



# CAPÍTULO I

## DISEÑO TEÓRICO

### 1.1 Introducción

A lo largo del tiempo se realizaron un sinnúmero de pavimentos flexibles ya sea en redes de vías principales o secundarias, estas vías tienen una función esencial en la actualidad, la cual es facilitar el transporte tanto de usuarios como bienes materiales con total comodidad y seguridad haciendo necesaria la construcción de una red que garantice estas necesidades.

Cabe mencionar que las redes viales en la actualidad deben ofrecer una buena calidad, seguridad y desempeño a los usuarios.

Cuando se habla de redes viales es inevitable hacer énfasis en el costo que conlleva la construcción de dicha obra, por tal motivo es necesario pensar en el mantenimiento y mejoramiento de las vías ya existentes, esto nos permite crear una cultura en cuanto a mantenimiento y rehabilitación de la red vial para brindar un buen funcionamiento y comodidad a los usuarios ya que son ellos los más beneficiados en este servicio.

Hablando un poco sobre el mantenimiento vial, está por demás decir que es una actividad u operación de gran magnitud para en buen desempeño como también un aumento en la vida útil de las redes viales; por lo general, a esta actividad no se le brinda la importancia que se merece y la que debería tener.

En nuestro medio, las redes viales por lo general sufren fallas prematuras que pueden ser ocasionadas por diferentes causas, de tal manera que no cumplan la vida útil para la que fueron diseñadas. En este sentido se debe estudiar a profundidad cuáles son las causas que influyen para que ocurran las fallas en los pavimentos flexibles.

En cuanto a la evaluación superficial y estructural que se realizará en la Avenida Integración, cabe mencionar que dicha avenida fue puesta a disposición de los usuarios de no hace mucho tiempo; esta, a su vez, comenzó a presentar deterioros prematuros que deberían ser resueltos lo más pronto posible antes que los daños sean irreparables, tanto así que se tendría que realizar un recapado de toda la estructura.

Una de las etapas iniciales y fundamentales para establecer las condiciones actuales del pavimento es la evaluación de fallas que se efectuará sobre la Avenida Integración de la ciudad de Tarija. Para el presente trabajo se realizará una identificación y valoración de las fallas en dicha vía, apoyándose en la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento) y la metodología IFI (Índice de Fricción Internacional) estos para una evaluación superficial; posteriormente, la evaluación estructural se basará en la metodología Viga Benkelman.

## **1.2 Justificación**

Mediante una visita al lugar se pudo observar que evidentemente existe un problema vial, el cual es un deterioro de la carpeta asfáltica en un corto tiempo respecto a la vida útil con la que fue diseñada.

Lo que se desea realizar es una prevención y que este deterioro no continúe avanzando, dando así una solución lo más antes posible, para así evitar un racapamiento total y no solamente un mantenimiento rutinario.

Las características más notorias de las rutas que conforman la red vial de Tarija es tener un aumento de flujo vehicular, como ser camiones, buses, maquinaria, autos livianos, etc. Un ejemplo de eso es la Avenida Integración que se ha convertido en una de las principales vías de comunicación con el fin de reducir el flujo vehicular de las demás avenidas que existen en la ciudad, debido a esto es que se debe conocer el estado en el que se encuentra la avenida tanto superficial como estructural y en función a ello obtener la rehabilitación adecuada 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 al 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 un 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 la calificación de PCI(Indicie 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.

En cuanto a las metodologías que se utilizarán para obtener así los resultados establecidos serán las siguientes; se aplicará metodologías no destructivas como ser el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), IFI (Índice de Fricción Internacional) y la Viga Benkelman.

### **1.3 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1 Situación problemática**

Es un hecho, todos los pavimentos se van deteriorando con el tiempo generando la aparición de fallas que no constituye solo un problema de aspecto visual o estético; al tener una vía con estas dificultades reducirán su calidad, al mismo tiempo de que estas fallas pueden producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos, por último, generan demoras en la transitabilidad habitual de los usuarios.

La Avenida Integración 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, más ahora que es una avenida muy transitada últimamente porque conecta directamente al centro de la ciudad, a ello se debe tomar en cuenta que cada vez se incrementa el número de vehículos que transitan diariamente.

Estos deterioros pueden haberse producidos por diferentes motivos provocando efectos desfavorables en la vía, 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 evaluar el comportamiento de la vía, para saber el momento adecuado en darle mantenimiento, y no tener que llegar a una reparación que por lo general su costo es mayor.

### **1.3.2 Problema**

El problema presentado para el presente estudio nos lleva a la siguiente interrogante

**¿A través de una evaluación superficial y estructural se podrá determinar las causas del deterioro que presenta la Avenida Integración de la ciudad de Tarija?**

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar superficial y estructuralmente por los métodos no destructivos, el estado actual del pavimento flexible de la Avenida Integración de la ciudad de Tarija, determinando las causas de su deterioro y establecer un adecuado plan de mantenimiento que ayude a prolongar su vida útil.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Clasificar la severidad de las fallas superficiales que presenta el pavimento flexible de la Avenida Integración.
- Evaluar las patologías encontradas en el pavimento flexible de la Avenida Integración.
- Identificar las causas que generan los deterioros en el pavimento.
- Determinar la condición estructural de la Avenida Integración empleando la Viga Benkelman.
- Establecer un adecuado plan de mantenimiento en función a los puntos más desfavorables de la evaluación.
- Elaborar una propuesta técnica económica en base al mantenimiento que se realice.

## **1.5 Hipótesis**

Mediante una evaluación superficial y estructural se determinará las fallas existentes en la Avenida Integración de la ciudad de Tarija, para lo cual se establecerá un plan de mantenimiento a las misma y así prevenir que estas fallas se expandan, prolongando de esta manera su vida útil.

## **1.6 Diseño metodológico**

### **1.6.1 Unidad de estudio**

Estado actual del pavimento flexible.

### **1.6.2 Población**

Son todas las fallas existentes en el pavimento flexible de la ciudad de Tarija.

### **Justificación técnica de los evaluadores a aplicar**

#### **Evaluación superficial**

Mediante una previa recopilación informática acerca de los equipos y materiales necesarios para llevar acabo las metodologías planteadas anteriormente, puntualmente la metodología PSI e IRI presentarían mayor subjetividad para con los resultados, la metodología PSI es muy susceptible es decir que se basa en realizar encuestas a personas que se movilizan por el tramo de estudio, consultando de esta manera la serviciabilidad o comodidad que se tiene al circular por dicha avenida, las respuestas serían muy variables de acuerdo a la opinión de cada persona que transitaría por el lugar. Por otro lado, la metodología IRI no se vio necesaria su aplicabilidad por que la evaluación es a nivel urbano y que por lo general esta metodología es más aplicable en carreteras donde se puede apreciar mejor los resultados.

#### **Evaluación estructural**

Ya mencionado anteriormente acerca de la disponibilidad de equipo requerido para realizar una evaluación, tenemos que, las metodologías Viga Benkelman, CBR y DCP se encuentran dentro de lo que es nuestro alcance, pero debido a factores internos como ser

los permisos necesarios por parte de la Alcaldía para realizar sondeos o extracciones de núcleo sobre el pavimento a evaluar, se nos fue negado. Prevista esa dificultad solo tendríamos acceso a la metodología Viga Benkelman ya que al ser su aplicación no destructiva cumple con las dificultades marcadas.

### **1.6.3 Muestra**

Es la zona de estudio, que para nosotros es la Avenida Integración de la ciudad de Tarija en donde se llevara a cabo las metodologías seleccionadas, 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 el método de la Viga Benkelman.

### **1.6.4 Muestreo**

Para la obtención de los datos de fallas existentes en el sitio de estudio se realizará una división de la totalidad de la superficie del tramo en unidades homogéneas; de esta división se deberá considerar los tipos de fallas existentes aplicando los métodos elegidos, para así lograr obtener datos más representativos en las áreas que presenten mayor afectación de daños.

### **1.6.5 Tipo de investigación**

El presente trabajo corresponde a un estudio de investigación descriptiva, se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después analizarlos, se diagnostica las patologías tanto de la estructura y la superficie de la vía dando los motivos de las fallas, caracterizándolos de manera cuantitativa.

La información que se obtenga al aplicar este tipo de estudio incrementa el conocimiento de la vía evaluada y será de mucha utilidad para tener ciertos parámetros en los cuáles se debe incidir por parte de un profesional responsable y de las autoridades competentes al momento de la rehabilitación.

## **1.7 Alcance del estudio**

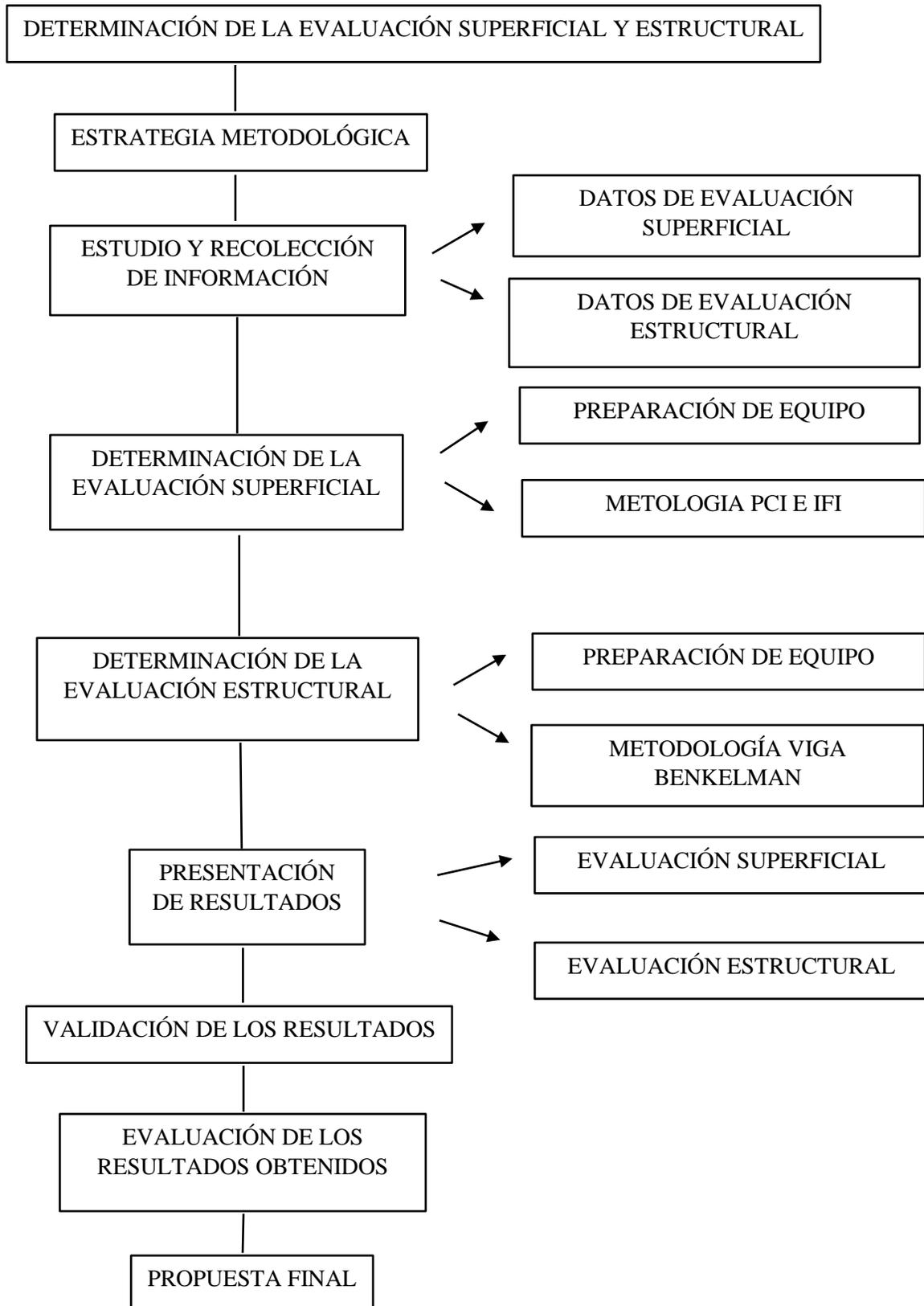
El alcance del presente proyecto se refleja en el trabajo de evaluación del estado actual en el que se encuentra la Avenida Integración de la ciudad de Tarija. Para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: evaluación superficial y evaluación estructural.

Primeramente, se realizará una detallada inspección visual y un recorrido general en ambas calzadas, de este modo se logrará obtener un conocimiento general del tramo de tal manera que se distinguirán los tramos más deteriorados, los mismos serán seccionados donde se analizará cada una las fallas que se logre observar, y de este modo realizar ensayos que indiquen el estado superficial y estructural de la avenida.

Para la evaluación superficial del tramo se realizarán dos metodologías, la primera establecerá la condición del pavimento PCI (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; posteriormente aplicaremos la metodología IFI (Índice de Fricción Internacional), el cual establecerá el grado de textura y fricción que contenga el pavimento.

La evaluación estructural del tramo se realizará mediante el ensayo de la Viga Benkelman, 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 cuáles se evaluará la condición estructural del pavimento.

