MALO
19	0+576 - 0+608	5,76	FALLADO
20	0+608 - 0+640	8,24	FALLADO
21	0+640 - 0+672	9,44	FALLADO
22	0+672 - 0+704	45,60	REGULAR
23	0+704 - 0+736	42,23	REGULAR
24	0+736 - 0+768	41,31	REGULAR
25	0+768 - 0+800	44,51	REGULAR
26	0+800 - 0+832	50,21	REGULAR
27	0+832 - 0+864	22,08	MUY MALO
28	0+864 - 0+896	6,86	FALLADO
29	0+896 - 0+928	17,67	MUY MALO
30	0+928 - 0+960	16,06	MUY MALO
31	0+960 - 0+992	38,35	MALO
32	0+992 - 1+024	41,25	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.8.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 2

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
33	1+024 - 1+056	8,76	FALLADO
34	1+056 - 1+088	29,68	MALO
35	1+088 - 1+120	21,40	MUY MALO
36	1+120 - 1+152	22,47	MUY MALO
37	1+152 - 1+184	1,34	FALLADO
38	1+184 - 1+216	8,53	FALLADO
39	1+216 - 1+248	36,08	MALO
40	1+248 - 1+280	0,56	FALLADO
41	1+280 - 1+312	29,78	MALO
42	1+312 - 1+344	53,08	REGULAR
43	1+344 - 1+376	4,06	FALLADO
44	1+376 - 1+408	17,34	MUY MALO
45	1+408 - 1+440	21,28	MUY MALO
46	1+440 - 1+472	36,34	MALO
47	1+472 - 1+504	39,52	MALO
48	1+504 - 1+536	11,89	MUY MALO
49	1+536 - 1+568	6,89	FALLADO
50	1+568 - 1+600	43,09	REGULAR
51	1+600 - 1+632	8,74	FALLADO
52	1+632 - 1+664	32,98	MALO
53	1+664 - 1+696	53,75	REGULAR
54	1+696 - 1+728	6,30	FALLADO
55	1+728 - 1+760	9,44	FALLADO
56	1+760 - 1+792	53,74	REGULAR
57	1+792 - 1+824	0,56	FALLADO
58	1+824 - 1+856	35,32	MALO
59	1+856 - 1+888	45,60	REGULAR
60	1+888 - 1+920	35,32	MALO
61	1+920 - 1+952	40,98	REGULAR
62	1+952 - 1+984	0,51	FALLADO
63	1+984 - 2+016	12,85	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.9.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 3

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
64	2+016 - 2+048	9,44	FALLADO
65	2+048 - 2+080	1,03	FALLADO
66	2+080 - 2+112	19,30	MUY MALO
67	2+112 - 2+144	25,10	MALO
68	2+144 - 2+176	4,87	FALLADO
69	2+176 - 2+208	19,09	MUY MALO
70	2+208 - 2+240	4,24	FALLADO
71	2+240 - 2+272	8,38	FALLADO
72	2+272 - 2+304	15,54	MUY MALO
73	2+304 - 2+336	37,09	MALO
74	2+336 - 2+368	45,02	REGULAR
75	2+368 - 2+400	38,68	MALO
76	2+400 - 2+432	6,10	FALLADO
77	2+432 - 2+464	28,28	MALO
78	2+464 - 2+496	32,98	MALO
79	2+496 - 2+528	14,52	MUY MALO
80	2+528 - 2+560	28,68	MALO
81	2+560 - 2+592	41,27	REGULAR
82	2+592 - 2+624	47,16	REGULAR
83	2+624 - 2+656	36,37	MALO
84	2+656 - 2+688	0,45	FALLADO
85	2+688 - 2+720	2,85	FALLADO
86	2+720 - 2+752	3,47	FALLADO
87	2+752 - 2+784	25,73	MALO
88	2+784 - 2+816	30,51	MALO
89	2+816 - 2+848	11,42	MUY MALO
90	2+848 - 2+880	11,81	MUY MALO
91	2+880 - 2+912	2,81	FALLADO
92	2+912 - 2+944	26,43	MALO
93	2+944 - 2+976	17,35	MUY MALO
94	2+976 - 3+008	24,57	MUY MALO

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.10.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 4

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
95	3+008 - 3+040	36,51	MALO
96	3+040 - 3+072	13,78	MUY MALO
97	3+072 - 3+104	51,96	REGULAR
98	3+104 - 3+136	26,18	MALO
99	3+136 - 3+168	42,15	REGULAR
100	3+168 - 3+200	0,66	FALLADO
101	3+200 - 3+232	38,92	MALO
102	3+232 - 3+264	27,81	MALO
103	3+264- 3+296	22,20	MUY MALO
104	3+296 - 3+328	40,19	REGULAR
105	3+328 - 3+360	22,07	MUY MALO
106	3+360 - 3+392	24,28	MUY MALO
107	3+392 - 3+424	42,84	REGULAR
108	3+424 - 3+456	35,23	MALO
109	3+456 - 3+488	44,91	REGULAR
110	3+488 - 3+520	21,46	MUY MALO
111	3+520 - 3+552	29,52	MALO
112	3+552 - 3+584	45,11	REGULAR
113	3+584 - 3+616	40,18	REGULAR
114	3+616 - 3+648	50,90	REGULAR
115	3+648 - 3+680	40,43	REGULAR
116	3+680 - 3+712	47,27	REGULAR
117	3+712 - 3+744	11,82	MUY MALO
118	3+744 - 3+776	29,67	MALO
119	3+776 - 3+808	33,92	MALO
120	3+808 - 3+840	53,50	REGULAR
121	3+840 - 3+872	29,54	MALO
122	3+872 - 3+904	50,60	REGULAR
123	3+904 - 3+936	47,69	REGULAR
124	3+936 - 3+968	43,66	REGULAR
125	3+968 - 4+000	42,62	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.11.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 5

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
126	4+000 - 4+032	69,32	BUENO
127	4+032 - 4+064	68,57	BUENO
128	4+064 - 4+096	46,70	REGULAR
129	4+096 - 4+128	75,06	MUY BUENO
130	4+128 - 4+160	78,31	MUY BUENO
131	4+160 - 4+192	53,15	REGULAR
132	4+192 - 4+224	57,39	BUENO
133	4+224 - 4+256	74,06	MUY BUENO
134	4+256 - 4+288	55,50	BUENO
135	4+288 - 4+320	69,35	BUENO
136	4+320 - 4+352	52,35	REGULAR
137	4+352 - 4+384	51,67	REGULAR
138	4+384 - 4+416	14,62	MUY MALO
139	4+416 - 4+448	36,08	MALO
140	4+448 - 4+480	52,96	REGULAR
141	4+480 - 4+512	44,86	REGULAR
142	4+512 - 4+544	19,05	MUY MALO
143	4+544 - 4+576	21,46	MUY MALO
144	4+576 - 4+608	64,37	BUENO
145	4+608 - 4+640	37,07	MALO
146	4+640 - 4+672	30,88	MALO
147	4+672 - 4+704	30,88	MALO
148	4+704 - 4+736	36,03	MALO
149	4+736 - 4+768	47,46	REGULAR
150	4+768 - 4+800	25,43	MALO
151	4+800 - 4+832	14,46	MUY MALO
152	4+832 - 4+864	23,06	MUY MALO
153	4+864 - 4+896	33,03	MALO
154	4+896 - 4+928	23,91	MUY MALO
155	4+928 - 4+960	27,43	MALO
156	4+960 - 4+992	11,20	MUY MALO
157	4+992 - 5+024	32,34	MALO

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.12.- Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) km 6,4

TRAMO DE EVALUACIÓN		ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
UNIDAD DE MUESTREO	PROGRESIVAS INICIAL - FINAL	VALOR DE (PCI)	CALIFICACIÓN
158	5+024 - 5+056	58,01	BUENO
159	5+056 - 5+088	18,24	MUY MALO
160	5+088 - 5+120	41,22	REGULAR
161	5+120 - 5+152	50,14	REGULAR
162	5+152 - 5+184	54,67	REGULAR
163	5+184 - 5+216	28,75	MALO
164	5+216 - 5+248	35,99	MALO
165	5+248 - 5+280	32,00	MALO
166	5+280 - 5+312	28,05	MALO
167	5+312 - 5+344	24,46	MUY MALO
168	5+344 - 5+376	39,45	MALO
169	5+376 - 5+408	18,02	MUY MALO
170	5+408 - 5+440	21,97	MUY MALO
171	5+440 - 5+472	26,01	MALO
172	5+472 - 5+504	44,20	REGULAR
173	5+504 - 5+536	19,43	MUY MALO
174	5+536 - 5+568	57,98	BUENO
175	5+568 - 5+600	28,96	MALO
176	5+600 - 5+632	16,14	MUY MALO
177	5+632 - 5+664	37,61	MALO
178	5+664 - 5+696	39,68	MALO
179	5+696 - 5+728	30,26	MALO
180	5+728 - 5+760	61,06	BUENO
181	5+760 - 5+792	47,02	REGULAR
182	5+792 - 5+824	44,64	REGULAR
183	5+824 - 5+856	46,34	REGULAR
184	5+856 - 5+888	32,05	MALO
185	5+888 - 5+920	56,28	BUENO
186	5+920 - 5+952	49,89	REGULAR
187	5+952 - 5+984	48,84	REGULAR
188	5+984 - 6+016	15,50	MUY MALO
189	6+016 - 6+048	11,33	MUY MALO
190	6+048 - 6+080	32,55	MALO
191	6+080 - 6+112	33,43	MALO
192	6+112 - 6+144	30,37	MALO
193	6+144 - 6+176	28,61	MALO
194	6+176 - 6+208	17,62	MUY MALO
195	6+208 - 6+240	25,03	MALO
196	6+240 - 6+272	39,87	MALO
197	6+272 - 6+304	44,03	REGULAR
198	6+304 - 6+336	25,34	MALO
199	6+336 - 6+368	56,49	BUENO
200	6+368 - 6+400	29,97	MALO

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2.2. Resultados de PCI por kilómetro de tramo evaluado

Cuadro 4.13 Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) por kilómetros

