

## **CAPITULO I**

### **1.1 INTRODUCCION**

La vinculación vial de las poblaciones, regiones y países es fundamental para su desarrollo económico, en este ámbito el transporte conforma un elemento primordial en la economía y el mismo está en relación directa con el estado de las vías de comunicación por las que se desplaza, la serviciabilidad de una carretera está en función al estado superficial de su capa de rodadura.

Es importante para las regiones contar con carreteras eficientes, es decir que optimicen tiempos de recorrido, reduzcan los riesgos de accidentes y aminoren el desgaste de los vehículos que por ellas circulan, para garantizar dicho estado es fundamental un mantenimiento adecuado, desafortunadamente en nuestro medio no se le presta la debida atención a tan importante tarea.

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

La serviciabilidad de una carretera depende de las condiciones estructurales y superficiales de la misma, en este proyecto se estudiara el estado de la capa de rodadura y el estado de las capas estructurales subyacentes mediante algunos métodos estandarizados para este fin.

La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las sollicitaciones de cargas durante el periodo de su vida útil, es el paso fundamental

para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento. El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de sus condiciones estructurales.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar superficial y estructuralmente el pavimento flexible del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” con el propósito de conocer el estado integral actual de la vía.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Profundizar en el conocimiento de los pavimentos, su estructura, características, comportamiento y evaluación.
- Establecer los sectores de evaluación en los cuales se ejecutaran los ensayos para recabar la información de los indicadores de estado superficiales y estructurales.
- Realizar las mediciones de campo para obtener los indicadores de estado superficial (Pavement Condition Index PCI, International Roughness Index IRI, Present Condition Index PSI, International Friction Index IFI), y estructural (Viga Benkelman) que nos permitan valorar las condiciones de estado del tramo estudiado.
- Realizar el trabajo de gabinete con el fin de encontrar los resultados de cada uno de los indicadores de estado anteriormente mencionados.
- Calificar y analizar cada uno de los resultados de los indicadores de estado de acuerdo a normas nacionales e internacionales que permitan obtener una valoración cualitativa del estado actual del tramo de estudio.
- Evaluar globalmente los indicadores de estado con el propósito de realizar las conclusiones de la evaluación superficial y estructural del tramo.

### 1.3 ALCANCE

El presente proyecto evalúa el estado actual del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo”, para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: Evaluación superficial y evaluación estructural.

Inicialmente se realizara una minuciosa inspección visual y un recorrido en automóvil a velocidad normal en ambos sentidos, de esta manera se distinguirán los tramos más deteriorados, los mismos serán destinados como sectores de evaluación para realizar los ensayos que indiquen el estado superficial y estructural.

Para la evaluación superficial del tramo se efectuara un ensayo que determine la condición del pavimento PCI (Pavement Condition Index), Para este método deberá realizarse la inspección visual en toda la superficie del pavimento, recolectando medidas que califiquen y cuantifiquen el daño, y fotografías que documenten tales fallas. Se realizara un ensayo que evalúe la rugosidad del pavimento IRI (International Roughness Index), este indicador se obtendrá a través del uso del equipo “Merlín”. El índice de servicio actual se evaluara con el método PSI (Present Serviceability Index) se calculará a partir de ecuaciones de correlación con los resultados obtenidos en el indicador IRI, el IFI (International Friction Index) se realizara con mediciones de campo de dos parámetros: Textura y fricción para los cuales se realizaran los ensayos de círculo de arena y péndulo británico respectivamente.

Con los resultados de los indicadores de estado citados, se determinará la condición superficial actual del tramo “Puerta del Chaco - Carlazo”.

La evaluación estructural del tramo se realizara mediante el ensayo de la Viga Benkelman en cada uno de los sectores de evaluación, este ensayo mide la restitución de las deflexiones del pavimento, a partir de estas mediciones en gabinete se obtienen valores de deflexiones máximas y

radios de curvatura mediante los cuales se evaluará la condición estructural.

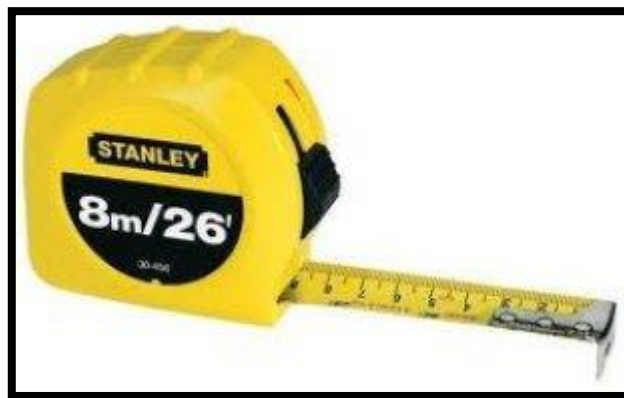
#### **1.4 JUSTIFICACION**

La interconexión de poblaciones es imprescindible para el desarrollo, social, económico y productivo de las mismas, para facilitar tal desplazamiento del transporte es fundamental contar con vías de comunicación en estado óptimo que faciliten la circulación del transporte entre ellas. Por las carreteras circulan los insumos para la producción, los productos que se comercian diferentes regiones, además de las personas que se movilizan de un lugar a otro con distintos fines.

En el diseño de las carreteras se consideran todos los factores que la afectarán durante su vida útil, pero siempre existen fallas del tipo constructivo, de calidad de materiales, climatológico, etc. Que afectarán su rendimiento con el transcurso del tiempo, todas estas interfieren con la circulación del tráfico sobre la misma, afectarán en la velocidad de circulación, en la comodidad y en la seguridad del usuario, además de desgastar los vehículos que transitan por la vía.

Es por esto que la evaluación de pavimentos es de vital importancia dado que determina el estado actual, la calidad de servicio y funcionamiento, permitiendo tomar las medidas adecuadas para su mantenimiento, hecho que es esencial para prolongar la vida de una carretera y conservar al máximo las prestaciones para las que fue construida.

## 1.5 MEDIOS



**FIGURA 1 Flexometro 8 m.**

Fuente: [www.stanley.com](http://www.stanley.com)



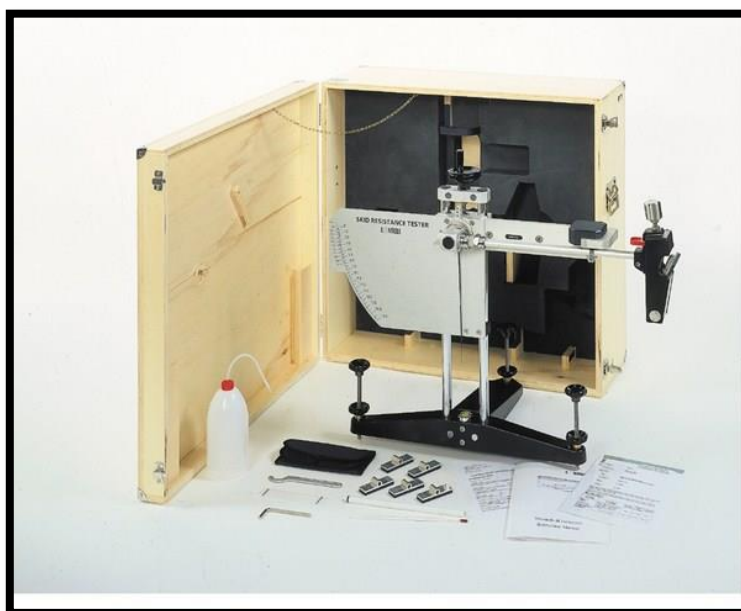
**FIGURA 2 Cinta métrica 50 m.**

Fuente: [www.stanley.com](http://www.stanley.com)



**FIGURA 3 Perfilometro MERLIN**

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



**FIGURA 4 Péndulo Británico**

Fuente: [www.Perta.pt](http://www.Perta.pt)



**FIGURA 5** Material para el círculo de arena

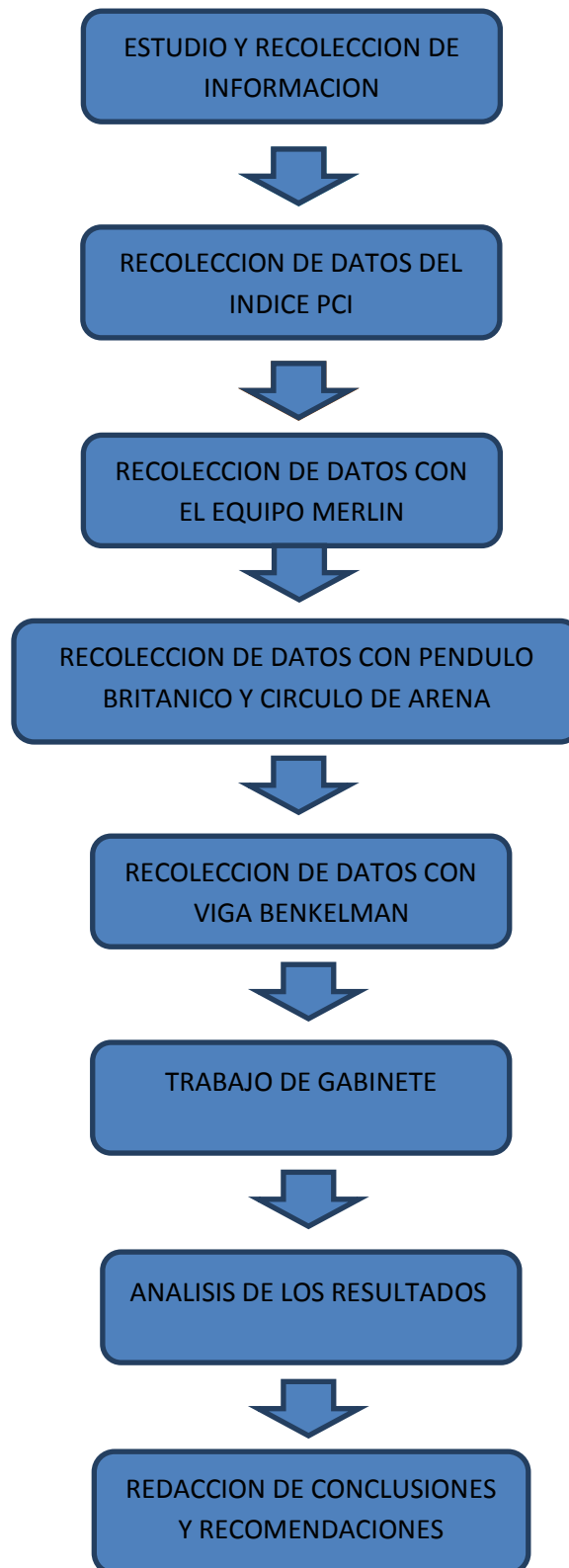
Fuente: [cybertesis.upc.edu.pe](http://cybertesis.upc.edu.pe)



**FIGURA 6** Viga Benkelman

Fuente: [www.racperu.com.pe](http://www.racperu.com.pe)

## 1.6 METODOLOGIA



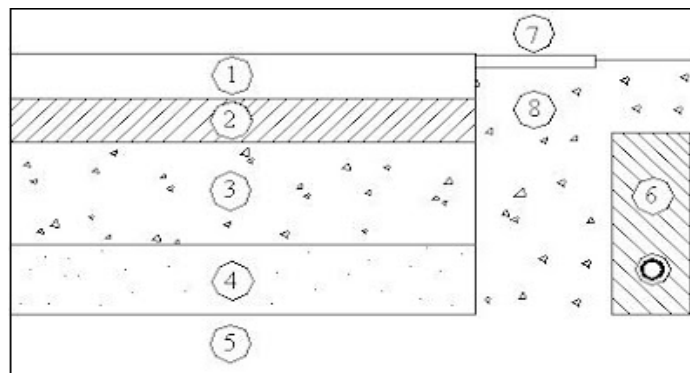
## CAPITULO II

### PAVIMENTOS, COMPORTAMIENTO Y EVALUACIÓN

#### 2.1 Generalidades.-

##### 2.1.1 Concepto.-

La palabra pavimento proviene del latín (*pavimentum*), el pavimento está constituido por capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados, y adecuadamente compactados. Estas estructuras de estratos se apoyan sobre una sub rasante obtenida mediante el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito que le transmiten durante el periodo de la vida útil para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.



**FIGURA 1 Estructura de un pavimento flexible**

Fuente: Instituto tecnológico de aeronáutica, Brasil

Dónde:

1. Capa de Rodadura
2. Capa Base
3. Capa Sub-base
4. Suelo Compactado
5. Sub rasante
6. Sub-drenaje longitudinal
7. Revestimiento de Bermas

## 8. Sub-base de Bermas

### 2.1.1.1 Características de un Pavimento.-

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir los siguientes requisitos:

- Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tráfico.
- Resistir ante los agentes del intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios en función a las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de diseño.
- Debe ser durable.
- Debe presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.
- La sonoridad en el interior del vehículo que afecta al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser moderada.
- Debe ser económico
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

## 2.2 Tipos de Pavimentos

Los pavimentos se clasifican en dos grandes grupos: Los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, presentan notables diferencias en sus características, pero desde el punto de vista mecánico la más importante es la transmisión de cargas como se muestra en la figura 8, se estudiarán los tipos de pavimentos en profundidad en los apéndices continuos

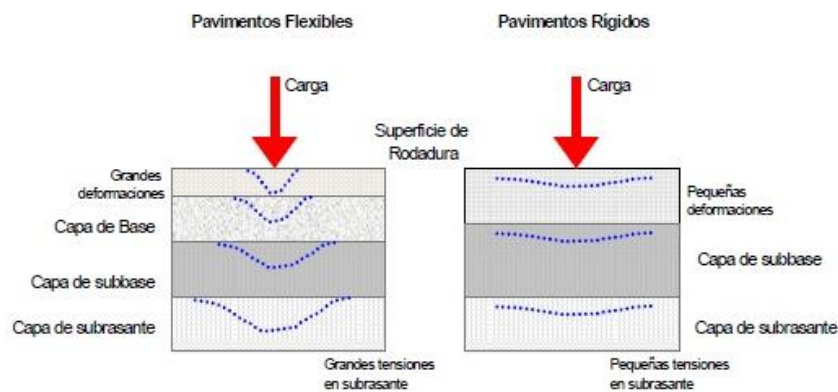


FIGURA 2 Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos

Fuente: 4.bp.blogspot.com

### 2.2.1 Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, no obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades de cada obra y de la calidad de la sub rasante.

El pavimento debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las capas subyacentes los esfuerzos por las cargas del tránsito.

### **2.2.1.1 Características de los pavimentos flexibles**

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

- Resistencia estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad
- Costo
- Requerimientos de conservación
- Comodidad

#### **2.2.1.1.1 Resistencia estructural**

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

#### **2.2.1.1.2 Deformabilidad**

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

#### **2.2.1.1.3 Durabilidad**

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

#### **2.2.1.1.4 Costo**

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

#### **2.2.1.1.5 Requerimientos de conservación**

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

#### **2.2.1.1.6 Comodidad**

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

### **2.2.2 Pavimentos Rígidos**

Los pavimentos rígidos son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre sobre la sub rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub base de del pavimento. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de un elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en un área muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido de la resistencia de las losas, y

por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

## **2.3 Componentes de un Pavimento Flexible**

### **2.3.1 Capa Sub rasante**

#### **2.3.1.1 Definición**

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

En la década del 40, el concepto de diseño de pavimentos estaba basado en las propiedades de la sub rasante, estas propiedades eran la clasificación de suelos, plasticidad, resistencia al corte, susceptibilidad a las heladas y drenaje. Desde la década del 50, se puso más énfasis en las propiedades fundamentales de la sub rasante y se idearon ensayos para caracterizar mejor a estos suelos. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el CBR, compresión simple son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del módulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones. Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

#### **1. Propiedades físicas:**

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

## 2. Propiedades ingenieriles:

Dan una estimación de la calidad de los materiales para caminos. La calidad de los suelos para sub rasantes se puede relacionar con el módulo resiliente, el módulo de Poisson, el valor soporte del suelo y el módulo de reacción de la sub rasante.

Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.

Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub - base de material seleccionado antes de colocar la base.

Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub - base.

### **2.3.1.2 Propiedades iniciales de los suelos**

Las propiedades iniciales de los suelos son uno de los datos más importantes de diseño de un pavimento. Estas propiedades estarán siempre presentes en aunque cambien mediante tratamiento especiales tales como la estabilización, compactación, etc. Para conocer estas propiedades es necesario un muestreo muy amplio que abarque toda la traza del proyecto. Las probetas se llevan al laboratorio para ser ensayadas (granulometría, humedad, límites de Atterberg, contenido de humedad optimo, CBR y clasificación). Todos estos datos se vuelcan en el perfil edafológico donde se indican los distintos tipos de suelo y su profundidad. También se confecciona una planilla que, junto al perfil edafológico, constituyen una herramienta fundamental para el inicio del proyecto.

### **2.3.1.3 Ensayos de resistencia para suelos de subrasante**

- Relación de valor soporte California (CBR)
- Valor de resistencia de Hveem (Valor R)
- Ensayo de placa de carga (Valor K)
- Penetración dinámica de cono

- Módulo resiliente

## 2.3.2 Capa Sub Base

### 2.3.2.1 Definición

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

- a) Disminuir el espesor de base que requiera un diseño, reemplazando parte del material de base por uno de inferiores características, el cual viene a formar la capa de sub-base con un menor costo.
- b) Servir de refuerzo o defensa a la sub-rasante impidiendo su deterioro, especialmente cuando esta vaya a estar sometida a la acción del tráfico por un periodo más o menos largo. Puede emplearse, además, para mejorar las condiciones de drenaje de la base y también para impedir que la base sea afectada por la plasticidad, elasticidad y cambios volumétricos de los suelos sub-rasantes.
- c) El material de la sub-base, debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava, granzón, escoria de los altos hornos, o estériles de la explotación de canteras. En algunos casos, es posible emplear para sub-base el material de la sub-rasante mezclado con granzón, cemento, etc.
- d) Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los Hinchamientos que se producen En Épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos, donde la ascensión del agua capilar es grande.

### 2.3.2.2 Características

El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2, aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior a 35% y su índice plástico no mayor de 6. El CBR, no podrá bajar de 40%. Si la función principal de la sub-base es servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz número 200 no ha de ser mayor del 8%.

ENSAYO	REQUISITOS
CBR, mínimo.	40
Valor R de resistencia, mínimo.	55
Límite líquido.	25
Índice de plasticidad, máximo.	06
Equivalente de arena, mínimo.	25

**Tabla 1 REQUISITOS PARA MATERIALES DE SUB-BASE GRANULAR**

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila)

Las sub-bases deben construirse en espesores adecuados al tipo de material disponible y a los compactadores utilizados pero se recomienda no exceder capas de más de 20 cm. sueltos. Por lo general se exigen compactaciones del 95% del Proctor modificado.

### 2.3.3 Capa Base

#### 2.3.3.1 Definición

Es una capa de material seleccionado y gradado que se coloca ya sea en una sub-rasante de muy alta especificación o sobre una capa de sub-base. Los objetivos de esta capa son:

Absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

### **2.3.3.2 Características**

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

- a) Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- b) No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- c) El porcentaje de desgaste, según el ensayo “desgaste de Los Ángeles”, debe ser inferior a 50.
- d) La fracción del material que pase el tamiz No. 40, ha de tener un límite líquido menor del 25%, y un índice de plasticidad inferior a 6.
- e) La fracción que pasa el tamiz No. 200, no podrá exceder de  $\frac{1}{2}$ , y en ningún caso de los  $\frac{2}{3}$  de la fracción que pase el tamiz No. 40.
- f) La graduación del material de la base debe mantenerse dentro de los límites indicados.
- g) El CBR tiene que ser superior a 80%.
- h) Prueba de solidez al sulfato de sodio no mayor al 12%

Por lo general, para la capa de base se emplea piedra triturada, grava o mezcla estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, etc.