## 1.8 Metodología de trabajo



## CAPÍTULO II

### EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

#### 2.1 Pavimento flexible

Se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas.<sup>1</sup>

**Figura 1.** Pavimento flexible



**Fuente:** <https://definicion.de/pavimento/>

---

<sup>1</sup> <https://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles>

### **2.1.1 Componentes de un pavimento flexible**

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

#### **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. Tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

#### **Base:**

Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de superficial y es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la subbase y a la subrasante. En general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar). Tienen las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas subbase y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

**Subbase:**

Se considera una capa netamente económica, debido a que el contenido de sus materiales es muy accesibles y económicos. Tiene la función de actuar como capa de transición entre la base y la subrasante, puesto que impide la penetración de materiales finos de la subrasante así, como la ascensión capilar.

**Subrasante:**

El suelo compactado o subrasante mejorada, es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.<sup>2</sup>

**2.2 Evaluación de pavimentos**

Existen diversos métodos de evaluación de pavimentos, que son aplicables a calles y carreteras; entre los aplicables al presente estudio están, método PCI, IFI, Viga Benkelman

**2.2.1 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.

---

<sup>2</sup> <https://www.cuevadelcivil.com/2010/06/componentes-de-un-pavimento.html>

## **2.2.2 La evaluación de pavimentos tiene dos componentes**

Evaluación superficial.

Evaluación estructural.

### **2.2.2.1 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.

### **2.2.2.2 Evaluación estructural**

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

## **2.3 Evaluación superficial de un pavimento flexible**

### **2.3.1 Evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento)**

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

El PCI varía entre 0 para pavimentos fallados y un valor de 100 para pavimentos en excelente condición. En el siguiente cuadro se representa los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición de un pavimento.

### 2.3.1.1 Rangos de calificación del PCI

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.

**Tabla 1.** Rangos de calificación PCI.

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

**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, 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.

### 2.3.1.2 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende: una etapa de trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de cada uno de ellos y una segunda fase 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, abultamientos, entre otros.

**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. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, o sea, 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 (L):**

Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Los abultamientos y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero no provoca incomodidad.

**Medio (M):**

Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad.

**Alto (H):**

Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.<sup>3</sup>

**2.3.1.3 División del pavimento en unidades de muestra**

Una unidad de muestra es convenientemente definida por una porción de un pavimento de sección elegida solamente para la inspección del pavimento.

De acuerdo al tipo de pavimento que cuenta la vía a evaluar se tiene:

**Pavimentos de asfalto:**

Con un ancho menor a 7,30 m. El área de muestreo debe estar entre  $230 \pm m^2$ . En la siguiente tabla se presenta algunas relaciones longitud ancho de calzada pavimentada.

---

<sup>3</sup> Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

**Tabla 2.** Rangos de unidad de muestreo.

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

**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, 2006.

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

En la evaluación de un proyecto se deben inspeccionar todas las unidades, sin embargo, de no ser posibles, 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 %.

#### 2.3.1.4 Evaluación de un proyecto

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

- Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
- Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
- Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
- Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie 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.

- Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando un número de unidades de muestra que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95 % o considerando un número menor de unidades de muestra.
- Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.
- El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95 % de confiabilidad), es calculado empleando la siguiente ecuación y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

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

**Donde:**

n = Número mínimo de unidades a evaluar.

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

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

$\sigma$  = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos (rangos PCI de 25) y para pavimentos de concreto de 15 (rango PCI de 35). En 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.

### **2.3.1.5 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 elija al azar de la siguiente manera:

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

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

**Donde:**

N = Número total de unidades de muestro disponibles.

n = Número mínimo de unidades para evaluar

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

### **2.3.1.6 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 adicional, 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.

### **2.3.1.7 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.

**Equipo:**

Huíncha 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 cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

**Procedimiento:**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de acuerdo con el manual de daños y se registra la información en el formato correspondiente (ver anexos). Se debe 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 registra el daño, su extensión y su nivel de severidad.

**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.

**2.3.1.8 Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento**

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, puede realizarse en forma manual o computarizada

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

**Paso 1.** Determinación de los valores deducidos (vd).

- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna de “total”. El daño puede medirse en área, longitud o por su número según sea el tipo.
- Divida la “cantidad total” de cada tipo de daño, en cada nivel de severidad, entre el “área muestra” de la unidad de muestreo y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Determine el “valor deducido” para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas o tablas denominadas “valor deducido del daño”, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

**Paso 2:** Determinación del número máximo admisible de valores deducidos.

- Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (cdv).
- Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.

**Paso 3:** Determinación del máximo valor deducido corregido (cdv).

Este paso se lo realiza mediante un proceso iterativo que se lo describe a continuación:

- Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.
- Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determine el cdv con el q y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.
- Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas a. hasta c. Este proceso se repite hasta que se cumpla la condición que “q” sea igual a 1.
- El “máximo cdv” es el mayor valor de los cdv obtenidos en el proceso de iteración indicado.

**Paso 4:** Calcule el PCI, restando el “máximo cdv” de 100.

$$PCI = 100 - \text{Máx.}CDV$$

**Donde:**

PCI = Índice de Condición Presente

Máx. CDV= Máximo valor corregido deducido

### **2.3.1.9 Criterios de inspección**

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.

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.

Se dice que una falla esta desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

Si el agrietamiento piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurre en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.

Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.

El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.

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

### **2.3.1.10 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: (alto); M: (medio); L: (bajo).<sup>4</sup>

#### **2.3.1.11 Piel de cocodrilo**

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodamiento bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

##### **Nivel de severidad bajo: (L)**

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

##### **Nivel de severidad medio: (M)**

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

##### **Nivel de severidad alto: (H)**

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

##### **Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

---

<sup>4</sup> Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, 2006

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

**Figura 2.** Piel de cocodrilo.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

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

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad. Sobre carpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial. Sobre carpeta. Reconstrucción.

**2.3.1.12 Exudación**

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

La exudación puede ser originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sello asfáltico, bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla.

La exudación ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales, emerge y entonces se expande en la superficie del pavimento.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

La mancha ha ocurrido solamente en un grado muy ligero, siendo apreciable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los neumáticos de los vehículos.

**Nivel de severidad medio: (M)**

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

**Nivel de severidad alto: (H)**

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

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Si se contabiliza la mancha no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

**Figura 3.** Exudación.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena, agregados y compactación. Lavado.

H: Se aplica arena, agregados y compactación (precalentando si fuera necesario). Lavado.

**2.3.1.13 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 0,30 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. 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 algunos casos pueden aparecer en áreas sin tránsito.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

**Nivel de severidad medio: (M)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas adyacentes pequeñas de severidad media o alta.

Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.

Una grieta de cualquier ancho en la cual pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Figura 4.** Fisura en bloque.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**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.

**2.3.1.14 Abultamiento y hundimientos**

Los abultamientos son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues éstos últimos son causados

por pavimentos inestables. Los abultamientos pueden ser causados por factores tales como:

Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento tipo portland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.

Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).

Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito. 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 extensas o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m, el daño se llama **corrugación**

**Nivel de severidad bajo: (L)**

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad medio: (M)**

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

**Medición:**

Se mide en metros lineales (m). Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

**Figura 5.** Abultamiento y hundimiento.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

**2.3.1.15 Corrugación**

La corrugación (también llamada “sartenejas”) 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 combinado con una carpeta o una base inestable.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad medio: (M)**

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada

**Figura 6.** Corrugaciones.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

**2.3.1.16 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 solo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma empozamientos. 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 hidroplaneo.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

Máxima profundidad de la depresión: 13,0 a 25,0 mm.

**Nivel de severidad medio: (M)**

Máxima profundidad de la depresión: 25,0 a 51,0 mm.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Profundidad de la depresión: más de 51,0 mm.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) del área afectada.

**Figura 7.** Depresiones.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006.

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

### 2.3.1.17 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 puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas de la base o de la subrasante en sectores próximos al borde del pavimento, por falta de soporte lateral o por terraplenes construidos con materiales expansivos. El deterioro de la falla de borde se acelera por el efecto de las cargas de tránsito. En algunos casos se puede llegar a producir pérdida del material por disgregación.

#### **Nivel de severidad bajo: (L)**

Grietas de baja severidad sin disgregación.

#### **Nivel de severidad medio: (M)**

Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de los bordes.

#### **Nivel de severidad alto: (H)**

Considerable rotura de borde y disgregación en las grietas.

#### **Medición:**

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

**Figura 8.** Fisuras de borde.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial - profundo.

**2.3.1.18 Desnivel carril-berma**

El desnivel calzada-hombrillo es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y el hombrillo. Este daño se debe a la erosión o asentamiento del hombrillo o a la colocación de sobre carpetas en la calzada sin elevar el nivel del hombrillo.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 25,0 y 51,0mm.

**Nivel de severidad medio: (M)**

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 51,0 y 102,0 mm.

**Nivel de severidad alto: (H)**

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo es mayor de 102,0 mm.

**Medición:**

Se mide en metros lineales (m).

**Figura 9.** Desnivel carril-berma



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L, M, H: Relleno del hombrillo para ajustar al nivel del canal.

**2.3.1.19 Fisuras longitudinales y transversales**

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento y pueden ser causadas por:

Una junta de carril del pavimento pobremente construida.

Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al envejecimiento del asfalto.

Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento portland, pero no las juntas de pavimento de concreto. Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material de sello).

**Nivel de severidad medio: (M)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas adyacentes pequeñas de severidad media o alta.

Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.

Una grieta de cualquier ancho; el pavimento alrededor de la misma está severamente fracturado.

**Medición:**

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

**Figura 10.** Fisuras longitudinales y transversales.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

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

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

**2.3.1.20 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. Este tipo de daño se registra cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

**Niveles de severidad**

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

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Si se contabiliza mancha del pavimento (exudación), no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

**Figura 11.** Agregados pulidos.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

Tratamiento superficial. Sobre carpeta.

Fresado y sobre carpeta.

**2.3.1.21 Huecos**

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m. 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 de lluvia dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos.

**Nivel 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 la tabla siguiente:

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 752 mm
12,70 a 25,40 mm	L	L	M
>25,40 a 50,80 mm	L	M	H
>50,80 mm	M	M	H

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm. debe medirse el área total del hueco en metros cuadrados y dividirla entre (0,47 m<sup>2</sup>) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm. los huecos se consideran de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm. la severidad se considera como alta.

**Figura 12.** Huecos.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

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

M: Bacheo parcial o profundo.

H: Bacheo profundo.

### **2.3.1.22 Cruce de rieles, por accesos a puentes y rejillas de drenaje**

Los defectos asociados al cruce de sumideros de rejilla son depresiones o abultamientos en el plano de contacto entre el pavimento de la calzada y el sumidero, que afectan la calidad de rodaje.

#### **Nivel de severidad bajo: (L)**

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

#### **Nivel de severidad medio: (M)**

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

#### **Nivel de severidad alto: (H)**

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

#### **Medición:**

Se miden en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Si el acceso no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse.

**Figura 13.** Cruce de rieles.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006.

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: Bacheo superficial o parcial del cruce. Nivelación total del pavimento.

H: Bacheo superficial o parcial del cruce. Nivelación total del pavimento.

**2.3.1.23 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 están 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 debido a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

**Niveles de severidad:**

Dependen de la profundidad promedio del ahuellamiento:

L: 6,0 a 13,0 mm.

M: >13,0 mm a 25,0 mm.

H: > 25,0 mm.

La profundidad promedio 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 promedio.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella.

**Figura 14.** Ahuellamiento.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

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

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

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

**2.3.1.24 Desplazamiento o deformación por empuje**

El desplazamiento es un corrimiento permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión). Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento tipo portland. Los defectos asociados a las deformaciones por empuje están asociados con el grado de afectación de la calidad de rodaje:

**Nivel de severidad bajo: (L)**

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad medio: (M)**

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada. Las deformaciones que ocurren en baches se consideran para el inventario de daños como baches.

**Figura 15.** Desplazamiento o deformación por empuje.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

**2.3.1.25 Fisura parabólica o por deslizamiento**

Las grietas parabólicas por deslizamiento son grietas en forma de media luna creciente, con sus puntas hacia el sentido del tránsito. Usualmente, este daño ocurre en presencia de

una mezcla asfáltica -entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento de baja resistencia, o de un riego de adherencia excesivo, y en algunas oportunidades pobre. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

Ancho promedio de la grieta menor que 10,0 mm.

**Nivel de severidad medio: (M)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Ancho promedio de la grieta entre 10,0 mm y 38,0 mm.

El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

**Nivel de severidad alta: (H)**

Existe una de las siguientes condiciones:

Ancho promedio de la grieta es mayor de 38,0 mm.

El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

**Figura 16.** Fisura parabólica.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006.

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M; H: Bacheo parcial (localizado).

**2.3.1.26 Hinchamiento**

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento con una onda larga y gradual de longitud mayor de 3,0 m.

El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por suelos potencialmente expansivos.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. Un 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 del vehículo.

**Nivel de severidad medio: (M)**

El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

**Nivel de severidad alto: (H)**

El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Figura 17.** Hinchamiento.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

**Opciones de reparación:**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

**2.3.1.27 Disgregación y desintegración**

La disgregación y desintegración son el desgaste de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable o que la mezcla 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 debido al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

**Nivel de severidad bajo: (L)**

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

**Nivel de severidad medio: (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.

**Nivel de severidad alto: (H)**

Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente “ahuecada”. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10,0 mm. Y profundidades menores que 13,0 mm. Áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

**Medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

**Figura 18.** Disgregación y desintegración.



**Fuente:** Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, Ing. Luis Ricardo Vasquez, 2006

### **Opciones de reparación:**

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobre carpeta.