TRAMO EL GALLINAZO CAMPO FERIAL SAN JACINTO PROG. 0+000 a PROG. 6+400		
TRAMO DE EVALUACIÓN	ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PROGRESIVA	P.C.I. CALCULADO	CALIFICACIÓN
0+000 - 1+024	19.12	MUY MALO
1+024 - 2+016	23.49	MUY MALO
2+016 - 3+008	36.65	MALO
3+008 - 4+000	44.47	REGULAR
4+000 - 5+024	43.06	REGULAR
5+024 - 6+016	45.52	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

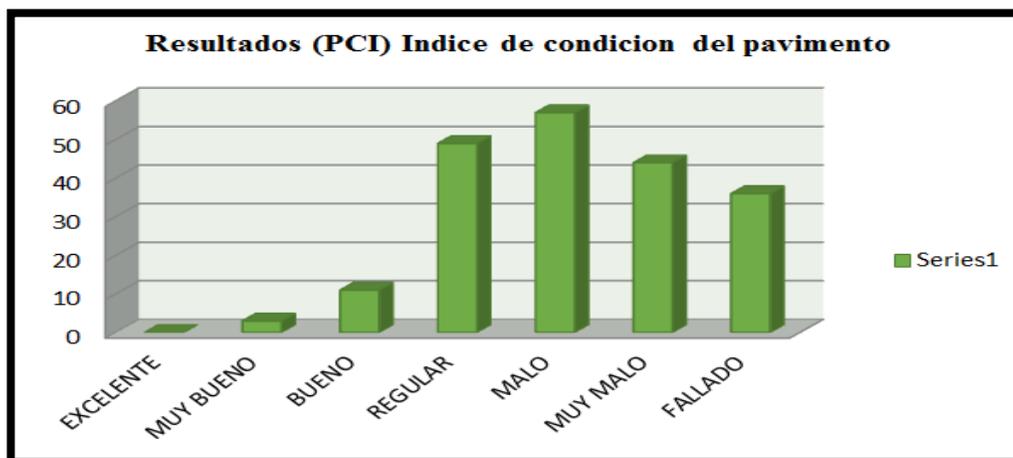
4.1.1.2.3. Resultados del estado de las unidades de muestreo del tramo

Cuadro 4.14 Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) del tramo

TRAMO EL GALLINAZO CAMPO FERIAL SAN JACINTO PROG. 0+000 a PROG. 6+400		
Tramo de evaluación	Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
PROGRESIVA	P.C.I. CALCULADO	CALIFICACION
0+000 – 6+400	41,74	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) del tramo



Fuente: Elaboración propia

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

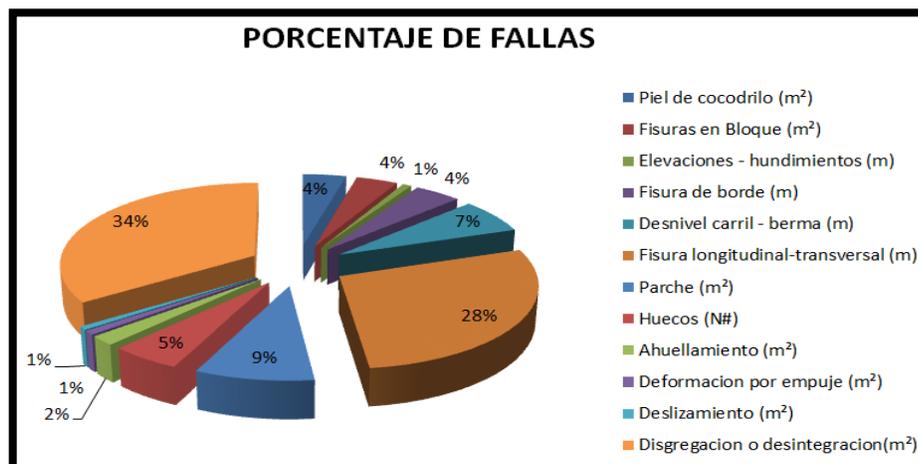
En los 6.4 km de trayecto de vía en el que se realizó la evaluación superficial por el método PCI índice de condición del pavimento se presentaron los siguientes tipos de fallas representativos para la metodología PCI.

Figura 4.4 Porcentaje de fallas PR 0+000 – PR 6+400 PCI

"EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"		
PROG. 0+000 a PROG. 6+400		
#	TIPO DE FALLA	% FALLA
1	Piel de cocodrilo (m ²)	3,99
2	Fisuras en Bloque (m ²)	3,85
3	Elevaciones - hundimientos (m)	0,83
4	Fisura de borde (m)	4,34
5	Desnivel carril - berma (m)	6,74
6	Fisura longitudinal-transversal (m)	28,36
7	Parche (m ²)	8,81
8	Huecos (N#)	5,23
9	Ahuellamiento (m ²)	1,93
10	Deformación por empuje (m ²)	0,83
11	Deslizamiento (m ²)	0,69
12	Disgregación o desintegración(m ²)	34,41
	Total	100,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Panel de fallas PR 0+000 – PR 6+400 PCI en %



Fuente: Elaboración propia

Las fallas predominantes en los 6.4 km de vía es la disgregación y desintegración, con un porcentaje 34.41% entre las fallas existentes en el tramo evaluado. La fisura longitudinal y transversal ocupa un segundo lugar con un 28.36% sobre el área total y el Parche ocupa el tercer lugar con un porcentaje del 8.81% sobre el área total, son las fallas que se presentan en mayor porcentaje lo cual se analiza seguidamente:

- **Disgregación y desintegración:** Es la pérdida de la superficie del pavimento, debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de calidad pobre, en este caso hay varios factores que podrían haber provocado la presencia de este tipo de falla, uno de ellos es debido a que el tramo fue construido como tratamiento superficial triple, por otro lado el tráfico que circula actualmente sobrepasa lo estimado al momento en el cual fue diseñado, cabe recalcar que en los primeros 2 kilómetros existe mayor presencia de este tipo de falla siendo las posibles causas nuevas instalaciones en el área de proyecto como ser; la fábrica de CONCRETEC trayendo con ella la circulación de tráfico pesado además el crecimiento poblacional en la zona hizo que el transporte público y particular tenga un incremento desmedido del tráfico, debido a lo descrito en líneas superiores se concluye que estos 2 primeros kilómetros la severidad es alta ya que se han perdido de forma considerable los agregados y el ligante. La textura superficial es sumamente rugosa y bastante ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores a 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm. Áreas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el asfalto ha perdido su condición ligante y los agregados se encuentran sueltos.
- **Fisura longitudinal-transversal:** Las grietas longitudinales y transversales ocupan el segundo lugar en el análisis de resultados con un porcentaje de fallas de 28.36% sobre el área total de estudio, estas se presentan debido a una junta de carril del pavimento pobremente construida, contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto

o al ciclo diario de temperatura, una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, este tipo de grietas no está asociado a las cargas 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 uno de ellos es que la carpeta es tratamiento superficial triple, por otro lado el tráfico en los últimos años se ha incrementado considerablemente ocasionando fisuras pequeñas que al presentarse precipitaciones pluviales hace que las mismas aumenten tamaño es decir su longitud en la mayor parte se puede apreciar claramente que la mayoría de las fallas de este tipo que se registraron son debido al deterioro de la carpeta asfáltica y no así en el paquete estructural, este análisis se pueden ser justificados con los valores de severidad obtenidos ya que para este tipo de fallas en su mayoría a partir de la progresiva 2+500 en adelante son de severidad baja y en el tramo que se presenta mayor tráfico pesado la severidad esta entre media y alta lo cual se debe a lo descrito en el punto anterior.

- **Parche:** Las fallas de tipo parche ocupan el tercer lugar con un porcentaje del 8.81%, un parche es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente, para el análisis de este tipo de falla no existe otro motivo más que el remplazo del pavimento debido al corte del mismo con fines de ampliar las instalaciones de agua potable ya que en el área del proyecto se han incrementado las urbanizaciones debido al crecimiento poblacional en el departamento, también hay casos en los cuales se dispuso a hacer el paso de una tubería o canal de riego debido a las sembradíos que actualmente producen los habitantes de las comunidades aledañas al área del proyecto en estudio, luego de realizar las actividades mencionadas se procede a resellar con pavimento nuevo ocasionando indirectamente una falla del tipo parche.

Cuadro 4.15 Resultados del índice de condición del pavimento (PCI) por kilómetros

TRAMO EL GALLINAZO CAMPO FERIAL SAN JACINTO PROG. 0+000 A PROG. 6+400		
TRAMO DE EVALUACIÓN	ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PROGRESIVA	P.C.I. CALCULADO	CALIFICACIÓN
0+000 - 1+024	19.12	MUY MALO
1+024 - 2+016	23.49	MUY MALO
2+016 - 3+008	36.65	MALO
3+008 - 4+000	44.47	REGULAR
4+000 - 5+024	43.06	REGULAR
5+024 - 6+016	45.52	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Rangos 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.

Mediante la obtención de resultados de PCI (índice de condición del pavimento) por kilómetro se puede observar resultados que difieren, existiendo valores desde MUY MALO hasta REGULAR, donde los kilómetros 1 y 2 que representan las progresivas (0+000 – 1+000) y (1+000 – 2+000) se tienen valores de PCI de 19.12 y 23.49 correspondiendo a una clasificación MUY MALO (10-25), y el kilómetro 3 que representa la progresiva (2+000 – 3+000) se tiene un valor de PCI de 36.65 correspondiendo a una clasificación MALO (20-40) siendo entre estas progresivas la mayor cantidad y severidad de fallas presentes dentro del tramo evaluado y en los kilómetros 4,5,6 que representan las progresivas (3+000 – 4+000), (4+000 – 5+000) y (5+000 – 6+400) se puede observar mediante los resultados obtenidos de PCI en los cuales se obtuvo resultados de PCI de REGULAR (40-60) dando como resultado una menor severidad de falla a comparación de los primeros tramos.