<b>ENSAYO</b>	<b>TRANSITO REDUCIDO</b>	<b>TRANSITO REGULAR E INTENSO</b>
CBR, mínimo.	80	100
Valor R de resistencia, mínimo.	78	80
Límite líquido.	25	25
Índice de plasticidad, máximo.	06	03
Equivalente de arena, mínimo.	30	50

**Tabla 2 REQUISITOS PARA MATERIALES DE BASE GRANULAR**

Fuente: Mecánica de materiales para pavimentos (Sanfadila)

#### 2.3.4 **Carpeta Asfáltica**

La carpeta asfáltica es una de las capas que componen el paquete estructural, está situada sobre una o más capas estructurales preparadas, está elaborada con material pétreo y un producto asfáltico, el espesor de esta capa puede variar desde menos de 25 mm. Hasta más de 75 mm. Dependiendo de una gran variedad de factores y circunstancias de diseño, construcción y mantenimiento. Su función primordial será proveer al usuario de una superficie confortable y segura para su circulación, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, además de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores degradando sus propiedades. Además evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

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

### **2.3.4.1 Tipos de carpetas asfálticas**

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

- **Tratamiento superficiales**
  - Simple o de un riego
  - Doble o de dos riegos
  - Triple o de tres riegos
- **Macadam asfáltico**
- **Mezcla en el lugar**
  - Elaborado con moto niveladora
  - Elaborado con mezcladora ambulante
- **Mezcla en planta**

Para la construcción de cualquiera de las carpetas asfálticas mencionadas anteriormente, se debe contar con una base debidamente conformada, compactada, imprimada y seca.

La imprimación consiste en barrer la base para retirar las partículas sueltas y el exceso de polvo en la superficie, inmediatamente realizado este procedimiento se procede al riego de producto asfáltico de fraguado medio, luego deben esperarse por lo menos dos días para que el líquido penetre y seque.

#### **2.3.4.1.1 Tratamiento superficial simple**

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

#### **2.3.4.1.2 Tratamiento superficial doble**

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

#### **2.3.4.1.3 Tratamiento superficial triple**

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

#### **2.3.4.1.4 Macadam asfáltico**

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

#### **2.3.4.1.5 Mezcla en el lugar**

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

##### **2.3.4.1.5.1 Mezcla en planta**

Como su nombre lo indica se trata de mezclas elaboradas en una planta, la misma que se encarga de elaborar una mezcla asfáltica en proporciones deseadas y que cumpla

con todas las especificaciones técnicas. La mezcla deberá ser transportada a los puntos de aplicación.

## **2.4 Comportamiento de los Pavimentos Flexibles**

### **2.4.1 Esfuerzos en el pavimento**

#### **2.4.1.1 Desplazamiento vertical ( $\Delta z$ )**

Es la cantidad de movimiento vertical de un punto de ensayo ante la aplicación de cierta condición de carga.

#### **2.4.1.2 Deflexión ( $\Delta o$ )**

Es el desplazamiento vertical que se produce en la estructura del pavimento cuando la profundidad de análisis es cero ( $Z=0$ )

#### **2.4.1.3 Deformación unitaria ( $\epsilon$ )**

Es un parámetro adimensional, que significa que el valor de la diferencia de los desplazamientos de dos puntos consecutivos, con respecto a la longitud que se está evaluando, en un mismo material.

### **2.4.2 Tipos de fallas en los pavimentos**

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

Se ha logrado establecer relaciones causa – efecto para desarrollar normas de criterio de proyecto y conservación.

Las fallas de pavimentos pueden clasificarse en tres grupos:

- Falla por insuficiencia estructural
- Falla por defectos constructivos
- Falla por fatiga

#### **2.4.2.1 Falla por insuficiencia estructural**

Este tipo de fallas se producen en los pavimentos cuando en las mezclas se utilizaron materiales que resultaron inapropiados en cuanto a resistencia, también puede darse si se utilizaron materiales de buena calidad, pero fallas en el diseño determinaron capas de espesores insuficientes. Este tipo de falla se genera por la combinación de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus espesores

#### **2.4.2.2 Falla por deficiencia en la ejecución**

Este tipo de fallas se producen cuando en pavimentos bien proporcionados y con materiales de buena calidad se cometieron errores en su construcción, estos pueden ser espesores insuficientes, falta de compactación.

#### **2.4.2.3 Falla por fatiga**

Este tipo de fallas se originan en pavimentos que se construyeron con mezclas bien proporcionadas, buena calidad de materiales y bien contruidos, pero que con el transcurrir del tiempo, bajo la continua repetición de cargas sufren efectos de fatiga, es decir degradación estructural, pérdida de resistencia y acumulación de deformaciones

Los tipos de fallas pueden también clasificarse por el origen de la falla, es decir por el modo en que se manifiestan, entonces pueden clasificarse también de la siguiente manera:

- Por fracturamiento
- Por deformación
- Por desintegración

Estas fallas se relacionan con el efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y el apoyo que proporciona la terracería.

Cualquiera de las fallas de la primera clasificación pueden ser consecuencia de las fallas de la segunda clasificación.

#### **2.4.2.4 Fallas comunes en los pavimentos**

En este punto se verán las fallas comunes en los pavimentos según la clasificación de el “Cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos” en el método PCI (Pavement Condition Index)

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

1. Grieta piel de cocodrilo
2. Exudación de asfalto
3. Grietas de contracción (Bloque)
4. Elevaciones – hundimiento
5. Corrugaciones
6. Depresiones
7. Grietas de borde
8. Grietas de reflexión de juntas
9. Desnivel calzada – berma
10. Grietas longitudinales y transversales
11. Baches y zanjas reparadas
12. Agregados pulidos
13. Huecos
14. Cruce de rieles, por acceso a puentes, pontones y rejillas de drenaje
15. Ahuellamiento
16. Deformación por empuje
17. Grietas de deslizamiento
18. Hinchamiento
19. Disgregación y desintegración

Los tipos de fallas más comunes en pavimentos asfálticos son: grietas tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos y desintegración o disgregación. El resto de los tipos de falla considerados en el método son encontrados con menos frecuencia.

#### **2.4.2.4.1 Grieta piel de cocodrilo**

Esta falla se presenta como una serie de grietas interconectadas, producida por fatiga de la mezcla asfáltica. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y se propagan a la superficie, habiendo sido inicialmente grietas longitudinales paralelas, posteriormente bajo el efecto del tráfico, estas se conectan formando polígonos de distintos tamaños que se asemejan a la piel de un cocodrilo o la malla de gallinero. Estas fallas, que ocurren solo en áreas sometidas al tráfico se consideran una falla estructural severa y generalmente son acompañadas de ahuellamientos.

#### **2.4.2.4.2 Exudación de asfalto**

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento, creando una superficie brillante y reflectiva, normalmente pegajosa. La exudación es causada por exceso de asfalto en la mezcla, en aplicación de sellos, y bajo contenido de vacíos. Ocurre normalmente a altas temperaturas.

#### **2.4.2.4.3 Grietas de contracción (Bloque)**

Esta falla se presenta como grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares, con lados de entre 30 cm y 3 m. Son causadas por contracción del asfalto, por efecto de la variación cíclica de temperatura, no están asociadas con cargas o fatigas, e indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente. Ocurren generalmente en grandes áreas del pavimento, incluso en áreas sin tráfico, en general difieren de las grietas piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y en que estas últimas son causadas por cargas (fatiga) y ocurren solo en áreas sometidas al tráfico.

#### **2.4.2.4.4 Elevaciones – hundimientos**

Las elevaciones son pequeñas y localizadas protuberancias de la superficie del pavimento, las elevaciones son producidas por:

- Movimientos y levantamientos de trozos de losas de concreto debajo de la carpeta asfáltica
- Hinchamiento por congelación
- Infiltración de materiales en las juntas

Los hundimientos son pequeñas y abruptas deformaciones de la superficie. No debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por hinchamiento (falla n°18).

#### **2.4.2.4.5 Corrugaciones**

Estas fallas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas por menos de tres metros en sentido transversal al tráfico. Son causadas normalmente por el tráfico en pavimentos de base o superficie inestable.

#### **2.4.2.4.6 Depresiones**

Son áreas de pavimento con elevación inferior a las adyacentes. Las pequeñas depresiones son difíciles de observar en los pavimentos secos. Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua, que normalmente dejan una marca de agua la secar. Generalmente son producto de asentamientos en la fundación o fallas constructivas. Pueden producir rugosidad y ser peligrosas al momento de llenarse de agua. Se diferencian de los hundimientos en que estos no son abruptos.

#### **2.4.2.4.7 Grietas de borde**

Son grietas longitudinales paralelas, contenidas en una franja de 30 a 60 cm. En el borde externo del pavimento. Esta falla es acelerada por las cargas y puede ser causada por congelación de las capas estructurales, materiales expansivos y falta de soporte lateral, en algunos casos se puede llegar a producir pérdida de borde por disgregación.

#### **2.4.2.4.8 Grietas de reflexión de juntas (de losas de concreto)**

Este tipo de falla solo ocurre en capas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto (rígidos). No incluyen grietas de reflexión de ningún otro tipo de base o material bajo el asfalto superficial. Normalmente son longitudinales y transversales causadas por contracción y expansión, o movimiento de las losas por infiltración de agua. Esta falla no está asociada con el tráfico, sin embargo, este puede producir disgregamiento en los bordes de grieta y agrietamiento adicional. Si el pavimento está fracturado a lo largo de la grieta se dice que existe disgregación a lo largo de los bordes. El conocer las dimensiones de la losa de concreto ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

#### **2.4.2.4.9 Desnivel calzada – berma**

Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo. Normalmente causado por erosión o asentamiento de la berma, o elevación de la calzada sin nivelar la altura de la berma.

#### **2.4.2.4.10 Grietas longitudinales y transversales**

Las grietas longitudinales son paralelas al eje de del pavimento o eje de construcción, son causadas generalmente por:

- Mala construcción de juntas en franjas de asfalto
- Contracción del asfalto debido a los cambios de temperatura y el envejecimiento.
- Reflexión de las grietas del pavimento inferior, grietas en el asfalto, o losas de concreto (no de juntas de losas)

Las grietas transversales son aproximadamente perpendiculares al eje del pavimento y pueden ser causadas por las mismas razones indicadas en las grietas longitudinales.

Estos tipos de grietas no están generalmente asociados con efectos del tráfico y las cargas.

No se consideran las grietas de reflexión de losas de concreto.

#### **2.4.2.4.11 Bacheo y zanjas reparadas**

Un bache es un área del pavimento que ha sido reparado mediante el empleo de material nuevo. Un bache es considerado un defecto, independientemente de lo bien que haya sido ejecutado. Generalmente produce algo de rugosidad.-

#### **2.4.2.4.12 Agregados pulidos**

Esta falla es causada por el paso del tráfico. Cuando el agregado superficial se pule la adherencia con los neumáticos se reduce considerablemente. El agregado pulido se cuenta cuando un examen detallado revela que la textura del pavimento es inadecuada y la superficie del agregado es suave al tacto. Este tipo de falla está asociada con baja resistencia a la fricción.

#### **2.4.2.4.13 Huecos**

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros generalmente menores a 0.9 m. Usualmente tienen bordes verticales y angulosos en las cercanías de la superficie. Crecen rápidamente por el efecto del agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por disgregación (debido al tráfico) de pequeños áreas de pavimentos. Este se desintegra debido a defectos de la mezcla, puntos débiles en la base o sub rasante, o grietas piel de cocodrilo de alta severidad. Los huecos son generalmente causados por una falla estructural y no deben confundirse con disgregación y desintegración (Falla n°19). Cuando los huecos son consecuencia de del deterioro progresivo de fallas del tipo piel de cocodrilo deben considerarse como huecos y no como falla n° 19.

#### **2.4.2.4.14 Cruce de rieles, por acceso a puentes y rejillas de drenaje**

Estos producen depresiones o elevaciones que afectan la calidad de rodaje.

#### **2.4.2.4.15 Ahuellamiento**

El ahuellamiento es una depresión longitudinal, bajo la huella de los neumáticos. El pavimento puede levantarse a lo largo de los bordes de la depresión. Generalmente el ahuellamiento se observa después de la lluvia, al llenarse de

agua las depresiones. El ahuellamiento es originado por la deformación permanente de la sub rasante o alguna capa del pavimento, normalmente causado por consolidación o movimiento lateral de los materiales bajo los efectos del tráfico. El excesivo ahuellamiento puede producir una falla estructural del pavimento.

#### **2.4.2.4.16 Deformación por empuje**

Es un desplazamiento o deformación producida por el tráfico en un área localizada del pavimento. Cuando el tráfico “empuja” sobre el pavimento produce una corta y abrupta cresta o deformación. Este tipo de falla se produce mayormente en mezclas con asfaltos líquidos o emulsiones, así como en mezclas de baja estabilidad. Es común donde se une un pavimento asfáltico con uno rígido. En este caso el pavimento rígido empuja, produciendo tal tipo de falla por deformación en el asfalto.

#### **2.4.2.4.17 Grietas de deslizamiento**

Son grietas en forma de media luna, con las puntas en el sentido de la dirección del tráfico. Son causadas por el deslizamiento de la capa asfáltica superficial y ocurren por falta o exceso del riego de adherencia.

#### **2.4.2.4.18 Hinchamiento**

Es caracterizado por un levantamiento de la superficie del pavimento, afectando una longitud mayor de 3 m. Puede estar acompañado por agrietamiento y es causado por la expansión del suelo de la sub rasante.

#### **2.4.2.4.19 Disgregación o desintegración**

Se produce por el desgaste de la capa asfáltica superficial, caracterizada por la pérdida de agregado y/o ligante asfáltico que produce partículas sueltas. Esta falla generalmente indica que el ligante se ha endurecido o que la mezcla es de mala calidad. Este fenómeno también puede ser causado por neumáticos con cadenas o clavos de fricción.

### **2.4.3 Evaluación del Pavimento**

#### **2.4.3.1 Evaluación superficial del pavimento**

##### **2.4.3.1.1 Evaluación de la condición de los pavimentos PCI (Pavement Condition Index)**

###### **2.4.3.1.1.1 Introducción**

El índice de condición de pavimentos PCI se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de gestión vial disponibles actualmente. El método de evaluación de pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y. Shanin y S.D. Khon y publicado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos, es el reporte técnico

M-268 (1978).

El objetivo de este estudio fue desarrollar un índice de condición del pavimento para calles, carreteras y estacionamientos para proveer al evaluador de:

- Un método estándar para la evaluación de la condición estructural y de la superficie operacional de una sección del pavimento.
- Un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.
- Un método para determinar el comportamiento mediante la determinación continua del PCI.

El método determina la índice de condición del pavimento en base a información obtenida mediante una inspección visual. Este índice ayuda en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación.

El deterioro de la estructura de un pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad.

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

La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema.

#### **2.4.3.1.1.2 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento**

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

##### **2.4.3.1.1.2.1 Unidades de muestreo**

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

En carreteras con capa asfáltica y ancho menor de 7.30 m. El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de  $230 \pm 93$  m<sup>2</sup>.

##### **2.4.3.1.1.2.2 Determinación de las unidades de muestreo para evaluación**

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

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

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

Dónde:

n: Número mínimo de unidades a evaluar.

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

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

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

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

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

#### **2.4.3.1.1.2.3 Selección de las unidades de muestreo para inspección**

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

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

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

Dónde:

N: número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

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

La unidad de muestreo inicial se selecciona al azar entre la unidad de muestreo y el intervalo de muestreo ( $i$ ). Así si  $i = 3$ , la unidad de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), etc. Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para la inspección seleccionada es 3 y el intervalo de muestreo ( $i$ ) es igual a 4, las siguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 7, 11, 15, etc. Sin embargo si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación, todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

#### **2.4.3.1.1.2.4 Selección de las unidades de muestreo adicionales**

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

#### **2.4.3.1.1.2.5 Procedimiento de evaluación de la condición**

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

La evaluación de condición incluye los siguientes aspectos:

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

- Procedimiento

Se inspecciona una unidad de muestreo para para medir el tipo, cantidad y severidad de acuerdo con el manual de daños y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de la medida de los daños.

- Seguridad

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

#### **2.4.3.1.1.3 Metodología para el cálculo del PCI en las unidades de muestreo**

El cálculo del PCI debe realizarse con la información obtenida en la inspección de campo. El cálculo puede realizarse de manera manual o computarizada, el cálculo está basado en los valores deducidos de acuerdo a la densidad y severidad de cada falla encontrada.

### 1. Etapa 1. Calculo de los valores deducidos.

- a) Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlos como total, el daño puede medirse en área, longitud o por numero según el tipo de falla.
- b) Dividir la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo, y exprese el resultado como porcentaje, esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado dentro de la unidad de estudio.
- c) Determinar el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante el uso de las curvas denominadas “Valor deducido del daño”.

### 2. Etapa2. Calculo del número máximo admisible de valores deducidos

(m)

- a) 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, obtenido en la etapa 3. De lo contrario deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.
- b) Listar los valores deducidos individuales de mayor a menor.
- c) Determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m), utilizando la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

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

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

### **3. Etapa 3. Cálculo del “máximo valor corregido”, CDV**

- a) Determinar el número de valores deducidos,  $q$ , mayores que 2.0.
- b) Determinar el “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- c) Determinar el CDV con  $q$  y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al pavimento.
- d) Reducir a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repetir las etapas 3.a a 3.c. hasta que  $q$  sea igual a 1.
- e) El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso.

- 4. Etapa 4.** Calcular el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

#### **2.4.3.1.1.4 Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento**

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

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

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

Dónde:

PCIs: PCI de la sección del pavimento.

PCI<sub>R</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCI<sub>A</sub>: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: número de unidades de muestreo en la sección.

A: número de unidades de muestreo adicionales.

#### 2.4.3.1.1.5 Rangos de calificación del PCI

El PCI es un índice que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado, la tabla 1 presenta los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

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

Tabla 3 Rangos de calificación del PCI

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

#### **2.4.3.1.1.6 Manual de daños PCI**

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

Para determinar la severidad en los casos de fallas tales como corrugaciones, hundimientos y cruce de vía férrea, deberá evaluarse la calidad del viaje mientras se circula sobre estas fallas, como se muestra a continuación:

**L:** En el caso de corrugaciones, en el vehículo pueden sentirse las vibraciones pero no es necesario reducir la velocidad con el fin de garantizar la seguridad y el confort. En el caso de hundimientos o abultamientos puede sentirse un suave rebote que produzca baja incomodidad.

**M:** En el caso de corrugaciones, en el vehículo pueden sentirse vibraciones significativas, es necesario reducir la velocidad con el fin de garantizar la seguridad y el confort. En el caso de hundimientos o abultamientos puede sentirse un rebote significativo que produzca incomodidad.

**H:** En el caso de corrugaciones, en el vehículo pueden sentirse vibraciones excesivas, es necesario reducir notablemente la velocidad con el fin de garantizar la seguridad y el confort. En el caso de hundimientos o abultamientos puede sentirse un rebote excesivo que produzca mucha incomodidad, riesgo potencial de accidentes y daño al vehículo.

Para determinar la calidad del viaje se debe recorrer la sección del pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal.

#### 2.4.3.1.6.1 Grieta piel de cocodrilo

Esta falla se considera como un deterioro estructural importante y suele presentarse acompañado de ahuellamiento.