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

Para los niveles M y H, si el daño es localizado (por ejemplo, por derramamiento de aceite) se hace parcheo parcial.<sup>5</sup>

## **2.3.2 Resistencia al deslizamiento**

### **2.3.2.1 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 del vehículo.

---

<sup>5</sup> Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, abril de 2006

### **2.3.2.2 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.

### **2.3.2.3 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 a la temperatura, haciéndolo menos fluido (aumentando su rigidez) a bajas temperatura y haciéndolo más fluido a medida que aumenta la temperatura. Estas circunstancias afectan la adherencia neumática-pavimento.

#### **La textura de la superficie del pavimento:**

Es el único factor que puede ser controlado por el ingeniero de pavimento, 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 carpeta de rodamiento. La textura se sub divide en dos elementos. La macro textura y la micro textura.

#### **2.3.2.4 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 en una curva aun cuando esta se encuentre bajo los efectos de la lluvia. Esta textura se ve disminuida en el tiempo por 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.

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones micro textura y macro textura.

#### **2.3.2.5 Micro textura**

La micro textura es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie perfectamente plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,50 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 cuáles 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 el interfaz neumático-pavimento, permite la penetración del agua entre el neumático y el pavimento de manera que se genere el agarre necesario.

### **2.3.2.6 Macro textura**

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

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

Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento que presenta un pavimento, será en general el resultado de la combinación micro textura - macro textura que presente la superficie.

### **2.3.3 IFI (Índice de Fricción del Pavimento)**

#### **2.3.3.1 Definición del 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 Rugosidad 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 lo tanto el intercambio de información entre los profesionales y las administraciones. Así, hablar de un pavimento IFI (0,35;120) significa que el pavimento esté donde esté, presentará 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, se realiza la presente metodología.

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 micro textura y de macro textura en la

capacidad de evacuar agua rápidamente, impidiendo o dificultando los fenómenos de hidroplaneo, lo que también ayuda a mejorar la fricción.

Generalmente 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. 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 macro textura.

Por tanto, el IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por punto y coma, el primero representa la fricción y el segundo la macro textura. 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 de adherencia. No es posible, por el momento describir con una relación sencilla como la anterior, el segundo número que compone el IFI.

El experimento 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 siguiente ecuación:

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

Para obtener el IFI se precisa en primer lugar realizar (con cualquier equipo o técnica, homologa 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 siguiente forma:

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

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

**Donde:**

FR60 = Valor de fricción ajustado

FRS = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento (S)

S = Velocidad de deslizamiento seleccionado por el dispositivo, (km/h)

Sp = Gradiente de velocidad (km/h)

### 2.3.3.2 Medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento

Para la medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento se utilizará el péndulo británico ASTM E 1960 y para medir la macro textura se utilizará el ensayo del círculo de arena ASTM E 965.

### 2.3.3.3 Péndulo Británico

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 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 Pendular Nombre).<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> <http://es.slideshare.net/FALM1971/resistencia-al-deslizamiento>

**Figura 19.** Péndulo Británico.



**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos, Ing. Fabricio Leiva

#### **2.3.3.4 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 en 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).

**Figura 20.** Círculo de arena.



**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos, Ing. Fabricio Leiva

### **2.3.3.5 Procedimiento de evaluación de la resistencia al deslizamiento**

Como se definió anteriormente, el ensayo se realizará en los tramos de sección más críticos que se obtengan en función a la evaluación por el método PCI, tomando en cuenta tanto el carril de ida como el carril de vuelta, en función del deterioro del tramo evaluado; para estas condiciones se tomará en cuenta las siguientes condiciones para la realización de los cálculos.

### **2.3.3.6 Equipo para determinar la resistencia al deslizamiento del pavimento**

#### **2.3.3.7 Ensayo Péndulo Británico**

#### **2.3.3.8 Material**

**Péndulo británico.** Equipo para la realización del ensayo

**Regla graduada.** Cuyas marcas estén separadas 127 mm siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,50 mm.

**Termómetro.** Un termómetro en grados Celsius

**Recipiente para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón, conteniendo agua potable o destilada.

**Cepillo.** De cerdas para la superficie a medir.

**Cinta métrica.** Para situar los puntos de medida.

#### **2.3.3.9 Procedimiento**

- La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiará con un chorro de agua a presión.
- Se debe registrar la temperatura en cada ensayo, las condiciones de temperatura deben encontrarse en un rango de 5 °C a 40 °C.
- Con el péndulo colgando libremente se bajará el mismo hasta que el borde de la zapata toque justamente el área a medir, determinada por el espaciador, se asegura la cabeza del péndulo, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.
- Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se realizan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registrarán 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.

#### **2.3.3.10 Ensayo del círculo de arena**

##### **2.3.3.11 Material**

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

**Tubo cilíndrico graduado** para medir el volumen de arena a utilizar.

**Un tampón**, para extender la arena formada por un disco de madera con mango y provista de un disco de goma dura en su cara inferior.

**Una regla graduada**, para medir el diámetro resultante.

### 2.3.3.12 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 realizará el ensayo.

### 2.3.3.13 Metodología de cálculo

#### Cálculo del valor Tx:

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

$$Hs \text{ o } Tx = \frac{4 * V}{\pi * Dp^2}$$

#### Donde:

Hs o Tx = Promedio del espesor de la macro textura de la superficie (mm)

V = Volumen de la muestra (mm<sup>3</sup>)

Dp = Diámetro promedio del área cubierta (mm)

#### Cálculo del valor Sp:

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

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Sp = a + b * Tx$$

**Donde:**

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

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

**Donde:**

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 ecuación:

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

**Donde:**

“A” y “B” toman los siguientes valores de acuerdo a la norma ASTM E 1960

A = 0,056

B = 0,008

**Cálculo del valor F(S):**

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

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

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

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

**Tabla 3.** Valores de fricción con Péndulo Británico.

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

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento ASTM E 1960, Ing. Fabricio Leiva

**Tabla 4.** Textura en pavimentos para el círculo de arena.

<b>Textura</b>	<b>Círculo de arena HS (mm)</b>
Muy fina	HS < 0,20
Fina	0,20 < HS < 0,40
Media	0,40 < HS < 0,80
Gruesa	0,80 < HS < 1,20
Muy gruesa	> 1,20

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento ASTM E 965, Ing. Fabricio Leiva

## **2.4 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.

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 evaluación estructural habrá que considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir a errores al interpretar los resultados.

### **Temperatura:**

Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observará cuál es el comportamiento técnico 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.<sup>7</sup>

### **2.4.1 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, quien la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la washo (washo road

---

<sup>7</sup> Pablo M. Del Águila, B.SC. Lagesa Ingenieros Consultores

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.<sup>8</sup>

#### 2.4.2 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 21**. 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 un trasero regulable “b”) y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “c”, uno de cuyos extremos se 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 “puesta 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 “d e” gira en torno al fijo “c” con respecto al cuerpo “a b”, 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 ha deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otras lecturas en el dial del extensómetro.

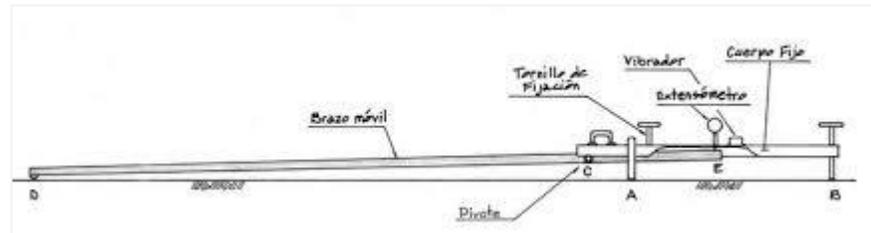
La operación expuesta representa el “principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflecto el pavimento en el lugar subyacente al

---

<sup>8</sup> Pablo M. Del Águila, B.SC. Lagesa Ingenieros Consultores.

punto “d” de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto “d” al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por los extensómetros ( $\epsilon'$ ) no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes.

**Figura 21.** Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman 1.



**Fuente:** Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la Interpretación de curvas de deflexiones. Hoffman y Del Águila, 1985

### 2.4.3 Metodología para la medición de las deflexiones en los pavimentos

#### 2.4.3.1 Ensayo Viga Benkelman

#### 2.4.3.2 Equipo requerido

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

**Deflectómetro** Viga Benkelman.

**Camión cargado** con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.

**Vehículo auxiliar** para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).

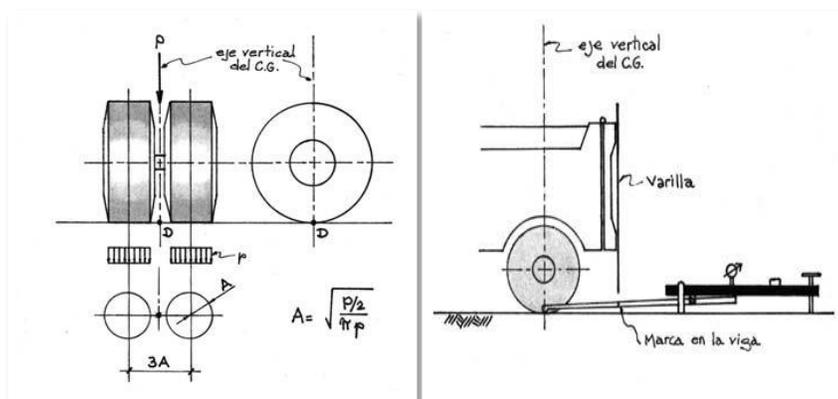
**Balanza portátil** para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.

**Accesorios de medición** y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.)

### 2.4.3.3 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. **Figura 22.**
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el "0" con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.
- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, recomendada es de 1 (cm/seg).
- Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,25 m. 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 22.** Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman 2.



**Fuente:** Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la Interpretación de curvas de deflexiones. Hoffman y Del Águila, 1985

#### 2.4.3.4 Metodología de cálculo

##### Cálculo de la deflexión máxima:

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

##### Donde:

$D_o$  = Deflexión máxima

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

$L_o$  = Lectura inicial

$L_f$  = Lectura final

##### Deflexión media a la distancia:

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

##### Donde:

$D_{25}$  = Deflexión media a la distancia (deflexión a los 0,25 m)

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

$L_{25}$  = Lectura a 0,25 m de la posición inicial.

$L_f$  = Lectura final

##### Corrección por temperatura:

El asfalto tiene un comportamiento visco – elástico, por lo tanto, las deflexiones son afectadas directamente por la temperatura, 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 dial.

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

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

**Donde:**

D20 = Deflexión a la temperatura standard 20 °C

Dt = Deflexión a la temperatura (t)

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

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 lluvia, puesto que el grado de saturación de los suelos tiene influencia directa en la deformación del suelo, 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.

$$D_o = D_{20} * F_{ce}$$

**Donde:**

D<sub>o</sub> = Deflexión máxima corregida

D<sub>20</sub> = Deflexión a la temperatura estándar 20°C

F<sub>ce</sub> = Factor de corrección por estacionalidad

**Tabla 5.** Factor de corrección por estacionalidad.

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa - Permeable	1	1,10 a 1,30
Arcillosa - Sensible al agua	1	1,20 a 1,40

**Fuente:** Metodología empírica Conreval (Consortio de rehabilitación vial)

**Cálculo del radio de curvatura:**

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0,25 m. a partir del punto de máxima deflexión.

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

**Donde:**

$R_c$  = Radio de curvatura (m)

$D_o$  = Deflexión máxima corregida

$D_{25}$  = Deflexión a 0,25 m corregida

**Límites:****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 componente satisfactorio de la estructura en el periodo considerado; la expresión que define este parámetro es:

$$D_a = \left( \frac{1.15}{N_{18}} \right)^{1/4}$$

**Donde:**

$D_a$  = Deflexión admisible (mm)

$N_{18}$  = Número total de ejes equivalentes (NESE)

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

$$D_o < D(\text{adm})$$

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

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

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

## CAPÍTULO III

### EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA INTEGRACIÓN

#### 3.1 Información preliminar del tramo de estudio

En la Avenida Integración de la ciudad de Tarija se vio la necesidad de realizar la evaluación superficial y estructural para lo cual se realizó el recopilamiento de la información lo cual se desarrolla en los siguientes puntos:

##### 3.1.1 Ubicación:

La avenida integración se encuentra ubicada en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija a orillas del río Guadalquivir.

Departamento: Tarija

Provincia: Cercado

Municipio: Tarija

**Figura 23.** Ubicación geográfica de la zona en estudio.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 24.** Coordenadas de la ubicación del tramo de estudio.