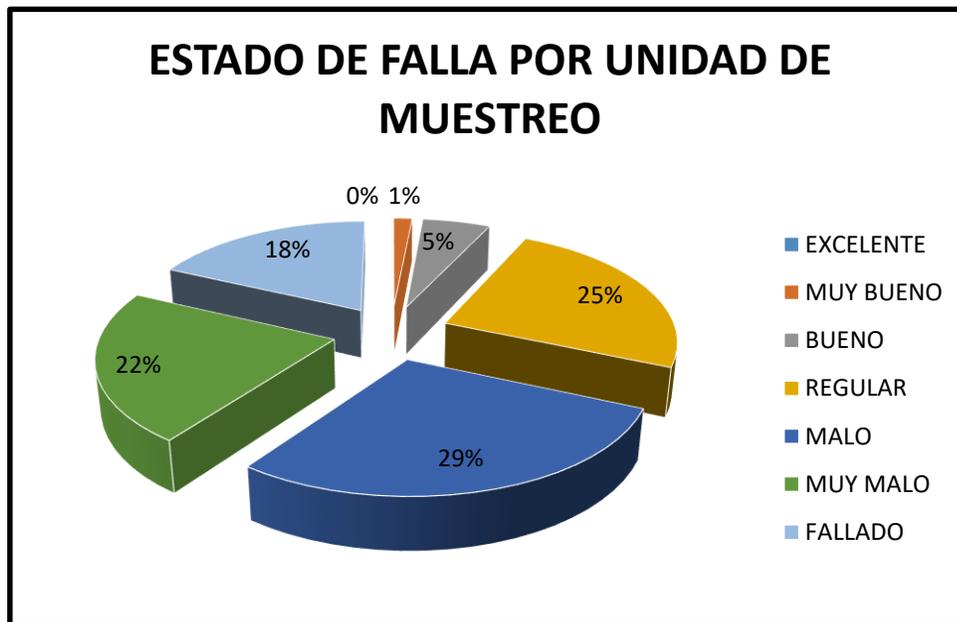
En el cuadro 4.3 se presenta el estado de las 200 unidades de muestreo para la metodología PCI, de acuerdo a la calificación para evaluar la condición del pavimento que corresponde a los 6.4 km de tramo evaluado.

Cuadro 4.16 Estado de las Unidades de Muestreo – PCI

EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO	
ESTADO	UNIDADES DE MUESTREO
EXCELENTE	0
MUY BUENO	2
BUENO	12
REGULAR	49
MALO	57
MUY MALO	42
FALLADO	36
TOTAL	200

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Estado de falla por unidad de muestreo – PCI



Fuente: Elaboración propia

El valor promedio del índice de condición del pavimento PCI en las 200 unidades de muestreo dio como resultado 41.74, que corresponde a una clasificación de REGULAR (ver cuadro 4.1)

4.1.2. Evaluación superficial por el método IFI

4.1.2.1. Procedimiento de cálculo del IFI (Índice de fricción del Internacional)

Para realizar el ensayo del círculo de arena se midieron tres diámetros por cada ensayo, debido a la cantidad de datos que se recolecto se realizó la exclusión de datos que se puedan salir de rango y que afecten significativamente los resultados.

Cuadro 4.17 Datos obtenidos del ensayo del círculo de arena.

ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA								
PROYECTO:		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"						
FECHA:	03/04/2016	OPERADOR:	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH					
PROGRESIVA:		VOLUMEN ARENA: (mm ²)	25000	Numero de Muestra:	1			
INICIAL	FINAL	# ENSAYO	CARRIL DE IDA El Gallinazo-Campo Ferial San Jacinto			CARRIL DE VUELTA Campo Ferial San Jacinto-El Gallinazo		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0+000	0+032	1	8,70	7,80	9,70	7,00	8,30	8,90
		2	8,30	9,10	9,50	7,10	9,10	9,10
		3	8,20	8,60	7,80	8,20	8,40	7,80
		4	8,80	8,50	8,30	8,70	9,40	8,60
		5	8,00	9,30	7,90	7,40	6,50	6,70

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la exclusión y aceptación de datos en mediante la siguientes ecuaciones, en función a los cálculos realizados se puede decir que los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena son aceptables por encontrarse dentro del rango medido.

$$x \pm 2 * \sigma$$

Dónde:

x: media aritmética

σ : desviación estándar

Calculo la media de los valores obtenidos:

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

$$x = \frac{128.50}{15}$$

$$x = 8,57$$

Desviación estándar de los valores obtenidos:

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{128.50}{15}}$$

$$\sigma = 0.61$$

Verificación de los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena.

$$x \pm 2 * \sigma$$

$$8,57 + 2 * 0,61$$

$$8,57 - 2 * 0,61$$

$$x + 2 * \sigma = 9,79$$

$$x - 2 * \sigma = 7,34$$

Se puede observar que todos los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena entran dentro del rango por tanto no se depura ninguno de ellos.

Cuadro 4.18 Revisión de datos obtenidos del ensayo del círculo de arena.

CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)								
ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA								
PROYECTO:		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"						
FECHA:	03/04/2016	OPERADOR:	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH					
PROGRESIVA:		VOLUMEN ARENA: (mm ³)	25000			Numero de Muestra:	1	
INICIAL	FINAL	# ENSAYO	CARRIL DE IDA El Gallinazo-Campo Ferial San Jacinto			CARRIL DE VUELTA Campo Ferial San Jacinto-El Gallinazo		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0+000	0+032	1	8,70	7,80	9,70	7,00	8,30	8,90
		2	8,30	9,10	9,50	7,10	9,10	9,10
		3	8,20	8,60	7,80	8,20	8,40	7,80
		4	8,80	8,50	8,30	8,70	9,40	8,60
		5	8,00	9,30	7,90	7,40	6,50	6,70
		Media (x)		8,57	85,67	Media	8,08	80,80
		Desviación Estándar		0,61		Desv. Est.	0,94	
		x±2σ		9,79	7,34	x±2σ	9,96	6,20

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la macrotextura (Tx) se determina con la siguiente ecuación, se utilizó un volumen de 25000 mm³ y para el diámetro se usó la media de los valores obtenidos del ensayo para cada punto de muestra.

$$Tx = \frac{4 * V}{\mu * Dp^2}$$

$$Tx = \frac{4 * 25000 \text{ mm}^3}{\mu * (85,67 \text{ mm})^2}$$

$$Tx = 4,34 \text{ mm}$$

Cuadro 4.19 Revisión de datos obtenidos del ensayo del círculo de arena por carril.

CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)								
ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA								
PROYECTO:		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"						
FECHA:	03/04/2016	OPERADOR:	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH					
PROGRESIVA:		VOLUMEN ARENA: (mm ³)	25000		Numero de Muestra:		1	
INICIAL	FINAL	# ENSAYO	CARRIL DE IDA El Gallinazo-Campo Ferial San Jacinto			CARRIL DE VUELTA Campo Ferial San Jacinto-El Gallinazo		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0+000	0+032	1	8,70	7,80	9,70	7,00	8,30	8,90
		2	8,30	9,10	9,50	7,10	9,10	9,10
		3	8,20	8,60	7,80	8,20	8,40	7,80
		4	8,80	8,50	8,30	8,70	9,40	8,60
		5	8,00	9,30	7,90	7,40	6,50	6,70
		Media (x)		8,57	85,67	Media (x)	8,08	80,80
		Tx		4.34		Tx	4.88	

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la velocidad de referencia (S_p) se determina con la siguiente ecuación, asumiendo los valores $a = -11.5981$ y $b = 113.63246$ según la norma ASTM E 965.

$$S_p = a + b * T_x$$

$$S_p = -11.5981 + 113.63246 * 4.34$$

$$S_p = 442,56 \text{ Km/}$$

Cuadro 4.20 Datos obtenidos del ensayo del Péndulo Británico.

PENDULO BRITANICO			
PROYECTO:	TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"		
FECHA:	03/04/2016	OPERADOR:	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH

PROGRESIVA:		TEMPERATURA: (° C)		32		Numero de Muestra:		1				
INICIAL	FINAL	N°	CARRIL DE IDA El Gallinazo-Campo Ferial San Jacinto					CARRIL DE VUELTA Campo Ferial San Jacinto-El Gallinazo				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
0+000	0+032	1	85	85	85	80	85	90	90	85	85	90
		2	85	85	90	90	90	85	85	90	90	90
		3	90	95	90	85	85	85	95	85	85	90
		4	90	90	90	80	85	75	75	80	85	85
		5	85	90	85	85	85	90	90	95	85	90

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos las mediciones del ensayo del péndulo británico y las mediciones del ensayo del círculo de arena se procede de la siguiente manera para el cálculo del IFI (Índice de fricción internacional), se calcula el valor de fricción del pavimento para una velocidad de 60 km/h “FR60”, se utiliza el valor promedio de fricción de las mediciones obtenidas en campo “FRS” (mediciones realizadas en la unidad de muestra que se realizó el ensayo del círculo de arena) con un valor de S=10 Km/h se obtiene.

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

$$FR60 = 86,80 * e^{\frac{(10-60)}{442.56}}$$

$$FR60 = 77,53$$

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

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0.078 + 0.01071 * 77,53$$

$$F60 = 0,912$$

El valor del IFI está representado por:

$$IFI = (F60, Sp)$$

$$IFI = (0,91, 442,56)$$

Cuadro 4.21.- Resultados del índice de fricción internacional (IFI)

CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)									
ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA									
PROYECTO:		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"							
FECHA:	03/04/2016	OPERADOR:	CRUZ ALEMAN ESTHER ELIZABETH						
PROGRESIVA:		VOLUMEN ARENA: (mm ")	25000	Numero de Muestra:	1				
INICIAL	FINAL	# ENSAYO	CARRIL DE IDA El Gallinazo-Campo Ferial San Jacinto			CARRIL DE VUELTA Campo Ferial San Jacinto-El Gallinazo			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
0+000	0+032	1	8,70	7,80	9,70	7,00	8,30	8,90	
		2	8,30	9,10	9,50	7,10	9,10	9,10	
		3	8,20	8,60	7,80	8,20	8,40	7,80	
		4	8,80	8,50	8,30	8,70	9,40	8,60	
		5	8,00	9,30	7,90	7,40	6,50	6,70	
		Media		8,57		85,67	Media	8,08	80,80
		Desv. Est.			0,61		Desv. Est.		0,94
		$x \pm 2\sigma$			9,79	7,34	$x \pm 2\sigma$	9,96	6,20
		Tx			4,34		Tx	4,88	
		Sp		442,56		Sp	497,48		