##### Niveles de severidad

**L:** Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectada. Las grietas no están descascaradas, no presentan desintegración del material a lo largo de las grietas.



FIGURA 3 Grieta piel de cocodrilo severidad baja

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

**M:** Grietas más desarrolladas que en el nivel “L” e interconectadas con algo de desintegración en los bordes.

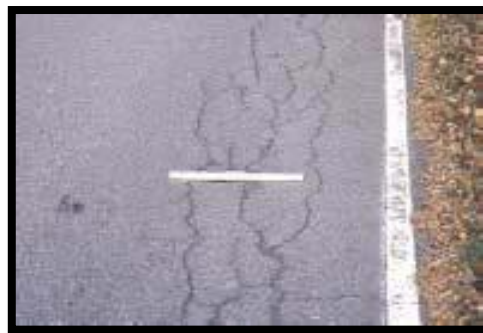


FIGURA 4 Grieta piel de cocodrilo severidad media

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

**H:** Red o patrón de grietas que han evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados en los bordes, algunas piezas se mueven bajo la acción del tráfico.



**FIGURA 5 Grieta piel de cocodrilo severidad alta**

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

### **Medición:**

Se mide el área afectada en metros cuadrados. La mayor dificultad 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.

### **Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada, sello superficial, sobrecarpeta

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

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

### **2.4.3.1.1.6.2 Exudación de asfalto**

#### **Niveles de severidad**

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



**FIGURA 6 Exudación de asfalto severidad baja**

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

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



**FIGURA 7 Exudación de asfalto severidad media**

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

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



**FIGURA 8 Exudación de asfalto severidad alta**

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

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

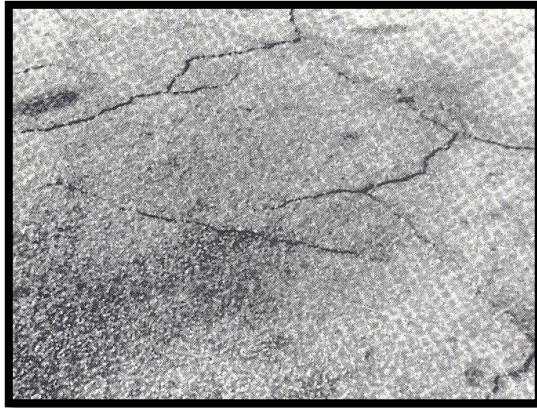
**M:** se aplica arena / agregados y cilindrado.

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

**2.4.3.1.1.6.3 Grietas de contracción (Bloque)**

**Niveles de severidad**

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



**FIGURA 9** Grietas de contracción severidad baja

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

**M:** Bloques definidos por grietas de severidad media.



**FIGURA 10** Exudación de asfalto severidad media

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

**H:** Bloques definidos por grietas de alta severidad.



**FIGURA 11 Exudación de asfalto severidad alta**

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

**Medición:**

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento. Cualquier área de la sección del pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y registrarse separadamente.

**Opciones de reparación:**

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

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

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

#### 2.4.3.1.1.6.4 Elevación - hundimiento

##### Niveles de severidad

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

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



**FIGURA 12 Elevación - hundimiento severidad media**

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

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



**FIGURA 13 Elevación - hundimiento severidad alta**

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

**Medición:**

Se mide en metros lineales. Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3 m. Se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta esta también se registra.

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

**M:** Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

**2.4.3.1.1.6.5 Corrugaciones****Niveles de severidad**

**L:** Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.



**FIGURA 14** Corrugaciones severidad baja

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

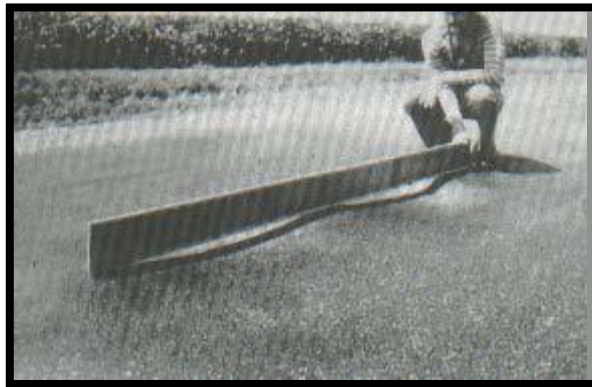
**M:** Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.



**FIGURA 15** Corrugaciones severidad media

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

**H:** Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.



**FIGURA 16** Corrugaciones severidad alta

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

**Medición:**

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

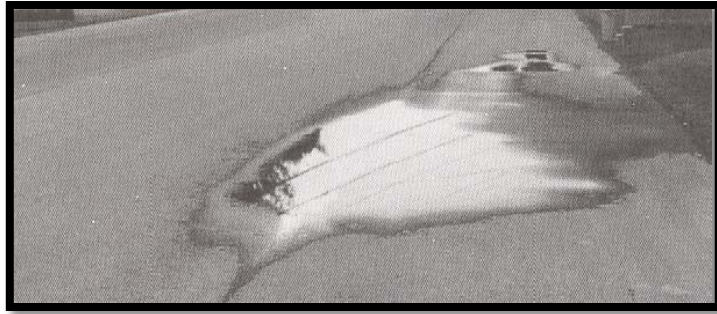
**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

**M:** Reconstrucción.

**H:** Reconstrucción.

### 2.4.3.1.1.6.6 Depresión



**FIGURA 17 Depresión**

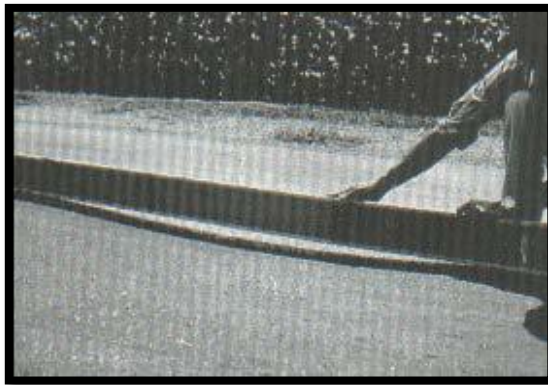
Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbaez, Corredor)

### Niveles de severidad

**L:** 13.0 a 25.0 mm

**M:** 25.0 a 51.0 mm

**H:** más de 51.0 mm



**FIGURA 18 Depresión**

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

### Medición:

Se mide el área afectada en metros cuadrados.

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

**M:** Parcheo superficial, parcial o profundo.

**H:** Parcheo superficial, parcial o profundo.

**2.4.3.1.1.6.7 Grietas de borde****Niveles de severidad**

**L:** Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.



**FIGURA 19 Grietas de borde severidad baja**

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

**M:** Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.



**FIGURA 20 Grietas de borde severidad media**

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

**H:** considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.



**FIGURA 21** Grietas de borde severidad alta

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

**Medición:**

Se mide en metros lineales.

**Opciones de reparación:**

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

**M:** Sellado de grietas. Parcheo parcial o profundo.

**H:** Parcheo parcial o profundo.

**2.4.3.1.1.6.8 Grietas de reflexión de junta**

**Niveles de severidad**

**L:** Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor de 10.0 mm
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria de material llenante).



**FIGURA 22** Grietas de reflexión de junta severidad baja

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

**M:** Existe una de las siguientes condiciones:

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

**H:** Existe una de las siguientes condiciones:

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



**FIGURA 23** Grietas de reflexión de junta severidad alta

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

### **Medición:**

Se mide en metros lineales. La longitud o severidad de cada muestra se mide por separado. Por ejemplo una grieta de 15.0 m. Puede tener 3.0 m. de grietas de lata severidad, estas dos deben registrarse de manera separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión. Esta debe ser registrada.

### **Opciones de reparación:**

**L:** sellado para ancho mayor a 3mm.

**M:** Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

### **2.4.3.1.1.6.9 Desnivel calzada / berma**

#### **Niveles de severidad**

**L:** La diferencia entre el borde del pavimento y la berma esta entre 25.0 mm.y 51.0 mm.

**M:** La diferencia entre el borde del pavimento y la berma esta entre 51.0 mm. Y 102.0 mm.



**FIGURA 24** Desnivel calzada severidad media

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

**H:** La diferencia entre el borde del pavimento y la berma es mayor a 102.0 mm.



**FIGURA 25** Desnivel calzada severidad alta

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

**Medición:**

Se mide en metros lineales.

**Opciones de reparación:**

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

#### 2.4.3.1.1.6.10 Grietas longitudinales y transversales

No son de reflexión de losas de cemento Portland.

##### Niveles de severidad

**L:** Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor de 10.0 mm
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria de material llenante).

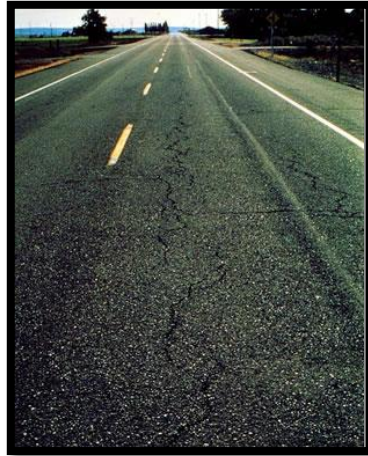


**FIGURA 26** Grietas longitudinales y transversales severidad baja

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

**M:** Existe una de las siguientes condiciones:

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



**FIGURA 27** Grietas longitudinales y transversales severidad media

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

**H:** Existe una de las siguientes condiciones:

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



**FIGURA 28** Grietas longitudinales y transversales severidad alta

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

**Medición:**

Se mide en metros lineales. La longitud y severidad de cada grieta se mide independientemente después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la grieta con un nivel de severidad distinto debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, estos deben registrarse.

**Opciones de reparación:**

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

**M:** Sellado de grietas.

**H:** sellado de grietas, Parcheo parcial.

**2.4.3.1.1.6.11 Baches y zanjas reparadas****Niveles de severidad**

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



**FIGURA 29 Baches y zanjas reparadas severidad baja**

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

**M:** El bache esta medianamente deteriorado y la calidad del tránsito se califica como de severidad media.



**FIGURA 30 Baches y zanjas reparadas severidad media**

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

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



**FIGURA 31 Baches y zanjas reparadas severidad baja**

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

### **Medición:**

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Sin embargo, si un solo bache tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse por separado. Ningún otro daño. (Por ejemplo desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido

reemplazada, no se debe registrar como bache sino como un nuevo pavimento (por ejemplo la sustitución de una intersección completa).

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

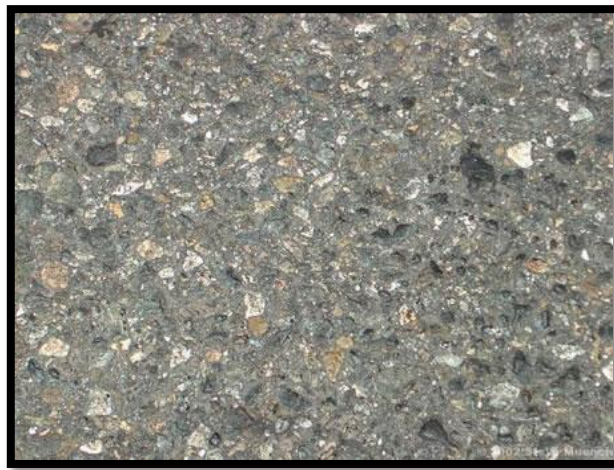
**M:** No se hace nada. Sustitución del bache.

**H:** Sustitución del bache.

**2.4.3.1.1.6.12 Agregados pulidos**

**Niveles de severidad**

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



**FIGURA 32 Agregados Pulidos**

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

**Medición:**

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

### Opciones de reparación:

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

#### 2.4.3.1.1.6.13 Huecos

#### Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor a 762 mm. Están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos de acuerdo con la tabla n°2

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm.	203 a 457 mm.	457 a 762 mm.
12,7 a 25,4 mm.	L	L	M
> 25,4 a 50,8 mm.	L	M	H
> 50,8 mm.	M	M	H

Tabla 4 Clasificación de la severidad de los huecos

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

Si el diámetro del hueco es mayor a 762 mm. Debe medirse el área en metros cuadrados y dividirla entre 0.47 para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual a 25.0 mm.

#### Nivel de severidad Bajo (Low): L

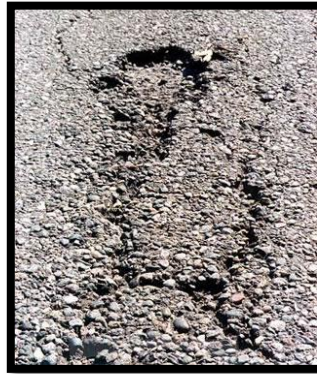


FIGURA 33 Huecos severidad baja

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

**Nivel de severidad Medio: M****FIGURA 34 Huecos severidad media**

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

**Nivel de severidad Alto (High): H****FIGURA 35 Huecos severidad alta**

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

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

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

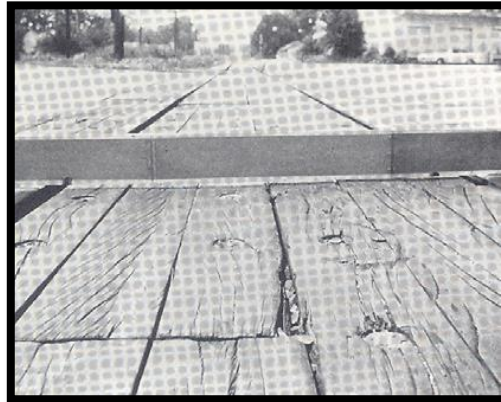
**M:** Parcheo parcial o profundo

**H:** Parcheo profundo.

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

##### Niveles de severidad

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



**FIGURA 36** Cruce de rieles, por accesos a puentes y rejillas de drenaje severidad baja

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

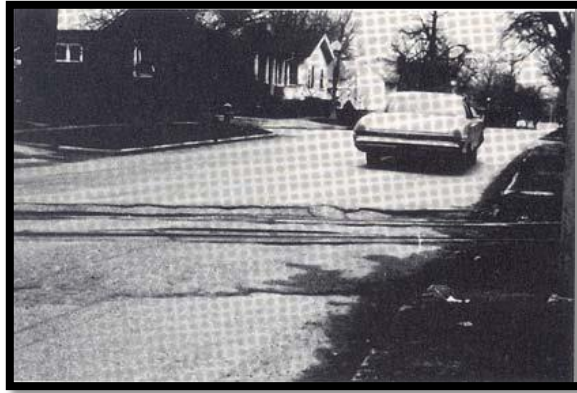
**M:** El cruce de vía férrea produce calidad de transito de mediana severidad.



**FIGURA 37** Cruce de rieles, por accesos a puentes y rejillas de drenaje severidad media

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

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



**FIGURA 38** Cruce de rieles, por accesos a puentes y rejillas de drenaje severidad alta

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

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada.

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

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

### 2.4.3.1.1.6.15 Ahuellamiento

#### Niveles de severidad

**L:** 6.0 mm. a 13.0 mm.



**FIGURA 39** Ahuellamiento severidad baja

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

**M:** > 13.0 mm.a 25.0 mm.



**FIGURA 40** Ahuellamiento severidad media

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

**H:** >25.0 mm.



\*

**FIGURA 41 Ahuellamiento severidad alta**

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

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

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

#### 2.4.3.1.1.6.16 Deformación por empuje

##### Niveles de severidad

**L:** La deformación causa calidad de tránsito de baja severidad.

**M:** La deformación causa calidad de tránsito de mediana severidad.



**FIGURA 42** Deformación por empuje severidad media

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

**H:** La deformación causa calidad de tránsito de alta severidad.



**FIGURA 43** Deformación por empuje severidad alta

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

**Medición:**

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

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada. Fresado.

**M:** Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

**H:** Fresado. Parcheo superficial, parcial o profundo.

**2.4.3.1.1.6.17 Grietas de deslizamiento****Niveles de severidad**

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



**FIGURA 44** Grietas de deslizamiento severidad baja

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

**M:** Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm. y 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta esta agrietada en pequeños pedazos ajustados.

**H:** Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta esta agrietada en pequeños pedazos fácilmente removibles.



**FIGURA 45** Grietas de deslizamiento severidad alta

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

**Medición:**

El área asociada con grieta parabólica se mide en área afectada en metros cuadrados. Se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

**Opciones de reparación:**

**L:** No se hace nada. Parcheo parcial.

**M:** Parcheo parcial.

**H:** Parcheo parcial.

### 2.4.3.1.1.6.18 Hinchamiento

#### Niveles de severidad

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

**M:** El hinchamiento causa calidad de circulación de severidad media



**FIGURA 46 Hinchamiento severidad media**

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

**H:** El hinchamiento causa calidad de circulación de severidad alta.

#### Medición:

El hinchamiento se mide en metros cuadrados de área afectada.

#### Opciones de reparación:

**L:** No se hace nada.

**M:** No se hace nada. Reconstrucción.

**H:** Reconstrucción.

#### 2.4.3.1.1.6.19 Disgregación y desintegración

##### Niveles de severidad

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



**FIGURA 47** Disgregación y desintegración severidad baja

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

**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.



**FIGURA 48** Disgregación y desintegración severidad media

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

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



**FIGURA 49** Disgregación y desintegración severidad alta

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

**Medición:**

Se mide en área afectada en metros cuadrados.

**Opciones de reparación:**

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

**M:** Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

**H:** Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reconstrucción.

### **2.4.3.1.2 Regularidad superficial del pavimento IRI (International Roughness Index)**

#### **2.4.3.1.2.1 Introducción**

Las características funcionales de una vía de comunicación terrestre son de suma importancia, ya que tienen incidencia directa en la seguridad y confort del usuario, además de aspectos relacionados a la economía de los usuarios y de los gobiernos. Ha quedado demostrado tras varios estudios que los costos de operación de los vehículos tienen una relación directa con las irregularidades de la superficie de los pavimentos, dichas irregularidades también afectan la estructura misma del pavimento, puesto que producen alteraciones en los estados de esfuerzos de la estructura y esto produce un incremento progresivo de las deformaciones, este fenómeno incrementa de manera significativa los costos de mantenimiento y rehabilitación.

En la década del 70 el banco mundial impulsó y financió un proyecto relacionado a la calidad de las vías y los costos que las misma inducen en la circulación de los vehículos de los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes lugares del mundo no podían ser comparados ya que las mediciones se realizaban con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo, esta situación llevó al Banco Mundial en 1982 a desarrollar el proyecto “International Road Roughness experiment (IRRE)”, el experimento se llevó a cabo en Brasil con la participación de investigadores de las agencias viales de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica.

A partir de dicho proyecto en el que se realizaron mediciones usando diversos equipos y métodos, en vías de diferentes condiciones, se determinó un parámetro de medición para la medición de la regularidad superficial que satisface los criterios de ser estable en el tiempo, transferible y relevante, se lo denominó “International Roughness Index (IRI)” o Índice de rugosidad internacional traducido al español. En la actualidad se constituye como uno de los controles de

recepción más importantes, actualmente en nuestro país se implementa en las especificaciones técnicas muchos proyectos.

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

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

El IRI es una medida de la influencia de la calidad del perfil longitudinal de una carretera en la calidad de la rodadura, que representa la vibración de un vehículo típico de pasajeros como resultado de la falta de regularidad de la superficie de la vía. Se define como la relación entre el movimiento acumulado de la suspensión de un modelo matemático denominado “cuarto de carro” cuya respuesta es similar a la de un automóvil que circula a una velocidad de 80 km/h, y la distancia recorrida.

Este valor se expresa en m/km o mm/m. Un  $IRI = 0$  significa una superficie totalmente lisa y su valor incrementa con las irregularidades del perfil, no existe un límite superior.