**Fuente:** Google earth.

**Geográficamente se encuentra entre las coordenadas:**

**Inicio (Estación Agrupa)**

Latitud: 21°30'41,54" S

Longitud: 64°44'53,87" W

Altitud: 1926 m.s.n.m

**Fin (Hotel los Ceibos)**

Latitud: 21°31'53,39" S

Longitud: 64°44'26,34" W

Altitud: 1877 m.s.n.m

### **3.1.2 Antecedentes**

La Avenida Integración de la ciudad de Tarija, fue ejecutada por la empresa privada "Procosur", aproximadamente hace unos 6 años atrás, quien a su vez nos brindó algunos datos sobre las características de diseño:

**Características geométricas del tramo son:**

Longitud de la ruta: 2688 m

Ancho de calzada: 7,30 m

Paquete estructural: Sub base, base, carpeta de rodadura

### Número de ejes equivalentes:

Cabe mencionar que, al no contar con este dato de referencia y que también al no tener respuestas positivas a las peticiones que fueron hechas para su proporción, se dispuso a realizar el levantamiento de la información con la finalidad de obtener el tráfico que transita actualmente por la Avenida Integración. Para el relevamiento de la información inicialmente se identificaron día (7 días) y horarios (de 6:00 a 14:00) para realizar los aforos, este recopilamiento de información se realizó entre las progresivas (1+408 a 1+440) km, considerando el conteo de automóviles, buses de transporte público y camiones de eje simple y camiones de eje doble, para luego realizar el cálculo del número de ejes equivalentes, cuyos resultados se pueden apreciar en el **Anexo 4**.

Número de ejes equivalentes: 1.101.151 ejes

## 3.2 Evaluación superficial del tramo

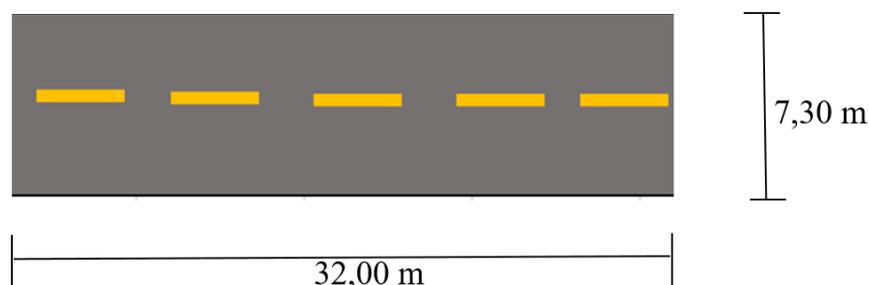
Para la evaluación superficial de la Avenida Integración se evaluaron 2 parámetros, PCI (Índice de Condición del Pavimento) e IFI (Índice de Fricción Internacional), lo cuáles detalla de mejor manera en los puntos posteriores.

### 3.2.1 Aplicación del método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

#### 3.2.1.1 Unidades de muestra

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento en la Avenida Integración que es de 7,30 m. Debido a ello y guiándonos con el **Tabla 2**, se adoptó una longitud de 32 m para cada una de las áreas.

Unidades de muestreo para el método PCI. Área= 230 m<sup>2</sup>



Una vez teniendo conocimiento de la longitud y el ancho de la unidad de muestreo se obtiene el área de muestreo que es de 230 m<sup>2</sup> que está dentro del rango establecido por el método PCI; con el fin de uniformizar las selecciones de estudio se usará un área uniforme de 230 m<sup>2</sup>.

Se inspeccionó minuciosamente todo el tramo, tanto la calzada de ida y de vuelta; la primera unidad de muestreo se inició a partir de la progresiva 0+000 km, que empieza al lado de la Estación Agrupa, de ahí con dirección aguas abajo hasta llegar a la altura del hotel los Ceibos donde termina el tramo de ida y seguidamente el tramo de vuelta; para obtener la información de ambos tramos, se evaluaron 168 unidades de muestras.

### 3.2.1.2 Procedimiento de cálculo del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Se inspeccionó cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas, 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.

**Tabla 6.** Tipos de fallas en los pavimentos.

Fallas	Unidad de medida	Fallas	Unidad de medida
1.-Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	10.-Fisuras longitudinales y transversales	m
2.-Exudación	m <sup>2</sup>	11.-Parches	m <sup>2</sup>
3.-Fisuras en bloque	m <sup>2</sup>	12.-Agregado pulido	m <sup>2</sup>
4.-Elevación-Hundimiento	m <sup>2</sup>	13.-Huecos	N#
5.-Corrugaciones	m <sup>2</sup>	14.-Acceso a puentes-Rejillas de drenaje	m <sup>2</sup>
6.-Depresiones	m <sup>2</sup>	15.-Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
7.-Fisuras de borde	m	16.-Deformación por empuje	m <sup>2</sup>
8.-Fisuras de reflexión de juntas	m	17.-Deslizamiento	m <sup>2</sup>
9.-Desnivel Carril-Berma	m	18.-Hinchamiento	m <sup>2</sup>
		19.-Disgregación-Desintegración	m <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de concluir con la inspección de campo, la información de fallas existentes en las unidades de muestreo y los grados de severidad fueron registrados en sus respectivas planillas para de esa manera realizar el cálculo del PCI; cabe mencionar que esto se lo puede realizar 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), con el valor deducido total y el máximo (cdv) se obtuvo el índice de condición presente PCI en el tramo de estudio.

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

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

Deben cuantificarse 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. Ejemplo, unidad de muestra 18.

**Tabla 7.** Fallas existentes.

Progresiva		Unidad de muestra	Tipo de falla	Severidad	Total		
Inicial	Final				H	M	L
0+544	0+576	18	Fisuras longitudinales y transversales (m)	H	5,65		
			Piel de cocodrilo (m <sup>2</sup> )	M		41,02	
			Fisuras longitudinales y transversales (m)	L			9,7

**Fuente:** Elaboración propia

Para la determinación 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 con la que se trabaja; cabe mencionar que esta densidad se expresa en porcentaje.

**Cálculo de la densidad:**

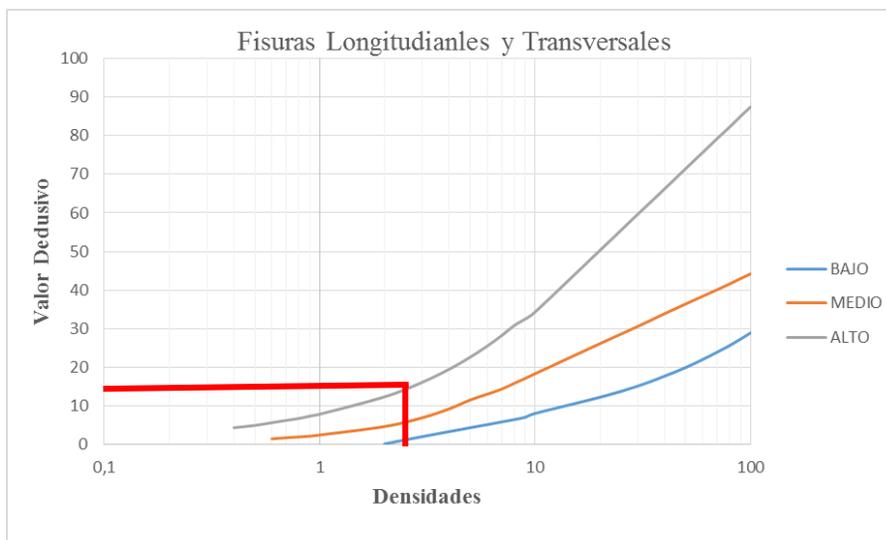
$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de falla (tipo de severidad)}}{\text{Área de unidad de muestreo}} * 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{5.65}{230} * 100$$

$$\text{Densidad} = 2,46 \%$$

Para calcular el “valor deducido” se determina mediante el uso de las curvas o tablas denominadas “valor deducido” de acuerdo con el tipo de falla. **Figura 25.**, **Tabla 8.**

**Figura 25.** Obtención del valor deducido (vd).



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

**Tabla 8.** Obtención del valor deducido (vd).

<b>Fisuras longitudinales y transversales</b>			
<b>Densidad</b>	<b>Valor deducido</b>		
	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>H</b>
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

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

En este caso se trata de una falla **Nro. 10** (Fisuras longitudinal y transversal) de severidad alta y de una densidad de 2,46 %; en función a estos parámetros se obtiene el valor deducido 14,50, se debe entrar a la gráfica con el valor de la densidad y proyectar una línea vertical hasta que intercepte con la curva de severidad que corresponda, este tipo de falla se encuentra en el nivel de severidad “alto”, para obtener el valor deducido mediante el gráfico se proyecta una línea horizontal hasta que intercepte el eje de las ordenadas en el que se encuentra el “valor de deducción”, o de lo contrario interpolar el valor deducido de la **Tabla 8**; para así obtener mayor exactitud.

Se repite la misma operación para cada tipo de falla y su severidad y se registran en la casilla de “valor deducido” como se presenta en la siguiente tabla.

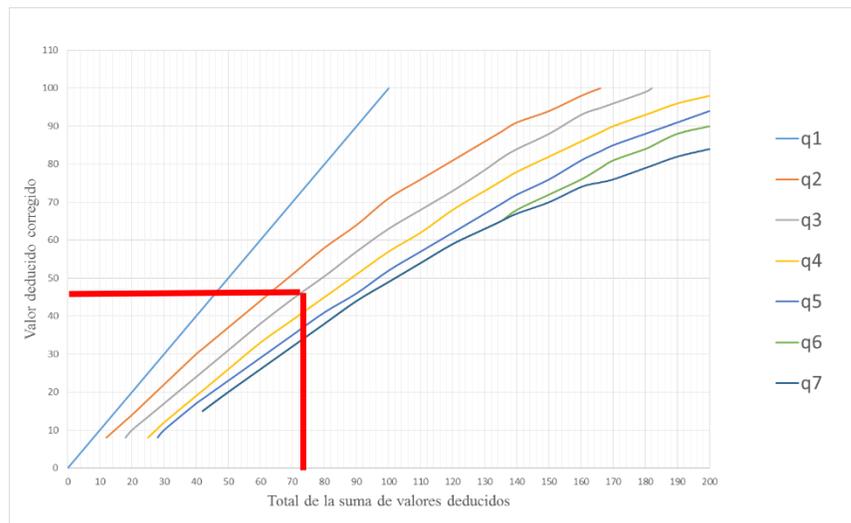
**Tabla 9.** Resultados de valor deducido (vd).

Tipo de falla	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido
Fisuras longitudinales y transversales (m)	H	5,65	2,46	14,50
Piel de cocodrilo (m <sup>2</sup> )	M	41,02	17,83	53,50
Fisuras longitudinales y transversales (m)	L	9,70	4,22	4,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Para cada valor deducido individual se determinó el valor deducido corregido mediante la **Figura 26**; para obtener mayor exactitud en el cálculo del valor deducido corregido se utilizó la **Tabla 10**; 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 26.** Curva de obtención del valor deducido corregido (cdv).



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

**Tabla 10.** Obtención del valor deducido corregido (cdv).

Total de valores deducidos	Corrección de valores deducidos para pavimentos flexibles						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0,00	0,00						
10,00	10,00						
12,00	12,00	8,00					
18,00	18,00	12,50	8,00				
20,00	20,00	14,00	10,00				
25,00	25,00	18,00	13,50	8,00			
28,00	28,00	20,40	15,60	10,40	8,00		
30,00	30,00	22,00	17,00	12,00	10,00		
40,00	40,00	30,00	24,00	19,00	17,00		
42,00	42,00	31,40	25,40	20,40	18,20	15,00	15,00
50,00	50,00	37,00	31,00	26,00	23,00	20,00	20,00
60,00	60,00	44,00	38,00	33,00	29,00	26,00	26,00
70,00	70,00	51,00	44,50	39,00	35,00	32,00	32,00
80,00	80,00	58,00	50,50	45,00	41,00	38,00	38,00
90,00	90,00	64,00	57,00	51,00	46,00	44,00	44,00
100,00	100,00	71,00	63,00	57,00	52,00	49,00	49,00
110,00		76,00	68,00	62,00	57,00	54,00	54,00
120,00		81,00	73,00	68,00	62,00	59,00	59,00
130,00		86,00	78,50	73,00	67,00	63,00	63,00
135,00		88,50	81,50	75,50	69,50	65,00	65,00
140,00		91,00	84,00	78,00	72,00	68,00	67,00
150,00		94,00	88,00	82,00	76,00	72,00	70,00
160,00		98,00	93,00	86,00	81,00	76,00	74,00
166,00		100,00	94,80	88,40	83,40	79,00	75,20
170,00			96,00	90,00	85,00	81,00	76,00
180,00			99,00	93,00	88,00	84,00	79,00
182,00			100,00	93,60	88,60	84,80	79,60
190,00				96,00	91,00	88,00	82,00
200,00				98,00	94,00	90,00	84,00

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

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 a 2, se usa el valor deducido total en el 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.

**Tabla 11.** Resultados de valores deducidos corregidos (vdc)

Nro	Valor deducido							Total	q	VDC
	1	2	3	4	5	6	7			
1	53,50	14,50	4,00					72,00	3	45,60
2	53,50	14,50	2					70,00	2	51,00
3	53,50	2	2					57,50	1	57,50

Maximo valor deducido corregido	
CDV=	57,50

$$\text{PCI} = 100 - \text{CDV}$$

$$\text{PCI} = 42,50$$

Condicion del pavimento	Regular
-------------------------	---------

**Fuente:** Elaboración propia.

El PCI obtenido fue de **42.50 %** lo que indica, según el siguiente esquema, que la muestra evaluada se encuentra en estado regular registrada en los rangos (40 a 55), **Tabla 12.**

**Tabla 12.** Rangos de calificación de PCI.

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

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

Se realiza este mismo procedimiento para cada una de las muestras que se establecieron, cuyos resultados se aprecian en el **Anexo 3**.