PENDULO BRITANICO								
PROGRESIVA:		N°	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Promedio FRS
INICIAL	FINAL	1	85,00	85,00	85,00	80,00	85,00	84,00
		2	85,00	85,00	90,00	90,00	90,00	88,00
0+000	0+032	3	90,00	95,00	90,00	85,00	85,00	89,00
		4	90,00	90,00	90,00	80,00	85,00	87,00
CARRIL DE IDA		5	85,00	90,00	85,00	85,00	85,00	86,00
PROGRESIVA:		N°	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Promedio FRS
INICIAL	FINAL	1	90,00	90,00	85,00	85,00	90,00	88,00
		2	85,00	85,00	90,00	90,00	90,00	88,00
0+000	0+032	3	85,00	95,00	85,00	85,00	90,00	88,00
		4	75,00	75,00	80,00	85,00	85,00	80,00
CARRIL DE VUELTA		5	90,00	90,00	95,00	85,00	90,00	90,00

S (Km/h)	10	FRS	86,80	FRS	86,80
CARRIL DE IDA	FR60 =	77,53	Calificación Textura	Calificación de la Fricción	
	F60 =	0,91			
	IFI (F60 , Sp)		Muy Gruesa	MALO (Desgaste de los neumáticos)	
	0,91	442,56			
PROM (I:D)		0,91	470,02		
CARRIL DE VUELTA	FR60 =	78,50			

	F60 =	0,92	Calificación Textura	Calificación de la Fricción
	IFI (F60 , Sp) =		Muy Gruesa	MALO (Desgaste de los neumáticos)
	0,92	497,48		

Fuente: Elaboración propia

Se repite todo el procedimiento de cálculo anteriormente descrito para todas las unidades de muestreo existentes en el tramo evaluado “El gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”.

4.1.2.2. Resultados

4.1.2.2.1. Resultados del Índice de fricción internacional (IFI)

Cuadro 4.22 Resultados del Índice de fricción internacional (IFI)

CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)									
PROYECTO :		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"							
Progresiva:		Numero de muestra	Carril	IFI (F60, Sp)		IFI (Prom.)		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
Inicial	Final			F60	Sp	F60	Sp		
0+352	0+384	1	Ida	0,91	442,56	0,91	470,02	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
			Vuelta	0,92	497,48				
0+384	0+416	2	Ida	0,91	436,42	0,91	436,42	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
			Vuelta	0,89	447,42				
0+416	0+448	3	Ida	0,91	477,57	0,91	477,57	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
			Vuelta	0,91	457,39				
0+448	0+480	4	Ida	0,92	587,80	0,92	587,80	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
			Vuelta	0,90	584,65				
0+480	0+512	5	Ida	0,92	618,47	0,92	618,47	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
			Vuelta	0,88	581,52				
1+024	1+056	6	Ida	0,51	116,46	0,51	116,46	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,61	100,91				
1+056	1+088	7	Ida	0,67	292,36	0,67	292,36	Muy Gruesa	Bueno
			Vuelta	0,63	295,34				
1+088	1+120	8	Ida	0,58	176,46	0,58	176,46	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,55	179,62				
1+120	1+152	9	Ida	0,50	111,16	0,50	111,16	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,50	114,44				
1+152	1+184	10	Ida	0,50	123,76	0,50	123,76	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,51	143,58				

2+688	2+720	11	Ida	0,52	121,05	0,52	121,05	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,52	138,50				
2+720	2+752	12	Ida	0,53	171,04	0,53	171,04	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,53	174,57				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.23 CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)

CALCULO DEL IFI (Índice de Fricción Internacional)									
PROYECTO :		TRAMO "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"							
Progresiva:		Numero de muestra	Carril	IFI (F60, Sp)		IFI (Prom.)		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
Inicial	Final			F60	Sp	F60	Sp		
2+752	2+784	13	Ida	0,50	105,41	0,50	105,41	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,47	98,41				
2+784	2+816	14	Ida	0,52	147,35	0,52	147,35	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,52	148,01				
2+816	2+850	15	Ida	0,50	130,21	0,50	130,21	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,51	133,34				
3+136	3+168	16	Ida	0,52	130,21	0,51	130,21	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,51	133,34				
3+168	3+200	17	Ida	0,49	115,17	0,50	115,17	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,50	117,77				
4+448	4+480	18	Ida	0,51	130,21	0,51	130,21	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,53	133,34				
5+824	5+856	19	Ida	0,52	96,00	0,51	96,00	Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,50	104,77				
5+856	5+888	20	Ida	0,59	148,41	0,59	148,41	Muy Gruesa	De regular a bueno
			Vuelta	0,59	152,23				

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.2. Resultados del IFI por kilómetro de tramo evaluado

Cuadro 4.24 Resultados del IFI por kilómetro de tramo evaluado

Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) por Km						
PROYECTO:						
Progresiva:		Km	IFI (F60, Sp)		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+352	0+512	1	0,92	518,06	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)

1+024	1+184	2	0,92	587,80	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
2+688	2+850	3	0,91	436,42	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
3+136	3+200	4	0,56	122,69	Gruesa	De regular a bueno
4+448	4+480	5	0,59	130,21	Gruesa	De regular a bueno
5+824	5+888	6	0,53	122,21	Muy gruesa	De regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2.3. Resultados del IFI del tramo evaluado

Cuadro 4.25 Resultados del IFI del tramo evaluado

Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)					
PROYECTO:					
Progresiva:		IFI (F60, Sp)		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
Inicial	Final	F60	Sp		
0+352	5+888	0,74	319,56	Muy Gruesa	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.26 Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) por Km

Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) por Km						
PROYECTO:						
Progresiva:		Km	IFI (F60, Sp)		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+352	0+512	1	0,92	518,06	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
1+024	1+184	2	0,92	587,80	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
2+688	2+850	3	0,91	436,42	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
3+136	3+200	4	0,56	122,69	Gruesa	De regular a bueno
4+448	4+480	5	0,59	130,21	Gruesa	De regular a bueno
5+824	5+888	6	0,53	122,21	Muy gruesa	De regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

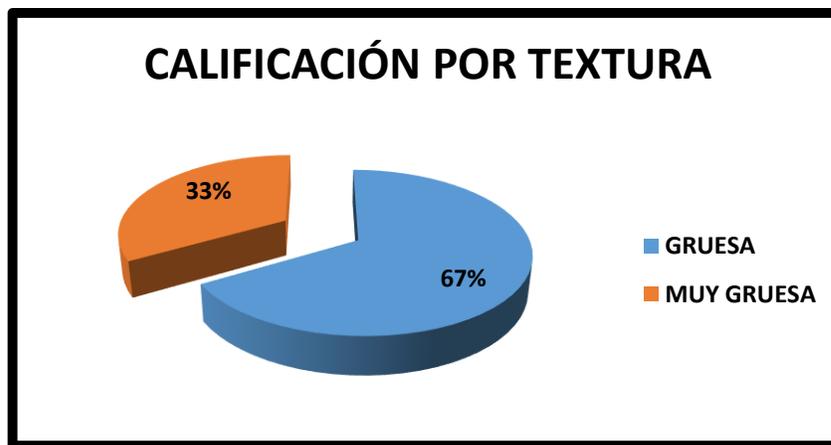
4.1.2.3. Análisis de resultados del IFI (índice de fricción internacional)

En los 6.4 km de trayecto de vía en el que se realizó la evaluación superficial determinando el índice de fricción internacional IFI se presentaron los siguientes resultados tanto de los valores IFI como así también de la calificación de la textura y fricción.

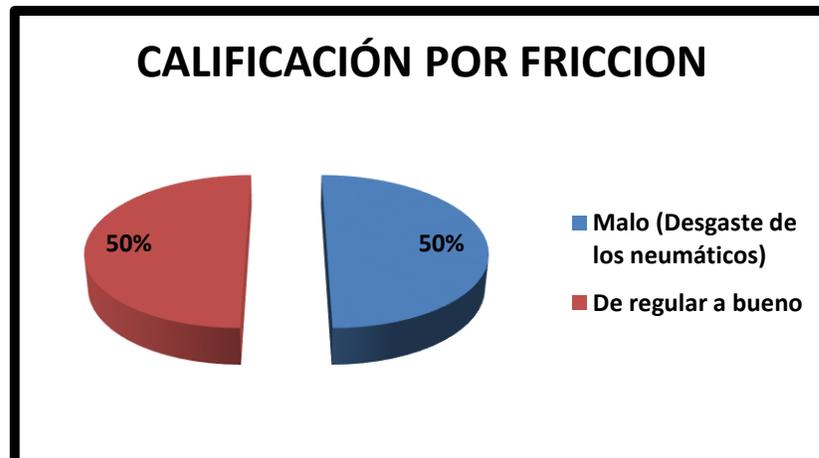
Cuadro 4.27 Resultados del IFI (clasificación por textura y fricción) por Km

"EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"				
PROG. 0+000 a PROG. 6+400				
Km	IFI		Calificación Textura	Calificación de la Fricción
	F60	Sp		
1	0,92	518,06	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
2	0,92	587,80	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
3	0,91	436,42	Muy Gruesa	Malo (Desgaste de los neumáticos)
4	0,56	122,69	Gruesa	De regular a bueno
5	0,59	130,21	Gruesa	De regular a bueno
6	0,53	122,21	Muy gruesa	De regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Porcentaje de calificación da la Textura

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Porcentaje de calificación de la Fricción

Fuente: Elaboración propia

En la calificación por la Textura los resultados predominantes en la carpeta asfáltica son las de textura Muy Gruesa y en la calificación por Fricción son los de características similares ya que presenta un 50% de superficie asfáltica mala que origina el desgaste de los neumáticos por otro lado se tiene también un 50% de carpeta asfáltica de regular a bueno en los 6.4 km de vía evaluada es la disgregación y desintegración, con un porcentaje, para lo cual se desarrolla un análisis para determinar la posibles causas de los valores representados en los gráficos:

- Calificación de la Fricción:** Se puede apreciar claramente en los resultados obtenidos del ensayo del Péndulo Británico que en los primeros 3 kilómetros se presenta valores de fricción entre 0.91 a 0.92, en la tabla que se muestra más adelante se sitúa en el último puesto con una calificación de *Malo (Desgaste de los neumáticos)*, por lo cual en los posteriores 3 kilómetros presenta valores de 0.53 a 0.59 la cual relacionando con la tabla de los valores de fricción del péndulo británico se sitúa en el segundo lugar con una calificación de *De regular a bueno*, se puede concluir el presente análisis de la misma manera a los anteriores ensayos realizados ya que en este primer tramo el tráfico se ha incrementado considerablemente en los últimos años lo cual ocasiono el desgaste de la carpeta asfáltica.