El IRI es un indicador independiente del equipo de medida, lo que depende del equipo son los datos de entrada o cotas del perfil.

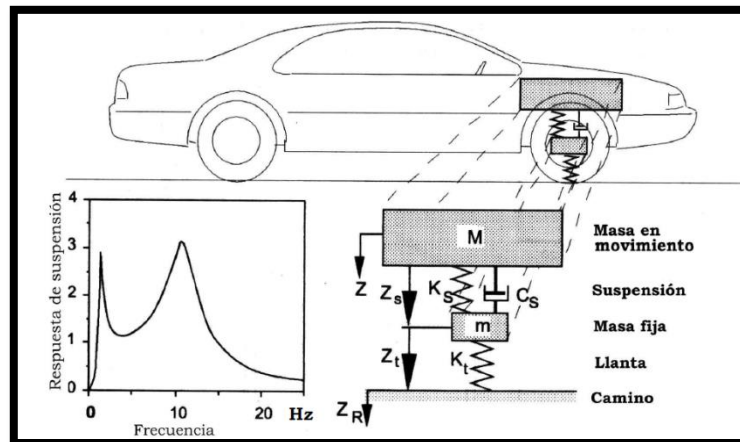


FIGURA 50 Esquema del modelo de cuarto de carro

Fuente: mountain-plains.org

#### 2.4.3.1.2.2 Clasificación de equipos para la medición del IRI

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

El banco mundial presentó la clasificación para los métodos perfilométricos en su documento técnico n° 64 “Guidelines for Conducting and Calibrating roadroughness measurements” y la norma ASTM E-950-98 de la siguiente manera:

##### 2.4.3.1.2.2.1 Equipos de la Clase 1

Corresponde a los perfilómetros de precisión. Requiere de una serie de puntos equidistantes medidos longitudinalmente sobre la huella de la vía, dicha distancia debe ser menor o igual a 0.25 m. y la precisión en la medida vertical debe estar comprendida entre 0.5 mm para pavimentos con valores de IRI entre 1 y 3 m/Km y de 3mm para valores de IRI entre 10 y 20 m/Km.

##### 2.4.3.1.2.2.2 Equipos de la Clase 2

Corresponde a otros métodos perfilométricos. La distancia entre puntos de perfil no debe ser mayor a 0.5 m. y la precisión en la medida vertical debe estar comprendida entre 1 mm para pavimentos con valores de IRI entre 1 y 3 m/Km y 6mm para valores de IRI entre 10 y 20 m/Km.

#### 2.4.3.1.2.2.3 Equipos de la Clase 3

Corresponde a los métodos que estiman el IRI mediante correlaciones. El perfil longitudinal se obtiene mediante el uso de equipos del tipo respuesta, los cuales deben calibrarse previamente con perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación.

#### 2.4.3.1.2.2.4 Equipos de la Clase 4

Corresponde a estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas. Incluyen mediciones tomadas con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base a la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales en la carretera.

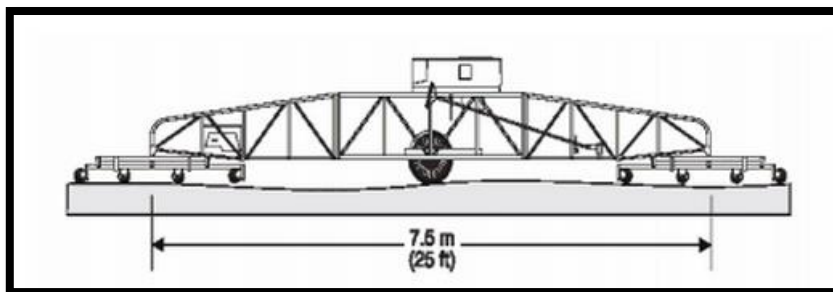
#### 2.4.3.1.2.3 Equipos para la medición del IRI

- **Perfilógrafos**

Existen perfilógrafos en distintas marcas, configuraciones y diseños. Debido a su tamaño no son prácticos, su uso más común es el de control de calidad y recepción de obras.

Están conformados por un marco montado sobre ruedas en cuyo centro se ubica una rueda de movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia establecido por el marco del perfilógrafo, se registra en papel de acuerdo al movimiento de la rueda de movimiento vertical.

Pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6 m. de longitud



**FIGURA 51** Vista lateral del perfilógrafo de California

Fuente: Final report approach to measuring the ride quality of highway bridges



FIGURA 52 Perfilógrafo de California

Fuente: [www.construccionescien.com](http://www.construccionescien.com)

- **Equipos del tipo respuesta (RTRRM)**

La sigla RTRRM es la abreviación de Response Type Road Roughness Meters, que traducido al español medidores del tipo respuesta de la rugosidad en las carreteras, los resultados que brindan estos tipos de equipos tienen un grado de precisión media, son adecuados para el monitoreo de redes viales.

El equipo consiste en un transductor montado entre la mitad del eje trasero y el cuerpo del vehículo, el transductor mide los movimientos verticales del eje trasero con respecto del marco del vehículo.

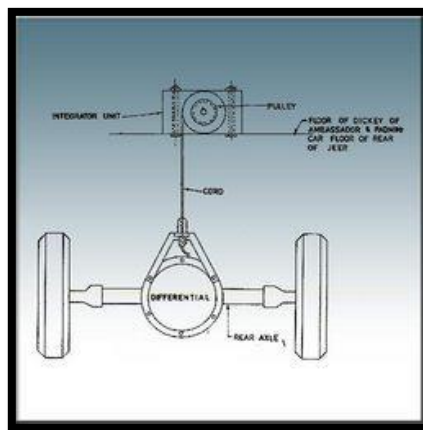


FIGURA 53 Esquema funcional del Bump integrator

Fuente: [www.indiamart.com](http://www.indiamart.com)



**FIGURA 54 Bump Integrator**

Fuente: [www.igm.fr](http://www.igm.fr)

- **Nivel y Mira**

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



**FIGURA 55 Nivel y mira**

Fuente: [www.sintop.wordpress.com](http://www.sintop.wordpress.com)

- **Dipstick**

El equipo está conformado por un inclinómetro posado sobre dos apoyos separados por 305 mm, el cual registra la elevación de un apoyo con relación al otro. El software de análisis es capaz de proporcionar un perfil exacto a  $\pm 0.127$  mm. Este equipo cuenta con un rendimiento relativamente bajo, por lo que su uso se reserva para la calibración de otros equipos.



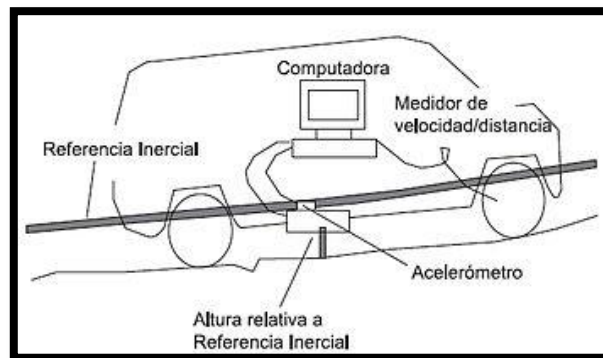
**FIGURA 56 Dipstick profiler**

Fuente: [www.cretecolors.co.in](http://www.cretecolors.co.in)

- **Perfilómetro inercial**

Llamados también perfilómetros de alto rendimiento, tienen un nivel de precisión muy alto y realizan mediciones a altas velocidades y en tiempo real.

Estos equipos crean una referencia inercial integrada por acelerómetros instalados en el vehículo para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores laser para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento.



**FIGURA 57 Esquema funcional del perfilómetro inercial**

Fuente: [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)

- **Merlín**

El nombre Merlín es la sigla que corresponde a “Machine for Evaluating Roughness using Low Cost Instrumentation”, que traducido al español quiere decir máquina para evaluar la rugosidad usando equipo de bajo costo.

El Merlín tiene un grado de precisión muy alto pero un bajo rendimiento, es un equipo de aplicación manual, su funcionamiento se basa en el uso de las desviaciones de la superficie respecto a una cuerda promedio, se considera que a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos.

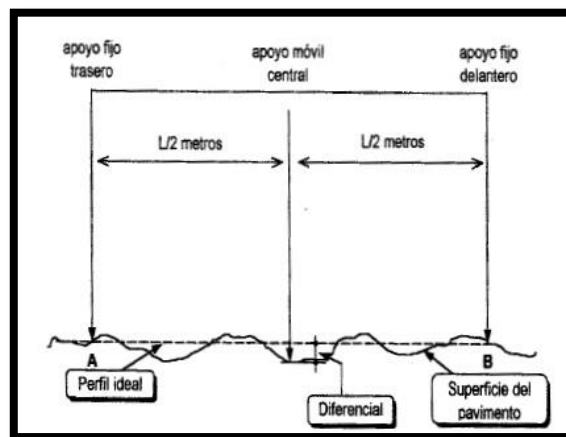


FIGURA 58 Esquema funcional del Merlín

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

#### 2.4.3.1.2.4 Procedimiento de medición de la regularidad superficial

Para la medición de la rugosidad se utiliza el método del equipo Merlín, mediante el cual y con el uso de correlaciones se obtiene el Índice de regularidad internacional.

##### 2.4.3.1.2.4.1 Perfilometro Merlín

El equipo Merlín fue diseñado por el TRRL como una variación de un perfilometro estático, califica como un equipo clase 1 debido a la precisión de sus resultados y a pesar de no cumplir con la distancia horizontal que requiere esta clase, la correlación de los datos obtenidos con Merlín en relación a la escala del IRI tiene un factor de

determinación de  $R= 0.98$ . Algunos fabricantes lo recomiendan para la calibración de equipos del tipo respuesta.

El equipo consta de un marco generado por dos barras verticales y una horizontal, el elemento vertical delantero es una rueda para facilitar su operación, el elemento vertical trasero tiene incorporados lateralmente dos soportes inclinados, uno para estabilizar el equipo durante su operación que permiten levantar el Merlín para desplazarlo haciéndolo rodar sobre la rueda.

En la parte central del marco se encuentra una barra vertical proyectada hacia el piso pero que no alcanza el mismo, sobre la cual se encuentra un pivote que alberga un brazo móvil, en el extremo inferior del brazo móvil se encuentra un patín ajustable en altura que está en contacto directo con la superficie del pavimento, en el extremo superior se encuentra un puntero que corre sobre un tablero de acuerdo a la posición del extremo inferior al contacto con el pavimento. La relación de brazos es de 1 a 10. En el tablero ubicado en la parte superior del brazo móvil se encuentra un escala grafica que va del 1 al 50 con separaciones de 5mm.

#### **2.4.3.1.2.4.2 Metodología de medición**

Para la realización de este ensayo se requiere de personas, una que opere el equipo y realice las lecturas y otra que anote las mismas, además es necesario personal de seguridad que desvíe el tráfico en el lugar del ensayo, uno en cada extremo del tramo en estudio.

La medición debe realizarse en ambos carriles y en cada una de las huellas de los vehículos.

Deben tomarse las medidas apoyando completamente el equipo en tres puntos fijos: la rueda, el apoyo trasero y el estabilizador en intervalos de aproximadamente dos metros, en esta posición el patín está en contacto con el suelo y transmite un movimiento al puntero que marca una posición en una escala graduada que va de 1 al 50 (1 a 25 elevaciones y 25 a 50 depresiones respecto a una cuerda ideal), una vez que el puntero se estabiliza se lee el posición del tablero y el auxiliar toma nota. En la

práctica se coloca una marca en la rueda del equipo y se realizan lecturas cada vez que da una vuelta completa, esta operación debe realizarse apoyando el equipo en el inicio del tramo estudiado y repetir dicha acción cada vez que la rueda gire completamente, debe repetirse esta acción en toda la longitud que requiera el ensayo.

#### **2.4.3.1.2.4.3 Metodología de cálculo**

Después de obtenidos los datos de campo, deben analizarse calculando la distribución de frecuencias de los datos, la cual puede expresarse por medio de un histograma, luego se establece el rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), después de descartarse el 10 % de los datos que correspondan a datos erráticos o poco representativos, 5% en cada cola del histograma, después de descartados los datos se procede a la obtención del ancho del histograma en unidades de la escala, tomando en cuenta las fracciones que podrían generarse por el descarte de datos.

El rango “D” debe expresarse en mm, para lo cual debe multiplicarse el ancho del histograma por el valor de cada unidad en mm (5mm).

Los datos “D” obtenidos con el Merlín deben transformarse a unidades de la escala del IRI que es el parámetro para uniformizar los datos obtenidos con los diferentes equipos usados en la actualidad, para dicho fin se tienen las siguientes expresiones:

- a) Cuando  $2.4 < IRI < 15.9$

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * D$$

- b) Cuando  $IRI < 2.4$

$$IRI = 0.0485 * D$$

La primera es la ecuación original establecida por el TRRL en función a los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad del Banco realizado Mundial en Brasil en 1982, mediante una simulación computarizada, esta ecuación de correlación es utilizada para pavimentos en servicio con capa de rodadura asfáltica, granular o de tierra y cuando su rugosidad se encuentre dentro del intervalo establecido.

La segunda es la ecuación establecida de acuerdo a la experiencia del Ing. Pablo Del Águila en Perú, luego de comprobar que la ecuación de correlación del TRRL no era aplicable a pavimentos asfálticos nuevos o con pocas deformaciones, se desarrolló esta ecuación siguiendo la metodología utilizada por el TRRL, usando como base la evaluación de más de 3000 Km.

#### 2.4.3.1.2.4.4 Rangos para la calificación del IRI

Las normas bolivianas han establecido valores para la aceptación o rechazo de pavimentos nuevos, en un valor de 1.5 m/Km. Sin embargo no se cuenta aún con valores de calificación del estado de pavimentos en funcionamiento.

País	Clasificación según valores del IRI (m/Km)				
	Bueno	Regular	Malo	Nivel de Rechazo	Nivel de aceptación
USA	<2,4	2,4 - 2,7	>2,7		
España				>2,5	<1,85
Chile	0 - 3,0	3,0 - 4,0	>4	>2,5	<2,5
Honduras	<3,5	3,5 - 6,0	>6		
Uruguay	<3,9	4,0 - 4,6	>4,6		
Venezuela	<1,8	1,8 - 2,2	2 - 2,5	>2,51	<2,51

FIGURA 59 Clasificación según valores del IRI

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

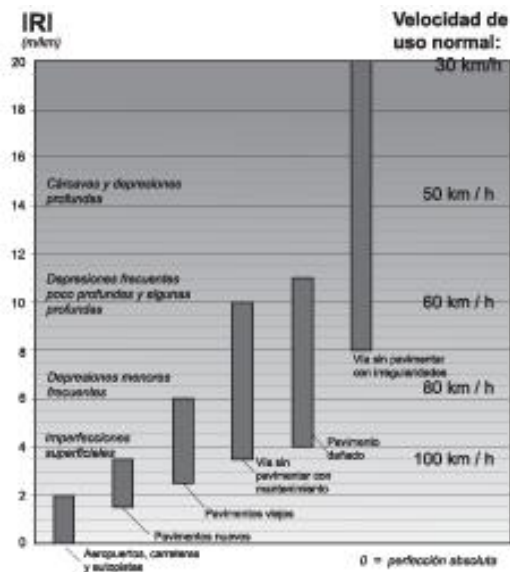


Figura 60 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías

Fuente: [www.Lanamme.ac.cr](http://www.Lanamme.ac.cr)

### 2.4.3.1.3 Serviciabilidad de un pavimento

#### 2.4.3.1.3.1 Introducción

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

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

Tabla 5 Clasificación del PSR

Fuente: AASHTO 97

Esta clasificación fue denominada “Present Serviciability Rating (PSR)” en español “Clasificación de serviciabilidad presente” se utilizó durante un tiempo como un parámetro evaluador del comportamiento de un pavimento. Pronto se vio la necesidad de eliminar los grupos de evaluadores para determinar dicho parámetro y se le relacionara con algunas medidas obtenidas del pavimento, tales como: la varianza de la pendiente del perfil longitudinal, el agrietamiento, etc. De esta manera se obtuvo el “Present Serviciability Index (PSI)” en español “Índice de serviciabilidad presente” que depende de medidas levantadas con un perfilometro del tipo “Chloe”. Mediante la siguiente expresión para pavimentos flexibles.

$$PSI = 5.03 - 1.9 * \log(1 + SV) - 1.38 * RD^2 - 0.0 * (C + P)^{0.5}$$

Dónde:

SV: varianza de la pendiente de la sección, con medidas realizadas con el perfilometro “Chloe”

RD: Profundidad del ahuellamiento (pulgadas)

C: Área con agrietamientos (pies2/1000pies2)

P: Área parchada (pies2/1000pies2)

Posteriormente los evaluadores desarrollaron una tabla de rangos de PSR que relaciona determinan si la serviciabilidad es “aceptable” o “inaceptable” para una carretera principal. Los resultados se presentan en la tabla 6

PSI	Aceptable	Inaceptable
4,5	100%	0%
4,0	100%	0%
3,5	95%	0%
3,0	55%	10%
2,5	17%	50%
2,0	3%	84%
1,5	0%	100%

Tabla 6 Rangos de aceptabilidad del PSR

Fuente: AASHTO 97

Se considera “aceptable” un PSR de 3 e “inaceptable” un PSR de 2.5 desde entonces se utiliza estos valores como una referencia para la serviciabilidad final en el diseño de pavimentos.

Muchas agencia viales convirtieron el termino de varianza de la pendiente de la fórmula original en un índice de regularidad. Otras agencias correlacionaron directamente el IRI con el PSI (Present Serviciability Index), considerando que la irregularidades del perfil longitudinal son determinantes en la percepción del confort del usuario, mientras que otros deterioros no, tienen escasa significación.

### 2.4.3.1.3.2 Metodología de cálculo

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

- **Paterson**

$$PSI = 5 * e^{(-0.18*IRI)}$$

Dónde :

e: base de los logaritmos naturales

IRI: Índice de regularidad internacional (m/Km)

- **Gillespie** (Recomendada para valores de IRI menores a 0.47 m/Km)

$$PSI = 5 - 0.633 * IRI$$

### 2.4.3.1.3.3 Rangos de calificación

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

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

Tabla 7 Niveles de aceptabilidad para las diferentes correlaciones

Fuente: AASHTO 97

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

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

#### 2.4.3.1.4 Textura del pavimento IFI (Índice de fricción internacional)

##### 2.4.3.1.4.1 Introducción

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

Existen dos tipos de textura presentados a continuación.

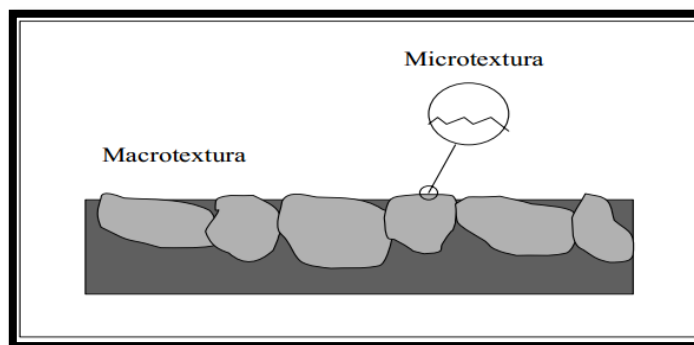


FIGURA 61 Diferencia entre micro textura y macro textura

Fuente: [www2.udec.cl](http://www2.udec.cl)

#### **2.4.3.1.4.1.1 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 0.5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, es tan pequeña que no puede verse a simple vista. Corresponde a la textura superficial de los agregados pétreos., las cuales pueden presentar características del tipo áspero o pulido.