A continuación, se presentará una tabla genérica de los resultados obtenidos de la condición del pavimento, representando la unidad de muestra con su respectiva progresiva, esto para poder identificar mejor la condición en la que se encuentra cada una de las muestras evaluadas.

**Tabla 13.** Condición del pavimento, calzada de bajada

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	60,50	Bueno
2	0+032 - 0+064	58,50	Bueno
3	0+064 - 0+096	74,00	Muy bueno
4	0+096 - 0+128	96,74	Excelente
5	0+128 - 0+160	100,00	No hay fallas
6	0+160 - 0+192	100,00	No hay fallas
7	0+192 - 0+224	100,00	No hay fallas
8	0+224 - 0+256	79,50	Muy bueno
9	0+256 - 0+288	100,00	No hay fallas
10	0+288 - 0+320	81,50	Muy bueno
11	0+320 - 0+352	81,50	Muy bueno
12	0+352 - 0+384	100,00	No hay fallas
13	0+384 - 0+416	86,50	Excelente
14	0+416 - 0+448	34,50	Malo
15	0+448 - 0+480	32,50	Malo
16	0+480 - 0+512	63,00	Bueno
17	0+512 - 0+544	54,20	Regular
18	0+544 - 0+576	42,50	Regular
19	0+576 - 0+608	93,60	Excelente
20	0+608 - 0+640	100,00	No hay fallas
21	0+640 - 0+672	84,50	Muy bueno
22	0+672 - 0+704	84,50	Muy bueno
23	0+704 - 0+736	84,46	Muy bueno
24	0+736 - 0+768	100,00	No hay fallas
25	0+768 - 0+800	84,35	Muy bueno
26	0+800 - 0+832	53,90	Regular
27	0+832 - 0+864	76,83	Muy bueno
28	0+864 - 0+896	100,00	No hay fallas
29	0+896 - 0+928	100,00	No hay fallas
30	0+928 - 0+960	100,00	No hay fallas
31	0+960 - 0+992	79,30	Muy bueno
32	0+992 - 1+024	74,40	Muy bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

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	73,76	Muy bueno
34	1+056 - 1+088	69,85	Bueno
35	1+088 - 1+120	77,30	Muy bueno
36	1+120 - 1+152	100,00	No hay fallas
37	1+152 - 1+184	100,00	No hay fallas
38	1+184 - 1+216	100,00	No hay fallas
39	1+216 - 1+248	100,00	No hay fallas
40	1+248 - 1+280	100,00	No hay fallas
41	1+280 - 1+312	100,00	No hay fallas
42	1+312 - 1+344	100,00	No hay fallas
43	1+344 - 1+376	100,00	No hay fallas
44	1+376 - 1+408	100,00	No hay fallas
45	1+408 - 1+440	45,90	Regular
46	1+440 - 1+472	49,60	Regular
47	1+472 - 1+504	79,30	Muy bueno
48	1+504 - 1+536	100,00	No hay fallas
49	1+536 - 1+568	100,00	No hay fallas
50	1+568 - 1+600	48,80	Regular
51	1+600 - 1+632	76,60	Muy bueno
52	1+632 - 1+664	53,85	Regular
53	1+664 - 1+696	57,80	Bueno
54	1+696 - 1+728	79,36	Muy bueno
55	1+728 - 1+760	77,41	Muy bueno
56	1+760 - 1+792	75,30	Muy bueno
57	1+792 - 1+824	78,30	Muy bueno
58	1+824 - 1+856	26,80	Malo
59	1+856 - 1+888	18,28	Muy malo
60	1+888 - 1+920	4,90	Fallado
61	1+920 - 1+952	53,27	Bueno
62	1+952 - 1+984	67,13	Muy bueno
63	1+984 - 2+016	72,90	Muy bueno
64	2+016 - 2+048	74,15	Muy bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresivas. Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
65	2+048 - 2+080	74,40	Muy bueno
66	2+080 - 2+112	74,85	Muy bueno
67	2+112 - 2+144	62,20	Bueno
68	2+144 - 2+176	58,87	Bueno
69	2+176 - 2+208	62,20	Bueno
70	2+208 - 2+240	60,23	Bueno
71	2+240 - 2+272	62,15	Bueno
72	2+272 - 2+304	62,20	Bueno
73	2+304 - 2+336	49,98	Regular
74	2+336 - 2+368	64,20	Bueno
75	2+368 - 2+400	64,15	Bueno
76	2+400 - 2+432	62,20	Bueno
77	2+432 - 2+464	64,20	Bueno
78	2+464 - 2+496	60,20	Bueno
79	2+496 - 2+528	69,14	Bueno
80	2+528 - 2+560	65,88	Bueno
81	2+560 - 2+592	62,20	Bueno
82	2+592 - 2+624	61,98	Bueno
83	2+624 - 2+656	69,60	Bueno
84	2+656 - 2+688	63,55	Bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 14.** Condición del pavimento, calzada de subida

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresivas. Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
85	0+000 - 0+032	87,15	Excelente
86	0+032 - 0+064	100,00	No hay fallas
87	0+064 - 0+096	100,00	No hay fallas
88	0+096 - 0+128	100,00	No hay fallas
89	0+128 - 0+160	100,00	No hay fallas
90	0+160 - 0+192	74,85	Muy bueno
91	0+192 - 0+224	78,55	Muy bueno
92	0+224 - 0+256	100,00	No hay fallas
93	0+256 - 0+288	87,25	Excelente
94	0+288 - 0+320	91,58	Excelente
95	0+320 - 0+352	86,70	Excelente
96	0+352 - 0+384	86,75	Excelente
97	0+384 - 0+416	95,90	Excelente
98	0+416 - 0+448	100,00	No hay fallas
99	0+448 - 0+480	100,00	No hay fallas
100	0+480 - 0+512	64,80	Bueno
101	0+512 - 0+544	74,75	Muy bueno
102	0+544 - 0+576	64,05	Bueno
103	0+576 - 0+608	34,01	Malo
104	0+608 - 0+640	54,20	Regular
105	0+640 - 0+672	100,00	No hay fallas
106	0+672 - 0+704	95,90	Excelente
107	0+704 - 0+736	69,77	Bueno
108	0+736 - 0+768	100,00	No hay fallas
109	0+768 - 0+800	100,00	No hay fallas
110	0+800 - 0+832	100,00	No hay fallas
111	0+832 - 0+864	84,90	Muy bueno
112	0+864 - 0+896	86,67	Excelente
113	0+896 - 0+928	83,18	Muy bueno
114	0+928 - 0+960	86,84	Excelente
115	0+960 - 0+992	100,00	No hay fallas
116	0+992 - 1+024	100,00	No hay fallas

**Fuente:** Elaboración propia.

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresivas. Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
117	1+024 - 1+056	100,00	No hay fallas
118	1+056 - 1+088	100,00	No hay fallas
119	1+088 - 1+120	100,00	No hay fallas
120	1+120 - 1+152	88,80	Excelente
121	1+152 - 1+184	78,18	Muy Bueno
122	1+184 - 1+216	84,96	Muy Bueno
123	1+216 - 1+248	100,00	No hay fallas
124	1+248 - 1+280	76,20	Muy Bueno
125	1+280 - 1+312	100,00	No hay fallas
126	1+312 - 1+344	100,00	No hay fallas
127	1+344 - 1+376	100,00	No hay fallas
128	1+376 - 1+408	100,00	No hay fallas
129	1+408 - 1+440	100,00	No hay fallas
130	1+440 - 1+472	100,00	No hay fallas
131	1+472 - 1+504	91,00	Excelente
132	1+504 - 1+536	83,75	Muy bueno
133	1+536 - 1+568	100,00	No hay fallas
134	1+568 - 1+600	87,65	Excelente
135	1+600 - 1+632	100,00	No hay fallas
136	1+632 - 1+664	100,00	No hay fallas
137	1+664 - 1+696	100,00	No hay fallas
138	1+696 - 1+728	100,00	No hay fallas
139	1+728 - 1+760	100,00	No hay fallas
140	1+760 - 1+792	53,52	Regular
141	1+792 - 1+824	48,66	Regular
142	1+824 - 1+856	39,25	Malo
143	1+856 - 1+888	51,04	Regular
144	1+888 - 1+920	49,77	Regular
145	1+920 - 1+952	48,07	Regular
146	1+952 - 1+984	80,96	Muy bueno
147	1+984 - 2+016	78,80	Muy bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestreo	Progresivas. Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
148	2+016 - 2+048	77,40	Muy bueno
149	2+048 - 2+080	43,27	Regular
150	2+080 - 2+112	39,14	Malo
151	2+112 - 2+144	90,20	Excelente
152	2+144 - 2+176	88,72	Excelente
153	2+176 - 2+208	93,60	Excelente
154	2+208 - 2+240	83,06	Muy bueno
155	2+240 - 2+272	72,76	Muy bueno
156	2+272 - 2+304	86,20	Excelente
157	2+304 - 2+336	45,29	Regular
158	2+336 - 2+368	70,40	Muy bueno
159	2+368 - 2+400	86,90	Excelente
160	2+400 - 2+432	74,13	Muy bueno
161	2+432 - 2+464	73,12	Muy bueno
162	2+464 - 2+496	94,20	Excelente
163	2+496 - 2+528	89,50	Excelente
164	2+528 - 2+560	81,80	Muy bueno
165	2+560 - 2+592	84,80	Muy bueno
166	2+592 - 2+624	55,70	Bueno
167	2+624 - 2+656	58,40	Bueno
168	2+656 - 2+688	58,20	Bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.2.2 Aplicación del método IFI (Índice de Fricción Internacional)**

#### **3.2.2.1 Procedimiento de medición**

Los ensayos del 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 tramo de ida como el tramo 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 con 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; 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 verificó que la punta de caucho del brazo del péndulo al realizar el balanceo realice el roce con la superficie asfáltica solamente dentro del rango de la regla calibrada que trae consigo el equipo; 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 tráfico; una vez limpia la superficie se procedió a asegurar el brazo del péndulo y soltarlo de tal forma que una vez que la aguja de medición no vuelva a descender en la medida marcada se sujeta el brazo en el ínterin de su regreso, 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 verificó la temperatura del pavimento al momento de realizar el ensayo, de esta manera se concluye para posteriormente pasar a realizar el mismo procedimiento con otro punto.

**Figura 27.** Procedimiento del ensayo Péndulo Británico



**Fuente:** Elaboración propia.

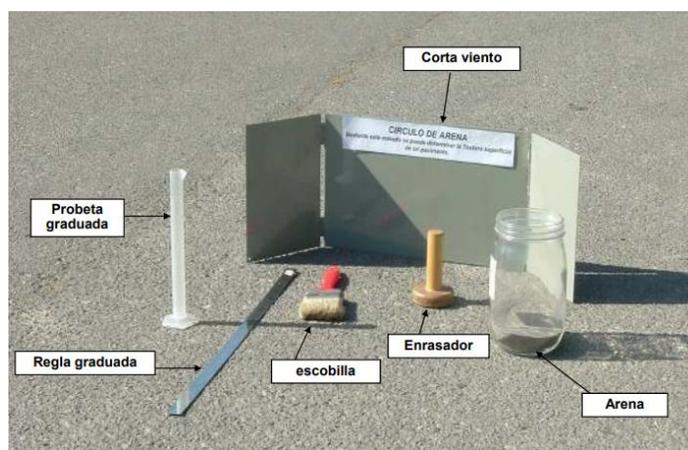
### **Círculo de arena:**

El ensayo del círculo de arena se realizó 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 sujetador de madera de tal forma que la base del espaciador quede completamente plana; una vez construido el equipo se calibro la arena haciendo pasar el material por el tamiz nro. 100 y el material a usar para el ensayo es el que se retiene en el tamiz nro. 80 se tamizó aproximadamente 10 kg.

Para proceder con el ensayo se utilizaron los siguientes materiales; arena calibrada, esparcidor, tubo cilíndrico graduado, 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 mm<sup>3</sup>, 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 de vaciar la arena se realizó la limpieza de la superficie del asfalto con una brocha sacando todas las impurezas, polvo y otros; seguidamente se vacía la arena dejando que esta quede en forma cónica y luego 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 esparcido 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.

**Figura 28.** Procedimiento círculo de arena.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.2.2 Procedimiento de cálculo del IFI (Índice de Fricción Internacional)

Cabe mencionar que al momento de realizar el ensayo círculo de arena se midieron tres diámetros por cada ensayo; debido a la cantidad de datos que se recolectó se realizó la exclusión de datos que se puedan salir de rango y que afecten significativamente los resultados.

**Tabla 15.** Datos obtenidos del ensayo del círculo de arena.

Ensayo del círculo de arena					
Proyecto:	Tramo: "Avenida Integración de la ciudad de Tarija"				
Fecha:	18-jul-18	Operador:	Fita Zurita Edson Miguel		
Progresiva		Volumen de arena (mm <sup>3</sup> ):	25000	Número de muestreo:	1
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Calzada de bajada "Avenida Integración"		
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0+448	0+480	1	8,90	8,00	9,50
		2	8,50	9,30	9,20
		3	8,00	8,80	7,50
		4	8,40	8,30	8,10
		5	7,80	9,20	8,30

**Fuente:** Elaboración propia.

Se realizó la exclusión y aceptación de datos mediante las siguientes ecuaciones, en función a los cálculos realizados se puede decir que los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena son aceptables, puesto que la mayoría se asemejan unos de otros.

$$X \pm 2 * \sigma$$

**Donde:**

X = Media aritmética

$\sigma$  = Desviación estándar

Se calcula la media de los valores obtenidos:

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

$$X = \frac{127,80}{15}$$

$$X = 8,52$$

Desviación estándar de los valores obtenidos:

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{5,104}{15}}$$

$$\sigma = 0,58$$

Verificación de los datos obtenidos del ensayo círculo de arena.

$$X \pm 2 * \sigma$$

$$8,52 + 2 * 0,583$$

$$8,52 - 2 * 0,583$$

$$X + 2 * \sigma = 9,69$$

$$X - 2 * \sigma = 7,35$$

Cabe recalcar que los datos obtenidos mediante la aplicación del ensayo círculo de arena se encuentran a similitudes cercanas, es decir que ningún valor se dispersa, por lo tanto, no se llegó a depurar ninguno.