Cuadro 4.28 Valores de fricción con péndulo británico

Fricción	Calificación
< 0,5	Malo (Deslizamiento del vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De bueno a regular
> 0,91	Malo (Desgaste de los neumáticos)

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

- Calificación de la Textura:** En los resultados obtenidos para la calificación de la textura desde progresiva 0+000 a 2+500 aproximadamente presentan valores mayores a 1.2 del Hs o Tx, ya que en este tramo se presenta mayor porcentaje

de disgregación y desintegración de la carpeta asfáltica lo cual se demuestra en los resultados obtenidos para el método PCI.

Figura 4.10 Porcentaje de fallas PR 0+000 – PR 6+400 PCI

"EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"		
PROG. 0+000 a PROG. 6+400		
#	TIPO DE FALLA	% FALLA
1	Piel de cocodrilo (m ²)	3,99
2	Fisuras en Bloque (m ²)	3,85
3	Elevaciones - hundimientos (m)	0,83
4	Fisura de borde (m)	4,34
5	Desnivel carril - berma (m)	6,74
6	Fisura longitudinal-transversal (m)	28,36
7	Parche (m ²)	8,81
8	Huecos (N#)	5,23
9	Ahuellamiento (m ²)	1,93
10	Deformación por empuje (m ²)	0,83
11	Deslizamiento (m ²)	0,69
12	Disgregación o desintegración(m²)	34,41
	Total	100,00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar la Figura 4.4 el tipo de falla N° 12 presenta una porcentaje de *Disgregación o desintegración del 31.41%* de toda el área evaluada, la disgregación y desintegración son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado haciendo que se obtenga valores altos del Hs o Tx llegando a tener *Textura Muy Gruesa*.

Cuadro 4.29 Textura en pavimento para el círculo de arena

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

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial

El análisis general de los ensayos realizados tanto del círculo de arena como también del IFI índice de fricción internacional en los 6.4 km del tramo el gallinazo - campo ferial san Jacinto se ubicaron unidades de muestra basándose en los resultados obtenidos del PCI índice de condición del pavimento realizando los ensayos en las unidades de muestreo que presentaban los valores más bajos de PCI índice de condición del pavimento obteniendo valores de IFI de (0.92; 518.06) a (0.53; 122.21) obteniendo calificaciones de textura desde muy gruesa a gruesa y calificaciones de fricción desde malo (Desgaste de los neumáticos) y (De regular a bueno) donde los valores obtenidos los expresan el estado en el que se encuentra el tramo, donde se debe considerar que por el estado de la vía existe un desgaste de los neumáticos de los vehículos que transitan por el tramo.

4.2. Procedimiento de Evaluación Estructural

4.2.1. Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento.

Una vez recogidos los datos de campo en el tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”, como las lecturas que se toman en el dial corresponden a componentes de deformación en un proceso de descarga el valor o lectura final será menor que el inicial tal como se puede observar en el formato de cálculo de deflexiones, se procede a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son la deflexión máxima y el radio de curvatura a continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de los mismos:

Calculo de la deflexión máxima:

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

$$D_o = 2.00 * (96 - 68)$$

$$D_o = 64 * 10^{-2} mm$$

Factor de corrección por temperatura:

EL valor de deflexión máxima obtenido debe corregirse por temperatura ya que las medidas deben llevarse a una temperatura estándar de 20°C, para poder realizar comparaciones entre diferentes tramos la medición de temperatura del pavimento para el punto de ensayo descrito fue de 22.10°C, el valor de deflexión máxima debe corregirse usando la siguiente expresión:

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

$$D_{20} = \frac{64}{0.001 \frac{^{\circ}C}{cm} * (22.10^{\circ}C - 20^{\circ}C) * 3cm + 1}$$

$$D_{20} = 63.60 * 10^{-2}mm$$

Factor de corrección por estacionalidad:

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. Debido a que el ensayo se realizó en época seca se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Según el estudio CONVERIAL (Consortio de Rehabilitación Vial) propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrazante y la época en que se realizan los ensayos, para el caso ensayo del tramo el Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto realizando la clasificación del suelo de subrazante según AASHTO es un suelo A-6 (suelo arcilloso) en función a los datos obtenidos se adopta un factor de corrección por estacionalidad (fce) = 1.3

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

$$DO = 63.60 * 1.3$$

$$DO = 82.68 * 10^{-2}mm$$

Deflexión a la distancia de 25 cm

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

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

$$D_{25} = 2.00 * (96 - 68)$$

$$D_{25} = 56 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$D_{25'} = \frac{56}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (22.10^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * 3\text{cm} + 1}$$

$$D_{25'} = 55.65 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por estacionalidad:

$$D_{25} = D_{25'} * F_{ce}$$

$$D_{25} = 55.65 * 1.3$$

$$D_{25} = 72.34 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Radio de curvatura

La curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 25 cm, a partir de la deflexión máxima

Para la determinación del radio de dicha curvatura se ha establecido la siguiente expresión empírica:

$$Rc = \frac{10 * (25^2)}{K * (Do - D25)}$$

$$Rc = \frac{6250}{2.00 * (82.68 - 72.34)}$$

$$Rc = 302.37 \text{ m}$$

Deflexión admisible

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

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

N18 = Número total de ejes equivalentes DE 8.2 Ton.

Debido a que el tramo El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto fue construido por SEDECA el servicio departamental de caminos SEDECA quien no cuenta con datos sobre el tramo mencionado, es que se realizó la determinación del número de ESALs o número de ejes equivalentes mediante el procedimiento simplificado que sirve para realizar una rápida estimación de ESALs.

El número de ejes equivalentes será ESALs = 1.060.260 para un periodo de 20 años

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

$$Da = \left(\frac{1.15}{1.060260} \right)^{1/4}$$

$$Da = 102.05 * 10^{-2} \text{ mm}$$

El pavimento del tramo el Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

4.2.2. Resultados

4.2.2.1. Resultados parciales de la evaluación estructural

Cuadro 4.30 Resultados parciales de la evaluación estructural (C-Derecho)

EVALUACION ESTRUCTURAL														
TRAMO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
Tramo:	0+000 a 6+400		Relación de Brazos:	1 a 2		Presión (Psi)	80							
Estructura:	Pavimento Flexible		Carga Eje (Kilos):	8200		Carril	Derecho / Ida							
Fecha:	08/05/2016		Realizado por:	Cruz Alemán Esther Elizabeth										
N° Ensayo	Progresiva:	Carril	Temp. °C	Deflexiones a las distancias de:								D0	D25	RC
				Lo 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
1	0+000	Ida/Der.	19,9	75,42	52,02	52,02	46,81	39,01	31,21	23,41	0,00	75,4	52,0	133,5
2	0+200	Ida/Der.	19,9	62,42	41,61	36,41	31,21	23,41	15,60	5,20	0,00	62,4	41,6	150,2
3	0+400	Ida/Der.	19,9	88,43	57,22	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	88,4	57,2	100,1
4	0+600	Ida/Der.	19,9	65,02	49,41	44,21	39,01	31,21	23,41	2,60	0,00	65,0	49,4	200,3
5	0+800	Ida/Der.	19,9	80,62	57,22	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	80,6	57,2	133,5
6	1+000	Ida/Der.	22,1	82,68	54,62	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	82,7	54,6	111,4
7	1+200	Ida/Der.	22,1	74,93	46,81	41,61	36,41	28,61	20,81	10,40	0,00	74,9	46,8	111,2
8	1+400	Ida/Der.	22,1	80,10	54,62	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	80,1	54,6	122,6
9	1+600	Ida/Der.	22,1	74,93	44,21	39,01	33,81	26,01	18,21	7,80	0,00	74,9	44,2	101,7
10	1+800	Ida/Der.	22,1	82,68	72,82	67,62	62,42	54,62	44,21	33,81	0,00	82,7	72,8	317,0
11	2+000	Ida/Der.	22,1	69,76	52,02	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	69,8	52,0	176,1

12	2+200	Ida/Der.	22,1	77,51	52,02	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	77,5	52,0	122,6
13	2+400	Ida/Der.	22,1	85,26	78,02	72,82	67,62	59,82	52,02	41,61	0,00	85,3	78,0	431,7
14	2+600	Ida/Der.	22,1	56,84	46,81	41,61	36,41	28,61	20,81	10,40	0,00	56,8	46,8	311,6
15	2+800	Ida/Der.	24,3	79,57	65,02	59,82	54,62	46,81	39,01	28,61	0,00	79,6	65,0	214,7
16	3+000	Ida/Der.	24,3	87,27	80,62	75,42	70,22	62,42	54,62	44,21	0,00	87,3	80,6	469,9
17	3+200	Ida/Der.	24,3	84,71	75,42	70,22	65,02	57,22	49,41	39,01	0,00	84,7	75,4	336,6
18	3+400	Ida/Der.	24,3	71,87	57,22	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	71,9	57,2	213,2
19	3+600	Ida/Der.	24,3	77,01	54,62	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	77,0	54,6	139,6
20	3+800	Ida/Der.	24,3	66,74	49,41	44,21	39,01	31,21	23,41	15,60	0,00	66,7	49,4	180,4
21	4+000	Ida/Der.	24,3	89,84	67,62	62,42	57,22	49,41	41,61	31,21	0,00	89,8	67,6	140,6
22	4+200	Ida/Der.	24,3	79,57	59,82	54,62	49,41	41,61	33,81	23,41	0,00	79,6	59,8	158,2
23	4+400	Ida/Der.	24,3	74,44	67,62	62,42	57,22	49,41	41,61	31,21	0,00	74,4	67,6	458,2
24	4+600	Ida/Der.	25,2	74,24	59,82	54,62	49,41	41,61	33,81	23,41	0,00	74,2	59,8	216,7
25	4+800	Ida/Der.	25,2	76,80	67,62	62,42	57,22	49,41	41,61	31,21	0,00	76,8	67,6	340,4
26	5+000	Ida/Der.	25,2	81,92	72,82	67,62	62,42	54,62	46,81	36,41	0,00	81,9	72,8	343,4
27	5+200	Ida/Der.	25,2	69,12	62,42	57,22	52,02	44,21	36,41	26,01	0,00	69,1	62,4	466,2
28	5+400	Ida/Der.	25,2	84,48	70,22	65,02	59,82	52,02	44,21	33,81	0,00	84,5	70,2	219,1
29	5+600	Ida/Der.	26,8	84,08	80,62	75,42	70,22	62,42	54,62	44,21	0,00	84,1	80,6	903,1
30	5+800	Ida/Der.	26,8	71,34	62,42	57,22	52,02	44,21	36,41	23,41	0,00	71,3	62,4	350,1
31	6+000	Ida/Der.	26,8	73,89	65,02	59,82	54,62	46,81	39,01	28,61	0,00	73,9	65,0	352,2
32	6+200	Ida/Der.	26,8	78,99	65,02	59,82	54,62	46,81	39,01	28,61	0,00	79,0	65,0	223,7
33	6+400	Ida/Der.	20,3	85,72	75,42	70,22	65,02	57,22	44,21	20,81	0,00	85,7	75,4	303,4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.31 Resultados parciales de la evaluación estructural (C-izquierdo)