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

#### **2.4.3.1.4.1.1.1 Equipos para la medición de la micro textura**

- **Griptester**

Estos equipos producen un bloqueo total de sus neumáticos. La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento es igual a la del vehículo. Al aplicar el freno, se mide la fuerza y se promedia durante un segundo con la rueda totalmente bloqueada, generalmente poseen un sistema de riego para mojar la superficie del pavimento con una película de 0.5 mm.nominales de espesor ya que se requiere para realizar tal ensayo.

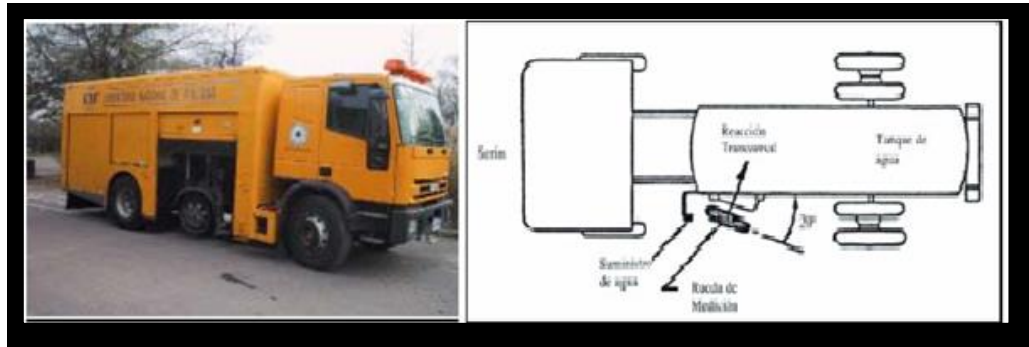


**FIGURA 62 Griptester**

Fuente: <http://www.findlayirvine.com>

- **SCRIM**

Este equipo mide el esfuerzo lateral, perpendicular al plano de rotación, es el equipo de este tipo más utilizado, funciona con un Angulo de deriva de  $20^\circ$  y está provisto de un equipo de riego autónomo, capaz de proporcionar una lámina de 1.0mm. de espesor nominal.



**FIGURA 63 SCRIM**

Fuente: <http://cybertesis.upc.edu.pe>

- **Mu meter**

Posee dos ruedas, cada una con un Angulo de desviación de  $7.5^\circ$ . fue concebido para evaluar pistas de aeropuertos y no resulta adecuado para carreteras, puesto que la separación de las ruedas es pequeña en comparación a las de los vehículos de carretera.



**FIGURA 64 Mu meter**

Fuente: <http://constructoracien.com>

- **Péndulo inglés**

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



**FIGURA 65 Péndulo Inglés**

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.3.1.4.1.2 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 0.5 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que las de los dibujos de los neumáticos. La macro textura proviene del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Las propiedades de la macro textura están determinadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie.

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

#### 2.4.3.1.4.1.2.1 Equipos para la medición de la macro textura

- **Ensayo del círculo de arena**

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



**FIGURA 66** Materiales para el ensayo del círculo de arena

Fuente: Elaboración propia

- **Stationary laser profilometer VTI**

Actúa proyectando un rayo sobre la superficie del pavimento. Puede ir instalado en equipos estacionarios sobre una viga sobre la que corre el láser accionado a motor o empujado manualmente. También puede ir montado en un vehículo que se desplaza a velocidades de hasta 72 km/h

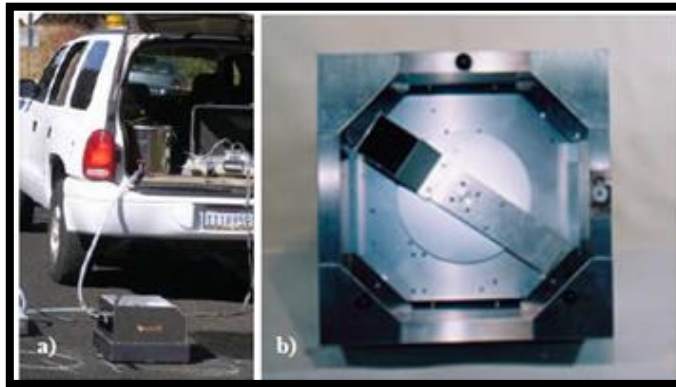


**FIGURA 67** Stationary laser profilometer VTI

Fuente: Técnicas e índices para la medición de macro textura en pavimentos

- **Circular texture meter CTM**

Tiene un sensor laser que recorre una circunferencia de 142 mm.de radio.  
Entrega como resultado un perfil de 1042 puntos a intervalos de 0.87 mm.



**FIGURA 68 Equipo CTM**

Fuente: Técnicas e índices para la medición de macro textura en pavimentos

- **Perfilometro Laser de alta frecuencia**

Algunos perfilómetros que trabajan a alta frecuencia (en términos de lectura por segundo) son capaces de estimar la profundidad media del perfil.



**FIGURA 69 Perfilometro laser de alta frecuencia**

Fuente: Técnicas e índices para la medición de macro textura en pavimentos

#### **2.4.3.1.4.2 Definición de IFI (Índice de fricción internacional)**

En el año 1992 la AIPCR (Asociación mundial de carreteras) realizó un experimento cuyo resultado más importante fue el parámetro IFI (Índice de fricción internacional), que es una referencia de aplicación internacional de la fricción y la textura de un pavimento. Este parámetro surge como una respuesta para armonizar la práctica internacional y prevenir errores de interpretación ante la existencia de muchos equipos para la medición de la textura y fricción de pavimentos, cada uno con sus propias escalas de referencia.

El IFI se expresa mediante dos números en un paréntesis, separados por una coma (F60,Sp), F60 es un número adimensional que representa la fricción a 60 Km/h, SP es un número positivo sin límites determinados y en unidades de velocidad en (Km/h), este representa la macro textura. Estos valores permiten determinar el coeficiente de fricción del pavimento  $F(s)$  a cualquier velocidad de deslizamiento (s), mediante la expresión:

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

#### **2.4.3.1.4.3 Medición de la fricción del pavimento**

Para la medición de la fricción del pavimento se utiliza el péndulo inglés AASHTO T 278-90 (1999), AASHTO M-261-96 (2004) y el ensayo del círculo de arena ASTM E 965, ASTM E 1005.

### **Péndulo Ingles o péndulo (TRRL)**

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



**FIGURA 70 Péndulo ingles**

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.3.1.4.3.1 Ensayo del círculo de arena**

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

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

#### **2.4.3.1.4.3.2 Metodología de uso del equipo para la determinación del IFI**

##### **Péndulo Ingles (TRRL)**

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

##### **Ensayo del círculo de arena**

- Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, la limpieza debe realizarse con un cepillo de pelo blando.
- Se debe verter la arena contenida en el recipiente en el punto donde quiera realizarse el ensayo.
- 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.

#### 2.4.3.1.4.3.3 Metodología de cálculo

- **Cálculo del valor Tx**

El valor Tx se determina con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

Tx: Promedio del espesor de la macro textura de la superficie

V: Volumen de la muestra

Dp: Diámetro promedio del área cubierta

- **Calculo de valor Sp**

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

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Sp = a + b * Tx$$

Dónde:

Sp: Velocidad de referencia

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

a: -11.5981

b: 113.63246

- **Cálculo del valor FR60**

Para estimar este valor se utiliza la siguiente ecuación:

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

Dónde:

S: Velocidad del péndulo (10 Km/h)

Sp: Velocidad de referencia

FRS: Valor de fricción obtenido en campo

- **Cálculo del valor F60**

Este valor se obtiene mediante la siguiente formula:

$$F60 = A + B * FR60$$

Dónde:

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

A: 0.078

B: 0.01071

- **Cálculo del valor F(S)**

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

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

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

#### 2.4.3.1.4.3.4 Límites

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

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

**Tabla 8 Valores de fricción con péndulo británico**

Fuente: Proyecto de grado Seguridad vial "Carretera San Roque - Tiquina"

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

**Tabla 9 Textura en pavimento para el círculo de arena**

Fuente: control de resistencia al deslizamiento

### **2.4.3.2 Evaluación estructural del pavimento**

La evaluación estructural de pavimentos debe presentar un dato que permita relacionar la evaluación superficial del pavimento con la respuesta del mismo ante la acción de una carga. El método más utilizado en la evaluación estructural de pavimentos es la medición de deflexiones superficiales.

#### **2.4.3.2.1 Deflexiones en los pavimentos**

En análisis estructural, la deflexión hace referencia al grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza, si llevamos este concepto a los pavimentos podemos decir que la deflexión es la deformación vertical que sufre la estructura ante la aplicación de las cargas producidas por el tráfico.

La sub-rasante es la mayor contribuyente a la deflexión en la superficie, debido a la compresión elástica de esta misma.

La magnitud de la deformación de un material en cualquier punto de la estructura del pavimento está directamente relacionada con el estado triaxial de esfuerzos, es por esto que para iguales condiciones cuando decrecen los esfuerzos verticales en la sub-rasante decrecen también las deflexiones, es decir, que el espesor y la rigidez de las capas estructurales son inversamente proporcionales a la deflexión.

### 2.4.3.2.2 Equipos para la medición de deflexiones en pavimentos

Existen numerosos equipos para la medición deflectométrica, en este proyecto se consideran los equipos más usados en la actualidad, en Bolivia y el mundo.

- **Viga Benkelman**

Actualmente es el equipo de mayor uso en la medición de deflexiones en nuestro país, principalmente por ser un equipo relativamente económico.

Funciona bajo el principio de la palanca, la viga está apoyada sobre un pivote que le permite rotar libremente, de forma tal que si se produce movimiento en un extremo, que está en contacto con la superficie del pavimento, este se transmitirá de manera proporcional al otro extremo en el que se encuentra instalado un extensómetro de precisión que permite medir la restitución de la deflexión del pavimento ante la acción de una carga, la carga debe ser la carga de diseño con la cual se diseñó la vía, según AASHTO 8200 Kg, la carga para el ensayo la proporciona una volqueta con un eje trasero simple, de llantas gemelas y a una presión de inflado de 80 lb/pulg<sup>2</sup>.



FIGURA 71 Viga Benkelman

Fuente [www.nestorhuaman.pe](http://www.nestorhuaman.pe)

- **Falling Weight Deflectometer (FWD)**

(Deflectómetro de caída de peso) Es un equipo de alto rendimiento.

Este equipo simula la transmisión de la carga de un vehículo en movimiento, existen equipos como el SHWD que permiten simular el aterrizaje de un avión Jumbo para la evaluación estructural en aeropuertos.

Su funcionamiento se basa en el impulso de carga producido por la caída de una masa desde una altura determinada de acuerdo al vehículo que se quiera simular, sobre un plato de ensayo situado sobre el pavimento, el equipo cuenta con sensores (geófonos) ubicados en el punto de aplicación máxima de la carga y a ciertas distancias, de forma tal, que permiten modelar el cuenco de deflexiones ante la acción de la carga.



**FIGURA 72** Súper FWD

Fuente: Curso – taller internacional de posgrado: “diagnostico, análisis, diseño y gestión de pavimentos

### 2.4.3.2.3 Medición de las deflexiones en los pavimentos

Para la medición de las deflexiones en pavimentos, se utiliza el método de la viga Benkelman AASHTO T 256 - 77

#### **2.4.3.2.3.1 Viga Benkelman**

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

#### 2.4.3.2.3.3 Metodología para el cálculo

- **Calculo de la deflexión máxima**

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

Dónde:

Do: Deflexión máxima

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

Lo: Lectura inicial

Lf: Lectura final

- **Deflexión media a la distancia**

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

Dónde:

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

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

L25: Lectura a 0.25m de la posición inicial

Lf: Lectura final

- **Corrección por temperatura**

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

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

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

Dónde:

D20: Deflexión a la temperatura standard

Dt: Deflexión a la temperatura t

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

t: Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e: Espesor de la carpeta asfáltica

- **Corrección por estacionalidad**

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

Tipo de suelo de subrasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa - Permeable	1,0	1,1 a 1,3
Arcillosa - sensible al agua	1,0	1,2 a 1,4

**Tabla 10** Factor de corrección por estacionalidad

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

- **Radio de curvatura**

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

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

Dónde:

Rc: Radio de curvatura (m)

Do: Deflexión máxima corregida

D25: Deflexión a 0.25 m corregida

#### 2.4.3.2.3.4 Limites

- **Deflexión admisible**

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

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

Dónde:

Da: Deflexión admisible (mm)

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

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

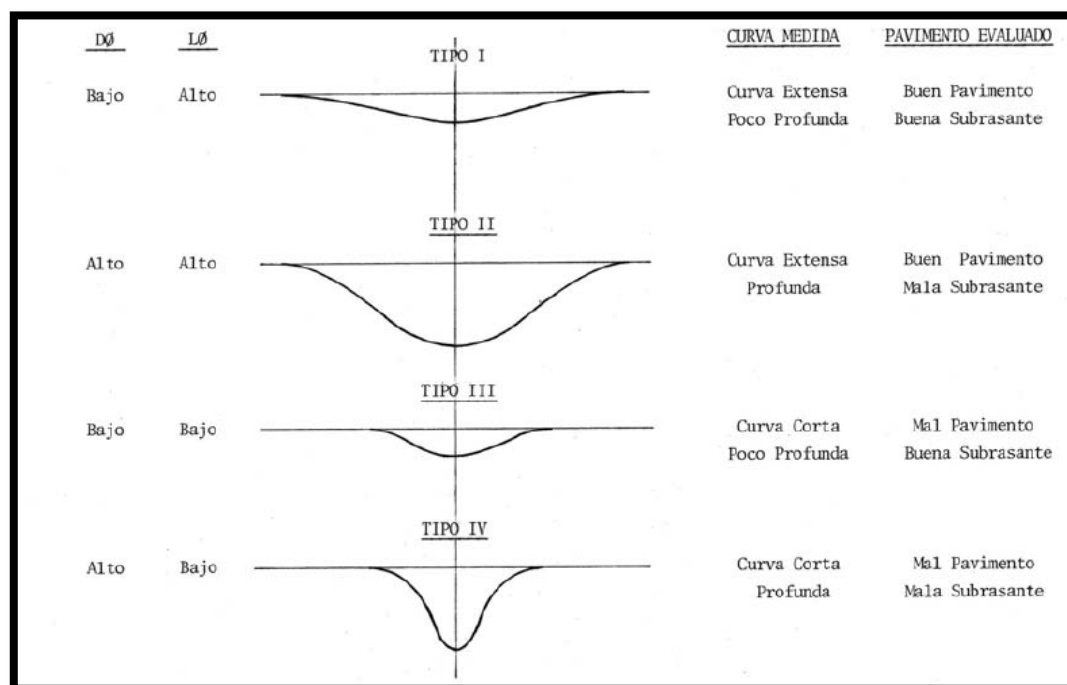
a)  $Do < Dadm$

- **Radio de curvatura**

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

b)  $Rc > 100 m$

c)  $300 < Rc < 500$



**FIGURA 73** Significado cualitativo de las diferentes curvas de deflexiones

Medición de deflexiones

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

## CAPITULO III

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1 Ubicación del Tramo de Estudio

El tramo carretero “Puerta del Chaco – Carlazo” está ubicado en el departamento de Tarija, al sur de Bolivia. Este tramo es un segmento del tramo “Puerta del Chaco – Canaletas”. Este tramo conecta las poblaciones de Tarija con Entre Ríos y es parte de la carretera que conecta Tarija con Villamontes y Yacuiba. La ubicación geográfica de los puntos que este tramo conecta se presentan a continuación:



**FIGURA 1** Tramo “Puerta del Chaco – Carlazo”  
Fuente: Google Earth

Puerta del Chaco:

Latitud: 21°31'13.43" S

Longitud: 64°32'15.93" O

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

Carlazo:

Latitud: 21°28'50.47" S

Longitud: 64°30'40.38" O

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

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

### **3.2 Características del Tramo de estudio**

El tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” forma parte de la red vial fundamental y es un tramo de la ruta nacional F - 011, el tramo tiene una longitud de 6200 m. y fue construido en el periodo 2007 – 2009. El Servicio departamental de caminos (SEDECA) ejecutó la construcción del tramo por administración directa hasta el nivel de capa base, la carpeta asfáltica fue ejecutada por la empresa constructora “Erika”.

Las características físicas del tramo son las siguientes:

Longitud: 6200 m.

Ancho de carril: 3.65 m.

Ancho de berma: 1.20 m.

Subbase: 20 cm.

Base: 18cm.

Carpeta asfáltica: 5cm.

### **3.3 Evaluación Superficial del Tramo de estudio**

Para la evaluación superficial del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” se evaluaron cuatro parámetros: PCI, IRI, PCI e IFI, los cuales se desarrollan a continuación.

#### **3.3.1 Determinación de sectores de evaluación**

Los sectores de evaluación se determinaron en tras una minuciosa inspección visual, en la que se recorrió a pie toda la superficie del pavimento, también se realizó un recorrido en vehículo a velocidad de circulación de 60 Km/h a lo largo de todo el tramo y en ambos sentidos, se eligieron los sectores más críticos, para ello se escogieron secciones de 200 metros por cada kilómetro basados en la cantidad de fallas y las deficiencias en la experiencia de recorrido.

Los sectores de evaluación que se escogieron se muestran en la siguiente tabla:

Sector de evaluación	Progresiva inicial	Progresiva final
1	0+560	0+760
2	1+260	1+460
3	2+460	2+660
4	3+020	3+220
5	4+420	4+620
6	5+220	5+420

**Tabla 1 Sectores de evaluación**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Indicadores de Estado

#### 3.3.2.1 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

La Evaluación superficial del tramo se realizó en toda su extensión al tratarse de la evaluación de un proyecto, a continuación se muestra un ejemplo de la metodología que se aplicó para la realización del método y la obtención de resultados del mismo:

##### 3.3.2.1.1 Determinación de las áreas de muestreo

Las áreas de muestreo según el método del cuerpo de la armada de los Estados Unidos deben tener una superficie comprendida en el rango de  $230 \pm 93 \text{ m}^2$ , considerando que el ancho de calzada del pavimento en el tramo en estudio es de 7.3 m. y para una adecuada distribución de las unidades de muestreo se eligió una longitud de 40 m. para cada una de ellas. Lo que corresponde a un área de  $292 \text{ m}^2$  que está dentro del rango establecido para este método. Para la longitud total del tramo (6200 m) se evaluaron 154 áreas de muestre de  $292 \text{ m}^2$  y 2 de  $219 \text{ m}^2$

##### 3.3.2.1.2 Procedimiento de evaluación

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



A continuación se muestra una tabla demostrativa:

DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES								TOTAL	DENSIDAD
1	Baja	24,0	14,0	20,0						57,98	19,86
	Media	7,7	13,4							21,01	7,20
10	Baja	40,0	40,0	16,0						96	32,88
11	Baja	11,2	3,7							14,82	5,08

Tabla 3 Obtención de la densidad

Fuente: Elaboración propia

En la casilla “Total” para la falla “1” de severidad baja se puede ver el valor 57.98 que corresponde al área total para ese tipo de daño, en el caso de esta unidad de muestreo tiene un área de 292 m<sup>2</sup>. Para obtener la densidad de este daño se debe dividir el valor de 57.98 (Área total dañada tipo 1 de severidad baja) entre el valor 292 (Área de la unidad de muestreo) de la siguiente manera:

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

$$Densidad = \frac{57.98}{292} \times 100$$

$$Densidad = 19.86\%$$

El “Valor de deducción” se determina mediante el uso de las curvas denominadas “Valor de deducción” de acuerdo con el tipo de falla.