**Tabla 16.** Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena 1.

Ensayo del círculo de arena						
Proyecto:	Tramo: "Avenida Integración de la ciudad de Tarija"					
Fecha:	18-jul-18	Operador:	Fita Zurita Edson Miguel			
Progresiva		Volumen de arena (mm <sup>3</sup> ):	25000	Número de muestreo:	1	
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Calzada de bajada "Avenida Integración"			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
0+448	0+480	1	8,90	8,00	9,50	
		2	8,50	9,30	9,20	
		3	8,00	8,80	7,50	
		4	8,40	8,30	8,10	
		5	7,80	9,20	8,30	
		Media (x):		8,52	85,20	
		Desviación Estándar		0,58		
		x±2σ		9,69	7,35	

**Fuente:** Elaboración propia.

El cálculo de la macro textura (Tx) se determina con la siguiente ecuación; se utilizó un volumen de 25000 mm<sup>3</sup> y para el diámetro se usó la media de los valores obtenidos del ensayo para cada punto de muestra.

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

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

$$Tx = 4,39 \text{ mm}$$

**Tabla 17.** Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena 2.

Ensayo del círculo de arena						
Proyecto:	Tramo: "Avenida Integración de la ciudad de Tarija"					
Fecha:	18-jul-18	Operador:	Fita Zurita Edson Miguel			
Progresiva		Volumen de arena (mm <sup>3</sup> ):	25000	Número de muestreo:	1	
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Calzada de bajada "Avenida Integración"			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
0+448	0+480	1	8,90	8,00	9,50	
		2	8,50	9,30	9,20	
		3	8,00	8,80	7,50	
		4	8,40	8,30	8,10	
		5	7,80	9,20	8,30	
		Media (x):		8,52	85,20	
		Tx:		4,39		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 18.** Rangos de Textura

Textura	Círculo de arena HS (mm)
Muy fina	HS < 0,20
Fina	0,20 < HS < 0,40
Media	0,40 < HS < 0,80
Gruesa	0,80 < HS < 1,20
Muy gruesa	> 1,20

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento, ASTM E 965.

El cálculo de la constante de velocidad ( $S_p$ ), se determina con la siguiente ecuación, asumiendo los valores  $a = -11,5981$  y  $b = 113,63246$  según la norma ASTM E 965.

$$S_p = a + b * T_x$$

$$S_p = -11,5981 + 113,63246 * 4,39$$

$$S_p = 486,68 \text{ Km/h}$$

**Tabla 19.** Datos obtenidos del ensayo péndulo británico.

Péndulo Británico							
Proyecto:		Tramo: "Avenida Integración de la ciudad de Tarija"					
Fecha:	23-Ago-18	Operador:	Fita Zurita Edson Miguel				
Progresiva		Temperatura:(°C)	36	Número de muestra:	1		
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Calzada de bajada "Avenida Integración"				
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
0+448	0+480	1	79	79	79	79	80
		2	80	80	75	79	78
		3	50	66	52	61	60
		4	52	68	60	61	61
		5	65	70	61	60	64

**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 la 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.

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

$$FR60 = 67,96 * e^{\frac{(10-60)}{486,68}}$$

$$FR60 = 61,32$$

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

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0,056 + 0,008 * 61,32$$

$$F60 = 0,55$$

**Tabla 20.** Rangos de Fricción

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

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento, ASTM E 1960.

El valor IFI está representado por:

$$IFI = (F60; Sp)$$

$$IFI = (0,55; 486,68)$$

**Tabla 21.** Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

Ensayo del círculo de arena						
Proyecto:	Tramo: "Avenida Integración de la ciudad de Tarija"					
Fecha:	18-jul-18	Operador:	Fita Zurita Edson Miguel			
Progresiva		Volumen de arena (mm <sup>3</sup> ):	25000	Número de muestreo:	1	
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Calzada de bajada "Avenida Integración"			
			Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
0+448	0+480	1	8,90	8,00	9,50	
		2	8,50	9,30	9,20	
		3	8,00	8,80	7,50	
		4	8,40	8,30	8,10	
		5	7,80	9,20	8,30	
		<b>Media (x):</b>		8,52		85,20
		<b>Desviación estándar:</b>		0,58		
		<b>x±2σ</b>		9,69		7,35
		<b>Tx:</b>		4,39		
		<b>Sp:</b>		486,68		

Péndulo Británico								
Inicial	Final	Nro. Ensayo	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Promedio FRS
0+448	0+480	1	79	79	79	79	80	79,20
		2	80	80	75	79	78	78,40
		3	50	66	52	61	60	57,80
		4	52	68	60	61	61	60,40
		5	65	70	61	60	64	64,00
S (Km/h)		10					FRS=	67,96
Carril de bajada	FR60=	61,32	<b>Calificación textura</b>		<b>Calificación de la fricción</b>			
	F60=	0,55						
	IFI (F60 , Sp)		Muy gruesa		De regular a Bueno			
	0,55	486,68						

**Fuente:** Elaboración propia.

Se repite todo el procedimiento de cálculo anterior descrito para todas las unidades de muestreo seleccionadas en el tramo evaluado "Avenida Integración"

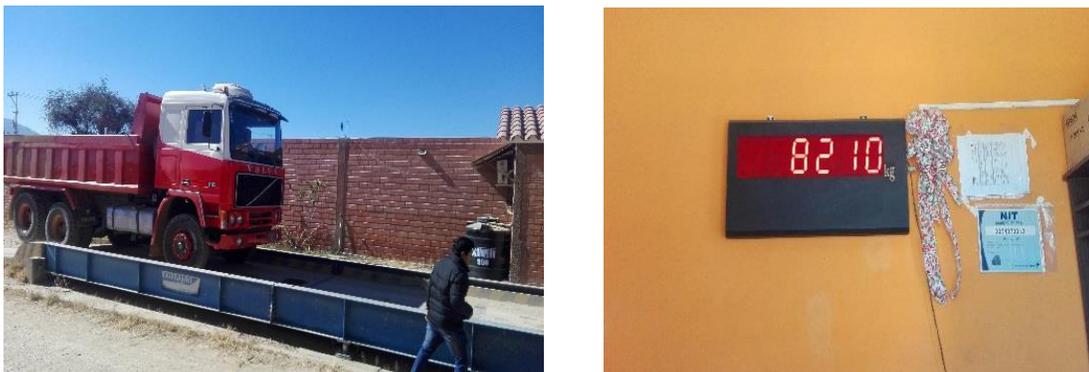
### **3.3 Evaluación estructural del tramo**

#### **3.3.1 Procedimiento de medición Viga Benkelman**

Se efectuó inicialmente la calibración de la Viga Benkelman en el laboratorio de asfaltos de la universidad, para verificar que el equipo esté en condiciones óptimas para ser manejado, 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 puso a disposición para realizar el ensayo fue de 12 m<sup>3</sup> 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 trasero de la volqueta para lograr el peso necesario de (8,2 tn) 8200 kg, 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 cuáles 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 esté 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 de ambos tramos de estudio.

**Figura 29.** Pesado de la volqueta.



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 30.** Comprobante de pesado de la volqueta.

BALANZA "MENDOZA"		Talla - Bodega	
N° 6243	Fecha 25/02/2018	BRUTO: 0	INGRESO 25/02/2018 10:42:28 AM
		TARA: 8.210	SALIDA 25/02/2018 10:51:08 AM
		NETO: 8.210	
Cliente: EDSON M. FITA			
Agencia: VILQUELA			
Chofer: RICARDO VILARCA	Placa A47 CVR		
Dominio: NITL			
Observación:			
<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b> <b>"MENDOZA"</b> C.A. BALANZA K. 7.5 EL ROPULLO Cel. 7145 038-666077		[Firma manuscrita]	

**Fuente:** Factura emitida por la balanza Mendoza.

**Figura 31.** Procedimiento del ensayo Viga Benkelman.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.2 Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento.

Ya teniendo procesados los datos de campo de la Avenida Integración tales como, las lecturas que se toman del dial corresponden a valores 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. Ejemplo para el ensayo nro. 1, en la progresiva (0+448 a 0+480), calzada de bajada.

#### Cálculo de la deflexión máxima:

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

$$D_o = 2,00 *(100 - 76)$$

$$D_o = 48 *10^{-2} \text{ mm}$$

#### 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 29 °C, el valor de deflexión máxima debe corregirse usando la siguiente expresión:

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

$$D_{20} = \frac{48}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (29^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * 6\text{cm} + 1}$$

$$D_{20} = 45,54 *10^{-2} \text{ mm}$$

### **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 deflexión 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 CONREVIAl (Consortio de Rehabilitación Vial) se propone el uso de factores de corrección, considerando el tipo de suelo subrasante y la época en que se realizan los ensayos; para el caso ensayo del tramo Avenida Integración, tenemos que la subrasante según aashto es un suelo a-1 (suelo granular), que según la **Tabla 5**. se adopta un factor de corrección por estacionalidad (Fce)= 1,30

$$\mathbf{D_o = D_{20} * F_{ce}}$$

$$\mathbf{D_o = 45,54 * 1,30}$$

$$\mathbf{D_o = 59,20 * 10^{-2} \text{ mm}}$$

### **Deflexión a la distancia de 25 cm:**

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

$$\mathbf{D_{25} = k * (L_{25} - L_f)}$$

$$\mathbf{D_{25} = 2,00 * (97 - 76)}$$

$$\mathbf{D_{25} = 42 * 10^{-2} \text{ mm}}$$

**Factor de corrección por temperatura:**

$$D25' = \frac{Dt}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$D25' = \frac{48}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (29^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) * 6\text{cm} + 1}$$

$$D25' = 39,85 * 10^{-2} \text{ mm}$$

**Factor de corrección por estacionalidad:**

$$D25 = D25' * Fce$$

$$D25 = 39,85 * 1,3$$

$$D25 = 51,80 * 10^{-2} \text{ mm}$$

**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:

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

$$Rc = \frac{6250}{2.00 * (59,20 - 51,80)}$$

$$Rc = 422,30 \text{ m}$$

**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:

$$D_a = \left( \frac{1,15}{N_{18}} \right)^{1/4}$$

$$D_a = \left( \frac{1,15}{1.101151} \right)^{1/4}$$

$$D_a = 101,09 * 10^{-2} \text{ mm}$$

El pavimento flexible de la Avenida Integración tiene capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

Cabe mencionar que la planilla de resultados obtenidos aplicada a esta metodología se encuentra adjunta en el **Anexo 5**.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 Evaluación superficial por el método PCI

##### 4.1.1 Resultados parciales del método PCI

A continuación, se resumen los resultados del PCI (Índice de Condición de Pavimento) de la Avenida Integración, en los cuáles se destacarán tres puntos importantes; primero tenemos en la **Tabla 22**, los puntos o muestras con mayor afectación en el tramo.

**Tabla 22.** Resultados de las muestras más desfavorables del tramo.

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de muestreo	Progresiva. Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
14	0+416 - 0+448	34,50	Malo
15	0+448 - 0+480	32,50	Malo
17	0+512 - 0+544	54,20	Regular
18	0+544 - 0+576	42,50	Regular
26	0+800 - 0+832	53,90	Regular
45	1+408 - 1+440	45,90	Regular
46	1+440 - 1+472	49,60	Regular
50	1+568 - 1+600	48,80	Regular
52	1+632 - 1+664	53,85	Regular
58	1+824 - 1+856	26,80	Malo
59	1+856 - 1+888	18,28	Muy malo
60	1+888 - 1+920	4,90	Fallado
73	2+304 - 2+336	49,98	Regular
103	0+576 - 0+608	34,01	Malo
104	0+608 - 0+640	54,20	Regular
140	1+760 - 1+792	53,52	Regular
141	1+792 - 1+824	48,66	Regular
142	1+824 - 1+856	39,25	Malo
143	1+856 - 1+888	51,04	Regular
144	1+888 - 1+920	49,77	Regular
145	1+920 - 1+952	48,07	Regular
149	2+048 - 2+080	43,27	Regular
150	2+080 - 2+112	39,14	Malo
157	2+304 - 2+336	45,29	Regular

**Fuente:** Elaboración propia.

Analizando los resultados con más incidencia o puntos críticos del tramo evaluado **Tabla 23**, tenemos que, dichos puntos en estado crítico estarían bajo la misma causa de deterioro en común, la cual resulta ser el mal drenaje o la mala evacuación de sus aguas en épocas de lluvia; efectivamente la mayoría de estos puntos están sujetos a encharcamientos que bajo la acción de cargas repetitivas generarían afectaciones a la capa de rodadura dando así como resultado fallas considerables en el pavimento.