EVALUACION ESTRUCTURAL														
TRAMO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
Tramo:		0+000 a 6+400			Relación de Brazos:		1 a 2		Presión (Psi)		80			
Estructura:		Pavimento Flexible			Carga Eje (Kilos):		8200		Carril		Izquierdo /Vuelta			
Fecha:		09/05/2016			Realizado por:		Cruz Alemán Esther Elizabeth							
N° Ensayo	Progresiva:	Carril	Temp. °C	Deflexiones a las distancias de:								D0	D25	RC
				Lo 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
34	0+000	Vuelta/Izq.	20,3	77,93	72,82	72,82	67,62	59,82	52,02	41,61	0,00	77,93	72,82	611,78
35	0+200	Vuelta/Izq.	20,3	83,13	52,02	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	83,13	52,02	100,45
36	0+400	Vuelta/Izq.	20,3	77,93	44,21	36,41	31,21	23,41	15,60	5,20	0,00	77,93	44,21	92,68
37	0+600	Vuelta/Izq.	20,3	75,33	46,81	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	75,33	46,81	109,58
38	0+800	Vuelta/Izq.	20,3	75,33	57,22	54,62	49,41	41,61	33,81	23,41	0,00	75,33	57,22	172,51
39	1+000	Vuelta/Izq.	20,3	83,13	57,22	57,22	52,02	44,21	36,41	26,01	0,00	83,13	57,22	120,62
40	1+200	Vuelta/Izq.	22,7	82,53	49,41	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	82,53	49,41	94,36
41	1+400	Vuelta/Izq.	22,7	74,79	44,21	41,61	36,41	28,61	20,81	10,40	0,00	74,79	44,21	102,19
42	1+600	Vuelta/Izq.	22,7	77,37	57,22	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	77,37	57,22	155,04
43	1+800	Vuelta/Izq.	22,7	67,06	41,61	41,61	36,41	28,61	20,81	10,40	0,00	67,06	41,61	122,82
44	2+000	Vuelta/Izq.	24,2	82,16	52,02	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	82,16	52,02	103,65

45	2+200	Vuelta/Izq.	24,2	74,46	52,02	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	74,46	52,02	139,22
46	2+400	Vuelta/Izq.	24,2	82,16	70,22	67,62	62,42	54,62	46,81	36,41	0,00	82,16	70,22	261,65
47	2+600	Vuelta/Izq.	24,2	89,87	83,22	83,22	78,02	70,22	62,42	52,02	0,00	89,87	83,22	470,44
48	2+800	Vuelta/Izq.	24,2	74,46	65,02	62,42	57,22	49,41	41,61	31,21	0,00	74,46	65,02	330,96
49	3+000	Vuelta/Izq.	24,2	77,03	62,42	59,82	54,62	46,81	39,01	28,61	0,00	77,03	62,42	213,88
50	3+200	Vuelta/Izq.	24,2	82,16	62,42	62,42	57,22	49,41	41,61	31,21	0,00	82,16	62,42	158,26
51	3+400	Vuelta/Izq.	25,9	76,64	62,42	59,82	54,62	46,81	39,01	28,61	0,00	76,64	62,42	219,69
52	3+600	Vuelta/Izq.	25,9	76,64	46,81	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	76,64	46,81	104,76
53	3+800	Vuelta/Izq.	25,9	71,53	46,81	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	71,53	46,81	126,42
54	4+000	Vuelta/Izq.	26,1	81,70	59,82	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	81,70	59,82	142,78
55	4+200	Vuelta/Izq.	26,1	86,81	75,42	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	86,81	75,42	274,39
56	4+400	Vuelta/Izq.	26,1	74,04	54,62	54,62	49,41	41,61	33,81	23,41	0,00	74,04	54,62	160,85
57	4+600	Vuelta/Izq.	26,5	79,06	52,02	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	79,06	52,02	115,56
58	4+800	Vuelta/Izq.	26,5	76,51	52,02	44,21	39,01	31,21	23,41	13,00	0,00	76,51	52,02	127,59
59	5+000	Vuelta/Izq.	26,5	84,16	65,02	65,02	59,82	52,02	44,21	33,81	0,00	84,16	65,02	163,28
60	5+200	Vuelta/Izq.	27,4	89,02	78,02	57,22	52,02	44,21	36,41	26,01	0,00	89,02	78,02	284,08
61	5+400	Vuelta/Izq.	27,4	76,31	70,22	70,22	65,02	57,22	49,41	39,01	0,00	76,31	70,22	513,56
62	5+600	Vuelta/Izq.	29,6	68,23	52,02	52,02	46,81	39,01	31,21	20,81	0,00	68,23	52,02	192,67
63	5+800	Vuelta/Izq.	29,6	80,87	65,02	57,22	52,02	44,21	36,41	26,01	0,00	80,87	65,02	197,14
64	6+000	Vuelta/Izq.	30,2	78,21	49,41	49,41	44,21	36,41	28,61	18,21	0,00	78,21	49,41	108,54
65	6+200	Vuelta/Izq.	30,5	73,10	49,41	46,81	41,61	33,81	26,01	15,60	0,00	73,10	49,41	131,95
66	6+400	Vuelta/Izq.	30,5	83,18	75,42	57,22	52,02	44,21	36,41	26,01	0,00	83,18	75,42	402,85

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Resultados por kilometro

Cuadro 4.32 Resultados parciales de la evaluación estructural por KM (C-Derecho)

EVALUACION ESTRUCTURAL														
TRAMO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
Tramo:		0+000 a 6+400			Relación de Brazos:			1 a 2		Presión (Psi)		80		
Estructura:		Pavimento Flexible			Carga Eje (Kilos):			8200		Carril		Derecho /Izquierdo		
Fecha:		09/05/2016			Realizado por:			Cruz Alemán Esther Elizabeth						
N° Ensayo	Progresiva:	Carril	Temp. °C	Deflexiones a las distancias de:								D0	D25	RC
				Lo 0 cm	L 25 25 cm	L 50 50 cm	L 75 75 cm	L 100 100 cm	L 200 200 cm	L 300 300 cm	L 500 500 cm			
1	1+000	Ida/Der.	19,9	88,89	65,80	62,42	57,22	49,41	41,61	30,17	0,00	89	66	196
2	2+000	Ida/Der.	19,9	78,79	53,06	49,41	44,21	36,41	28,35	17,95	0,00	79	53	254

3	3+000	Ida/Der.	22,1	84,69	69,18	65,80	60,60	52,80	44,99	34,59	0,00	85	69	355
4	4+000	Ida/Der.	22,1	81,50	64,24	61,12	55,92	48,11	40,31	30,17	0,00	82	64	338
5	5+000	Ida/Der.	24,3	79,30	61,64	54,62	49,41	41,61	33,81	23,41	0,00	79	62	241
6	6+400	Ida/Der.	26,2	82,43	69,73	64,04	58,84	51,04	42,91	31,53	0,00	82	70	332

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3. Resultados de la evaluación estructural del tramo

Cuadro 4.33 Resultados parciales de la evaluación estructural por KM (C-Izquierdo)

EVALUACION ESTRUCTURAL														
TRAMO: "EL GALLINAZO - CAMPO FERIAL SAN JACINTO"														
MEDICIÓN DE DEFLEXIONES - MÉTODO VIGA BENKELMAN														
Tramo:		0+000 a 6+400		Relación de Brazos:		1 a 2		Presión (Psi)		80				
Estructura:		Pavimento Flexible		Carga Eje (Kilos):		8200		Carril		Derecho /Izquierdo				
Fecha:		09/05/2016		Realizado por:		Cruz Alemán Esther Elizabeth								
N° Ensayo	Progresiva:	Carril	Temp. °C	Deflexiones a las distancias de:								D0	D25	RC
				Lo 0 cm	L 25 cm	L 25 cm	L 50 cm	L 75 cm	L 100 cm	L 200 cm	L 300 cm			
#	0+000 a 6+400	D/I	22.42	82.6	63.94	59.57	54.4	46.6	38.7	27.97	0,00	82.60	63.94	304

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Análisis de resultados de la evaluación estructural

La deflexión máxima promedio obtenida de la evaluación estructural del tramo El Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto es de $D_0 = 82.60 \cdot 10^{-2}$ mm y la deformación admisible del tramo obtenida en función de N18 (ejes equivalentes de diseño) que establece un límite para la deflexión máxima es de $D_a = 102.05 \cdot 10^{-2}$ mm donde los valores por encima del cual 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 DO (deformación máxima) de todo el tramo son menores a la D_a (deformación admisible), por lo tanto el pavimento sujeto a evaluación tiene la capacidad

estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño, el valor de radio de curvatura promedio es $R_c = 304$ m por lo tanto se puede indicar que el pavimento evaluado se califica como satisfactorio debido a que cumple con el criterio adoptado valores de 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 deflexión admisible y los valores de radio de curvatura obtenidos muestran que no existe fallas estructurales en el tramo el gallinazo campo ferial san Jacinto, ya que las deflexiones máximas se encuentran entre $(56.8 \cdot 10^{-2}$ y $89.9 \cdot 10^{-2}$ mm) menores a la deflexión admisible ($D_a = 102.05 \cdot 10^{-2}$ mm).