A continuación se presenta un ejemplo demostrativo:

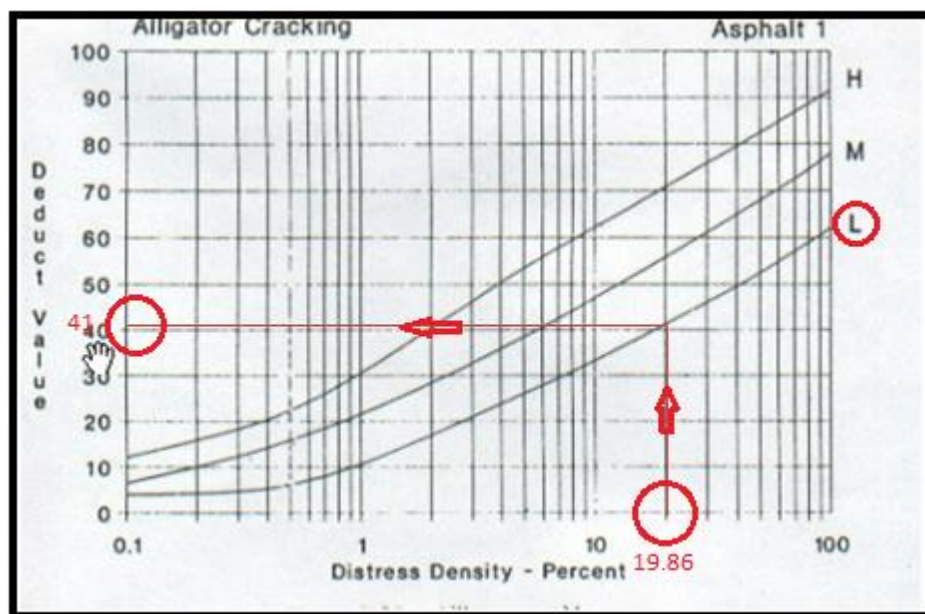


FIGURA 2 Obtención del valor deducido (VD)

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

En este caso se trata de una falla 1 (Piel de cocodrilo) de baja severidad y de una densidad de 19.85 % se obtiene un valor de deducción de 41. Se debe entrar a la gráfica con el valor densidad y proyectar una línea vertical hasta que intersecte con la densidad de la falla, en este caso “baja”, en ese punto se proyecta una línea horizontal hasta que intersecte el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala de “Valor de deducción”.

Se repite la misma acción para cada falla y su severidad y se anotan en la casilla de “Valor deducido” como se muestra a continuación:

DAÑO	SEVERIDAD	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1	Baja	24,0	14,0	20,0		57,98	19,86	41
	Medio	7,7	13,1			21,01	7,20	43
10	Baja	40,0	40,0	16,0		96	32,88	18
11	Baja	11,2	3,7			14,02	5,00	10,5

Tabla 4 Tabla de valores deducidos

Fuente: Elaboración propia

Luego de anotar todos los valores deducidos deben sumarse para la obtención de un “Valor deducido total” de la siguiente manera:

VALORES PCI
VALOR DEDUCIDO TOTAL
112,5

Tabla 5 Valor deducido total

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el valor deducido total, con este valor se entra a las curvas de valor deducido corregido y se proyecta una línea vertical hasta interceptarse con la curva “q” correspondiente al número de valores deducidos que tengan un valor mayor a dos, desde ese punto de intersección se traza una línea horizontal hasta intersectar el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala del “Valor deducido corregido” como se muestra en la siguiente figura:

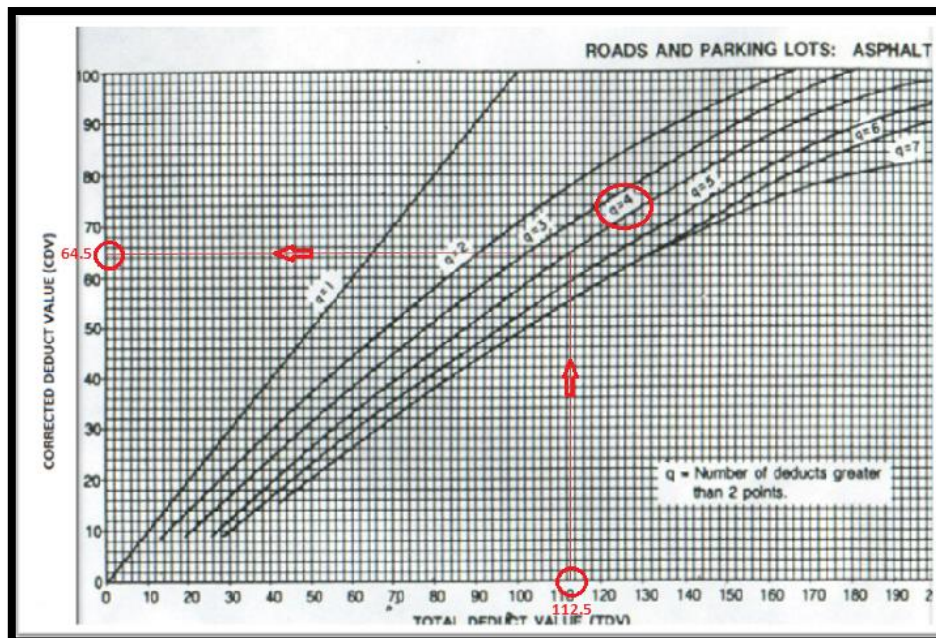


FIGURA 3 Obtención del valor de deducción corregido (VDC)

Fuente: Pavement Condition Index (Shahin, Khon)

Para este ejemplo se tiene un “valor deducido total” de 112.5 y un “numero de valores deducidos mayor a dos” de  $q=4$  para los cuales se obtiene un “valor deducido corregido” de 64.5.

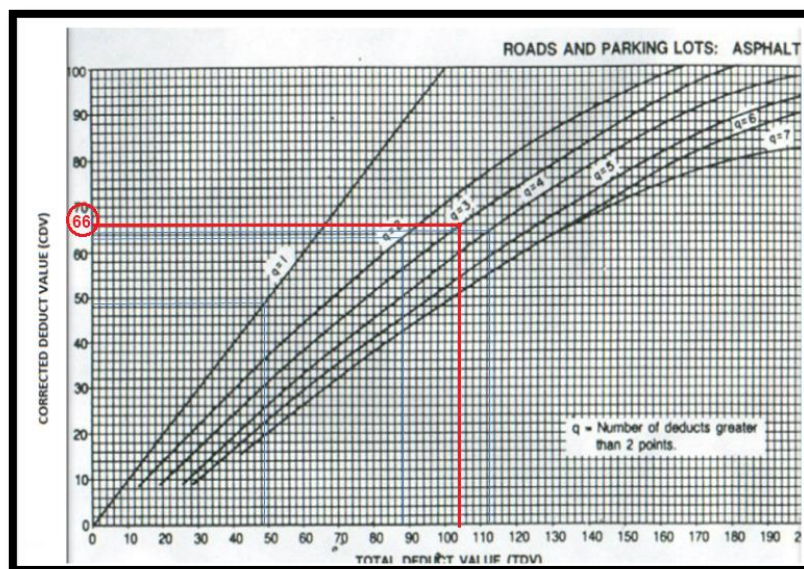
El siguiente paso es ordenar los valores deducidos totales de mayor a menor, se reduce a dos el menor de ellos y se repiten los anteriores pasos hasta que  $q$  sea igual a uno como se muestra en la siguiente gráfica:

DAÑO	SEVERIDAD	VALOR DEDUCIDO	V. D. ORDENADO (q=4)	1ª ITERACION (q=3)	2ª ITERACION (q=2)	3ª ITERACION (q=1)
1	Baja	41	43	43	43	43
	Media	43	41	41	41	2
10	Baja	18	18	18	2	2
11	Baja	10,5	10,5	2	2	2
<b>VALOR DEDUCIDO TOTAL</b>		112,5	112,5	104	88	49

**Tabla 6 Iteración de valores deducidos corregidos**

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la tabla de iteraciones se procede a ingresar a las curvas de “Valor deducido corregido” y se grafica cada una de las iteraciones, el mayor de los valores de VDC es el que se acepta como correcto como se muestra a continuación:



**FIGURA 4** Iteración gráfica del valor de deducción corregido

Fuente: Pavement Condition Index (Shahin, Khon)

En esta gráfica podemos observar que se graficaron cada una de las iteraciones, las líneas en azul corresponden a las iteraciones y la línea roja es la que da el valor más elevado que se toma como VDC para esta unidad de muestreo, se puede observar que el VDT no proporciona el mayor VDC.

Una vez obtenido el “Valor deducido corregido” se calcula el PCI restando de 100 este valor.

$$PCI = 100 - VDC$$

$$PCI = 100 - 66$$

VALOR DEL PCI	
34	POBRE

Se repite todo este procedimiento para todas las unidades de muestreo.

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

### 3.3.2.1.4 Resultados

#### 3.3.2.1.4.1 Resultados parciales

En la siguiente tabla se resumen los resultados de todas las unidades de muestreo del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo”:

Km 1			
Unidad de muestreo	Progresiva inicial	Progresiva final	Valor del PCI
1	0+000	0+040	41,00
2	0+040	0+080	8,50
3	0+080	0+120	18,50
4	0+120	0+160	25,00
5	0+160	0+200	17,90
6	0+200	0+240	29,60
7	0+240	0+280	9,00
8	0+280	0+320	34,00
9	0+320	0+360	45,40
10	0+360	0+400	0,00
11	0+400	0+440	33,60
12	0+440	0+480	35,00
13	0+480	0+520	19,20
14	0+520	0+560	32,00
15	0+560	0+600	30,20
16	0+600	0+640	2,50
17	0+640	0+680	26,50
18	0+680	0+720	2,20
19	0+720	0+760	10,50
20	0+760	0+800	16,00
21	0+800	0+840	2,40
22	0+840	0+880	18,50
23	0+880	0+920	17,50
24	0+920	0+960	21,50
25	0+960	1+000	27,80

**Tabla 7 Resultados PCI Km 1**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 2</b>			
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>
26	1+000	1+040	24,50
27	1+040	1+080	26,60
28	1+080	1+120	24,40
29	1+120	1+160	21,20
30	1+160	1+200	23,50
156	1+200	1+230	30,00
155	1+230	1+260	50,50
31	1+260	1+300	2,00
32	1+300	1+340	2,00
33	1+340	1+380	9,50
34	1+380	1+420	9,50
35	1+420	1+460	16,50
36	1+460	1+500	9,00
37	1+500	1+540	26,50
38	1+540	1+580	83,20
39	1+580	1+620	55,00
40	1+620	1+660	23,70
41	1+660	1+700	59,20
42	1+700	1+740	73,80
43	1+740	1+780	62,00
44	1+780	1+820	58,60
45	1+820	1+860	69,50
46	1+860	1+900	39,50
47	1+900	1+940	14,00
48	1+940	1+980	25,40
49	1+980	2+020	20,00

**Tabla 8 Resultados PCI Km 2**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 3</b>			
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>
50	2+020	2+060	15,00
51	2+060	2+100	22,00
52	2+100	2+140	22,50
53	2+140	2+180	23,00
54	2+180	2+220	24,00
55	2+220	2+260	45,00
56	2+260	2+300	38,40
57	2+300	2+340	35,50
58	2+340	2+380	20,50
59	2+380	2+420	41,40
60	2+420	2+460	28,50
61	2+460	2+500	42,60
62	2+500	2+540	23,00
63	2+540	2+580	14,50
64	2+580	2+620	22,50
65	2+620	2+660	29,80
66	2+660	2+700	76,10
67	2+700	2+740	58,00
68	2+740	2+780	54,00
69	2+780	2+820	29,60
70	2+820	2+860	12,40
71	2+860	2+900	31,80
72	2+900	2+940	29,60
73	2+940	2+980	34,30
74	2+980	3+020	30,80

**Tabla 9 Resultados PCI Km 3**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 4</b>			
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>
75	3+020	3+060	36,00
76	3+060	3+100	28,50
77	3+100	3+140	26,00
78	3+140	3+180	40,00
79	3+180	3+220	28,00
80	3+220	3+260	29,80
81	3+260	3+300	49,40
82	3+300	3+340	33,40
83	3+340	3+380	32,00
84	3+380	3+420	37,80
85	3+420	3+460	37,20
86	3+460	3+500	32,00
87	3+500	3+540	27,60
88	3+540	3+580	27,60
89	3+580	3+620	31,40
90	3+620	3+660	38,20
91	3+660	3+700	54,10
92	3+700	3+740	65,80
93	3+740	3+780	35,00
94	3+780	3+820	54,00
95	3+820	3+860	71,00
96	3+860	3+900	23,60
97	3+900	3+940	34,80
98	3+940	3+980	32,80
99	3+980	4+020	43,00

**Tabla 10 Resultados PCI Km 4**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 5</b>			
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>
100	4+020	4+060	29,20
101	4+060	4+100	32,50
102	4+100	4+140	29,20
103	4+140	4+180	38,00
104	4+180	4+220	25,40
105	4+220	4+260	27,40
106	4+260	4+300	17,80
107	4+300	4+340	8,40
108	4+340	4+380	24,00
109	4+380	4+420	3,00
110	4+420	4+460	0,00
111	4+460	4+500	0,00
112	4+500	4+540	0,00
113	4+540	4+580	0,00
114	4+580	4+620	0,00
115	4+620	4+660	1,00
116	4+660	4+700	13,60
117	4+700	4+740	22,00
118	4+740	4+780	38,20
119	4+780	4+820	42,60
120	4+820	4+860	39,60
121	4+860	4+900	28,00
122	4+900	4+940	29,80
123	4+940	4+980	12,00
124	4+980	5+020	48,50

**Tabla 11 Resultados PCI Km 5**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 6</b>			
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>
125	5+020	5+060	67,80
126	5+060	5+100	52,60
127	5+100	5+140	73,40
128	5+140	5+180	78,80
129	5+180	5+220	77,80
130	5+220	5+260	67,60
131	5+260	5+300	75,00
132	5+300	5+340	46,00
133	5+340	5+380	56,40
134	5+380	5+420	67,00
135	5+420	5+460	78,00
136	5+460	5+500	89,00
137	5+500	5+540	68,00
138	5+540	5+580	71,00
139	5+580	5+620	76,50
140	5+620	5+660	76,00
141	5+660	5+700	70,00
142	5+700	5+740	74,40
143	5+740	5+780	69,20
144	5+780	5+820	86,50
145	5+820	5+860	86,50
146	5+860	5+900	86,00
147	5+900	5+940	88,50
148	5+940	5+970	90,00
149	5+970	6+000	90,00
150	6+000	6+040	90,00
151	6+040	6+080	90,00
152	6+080	6+120	90,00
153	6+120	6+160	90,00
154	6+160	6+200	90,00

Tabla 12 Resultados PCI Km 6

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.4.2 Resultados por kilometro

<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA</b>	
<b>RESULTADOS</b>	
<b>PROGRESIVAS</b>	<b>PCI</b>
<b>0+000 - 1+000</b>	<b>20,97</b>
<b>1+000 - 2+000</b>	<b>34,38</b>
<b>2+000 - 3+000</b>	<b>33,25</b>
<b>3+000 - 4+000</b>	<b>37,47</b>
<b>4+000 - 5+000</b>	<b>20,15</b>
<b>5+000 - 6+200</b>	<b>48,41</b>

Tabla 13 Resultados PCI por kilometro

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.4.3 Resultados del proyecto

<b>INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA</b>	
<b>RESULTADOS</b>	
<b>PROGRESIVAS</b>	<b>PCI</b>
<b>0+000 - 6+200</b>	<b>32,44</b>

Tabla 14 Resultados PCI del proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.5 Análisis de los resultados

#### 3.3.2.1.5.1 Análisis de los resultados parciales

<b>Km 1</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
1	0+000	0+040	41,00	REGULAR
2	0+040	0+080	8,50	FALLADO
3	0+080	0+120	18,50	MUY MALO
4	0+120	0+160	25,00	MUY MALO
5	0+160	0+200	17,90	MUY MALO
6	0+200	0+240	29,60	MALO
7	0+240	0+280	9,00	FALLADO
8	0+280	0+320	34,00	MALO
9	0+320	0+360	45,40	REGULAR
10	0+360	0+400	0,00	FALLADO
11	0+400	0+440	33,60	MALO
12	0+440	0+480	35,00	MALO
13	0+480	0+520	19,20	MUY MALO
14	0+520	0+560	32,00	MALO
15	0+560	0+600	30,20	MALO
16	0+600	0+640	2,50	FALLADO
17	0+640	0+680	26,50	MALO
18	0+680	0+720	2,20	FALLADO
19	0+720	0+760	10,50	MUY MALO
20	0+760	0+800	16,00	MUY MALO
21	0+800	0+840	2,40	FALLADO
22	0+840	0+880	18,50	MUY MALO
23	0+880	0+920	17,50	MUY MALO
24	0+920	0+960	21,50	MUY MALO
25	0+960	1+000	27,80	MALO

**Tabla 15 Calificación del PCI Km 1**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 2</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
26	1+000	1+040	24,50	MUY MALO
27	1+040	1+080	26,60	MALO
28	1+080	1+120	24,40	MUY MALO
29	1+120	1+160	21,20	MUY MALO
30	1+160	1+200	23,50	MUY MALO
156	1+200	1+230	30,00	MALO
155	1+230	1+260	50,50	REGULAR
31	1+260	1+300	2,00	FALLADO
32	1+300	1+340	2,00	FALLADO
33	1+340	1+380	9,50	FALLADO
34	1+380	1+420	9,50	FALLADO
35	1+420	1+460	16,50	MUY MALO
36	1+460	1+500	9,00	FALLADO
37	1+500	1+540	26,50	MALO
38	1+540	1+580	83,20	MUY BUENO
39	1+580	1+620	55,00	REGULAR
40	1+620	1+660	23,70	MUY MALO
41	1+660	1+700	59,20	BUENO
42	1+700	1+740	73,80	MUY BUENO
43	1+740	1+780	62,00	BUENO
44	1+780	1+820	58,60	BUENO
45	1+820	1+860	69,50	BUENO
46	1+860	1+900	39,50	MALO
47	1+900	1+940	14,00	MUY MALO
48	1+940	1+980	25,40	MALO
49	1+980	2+020	20,00	MUY MALO

**Tabla 16 Calificación del PCI Km 2**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 3</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
50	2+020	2+060	15,00	MUY MALO
51	2+060	2+100	22,00	MUY MALO
52	2+100	2+140	22,50	MUY MALO
53	2+140	2+180	23,00	MUY MALO
54	2+180	2+220	24,00	MUY MALO
55	2+220	2+260	45,00	REGULAR
56	2+260	2+300	38,40	MALO
57	2+300	2+340	35,50	MALO
58	2+340	2+380	20,50	MUY MALO
59	2+380	2+420	41,40	REGULAR
60	2+420	2+460	28,50	MALO
61	2+460	2+500	42,60	REGULAR
62	2+500	2+540	23,00	MUY MALO
63	2+540	2+580	14,50	MUY MALO
64	2+580	2+620	22,50	MUY MALO
65	2+620	2+660	29,80	MALO
66	2+660	2+700	76,10	MUY BUENO
67	2+700	2+740	58,00	BUENO
68	2+740	2+780	54,00	REGULAR
69	2+780	2+820	29,60	MALO
70	2+820	2+860	12,40	MUY MALO
71	2+860	2+900	31,80	MALO
72	2+900	2+940	29,60	MALO
73	2+940	2+980	34,30	MALO
74	2+980	3+020	30,80	MALO