**Tabla 23.** Resultados del tramo evaluado por cada kilómetro.

Tramo de Evaluación	Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
0+000 - 1+024 (c/bajada)	80,04	Muy bueno
1+024 - 2+688 (c/bajada)	68,74	Bueno
0+000 - 1+024 (c/subida)	87,12	Muy bueno
1+024 - 2+688 (c/subida)	79,42	Muy bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 24.** Resultado del tramo evaluado en General.

Tramo de Evaluación	Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI	Calificación
0+000 - 2+688	78,83	Muy bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

Anteriormente en las **Tablas 23-24**, representamos los resultados que se dan al realizar una evaluación por cada kilómetro y posteriormente una tabla genérica que representaría un resultado en promedio total del estado en cual se encontraría el tramo evaluado.

#### 4.1.2 Análisis de resultados del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

En los 2+688 km (considerando ambos carriles) de trayectoria de vía en que se realizó la evaluación superficial por el método PCI, presentaremos a continuación el porcentaje de fallas más representativas que se originaron en el tramo evaluado, y posteriormente se realizará un análisis de los 3 tipos de fallas con mayor porcentaje que más sobresalen.

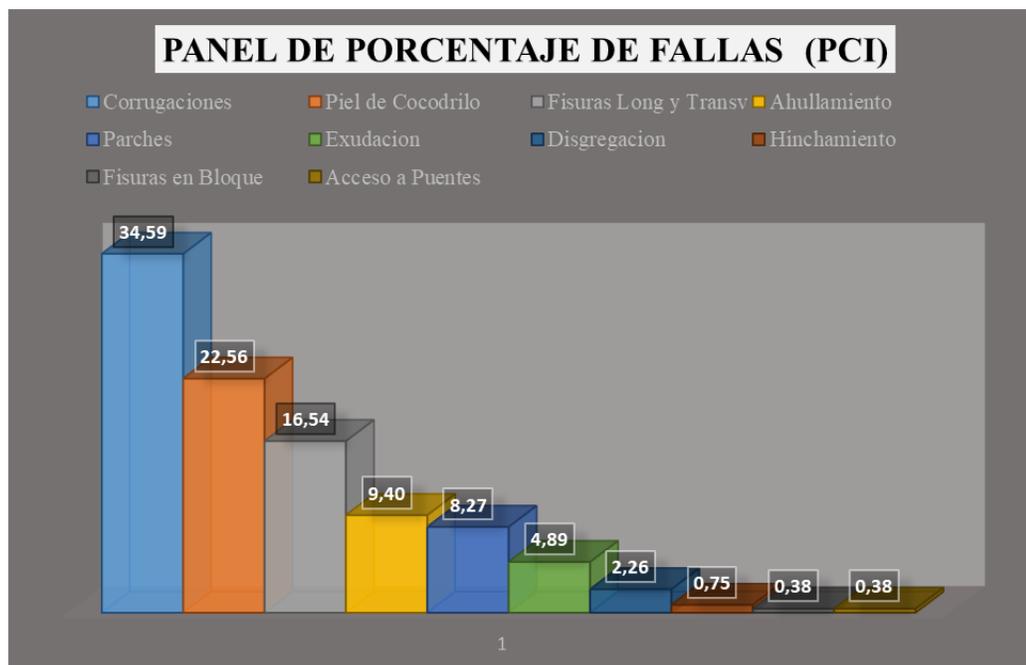
**Tabla 25.** Porcentaje de fallas más representativas en general

Tipo de falla	% de falla
Corrugaciones(m <sup>2</sup> )	34,59
Piel de cocodrilo(m <sup>2</sup> )	22,56
Fisuras longitudinales y transversales(m <sup>2</sup> )	16,54
Ahuellamiento (m <sup>2</sup> )	9,40
Parches(m <sup>2</sup> )	8,27
Exudación(m <sup>2</sup> )	4,89
Disgregación-Desintegración(m <sup>2</sup> )	2,26
Hinchamiento(m <sup>2</sup> )	0,75
Fisuras en bloque(m <sup>2</sup> )	0,38
Acceso a puentes-Rejillas de drenaje(m <sup>2</sup> )	0,38
Total	100,00

**Fuente:** Elaboración propia.

Una representación gráfica del 100% de fallas que presentaría el tramo sería la siguiente.

**Figura 32.** Panel de fallas en general



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Corrugaciones:**

Es la falla que más predomina en el tramo evaluado con un porcentaje de **34,59 %**; entre las fallas existentes con un nivel de severidad bajo. Este tipo de daño es usualmente causado por las acciones de sobrecarga vehicular que también puede ir acompañada de una capa de rodadura inestable. Estas dos variables o factores mencionados pudieron haber provocado la presencia de este tipo de falla, y en cierta parte el factor de sobrecarga es la causa más probable debido al crecimiento poblacional que tuvo esa zona lo cual hizo que el transporte público como particular tenga un incremento desmedido del tráfico; por otro lado, la capa de rodadura inestable que podría estar presentando el tramo puede haber sido generada por una mala imprimación durante la colocación de la carpeta asfáltica. Dando lugar a que si se combinaran estos dos factores mencionados tendríamos como resultado falla por corrugación.

Haciendo un énfasis a los niveles de severidad que se presentaron para este tipo de falla por lo general estaríamos en presencia de severidad baja a media la cual nos permite realizar un trabajo de mantenimiento a bajo costo ya que aún no tendríamos fallas en el paquete estructural y solamente sería a nivel de rodadura.

### **Piel de cocodrilo:**

Segunda falla más representativa dentro de la evaluación con un porcentaje de **26,56 %**; el origen de este tipo de falla vendría dado por la fatiga de la carpeta asfáltica que encontrándose bajo acción repetida de las cargas vehiculares darían como resultado la piel de cocodrilo; cabe mencionar que este tipo de falla no sería nada sin antes mencionar el factor que posiblemente sería la causa más probable por la cual se estaría suscitando esta patología, hablamos de la infiltración.

La infiltración efectivamente estaría ocasionando una hidratación al paquete estructural, debido a que en época de lluvias la zona de estudio presentaría un mal desalojo de las aguas precipitadas y bajo la acción de cargas vehiculares en desmedida tendría como consecuencia este tipo de falla.

Bajo el mismo énfasis sobre los niveles de severidad que se estarían presentando en este tipo de falla, tenemos como información que las severidades serían elevadas, es decir, que en algunos puntos o áreas del tramo se requiere un cambio en la carpeta de rodadura urgente no solo con el propósito de mejoramiento sino también para evitar un daño estructural, el cual si se deja pasar tendríamos un costo más elevado para su rehabilitación.

### **Fisuras longitudinales y transversales:**

Por último, la patología que también tiene gran magnitud en el tramo evaluado con un **16,54 %** de daño en el área de estudio; este tipo de patología probablemente se presenta debido a una junta de carril del pavimento pobremente construida; otro factor a considerar es la contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto. En todo caso lo más probable en este tipo de falla fue el

incremento vehicular y con ello ocasionando fisuras pequeñas que acompañadas de precipitaciones hacen que las mismas vayan incrementando su tamaño longitudinal en gran parte del tramo evaluado; se pudo apreciar que este tipo de fallas se debe al deterioro de la carpeta asfáltica y no así de las demás capas que conforman el paquete estructural.

## 4.2 Evaluación superficial por el método IFI

### 4.2.1 Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

A continuación, se presenta un resumen sobre los resultados obtenidos de la evaluación superficial, esta vez aplicando la metodología del IFI (Índice de Fricción Internacional), tales puntos fueron realizadas en las áreas más críticas del tramo.

**Tabla 26.** Resultados del IFI, puntos más críticos del tramo evaluado

<b>Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)</b>						
<b>Proyecto:</b>		<b>Tramo "Avenida Integración"</b>				
<b>Progresiva:</b>		<b>Número de muestra</b>	<b>IFI (F60,Sp)</b>		<b>Calificación de textura</b>	<b>Calificación de la fricción</b>
<b>Inicial</b>	<b>Final</b>		<b>F60</b>	<b>Sp</b>		
<b>Carril de bajada</b>						
0+448	0+480	1	0,55	486,68	Muy gruesa	De regular a bueno
0+800	0+832	2	0,57	478,97	Muy gruesa	De regular a bueno
1+408	1+440	3	0,57	513,45	Muy gruesa	De regular a bueno
1+632	1+664	4	0,59	496,98	Muy gruesa	De regular a bueno
1+888	1+920	5	0,59	501,02	Muy gruesa	De regular a bueno
2+304	2+336	6	0,59	495,37	Muy gruesa	De regular a bueno
<b>Carril de subida</b>						
0+576	0+608	7	0,56	482,03	Muy gruesa	De regular a bueno
1+760	1+792	8	0,60	495,37	Muy gruesa	De regular a bueno
1+888	1+920	9	0,58	505,11	Muy gruesa	De regular a bueno
2+048	2+080	10	0,59	496,17	Muy gruesa	De regular a bueno
2+304	2+336	11	0,56	497,78	Muy gruesa	De regular a bueno
2+592	2+624	12	0,58	489,03	Muy gruesa	De regular a bueno

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 27.** Resultados del IFI en promedio total

Calzada de bajada						
Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)						
Proyecto:		Tramo "Avenida Integración"				
Progresiva:		Número de muestra	IFI (F60,Sp)		Calificación de textura	Calificación de la fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+000	2+688	Promedio	0,58	495,41	Muy gruesa	De regular a bueno

Calzada de subida						
Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)						
Proyecto:		Tramo "Avenida Integración"				
Progresiva:		Número de muestra	IFI (F60,Sp)		Calificación de textura	Calificación de la fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+000	2+688	Promedio	0,58	494,25	Muy gruesa	De regular a bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

Seguidamente damos representación gráfica porcentual a los resultados que se generarían, en la calificación por textura y fricción.

**Figura 33.** Porcentaje de calificación de la textura

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 34.** Porcentaje de la calificación de la fricción.



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2.2 Análisis de resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

En base a los ensayos y cálculos realizados de la evaluación superficial por el método IFI (Índice de Fricción Internacional), en la siguiente tabla presentamos resultados en promedio total y seguidamente un análisis acerca de los resultados.

**Tabla 28.** Resultados del IFI, calificación por textura y fricción

Calzada de bajada						
Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)						
Proyecto:		Tramo "Avenida Integración"				
Progresiva:		Número de muestra	IFI (F60,Sp)		Calificación de textura	Calificación de la fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+000	2+688	Promedio	0,58	495,41	Muy gruesa	De regular a bueno
Calzada de subida						
Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)						
Proyecto:		Tramo "Avenida Integración"				
Progresiva:		Número de muestra	IFI (F60,Sp)		Calificación de textura	Calificación de la fricción
Inicial	Final		F60	Sp		
0+000	2+688	Promedio	0,58	494,25	Muy gruesa	De regular a bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

En la calificación por textura los resultados predominantes en la carpeta asfáltica son las de textura muy gruesa en un 100 % y en la calificación por fricción se presentan un 100 % de superficie asfáltica de regular a bueno; cabe recalcar que la evaluación se la realizó en los puntos más desfavorables con altos índices de severidad.

#### Calificación de la fricción:

Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos para dicha evaluación estuvieron en los rangos (0,51 a 0,60), parámetros indicados en la **Tabla 29**. la cual correspondería a una calificación de regular a buena; por lo tanto, nos lleva a concluir que la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia entre el

neumático de vehículo y la superficie, es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.

**Tabla 29.** Valores de fricción con péndulo británico.

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

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento, ASTM E 1960.

#### **Calificación de la textura:**

En cuanto a los resultados obtenidos para la calificación de la textura estos fueron muy elevados, dichos valores sobrepasarían los límites que se presentan en la **Tabla 30**, lo cual nos da a entender, que dicho tramo de evaluación presenta una textura muy gruesa lo cual se debe a disgregaciones, es decir, pérdida del ligante asfáltico.

**Tabla 30.** Textura en pavimento para círculo de arena.

<b>Textura</b>	<b>Círculo de arena HS (mm)</b>
Muy fina	HS < 0,20
Fina	0,20 < HS < 0,40
Media	0,40 < HS < 0,80
Gruesa	0,80 < HS < 1,20
Muy gruesa	> 1,20

**Fuente:** Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento, ASTM E 965.

El análisis general de los ensayos realizados tanto del círculo de arena como también del péndulo británico para los 2+688 km considerando ambos tramos tanto de bajada como de subida de la ya mencionada Avenida Integración, se ubicaron unidades de muestra basándose en las progresivas de mayor afectación del PCI (Índice de Condición del Pavimento) realizándose así los ensayos del IFI (Índice de Fricción Internacional).

Aplicando así esta referencia pudimos obtener valores de IFI que, según tablas, nos indican que la calificación por fricción es de regular a buena, es decir que el pavimento aún no presenta desgaste en los neumáticos; por otro lado, el parámetro de la textura calificó como muy gruesa lo cual hace referencia a que existe pérdida de ligante asfáltico en la carpeta de rodadura.

### **4.3 Evaluación estructural método Viga Benkelman.**

#### **4.3.1 Resultados parciales de la evaluación estructural**

A continuación, aplicando el mismo criterio que se utilizó para realizar la evaluación superficial por el método IFI, el cual consistía en realizar ensayos en los puntos o áreas de muestreo más representativos o críticos del tramo, bajo este criterio se presenta en las siguientes tablas, resultados parciales y finales en promedio de la evaluación estructural. Previo a eso se muestra una tabla que nos condicionarán los resultados obtenidos esto con la finalidad de saber si cumplen los parámetros establecidos.