Se puede apreciar en los puntos anteriores que las deflexiones en el tramo en general presentan valores bajos lo cual indica que el paquete estructural se encuentra buenas condiciones a pesar del tránsito que tiene el mencionado tramo, para sustentar lo mencionado se realizó una calicata del paquete estructural con la finalidad de obtener mayor información que sustente este análisis para lo cual se extrajo material de la Subrasante Natural, Subrasante Mejorada, Sub Base y Base Obteniendo % de CBR por encima de los solicitado para dichas capas y se realiza la siguiente comparación:

Cuadro 4.34 Requisitos para materiales de Sub-Base

ENSAYO	REQUISITOS
CBR, mínimo.	80
Límite Plástico.	20
Límite líquido.	25
Índice de plasticidad, máximo.	6

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila)

Valores mínimos para la capa Sub Base, según los parámetros de diseño los valores que se muestran en el cuadro el valor del CBR debe ser mayor o igual a 80%, el

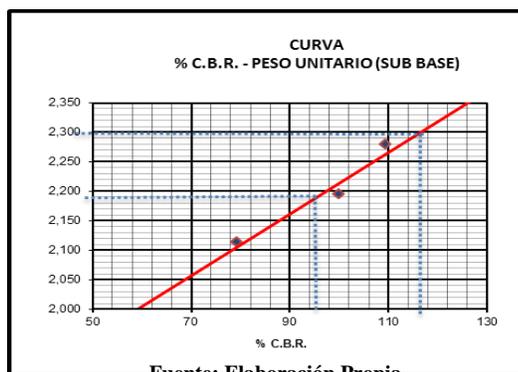
CBR obtenido de la calicata realizada en el tramo supera el 100% ya que debido a esta situación los valores de la deflexión son menores a los admisibles calculados.

Cuadro 4.35 Resultados obtenidos de la calicata realizada (Sub Base)

ENSAYO	Resultados Obtenidos
CBR (100%).	116
Límite Plástico.	18.21
Límite líquido.	26.06
Índice de plasticidad.	7.85

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.11 Curva% C.B.R. - peso unitario (Sub Base)



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.36 Requisitos para materiales de Base granular

ENSAYO	REQUISITOS
CBR, mínimo.	95
Límite Plástico.	20
Límite líquido.	25
Índice de plasticidad, máximo.	6

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila)

Valores mínimos para la capa Base, según los parámetros de diseño los valores que se muestran en el cuadro el valor del CBR debe ser mayor o igual a 95%, el CBR obtenido de la calicata realizada en el tramo supera el 100% ya que debido a esta situación los valores de la deflexión son menores a los admisibles calculados.

CAPÍTULO V (CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES)

5.1 Conclusiones

- En primer lugar es necesario mencionar que de una inspección ocular preliminar en el tramo, se identifica la necesidad de elegir la evaluación superficial y estructural, actualmente el pavimento presenta varias irregularidades las cuales fueron analizadas a detalle en la presente investigación como ser; características estructurales y superficiales, comportamiento y las causas que ameritaron dichas alteraciones en el pavimento.
- Tras evaluar los resultados de los indicadores de estado, se concluye que del estado superficial del tramo “El Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto” sobresale lo siguiente:
 - Los resultados finales del índice de condición del pavimento para el tramo estudiado “Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto” tienen un valor numérico de **41.74**, valor que pertenece, según la escala del método al intervalo (55 – 40) que comprende valores de PCI de calificación **“REGULAR”**, resultados que clasifican al tramo en un estado de **“Malo a Regular”**
 - Los valores de textura que refleja el ensayo corresponden a texturas de calificación desde **“Gruesa a Muy Gruesa”**, y calificaciones de la fricción desde **“Regular a Bueno hasta MALO (Desgaste de los Neumáticos)”** los resultados obtenidos demuestran que en el tramo evaluado provoca molestias a la circulación, además de un desgaste a los neumáticos de los usuarios trayendo con ello costos de operación de los vehículos.
- La mayor cantidad de falla que se identificó en la presente investigación del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto”, fue Disgregación y desintegración, según los resultados obtenidos esto se debe al incremento del tráfico que circula por el tramo en estudio, lo cual se justifica por el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Tarija que se incrementó 600 vehículos

por año (INE), por otro lado la feria que se realiza una vez por año en campo ferial de San Jacinto lo cual hace que esos días el paquete estructural de la vía trabaje en su mayor capacidad.

- La totalidad de las deflexiones máximas en los sectores de evaluación se encuentran comprendidas en un rango de $56.8 \cdot 10^{-2}$ a $89.9 \cdot 10^{-2}$ mm. por debajo de la deflexión admisible para el tramo “Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto” con un valor de $102.05 \cdot 10^{-2}$ mm. lo que indica un comportamiento de la estructura adecuado al tiempo de operación de la misma.

Así mismo los radios de curvatura obtenidos en el tramo oscilan a los radios de curvatura óptimos comprendidos en el rango de **300 y 500m.**

- Se complementó la presente investigación realizando la caracterización del paquete estructural es decir la Sub Rasante Natural, Sub Rasante Mejorada, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica, cabe mencionar que este trabajo se realizó en un solo punto debido a que en las oficinas del Servicio Departamental de Caminos no permitieron realizar más muestreos, de lo cual se obtiene los siguientes resultados y se detallan de la siguiente manera:

- ✓ **Sub Rasante Natural.-** La Sub Rasante natural presenta un suelo arcilloso con clasificación según AASHTO A-6 (19) *Arcilla de media plasticidad*, es un suelo de plasticidad media con el *Limite Liquido de 40.96*, *Limite Plástico de 22.08* y un *Índice de Plasticidad de 18.88*, el suelo presenta un valor de *Densidad Máxima de 2.090 kg/dm³* con una *Humedad Optima de 16.20%* y un *CBR de 3.5% al 100% y 3.25% al 95%*, por lo cual para el diseño del paquete se tuvo que mejorar la Sub Rasante debido a que presenta un CBR mínimo.

- ✓ **Sub Rasante Mejorada.-** La Sub Rasante Mejorada presenta un suelo granular con una clasificación según AASHTO A-2-4 (0) *Grava y arena arcillosa o limosa*, es un suelo de plasticidad baja con el *Limite Liquido*

de 26.06, *Limite Plástico* de 17.31 y un *Índice de Plasticidad* de 8.76, el suelo presenta un valor de *Densidad Máxima* de 2.257 kg/dm³ con una *Humedad Óptima* de 7.40% y un *CBR* de 32% al 100% y 26% al 95%, en el sondeo realizado la Sub Rasante presenta un espesor de 20 cm.

- ✓ **Sub Base.-** La Sub Base presenta un suelo granular con una clasificación según AASHTO A-2-4 (0) Grava y arena arcillosa o limosa, es un suelo de plasticidad baja con el *Limite Líquido* de 26.06, *Limite Plástico* de 18.21 y un *Índice de Plasticidad* de 7.85, el suelo presenta un valor de *Densidad Máxima* de 2.300 kg/dm³ con una *Humedad Óptima* de 5.80% y un *CBR* de 116% al 100% y 95% al 95%, en el sondeo realizado la Sub Base presenta un espesor de 20 cm.
- ✓ **Base.-** La Base presenta un suelo granular con una clasificación según AASHTO A-1-b (0) Fragmentos de roca, grava y arena arcillosa, es un suelo de plasticidad baja con el *Limite Líquido* de 20.99, *Limite Plástico* de 16.45 y un *Índice de Plasticidad* de 4.54, el suelo presenta un valor de *Densidad Máxima* de 2.331 kg/dm³ con una *Humedad Óptima* de 5.60% y un *CBR* de 122% al 100% y 95% al 95%, en el sondeo realizado la Sub Base presenta un espesor de 23 cm.
- ✓ **Carpeta Asfáltica.-** La Carpeta Asfáltica consta de dos riegos de asfalto cubierto con un agregado de ¾" (19 mm) y otro riego cubierto de un agregado de 3/8" (10 mm), luego viene un riego de sello, formando un espesor total de aproximadamente 4.00 cm, es necesario mencionar que la gradación que presenta la carpeta actual tiene 5.3% que pasa el tamiz N°200 (exceso de fino) y como resultado del ensayo con el equipo Centrifuga el contenido de asfalto es de 4.5%, en el sondeo realizado actualmente la Carpeta Asfáltica presenta un espesor de 3.00 cm esto debido al desgaste.

- Para realizar una evaluación superficial y estructural de un pavimento, por métodos no destructivos es necesario recurrir al relevamiento de la documentación que pudiese existir para evaluar actualmente como se encuentra el paquete estructural, en el caso del proyecto “El Gallinazo - Campo Ferial San Jacinto”, no obtuvo ninguna información que pueda ser utilizada para dicha evaluación para lo cual se tuvo que realizar un sondeo e identificando las características de las capas que las componen se realizó la comparación con los valores admisibles para el tipo de carreteras interprovinciales, debido a que el servicio departamental de caminos negó las reiteradas peticiones de permiso para realizar las calicatas en el tramo, es que sin autorización se logró realizar una sola calicata en el tramo evaluado, Se recomienda realizar sondeos cada 200 m, distancia que resulta adecuada para la evaluación en pavimentos (Palestra para capacitación técnica Constructora Queiroz Galvao).
- Finalmente se concluye que los trabajos a realizar en el tramo en estudio es de reemplazar la carpeta asfáltica en los puntos en los cuales se identificaron las fallas (realizar un bacheo), posteriormente realizar un refuerzo estructural del pavimento (Racapado o sobre capa asfáltica).

En virtud a lo mencionado anteriormente se presenta el diseño del Refuerzo estructural utilizando Métodos basados en criterios de reducción de deflexiones el cual toma como parámetros de diseño a las deflexiones obtenidas mediante el ensayo de la Viga de Benkelman (Evaluación Estructural) y se desarrolla de la siguiente manera:

Enfoque a partir de las medidas de enfoque a partir de las medidas de deflexión.