**Tabla 17 Calificación del PCI Km 3**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 4</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
75	3+020	3+060	36,00	MALO
76	3+060	3+100	28,50	MALO
77	3+100	3+140	26,00	MALO
78	3+140	3+180	40,00	MALO
79	3+180	3+220	28,00	MALO
80	3+220	3+260	29,80	MALO
81	3+260	3+300	49,40	REGULAR
82	3+300	3+340	33,40	MALO
83	3+340	3+380	32,00	MALO
84	3+380	3+420	37,80	MALO
85	3+420	3+460	37,20	MALO
86	3+460	3+500	32,00	MALO
87	3+500	3+540	27,60	MALO
88	3+540	3+580	27,60	MALO
89	3+580	3+620	31,40	MALO
90	3+620	3+660	38,20	MALO
91	3+660	3+700	54,10	REGULAR
92	3+700	3+740	65,80	BUENO
93	3+740	3+780	35,00	MALO
94	3+780	3+820	54,00	REGULAR
95	3+820	3+860	71,00	MUY BUENO
96	3+860	3+900	23,60	MUY MALO
97	3+900	3+940	34,80	MALO
98	3+940	3+980	32,80	MALO
99	3+980	4+020	43,00	REGULAR

**Tabla 18 Calificación del PCI Km 4**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 5</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
100	4+020	4+060	29,20	MALO
101	4+060	4+100	32,50	MALO
102	4+100	4+140	29,20	MALO
103	4+140	4+180	38,00	MALO
104	4+180	4+220	25,40	MALO
105	4+220	4+260	27,40	MALO
106	4+260	4+300	17,80	MUY MALO
107	4+300	4+340	8,40	FALLADO
108	4+340	4+380	24,00	MUY MALO
109	4+380	4+420	3,00	FALLADO
110	4+420	4+460	0,00	FALLADO
111	4+460	4+500	0,00	FALLADO
112	4+500	4+540	0,00	FALLADO
113	4+540	4+580	0,00	FALLADO
114	4+580	4+620	0,00	FALLADO
115	4+620	4+660	0,00	FALLADO
116	4+660	4+700	13,60	MUY MALO
117	4+700	4+740	22,00	MUY MALO
118	4+740	4+780	38,20	MALO
119	4+780	4+820	42,60	REGULAR
120	4+820	4+860	39,60	MALO
121	4+860	4+900	28,00	MALO
122	4+900	4+940	29,80	MALO
123	4+940	4+980	12,00	MUY MALO
124	4+980	5+020	48,50	REGULAR

**Tabla 19 Calificación del PCI Km 5**

Fuente: Elaboración propia

<b>Km 6</b>				
<b>Unidad de muestreo</b>	<b>Progresiva inicial</b>	<b>Progresiva final</b>	<b>Valor del PCI</b>	<b>Calificación</b>
125	5+020	5+060	67,80	BUENA
126	5+060	5+100	52,60	REGULAR
127	5+100	5+140	73,40	MUY BUENA
128	5+140	5+180	78,80	MUY BUENA
129	5+180	5+220	77,80	MUY BUENA
130	5+220	5+260	67,60	BUENA
131	5+260	5+300	54,00	REGULAR
132	5+300	5+340	35,00	POBRE
133	5+340	5+380	56,40	BUENA
134	5+380	5+420	67,00	BUENA
135	5+420	5+460	78,00	MUY BUENA
136	5+460	5+500	89,00	EXCELENTE
137	5+500	5+540	68,00	BUENA
138	5+540	5+580	71,00	MUY BUENA
139	5+580	5+620	76,50	MUY BUENA
140	5+620	5+660	76,00	MUY BUENA
141	5+660	5+700	70,00	BUENA
142	5+700	5+740	74,40	MUY BUENA
143	5+740	5+780	69,20	BUENA
144	5+780	5+820	86,50	EXCELENTE
145	5+820	5+860	86,50	EXCELENTE
146	5+860	5+900	86,00	EXCELENTE
147	5+900	5+940	88,50	EXCELENTE
148	5+940	5+970	90,00	EXCELENTE
149	5+970	6+000	90,00	EXCELENTE
150	6+000	6+040	90,00	EXCELENTE
151	6+040	6+080	90,00	EXCELENTE
152	6+080	6+120	90,00	EXCELENTE
153	6+120	6+160	90,00	EXCELENTE
154	6+160	6+200	90,00	EXCELENTE

**Tabla 20 Calificación del PCI Km 6**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.5.2 Análisis de los resultados por kilometro

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA		
RESULTADOS		
PROGRESIVAS	PCI	CALIFICACION
0+000 - 1+000	20,97	MUY MALO
1+000 - 2+000	34,38	MALO
2+000 - 3+000	33,25	MALO
3+000 - 4+000	37,47	MALO
4+000 - 5+000	20,15	MUY MALO
5+000 - 6+200	48,41	REGULAR

Tabla 21 Calificación del PCI por Kilometro

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.1.5.3 Análisis de los resultados del proyecto

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIE ASFALTICA		
RESULTADOS		
PROGRESIVAS	PCI	CALIFICACION
<b>0+000 - 6+200</b>	<b>32,44</b>	<b>MALO</b>

Tabla 22 Calificación del PCI del proyecto

Fuente: Elaboración propia

- En la inspección visual del tramo se distinguieron diversas y numerosas fallas a lo largo de todo el tramo, principalmente grietas piel de cocodrilo y grietas longitudinales, que corresponden a los números “1” y “10” en el manual de fallas del método PCI.
- Los resultados obtenidos por secciones de un kilómetro revelan valores preocupantes y que requieren acciones de mantenimiento inmediatas, a continuación se muestran las secciones que presentan valores críticos.

Principalmente se tienen valores críticos en las progresivas (0+000 - 1+000) y (4+000 - 5+000) con valores PCI de **20.97** y **20.15** respectivamente, ambos corresponden a una calificación “**MUY MALA**” (10 – 25).

También existen tres secciones que corresponden a una calificación “MALA”, estos se encuentran entre las progresivas (1+000 - 4+000) con valores de **34.38**, **33.25**, **37.47**, todos comprendidos en el rango (25 – 40) calificación “**MALA**”

De las seis secciones comprendidas en el tramo de estudio una sola cuenta con un valor de calificación “**REGULAR**” se trata del Km 6 progresivas (5+000 – 6+200) con un valor numérico de **48.41** siendo esta la única sección que cuenta un reducido número de fallas y que no requiere de una intervención correctiva inmediata, pero si de una acción preventiva de mantenimiento.

- La evaluación de la condición del pavimento mediante el método PCI tiene una fácil aplicación siempre y cuando se cuente con personal capacitado y a disposición, el personal debe conocer profundamente manual de fallas del método ya que la evaluación de la condición es muy criteriosa, en caso de carecer de personal idóneo el trabajo puede tornarse tarea moroso y tedioso.

### 3.3.2.2 Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El indicador de estado IRI se evaluó mediante el uso del perfilómetro Merlín

#### 3.3.2.2.1 Procedimiento de medición

Previo a la realización del ensayo se calibro el equipo, apoyándolo sobre una superficie plana y verificando que el puntero se encuentre en la casilla n°25, luego se insertó un disco de bronce de 5 cm de diámetro y 6mm. de espesor entre la superficie plana y el patín, y el puntero se desplazó a la casilla n°12, lo que descarta el uso de un factor de corrección.



**FIGURA 5** Calibración del Merlín

Fuente: Elaboración propia

El ensayo se realizó en cada kilómetro en los sectores de evaluación, en longitudes de 200 m en ambos carriles y en las cuatro huellas de circulación.

Se obtuvieron 100 mediciones en cada una de las huellas y 400 para cada kilómetro.

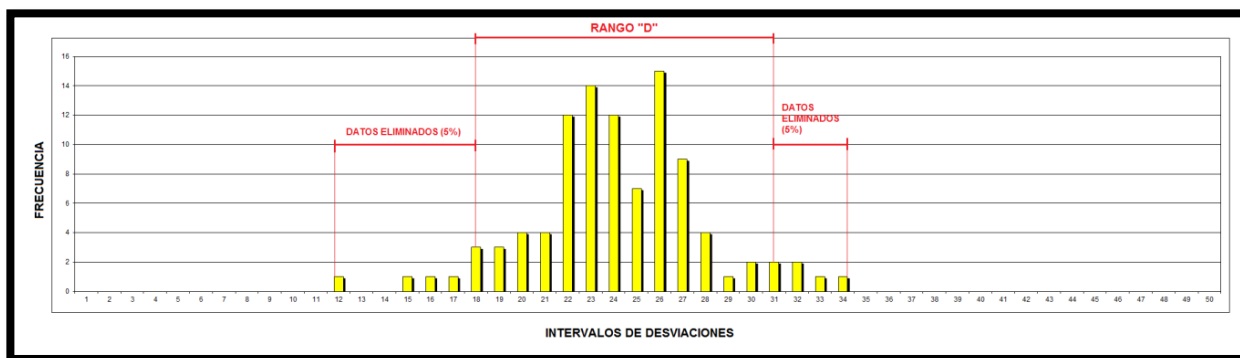


**FIGURA 6** Medición en campo con el perfilómetro Merlín

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.2.2 Procedimiento de cálculo

Una vez obtenidos los datos de campo se procede al cálculo del valor “D” para lo que se llevan los valores obtenidos a un histograma, como se muestra a continuación:



**FIGURA 7** Histograma de frecuencias

Fuente: Elaboración propia

El método requiere descartar el 10% de los datos que corresponden a datos erráticos, para el caso de este ejemplo se tiene un total de 100 datos, por tanto deben eliminarse 10 datos, 5 en cada extremo como se muestra en la figura 86, para ello se examina el

extremo izquierdo del histograma, se elimina un dato del intervalo 12, 1 del intervalo 15, 1 del intervalo 16, 1 del intervalo 17 y del intervalo 18 se elimina 1 de 3 datos.

En el extremo derecho se elimina 1 dato del intervalo 34, 1 del intervalo 33, 2 del intervalo 32 y del intervalo 31, 1 dato de 2.

En base a lo indicado resulta la siguiente cantidad de intervalos:

- Intervalo N°18 =  $1/3 = 0.67$  (1 dato eliminado de un total de 3)
- Intervalo N°19 = 1
- Intervalo N°20 = 1
- Intervalo N°21 = 1
- Intervalo N°22 = 1
- Intervalo N°23 = 1
- Intervalo N°24 = 1
- Intervalo N°25 = 1
- Intervalo N°26 = 1
- Intervalo N°27 = 1
- Intervalo N°28 = 1
- Intervalo N°29 = 1
- Intervalo N°30 = 1
- Intervalo N°31 =  $1/2 = 0.5$  ( 1 dato eliminado de un total de 2).

Para obtener el Valor Merlín “D” se suman los intervalos y se los multiplica por 5, que es el valor de cada unidad en milímetros de la siguiente manera:

$$D = N^{\circ} \text{ de intervalos considerados} * 5$$

$$D = (0.67 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0.50) * 5$$

$$D = 13.167 * 5$$

$$D = 65.83 \text{ mm}$$

Como se mostró para este caso, el Valor Merlín es igual a 65.83mm.

Los valores Merlín deben transformarse a valores de IRI de la siguiente manera:

$$IRI = 0.593 + (0.0471 * D)$$

$$IRI = 0.593 + (0.0471 * 65.83)$$

$$IRI = 3.694 \text{ m/Km}$$

En este caso se utilizó la ecuación “a” del método, puesto que el valor del IRI es mayor a 2.4 caso contrario debería usarse la ecuación “b”.

### 3.3.2.2.3 Resultados

#### 3.3.2.2.3.1 Resultados parciales

TRAMO			CARRIL	HUELLA	N° DE DATOS	5% POR COLA	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)
0+600	A	0+800	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	49,58	<b>2,93</b>
0+600	A	0+800	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	68,33	<b>3,81</b>
0+600	A	0+800	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	57,50	<b>3,30</b>
0+600	A	0+800	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	50,00	<b>2,95</b>
1+260	A	1+460	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	49,52	<b>2,93</b>
1+260	A	1+460	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	51,11	<b>3,00</b>
1+260	A	1+460	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	58,33	<b>3,34</b>
1+260	A	1+460	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	68,04	<b>3,80</b>

Tabla 23 Resultados de IRI Parciales 1-2

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO			CARRIL	HUELLA	N° DE DATOS	5% POR COLA	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)
2+460	A	2+660	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	60,00	<b>3,42</b>
2+460	A	2+660	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	46,79	<b>2,80</b>
2+460	A	2+660	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	27,00	<b>1,31</b>
2+460	A	2+660	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	56,67	<b>3,26</b>
3+020	A	3+220	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	43,75	<b>2,65</b>
3+020	A	3+220	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	41,00	<b>2,52</b>
3+020	A	3+220	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	44,29	<b>2,68</b>
3+020	A	3+220	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	60,00	<b>3,42</b>

**Tabla 24 Resultados de IRI Parciales 3-4**

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO			CARRIL	HUELLA	N° DE DATOS	5% POR COLA	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)
4+420	A	4+620	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	100,00	<b>5,30</b>
4+420	A	4+620	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	79,17	<b>4,32</b>
4+420	A	4+620	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	88,33	<b>4,75</b>
4+420	A	4+620	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	73,33	<b>4,05</b>
5+220	A	5+420	P. Chaco - Carlazo	Externa	100	5	46,25	<b>2,77</b>
5+220	A	5+420	P. Chaco - Carlazo	Interna	100	5	60,83	<b>3,46</b>
5+220	A	5+420	Carlazo - P. Chaco	Interna	100	5	55,00	<b>3,18</b>
5+220	A	5+420	Carlazo - P. Chaco	Externa	100	5	65,83	<b>3,69</b>

**Tabla 25 Resultados de IRI Parciales 5-6**

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.3.2 Resultados por kilometro

TRAMO	N° DE DATOS	5% POR COLA	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)
0+600 A 0+800	400	20	66,00	<b>3,70</b>
1+260 A 1+460	400	20	60,45	<b>3,44</b>
2+460 A 2+660	400	20	50,14	<b>2,95</b>
3+020 A 3+220	400	20	46,87	<b>2,27</b>
4+420 A 4+620	400	20	82,50	<b>4,48</b>
5+220 A 5+420	400	20	61,67	<b>3,50</b>

Tabla 26 Valores de IRI por kilometro

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.3.3 Resultados del proyecto

TRAMO	I.R.I. (m/km)
0+000 A 6+200	<b>3,39</b>

Tabla 27 Resultados de IRI del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.3.4 Análisis de los resultados

#### 3.3.2.2.3.4.1 Análisis de los resultados parciales

TRAMO	CARRIL	HUELLA	I.R.I. (m/km)	CALIFICACION		
				HONDURAS	URUGUAY	CHILE
0+600 A 0+800	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>2,93</b>	BUENO	BUENO	BUENO
0+600 A 0+800	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>3,81</b>	REGULAR	BUENO	REGULAR
0+600 A 0+800	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>3,30</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
0+600 A 0+800	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>2,95</b>	BUENO	BUENO	BUENO
1+260 A 1+460	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>2,93</b>	BUENO	BUENO	BUENO
1+260 A 1+460	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>3,00</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
1+260 A 1+460	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>3,34</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
1+260 A 1+460	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>3,80</b>	REGULAR	BUENO	REGULAR

Tabla 28 Calificación del IRI 1-2

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO	CARRIL	HUELLA	I.R.I. (m/km)	CALIFICACION		
				HONDURAS	URUGUAY	CHILE
2+460 A 2+660	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>3,42</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
2+460 A 2+660	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>2,80</b>	BUENO	BUENO	BUENO
2+460 A 2+660	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>1,31</b>	BUENO	BUENO	BUENO
2+460 A 2+660	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>3,26</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
3+020 A 3+220	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>2,65</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>2,52</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>2,68</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>3,42</b>	BUENO	BUENO	REGULAR

**Tabla 29** Calificación del IRI 3-4

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO	CARRIL	HUELLA	I.R.I. (m/km)	CALIFICACION		
				HONDURAS	URUGUAY	CHILE
2+460 A 2+660	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>3,42</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
2+460 A 2+660	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>2,80</b>	BUENO	BUENO	BUENO
2+460 A 2+660	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>1,31</b>	BUENO	BUENO	BUENO
2+460 A 2+660	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>3,26</b>	BUENO	BUENO	REGULAR
3+020 A 3+220	P. Chaco - Carlazo	Externa	<b>2,65</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	P. Chaco - Carlazo	Interna	<b>2,52</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	Carlazo - P. Chaco	Interna	<b>2,68</b>	BUENO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	Carlazo - P. Chaco	Externa	<b>3,42</b>	BUENO	BUENO	REGULAR

Tabla 30 Calificación del IRI 4-5

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.3.4.2 Análisis de los resultados por kilometro

TRAMO	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)	CALIFICACION		
			HONDURAS	URUGUAY	CHILE
0+600 A 0+800	66,00	<b>3,70</b>	MALO	BUENO	REGULAR
1+260 A 1+460	60,45	<b>3,44</b>	MALO	BUENO	REGULAR
2+460 A 2+660	50,14	<b>2,95</b>	MALO	BUENO	BUENO
3+020 A 3+220	46,87	<b>2,27</b>	MALO	BUENO	BUENO
4+420 A 4+620	82,50	<b>4,48</b>	MALO	REGULAR	MALO
5+220 A 5+420	61,67	<b>3,50</b>	MALO	BUENO	REGULAR

Tabla 31 Calificación del IRI por kilometro

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.3.4.3 Análisis de los resultados del proyecto

TRAMO	UNIDAD MERLIN (mm)	I.R.I. (m/km)	CALIFICACION		
			HONDURAS	URUGUAY	CHILE
0+000 A 6+200	61,27	3,39	BUENO	BUENO	REGULAR

Tabla 32 Calificación del IRI del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

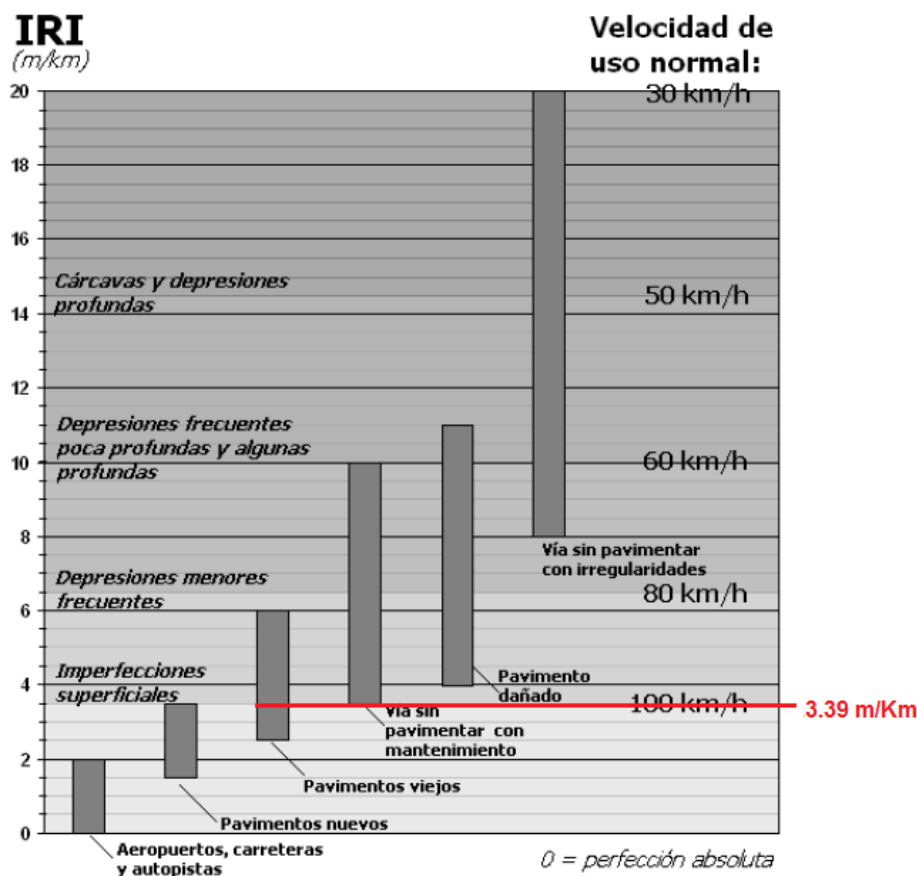


FIGURA 8 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías

Fuente: [www.lanamme.ac.cr](http://www.lanamme.ac.cr)

- Para el análisis de los resultados, se calificaron los valores de IRI de acuerdo a los límites establecidos por las agencias encargadas del control de carreteras de Honduras, Uruguay Y Chile, ya que en Bolivia todavía no existen valores límites de calificación para pavimentos en funcionamiento. En el presente trabajo se muestran las tres calificaciones, sin embargo se aceptara como parámetro para este trabajo a la calificación chilena por ser la más rigurosa.
- El indicador de estado IRI es un parámetro muy importante dentro de la evaluación de pavimentos, puesto que indica condiciones de confort y seguridad para el usuario.