**Tabla 31.** Resultados parciales de la evaluación estructural.

Evaluación Estructural														
Tramo: " Avenida Integración "														
Resultados de deflexiones - Metodo Viga Benkelman														
Tramo:	0+000 a 2+688		Relación de Brazos:	1 a 2			Presion (Pst):	80						
Estruc:	Pav. Flexible		Carga Eje (Kilos):	8200			Fecha:	30/5/2018						
Calzada:	bajada/subida		Realizado por:	Edson Miguel Fita Zurita										
N° Ensayo	Progresiva	Calzada	Temp °C	Lecturas del extensómetro										
				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)	Do	D25	RC
1	0+448 - 0+480	Bajada	29	59,20	51,80	37,00	29,60	22,20	14,80	7,40	0,00	59,20	51,80	422,30
2	0+544 - 0+576	Bajada	29	69,32	59,94	44,65	34,78	21,46	15,05	6,66	0,00	69,32	59,94	333,16
3	0+800 - 0+832	Bajada	29	56,74	34,54	24,67	19,73	14,80	7,40	2,47	0,00	56,74	34,54	140,77
4	1+408 - 1+440	Bajada	29	74,00	49,34	41,94	37,00	29,60	22,20	12,33	0,00	74,00	49,34	126,72
5	1+632 - 1+664	Bajada	29	54,27	44,40	37,00	32,07	24,67	17,27	7,40	0,00	54,27	44,40	316,62
6	1+888 - 1+920	Bajada	29	51,80	32,07	27,13	24,67	17,27	9,87	2,47	0,00	51,80	32,07	158,39
7	2+112 - 2+144	Bajada	31	53,66	43,90	41,46	36,59	29,27	21,95	12,20	0,00	53,66	43,90	320,18
8	2+304 - 2+336	Bajada	32	58,94	42,20	40,99	30,80	23,04	12,61	5,58	0,00	58,94	42,20	186,68
9	2+400 - 2+432	Bajada	35	59,16	50,09	37,45	28,15	21,71	11,45	8,59	0,00	59,16	50,09	344,54
10	2+560 - 2+592	Bajada	35	70,37	55,10	49,38	36,97	27,19	15,50	11,21	0,00	70,37	55,10	204,65
11	0+576 - 0+608	Subida	40	69,64	51,07	46,43	41,79	34,82	27,86	18,57	0,00	69,64	51,07	168,28
12	0+608 - 0+640	Subida	40	67,55	52,70	45,73	35,05	26,70	19,04	7,20	0,00	67,55	52,70	210,44
13	0+896 - 0+928	Subida	40	48,75	39,46	34,82	30,18	23,21	16,25	6,96	0,00	48,75	39,46	336,38
14	1+760 - 1+792	Subida	40	67,32	55,02	49,68	45,50	39,00	31,57	22,29	0,00	67,32	55,02	254,07
15	1+824 - 1+856	Subida	40	69,18	47,13	42,95	34,82	26,46	19,04	9,75	0,00	69,18	47,13	141,72
16	1+888 - 1+920	Subida	40	58,04	46,43	39,46	34,82	25,54	20,89	11,61	0,00	58,04	46,43	269,16
17	2+048 - 2+080	Subida	39	63,95	47,61	42,94	38,28	31,27	24,27	14,94	0,00	63,95	47,61	191,25
18	2+080 - 2+112	Subida	39	61,85	42,24	34,78	28,01	19,14	10,97	4,90	0,00	61,85	42,24	159,36
19	2+304 - 2+336	Subida	39	72,35	50,18	45,51	40,84	26,84	17,50	4,67	0,00	72,35	50,18	140,96
20	2+592 - 2+624	Subida	38	74,15	67,58	58,66	45,52	31,68	21,59	8,68	0,00	74,15	67,58	475,65

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.2 Resultados finales de la evaluación estructural del tramo.

**Tabla 32.** Resultados de la evaluación estructural de la "Avenida Integración"

Evaluación Estructural														
Tramo: "Avenida Integración"														
Resultados de deflexiones - Método Viga Benkelman														
Tramo:	0+000 a 2+688			Relación de Brazos:	1 a 2			Presión (Psi):	80					
Estruc:	Pav. Flexible			Carga Eje (Kilos):	8200			Fecha:	30/5/2018					
Calzada:	bajada/subida			Realizado por:	Edson Miguel Fita Zurita									
N.º Ensayo	Progresiva	Calzada	Temp °C	Lecturas del extensómetro										
				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)	Do	D25	RC
1	0+000 a 2+688	B/S	35,10	63,01	48,14	41,13	34,26	25,79	17,85	9,29	0	63,01	48,14	245,06

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 33.** Resumen de los resultados finales de la evaluación estructural.

Nº Ensayo	Progresiva	Do (mm)	Dadm(mm)	RC	Deflexión Maxima	Radio Curvatura
1	0+000 a 2+688	63,01	101,09	245,06	CUMPLE	CUMPLE

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 34.** Condicionamiento estructural

Condiciones requeridas
$Do < Dadm$
$Rc > 100 \text{ m}$
$300 < Rc < 500 \text{ m}$

**Fuente:** Metodologías empíricas Conrevial (Consorcio de rehabilitación vial)

### 4.3.3 Análisis de resultados de la evaluación estructural.

La deflexión máxima promedio de la evaluación estructural de la Avenida Integración es de  $D_o = 63,01 * 10^{-2} \text{ mm}$  y la deformación admisible de dicha avenida obtenida en función del N18 (número de ejes equivalentes) que establece un límite para la deflexión máxima dicho valor es de  $D_{adm} = 101,09 * 10^{-2} \text{ mm}$  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  $D_o$  (deformación máxima) de los tramos evaluados son menores a la  $D_{adm}$  (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  $R_c = 245,06 \text{ m}$  por lo tanto se puede indicar que el pavimento evaluado se califica como satisfactorio ya que cumple con los valores de radio de curvatura mayores a **100 m**

En definitiva, los resultados de deflexiones máximas obtenidas en dicha evaluación presentan valores muy por debajo del admisible, lo cual indica que a nivel estructural se encuentra en buenas condiciones.

### 4.3.4 Propuesta de mantenimiento de la “Avenida Integración”

En general el pavimento flexible analizado está en una condición muy buena. La mayoría de sus fallas están en nivel **bajo** y **medio**, siendo un buen momento para intervenir el pavimento. Los trabajos de mantenimiento en baja cuestión corresponden a cambiar la carpeta asfáltica ya que hay varios puntos o áreas en pésimo estado.

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

Las fallas de severidad **media** y **alta** se han optado por realizar un bacheo en áreas localizadas que presenten agrietamientos, deformaciones, hundimientos y disgregación.

El procedimiento consiste en limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla.

A continuación, se presentará un resumen de los trabajos que se realizarán para el mantenimiento de la vía según el tipo de falla y su nivel de severidad. **Tabla 35.**

**Tabla 35.** Plan de mantenimiento y rehabilitación según el tipo de falla.

Tipo de Falla	Severidad	Fresado de carpeta asfáltica (m <sup>2</sup> )	Eliminación de material excedente (m <sup>3</sup> )	Imprimación (m <sup>2</sup> )	Provision y colocado de carpeta asfáltica (m <sup>2</sup> )	Sellado de fisuras (m)
Corrugaciones(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Piel de cocodrilo(m <sup>2</sup> )	Bajo					x
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Disgregación - Desintegración(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Fisuras longitudinales y transversales(m)	Bajo					x
	Medio					x
	Alto					x
Exudación(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio		x	x	x	
	Alto		x	x	x	
Parches(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Hinchamiento(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Fisuras en bloque(m <sup>2</sup> )	Bajo					x
	Medio					x
	Alto					x
Ahuellamiento (m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	
Acceso a puentes - Rejillas de drenaje(m <sup>2</sup> )	Bajo					
	Medio	x	x	x	x	
	Alto	x	x	x	x	

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, con el total de área afectada y análisis de precios unitarios para cada tipo de trabajo en mantenimiento, se procederá a realizar el presupuesto correspondiente del tramo evaluado.

**Tabla 36.** Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación.

N.º	Descripción	Unid.	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
>	MO1 - DEMOLICIÓN					
1	Fresado de carpeta asfáltica en mal estado	m <sup>2</sup>	762,53	14,64	Catorce 64/100	11.163,44
2	Eliminación de material excedente	m <sup>3</sup>	45,75	22,78	Veintidós 78/100	1.042,23
>	MO2 - RECAPADO Y SELLADO DE FISURAS					
3	Imprimación	m <sup>2</sup>	762,53	16,01	Dieciséis 01/100	12.208,11
4	Provisión y colocado de la carpeta asfáltica	m <sup>2</sup>	762,53	23,13	Veintitrés 13/100	17.637,32
5	Sellado de fisuras	m	438,79	37,01	Treinta y siete 01/100	16.239,71
>	MO3 - SEÑALIZACIONES HORIZONTALES					
6	Pintado de líneas continuas e=0,10 m	m	420,50	94,27	Noventa y cuatro 27/100	39.640,54
7	Pintado de líneas discontinuas e=0,10 m	m	380,70	105,28	Ciento cinco 28/100	40.080,10
	Total Presupuesto:					138.011,43

Son: Ciento treinta y ocho mil once con 43/100 Bolivianos

**Fuente:** Elaboración propia.

Cabe mencionar que el análisis de los precios unitarios que se generaron en cada módulo se encuentra adjuntado. **Anexo 7.**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Luego de evaluar los resultados del estado superficial y estructural de la Avenida Integración, se llega a las siguientes conclusiones.

- Realizando una evaluación superficial aplicando la metodología PCI (índice de condición del pavimento), tenemos que, el pavimento en estudio se encuentra en condiciones óptimas a nivel promedio con un índice numérico de **78,83 %** que proyectado en el rango de calificación se encuentra en el intervalo (**70–85%**) el cual lo califica como **Muy bueno**, por lo tanto, el pavimento en cuestión se encuentra en condiciones aptas de circulación.
- Los resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) nos indica que la calificación por textura que presenta el pavimento es **Muy gruesa** lo cual se debe a una disgregación en el pavimento por la pérdida del ligante asfáltico; por otro lado, la calificación por fricción se encuentra de **regular a bueno** esto quiere decir que existe una buena adherencia de contacto entre la superficie del pavimento y los neumáticos del vehículo. Los resultados obtenidos demuestran que el tramo evaluado no presenta molestias o problemas de circulación, por lo tanto, superficialmente la avenida se encontraría en buenas condiciones, no obstante, hay puntos o áreas específicas que realmente se encuentran en niveles de severidad muy bajos.
- Aplicando la metodología Viga Benkelman para una evaluación estructural no destructiva, se obtienen valores de deflexiones máximas que se encuentran comprendidas entre la mínima que es,  **$48,75 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$**  y una máxima de  **$74,15 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$** , cuyo promedio nos da una deflexión máxima  **$D_o = 63,01 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$** , la cual resultaría estar muy por debajo de la deflexión admisible  **$D_{adm} = 101,09 \cdot 10^{-2}$**

**mm**, lo cual determinaría una condición estructural adecuada y resistente para con la cargas vehiculares a las que estaría siendo expuesta.

- Por otro lado, realizando análisis puntuales, se pudo evidenciar que existen unidades de muestreo o áreas evaluadas que notablemente se encuentran en condiciones muy desfavorables para la circulación, las cuáles se debería a fatigas que originalmente se estaría produciendo por una hidratación constante, no solo en época de lluvia sino también por el derroche de lavado de autos que se generan en esas zonas; no obstante, se pudo apreciar que estas áreas en mal estado tienen en común un mal drenaje ya que evidentemente cuando se presentan precipitaciones abruptas estos puntos quedan encharcados debilitando así la carpeta asfáltica; en consecuencia estas áreas serían sometidas a un trabajo de mantenimiento menor a mayor a nivel de rodadura.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar trabajos de mantenimiento y reparación inmediata, debido a que el tramo presenta fallas en áreas considerables en un periodo corto luego de su construcción, con lo que el daño llegaría a extenderse y por ende los trabajos de mantenimiento serían de mayor magnitud.
- Que la aplicabilidad de la deflectometría para con la utilización de la Viga Benkelman sea de mayor interés para todos, ya que su medición es muy simple y rápida al momento de obtener datos, pero sobre todo la metodología que se aplica es no destructiva, punto que fue de vital importancia para la evaluación, debido a que consultando a la instituciones correspondientes poder realizar ensayos destructivos sobre el pavimento, se nos fue negada esa posibilidad por motivos de que el pavimento en cuestión es considerado joven.
- Previa a realizar este tipo de evaluaciones la persona deberá recibir una capacitación intensiva, teórica y práctica sobre la manipulación de los equipos

requeridos para dicha evaluación como también los procedimientos de medición y cálculos establecidos, con la finalidad de evitar contratiempos no programados y así lograr obtener los resultados más satisfactorios posibles.

- Además de realizar trabajos de mantenimiento preventivo, también sería recomendable proyectar más puntos de desalojo de aguas pluviales, sobre las áreas o puntos más críticos del tramo.
- El trabajo de investigación presente es un aporte para que se tome medidas de mantenimiento en el tramo evaluado y así poder prolongar su vida útil.