Concepto: La sobrecapa reduce la deflexión inducida por la carga en el pavimento, hasta un nivel adecuado asociado con la vida prevista para el pavimento reforzado.

Análisis de tránsito.- Ejes equivalentes durante el período de diseño del refuerzo y, si es posible, los soportados por la estructura actual.

Auscultación deflectométrica.- Medida de deflexiones Benkelman.

Si se emplea otro equipo, se deben aplicar correlación es para estimar las deflexiones Benkelman

Cálculo de la deflexión característica.- La vía se divide en sectores homogéneos a partir de la condición del pavimento, la resistencia de la subrasante, las condiciones de drenaje y la homogeneidad de las deflexiones.

Se calcula la deflexión característica como la suma de la deflexión promedio (D_p) del sector más "n" veces la desviación estándar (s), dependiendo "n" de la confiabilidad deseada en el diseño ($D_c = D_p + n*s$).

Las deflexiones se deben corregir por efecto de la temperatura en el momento del ensayo y la temporada climática (F_t, F_c)

Determinación del espesor de la sobrecapa.- Se obtiene en una gráfica preparada por el Instituto del Asfalto a partir de la deflexión característica y del tránsito de diseño.

Figura 5.1 Factor de ajuste por temperatura

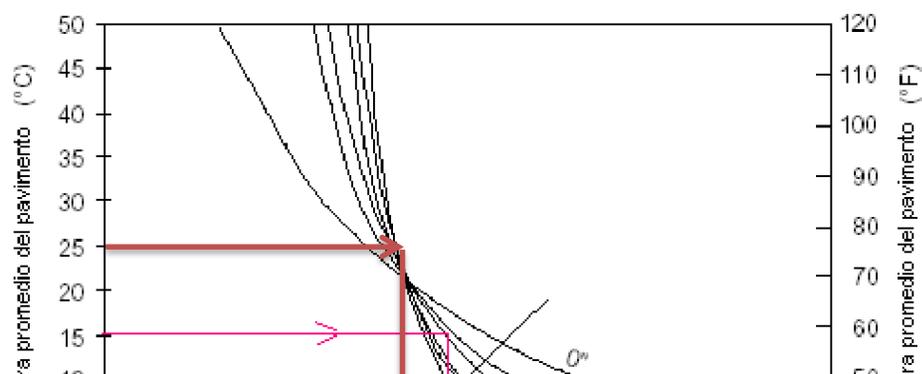
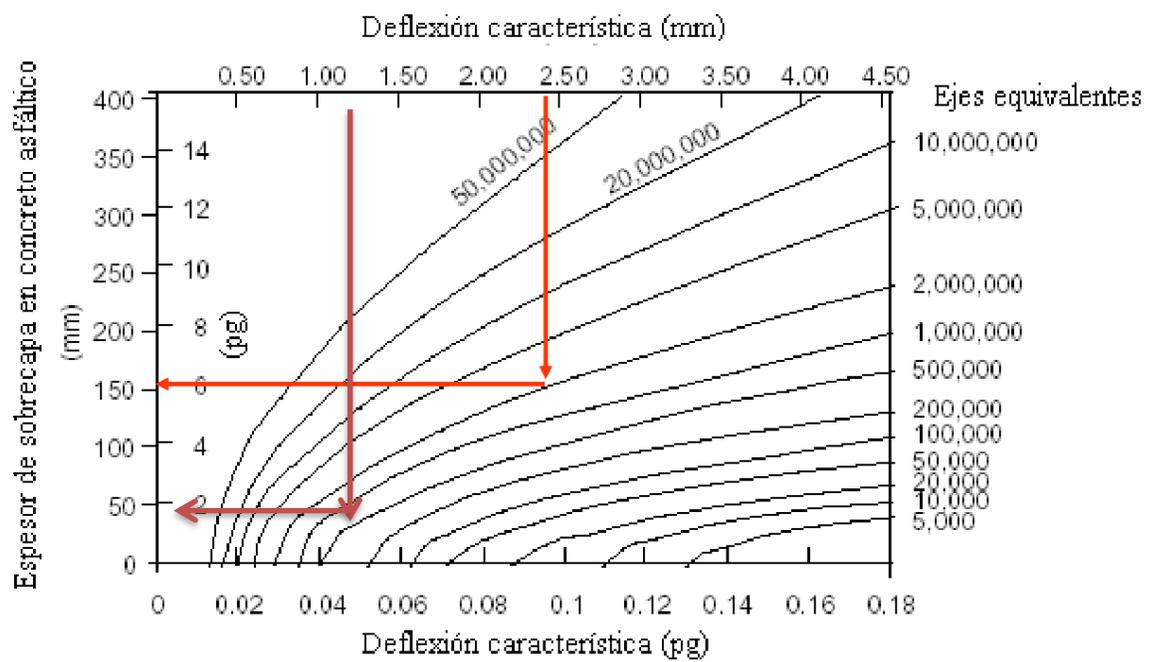


Figura 5.2 Espesor de sobre capa de concreto asfáltico



Cuadro 5.1 Valores del Factor de corrección

SUELO DE SUBRASANTE	FACTOR DE CORRECCION (Fc)		
	Periodo lluvioso	Periodo intermedio	Periodo seco
Arenoso y permeable	1.0	1.0 - 1.1	1.1 - 1.3
Arcilloso e impermeable	1.0	1.2 - 1.5	1.5 - 1.8

Análisis de tránsito.

Ejes equivalentes durante el periodo de diseño del refuerzo: 1.060.260,00

Auscultación deflectométrica.

Medida de deflexiones Benkelman en Junio (periodo Intermedio) sobre una subrasante arcillosa (MR = 36 MPa) y sobre una subrasante mejorada de suelo arenoso (MR = 330 MPa)

Temperatura promedio del pavimento = 25 °C

Cálculo de la deflexión característica.

La deflexión promedio (Dp) en un sector es $78.57 \cdot 10^{-2}$ mm, la Desviación Estándar (s) es $5.30 \cdot 10^{-2}$ mm.

El diseño se hará con una confiabilidad de 95%, por lo tanto:

$$D_c = D_p + n \cdot s = 78.57 + 1.65 \cdot 5.30 = 87.31 \cdot 10^{-2} \text{ mm.}$$

El pavimento tiene 630 mm. de capas granulares equivalente a 24.8 pulg.

Factor de corrección por temperatura (Ft) = 1.00 (se entra a la Gráfica N°1)

Factor de corrección por temporada climática (Fc) = 1.40 (se entra al cuadro N°1)

$$D_c \text{ corregida} = D_c + F_t \cdot F_c = 87.31 + 1.00 \cdot 1.40 = 122.24 \cdot 10^{-2} \text{ mm.}$$

$$\underline{D_c \text{ corregida} = 1.22 \text{ mm.}}$$

Determinación del espesor de la Sobrecapa.

Se entra a la gráfica N°2 de diseño con N=1.060.260,00

Espesor de la Sobrecapa de Concreto Asfáltico = 50 mm.

5.2 Recomendaciones

- Después de haber evaluado superficial y estructuralmente el pavimento del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” se apreció que se requiere tomar acciones preventivas y correctivas inmediatas.
- El mantenimiento y reparación del tramo El gallinazo – Campo Ferial San Jacinto compete directamente al Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), en este caso no se hizo el adecuado mantenimiento y reparación donde a la fecha se tiene el tramo bajo las siguientes condiciones que fueron desarrolladas en la presente investigación, luego de realizada la evaluación se ha podido identificar el tipo de solución para el tramo siendo así el recapado o sobre capa asfáltica, con la finalidad de mantener el tramo en condiciones óptimas para el tránsito, se recomienda las siguientes alternativas de reparación y mantenimiento menor y mayor del pavimento, lo cual se desarrolla de la siguiente manera:

El Mantenimiento y Reparación Menor *preventivo* consiste en aquellas 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 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.

El mantenimiento menor incluye acciones que se aplican a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar su condición y/o controlar la rata de deterioro. El mantenimiento rutinario debe ejecutarse continuamente,

e iniciarse tan pronto como el pavimento muestre los primeros síntomas de falla. 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 localizado
- Nivelación localizada
- Fresado y/o texturización localizada

Las acciones de **Mantenimiento y Reparación 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, (d) los espesores de refuerzo de requerirse son reducidos y, (e) *los costos de la rehabilitación son considerablemente menores.*

Estos aspectos han sido muy bien analizados dentro del marco de los esquemas de Evaluación 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" anteriormente discutido.

Mantenimiento Mayor (tramos específicos)

- Racapado o sobre capa asfáltica
 - Bacheo
 - Reconformación del paquete estructural
 - Cambios de material
- Se recomienda realizar el racapado tomando muy en cuenta el diseño de las obras de drenaje ya que se puede observar que en el tramo actual carece de dichas obras. debido a que la falta de estas obras ocasionan graves problemas en el buen funcionamiento de una carretera trayendo como consecuencia la aparición de fallas, acarreando con ello molestias a los usuarios.
 - Despertar el interés de la aplicación de la deflectometría para con la utilización de la viga Benkelman ya que su medición es rápida y sobre todo no destructiva.
 - 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 podrían producirse

contratiempos y podrían incidir en los resultados al introducir datos erróneos que estropeen la evaluación.

- Los equipos con los que se trabaja en la auscultación de pavimentos son equipos de precisión, por tanto deben calibrarse debidamente, cualquier golpe o error en la operación podría descalabrarlos y hasta incluso arruinarlos, es por tal motivo que debe tenerse un especial cuidado al transportarlos y manipularlos.

ANEXOS.

Anexo 1 - Informe Topográfico.

Anexo 2 - Levantamiento de Datos.

Anexo 3 - Cálculo Índice de Condición de Pavimento.

Anexo 4 - Datos Ensayo Círculo de Arena.

Anexo 5 - Datos Ensayo Péndulo Británico.

Anexo 6 - Cálculo Índice de Fricción Inpternacional.

Anexo 7 – Datos Evaluación Estpructupral.

Anexo 8 - Cálculos de Evaluación Estructural.

Anexo 9 - Calculo Número de Ejes Equivalentes.

Anexo 10 - Caracterización de Los Materiales del paquete Estructural.

Anexo 11 - Ábacos y Tablas para el Cálculo de PCI.

Anexo 12 - Imágenes.

Anexo 13 - Presupuesto.