- En el sector de evaluación cinco se encontraron los valores de IRI más críticos. Estos se debe a que en este tramo se encuentran considerables segmentos del pavimento con ahuellamientos pronunciados. En este sector se encontraron valores de IRI de **4.48 m/Km** que califican como **“MALO”**
- Se consiguieron valores de IRI que califican en el intervalo de calificación **“REGULAR”** en los sectores de evaluación **1 (3.70 m/Km), 2(3.70 m/Km) y 6 (3.50 m/Km)**, en los primeros debido principalmente a las fallas grieta piel de cocodrilo (1) y baches y zanjas reparadas (11) y en la última al ahuellamiento (15) sectorizado en el inicio del sector.
- Los sectores de evaluación 3 y 4 tienen una calificación **“BUENO”** con valores menores a 3 m/Km.
- El valor del IRI del pavimento del tramo estudiado pertenece al rango de **“PAVIMENTOS VIEJOS”** con imperfecciones superficiales. Esta clasificación según la escala estándar del Banco Mundial.
- Según la escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías que la velocidad de uso para un valor de IRI de **3.9 m/Km** que la velocidad de uso es de **105 Km/h**.
- En el caso del tramo carretero **“Puerta del Chaco – Carlazo”** los valores de IRI están directamente relacionados con el estado superficial de la carpeta asfáltica.

### 3.3.2.3 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de serviciabilidad presente se calcula a partir de los resultados obtenidos del IRI.

#### 3.3.2.3.1 Metodología de cálculo

Los valores de PSI se calcularon mediante la ecuación de Paterson, puesto q ningún valor de IRI está por debajo de 0.47 m/Km, se calcularon de la siguiente manera:

Se muestra el ejemplo del punto de ensayo en la progresiva 5+320.

$$PSI = 5 * e^{(-0.18*IRI)}$$

$$PSI = 5 * e^{(-0.18*4.48)}$$

$$PSI = 2.24$$

### 3.3.2.3.2 Resultados

A continuación se muestra la tabla que resume los valores de PSI para cada kilómetro del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo”:

#### 3.3.2.3.2.1 Resultados por kilometro

TRAMO	I.R.I. (m/km)	P.S.I.
0+600 A 0+800	3,70	2,57
1+260 A 1+460	3,44	2,70
2+460 A 2+660	2,95	2,94
3+020 A 3+220	2,27	3,32
4+420 A 4+620	4,48	2,24
5+220 A 5+420	3,50	2,67

Tabla 33 Resultados de PSI por kilometro

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.2.3.2.2 Resultados del proyecto

TRAMO	I.R.I. (m/km)	P.S.I.
0+000 A 6+200	3,39	2,72

Tabla 34 Resultados de PSI del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.3.3 Análisis de los resultados

#### 3.3.2.3.3.1 Análisis de los resultados por kilometro

TRAMO	I.R.I. (m/km)	P.S.I.	Calificación
0+600 A 0+800	3,70	2,57	REGULAR
1+260 A 1+460	3,44	2,70	REGULAR
2+460 A 2+660	2,95	2,94	REGULAR
3+020 A 3+220	2,27	3,32	BUENO
4+420 A 4+620	4,48	2,24	REGULAR
5+220 A 5+420	3,50	2,67	REGULAR

Tabla 35 Calificación del PSI por kilometro

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.2.3.3.2 Análisis de los resultados por kilometro

TRAMO	I.R.I. (m/km)	P.S.I.	Calificación
0+000 A 6+200	3,39	2,72	REGULAR

Tabla 36 calificación del PSI del proyecto

Fuente: Elaboración propia

- Los valores de PSI están directamente relacionados con los valores de IRI, están calculados mediante una ecuación de correlación (Paterson) entre ambos, por tanto el índice PSI es un reflejo de la regularidad superficial del perfil longitudinal del pavimento.
- Al analizar los resultados se puede notar que cinco de ellos se califican como **“REGULAR”** y solo uno de ellos como **“BUENO”** con un valor de **3.32** en el sector de evaluación cuatro, en el resto de los sectores los valores de PSI están comprendidos en el rango de **2.24 a 2.94**
- Los valores de serviciabilidad presente se encuentran en concordancia con los valores de los indicadores de estados precedentes (PCI e IRI) por tanto se asumen como correctos.
- Los valores de PSI solo se encuentran relacionados con los valores del IRI, no se encuentran relacionados con otros indicadores debido a que no se cuenta actualmente con equipos que puedan medir otros parámetros de forma eficaz y eficiente y que nuestras autoridades viales no han desarrollado una ecuación adecuada a los pavimentos en nuestro país.

### 3.3.2.4 Índice de Fricción Internacional (IFI)

#### 3.3.2.4.1 Procedimiento de medición

Los ensayos se realizaron en las secciones de evaluación determinadas mediante el PCI, en la unidad de muestreo con el valor más bajo, se hicieron ensayos en ambos carriles, en las huellas externas, se ubicaron 3 puntos de ensayo por carril espaciados a un metro para el ensayo del Circulo de arena y un punto por carril para el Péndulo británico.



**FIGURA 9** Ensayo de Fricción con péndulo británico

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA 10** Ensayo del círculo de arena para la determinación de la textura

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.2 Procedimiento de cálculo

Para el ensayo del círculo de arena se midieron tres diámetros por cada ensayo y tres ensayos por carril, el primer paso para el cálculo es el descarte de datos erróneos, mediante la siguiente expresión:

$$x \pm 2 * \sigma$$

Dónde:

x: media aritmética

$\sigma$ : desviación standard

Para lo cual se debe calcular la media de la siguiente manera:

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

Luego la desviación standard de la siguiente manera:

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

Como ejemplo se muestra la tabla de cálculo de las progresivas 0+680 – 0+720:

Prog.	Carril					
	Puerta del Chaco - Carlazo			Carlazo - Puerta del Chaco		
	1	2	3	1	2	3
0+680 - 0+720	20,80	21,80	22,20	19,00	16,30	21,00
	20,20	22,00	19,80	21,80	21,50	20,60
	16,90	19,90	22,00	25,30	22,60	23,00
	<b>Media</b>	20,62		<b>Media</b>	21,23	
	<b>Desv. Est.</b>	1,69		<b>Desv. Est.</b>	2,54	
	<b>x±2σ</b>	24,01	17,24		<b>x±2σ</b>	26,32

Tabla 37 Depuración de datos  
Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que todos los datos entran dentro del rango, por tanto no se depura ninguno de ellos.

El valor Tx se determina con la siguiente ecuación, se utilizó un volumen de 25 cm<sup>3</sup> y para el diámetro se usó la media de los valores no depurados para ese punto específico de ensayo:

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

$$Tx = \frac{4 * 25000mm^3}{\mu * (206.2mm)^2}$$

$$Tx = 0.749 mm$$

Una vez obtenidos los datos del diámetro, se procede al valor del parámetro sp de la siguiente manera:

$$Sp = a + b * Tx$$

$$Sp = -11.5981 + 113.63246 * 0.749$$

$$Sp = 73.45 Km/h$$

Luego se calcula el valor de fricción del pavimento para una velocidad de 60 km/h, para lo que debe calcularse el valor FR60, se utiliza el valor de fricción obtenido en campo en la misma progresiva en la que se obtuvo el valor de la textura, en este caso (0+680 – 0+720) de la siguiente manera:

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

$$FR60 = 54.98 * e^{\frac{(10-60)}{73.45}}$$

$$FR60 = 27.89$$

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

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0.078 + 0.01071 * 27.89$$

Remplazamos los valores obtenidos en el cálculo para las progresivas (0+680 – 0+720):

$$F60 = 0.38$$

El valor del IFI está representado por:

$$IFI = (F60 ,Sp)$$

$$IFI = (0.38 , 73.45)$$

### 3.3.2.4.3 Resultados

#### 3.3.2.4.3.1 Resultados parciales

Progresivas	Carril	Sp	F60
0+680 - 0+720	P. Chaco - Carlazo	73,45	0,38
	Carlazo - P. Chaco	68,63	0,44
1+300 - 1+340	P. Chaco - Carlazo	52,44	0,35
	Carlazo - P. Chaco	46,84	0,34
2+540 -2+580	P. Chaco - Carlazo	44,86	0,31
	Carlazo - P. Chaco	65,85	0,41
3+100 -3+140	P. Chaco - Carlazo	41,18	0,29
	Carlazo - P. Chaco	67,38	0,47
4+500 - 4+540	P. Chaco - Carlazo	101,01	0,55
	Carlazo - P. Chaco	85,17	0,51
5+300 - 5+340	P. Chaco - Carlazo	65,14	0,51
	Carlazo - P. Chaco	95,63	0,46

Tabla 38 Resultados parciales del IFI

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.3.2 Resultados por kilometro

Progresivas	Sp	F60
0+680 - 0+720	71,04	0,41
1+300 - 1+340	49,64	0,35
2+540 -2+580	55,35	0,36
3+100 -3+140	54,28	0,38
4+500 - 4+540	93,09	0,53
5+300 - 5+340	80,38	0,48

**Tabla 39 Resultados del IFI por kilometro**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.3.3 Resultados del proyecto

Progresivas	Sp	F60
0+000 - 6+200	67,30	0,42

**Tabla 40 Resultados del IFI del proyecto**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.4 Análisis de Resultados

#### 3.3.2.4.4.1 Análisis de los resultados parciales

Progresivas	Carril	Sp	F60	Calificación textura	Calificación Friccion
0+680 - 0+720	P. Chaco - Carlazo	73,45	0,38	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
	Carlazo - P. Chaco	68,63	0,44	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
1+300 - 1+340	P. Chaco - Carlazo	52,44	0,35	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
	Carlazo - P. Chaco	46,84	0,34	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
2+540 - 2+580	P. Chaco - Carlazo	44,86	0,31	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
	Carlazo - P. Chaco	65,85	0,41	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
3+100 - 3+140	P. Chaco - Carlazo	41,18	0,29	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
	Carlazo - P. Chaco	67,38	0,47	MEDIA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
4+500 - 4+540	P. Chaco - Carlazo	101,01	0,55	GRUESA	REGULAR A BUENO
	Carlazo - P. Chaco	85,17	0,51	GRUESA	REGULAR A BUENO
5+300 - 5+340	P. Chaco - Carlazo	65,14	0,51	MEDIA	REGULAR A BUENO
	Carlazo - P. Chaco	95,63	0,46	GRUESA	MALO(DESGLIZAMIENTO DEL VEHICULO)

Tabla 41 Calificación del IRI (parcial)

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.2 Análisis de los resultados por kilometro

Progresivas	Sp	F60	Calificación Textura	Calificación Friccion
0+680 - 0+720	71,04	0,41	MEDIA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
1+300 - 1+340	49,64	0,35	MEDIA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
2+540 -2+580	55,35	0,36	MEDIA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
3+100 -3+140	54,28	0,38	MEDIA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)
4+500 - 4+540	93,09	0,53	GRUESA	REGULAR A BUENO
5+300 - 5+340	80,38	0,48	GRUESA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)

Tabla 42 calificación del IFI por kilometro

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.4.3 Análisis de los resultados del proyecto

Progresivas	Sp	F60	Calificación Textura	Calificación Friccion
0+000 - 6+200	67,30	0,42	MEDIA	MALO(DESLIZAMIENTO DEL VEHICULO)

Tabla 43 calificación del IFI del proyecto

Fuente: Elaboración propia

- Se evidencia que los valores de fricción obtenidos con el uso del péndulo británico no son representativos de la superficie del pavimento y no concuerdan con los valores de textura obtenidos en el ensayo del Circulo de arena, el error en las lecturas puede deberse a que las mediciones se realizaron de forma longitudinal al pavimento y la superficie de contacto se altera al encontrarse todos los puntos de ensayo en pendientes, lo que altera la presión de contacto a lo largo de la interface pavimento – zapata alterando la pérdida de energía, principio en el cual está fundamentado el ensayo.
- Se presentaron valores de fricción en el asfalto muy reducidos, por lo que este ensayo queda descartado de la evaluación del pavimento.
- Los valores de Textura del pavimento pudieron verse afectados al haberse realizado el ensayo con un equipo fabricado artesanalmente por el evaluador y por ser la primera vez que efectuó el ensayo.
- Los valores de textura revelan que la carpeta asfáltica tiene una Textura **“MEDIA”** Y **“GRUESA”** por tanto está en la capacidad de drenar el agua de la superficie en tiempo de lluvia.

### 3.4 Evaluación Estructural

#### 3.4.1 Procedimiento de medición

La evaluación estructural al igual que el resto de los ensayos de campo se realizó en cada una de las unidades de muestreo con valores críticos conseguidos en el índice PCI.

Para lo cual se efectuó inicialmente a la calibración de la viga Benkelman en el laboratorio de suelos y hormigones de la universidad, en el que se obtuvo la constante “k” de la viga con un valor de:

$$K= 2.00$$

Para el ensayo se usó una volqueta Volvo F12 de 12 m<sup>3</sup>de capacidad y doble eje trasero con alza pata. La volqueta es de propiedad de la empresa constructora “CIABOL”, la cual fue obtenida para el ensayo gracias a la mediación de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

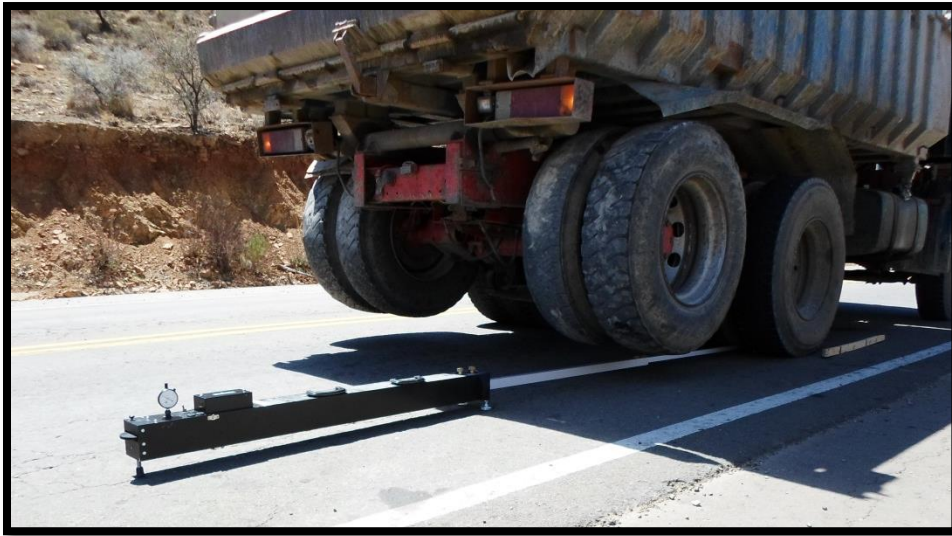
Se pesó el eje trasero de la volqueta con un solo eje apoyado y en lastre y se obtuvo una tara de 7750 Kg. Acto seguido se cargó la volqueta con piedra bolón hasta llegar al peso requerido para el ensayo, 8200 Kg. (Eje de diseño), el pesaje se realizó en la Balanza electrónica “Mendoza” en la zona de “El Portillo”



FIGURA 11 Calibración de la volqueta para el ensayo de Viga Benkelman  
Fuente: Elaboración Propia

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

Con la viga Benkelman y la volqueta calibrada se realizó el ensayo en cada punto y en ambos carriles como indica el punto 2.4.3.2.3.3 Metodología para la medición (Viga Benkelman).



**FIGURA 12 Viga Benkelman dispuesta para ensayo**  
Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Procedimiento de cálculo

Una vez recogidos los datos de campo en el tramo de estudio se procede a calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son dos y a continuación se muestra el procedimiento para el cálculo de los mismos:

Para ambos ejemplos de cálculos se tomarán los datos recogidos en la progresiva 3+120 en el carril de vuelta.

### Calculo de la deflexión máxima

$$Do = K * (Lo - Lf)$$

$$Do = 2.00 * (254 - 182.88)$$

$$Do = 142.24 \left( \frac{2}{1000} mm \right)$$

$$\mathbf{Do = 0.2845 mm}$$

Este valor debe corregirse por temperatura ya que las medidas deben llevarse a una temperatura estándar de 20°C y las mediciones de temperatura del pavimento para este ensayo fueron de 34°C, por lo cual este valor de deflexión debe corregirse usando la siguiente expresión:

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

$$Do' = \frac{0.2854}{0.001 \frac{^{\circ}C}{cm} * (34^{\circ}C - 20^{\circ}C) * 5cm + 1}$$

$$\mathbf{Do' = 0.2659 mm}$$

Los valores corregidos por temperatura también deben ser corregidos por estacionalidad, si bien la mayoría de los puntos de ensayo se encuentran en zonas de corte, el material de la subrasante es lutita, material que es susceptible a deformarse en estado de saturación, el ensayo se realizó en época seca por tanto debe afectarse con un factor de corrección de la siguiente manera:

$$DO = Do' * Fce$$

En este caso el factor de corrección por estacionalidad (fce) será igual a 1.3 al tratarse de un material arcilloso sensible al agua.

$$DO = 0.2659 * 1.3$$

$$\mathbf{DO = 0.3457 mm}$$

**Deflexión media a la distancia**

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

$$D25 = 2.00 * (238.76 - 182.88)$$

$$D25 = 111.76 \left( \frac{2}{1000} mm \right)$$

$$\mathbf{D25 = 0.2235 mm}$$

Este valor también debe corregirse por temperatura de la misma manera que la deflexión máxima del anterior punto.

$$D25' = \frac{0.2235}{0.001 \frac{^{\circ}C}{cm} * (34^{\circ}C - 20^{\circ}C) * 5cm + 1}$$

$$\mathbf{D25' = 0.2089 mm}$$

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

$$D25'' = D25' * Fce$$

$$D25'' = 0.2235 * 1.3$$

$$\mathbf{D25'' = 0.2906 mm}$$

**Radio de curvatura**

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

$$Rc = \frac{6250}{2.00 * (172.81 - 135.78)}$$

$$\mathbf{Rc = 84.39 m}$$

### **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:

Durante varios meses se solicitaron los datos del nuero de ejes equivalentes de diseño para el tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” en la oficinas de SEDECA, sin obtener respuesta alguna, en vista de la negativa de colaborar de esta institución, se solicitaron los datos a la ABC, pero la institución no cuenta con estos datos, sin embargo, proporcionaron los datos de diseño del tramo “Entre Ríos – Palos Blancos” con los cuales se trabajó ya que las características del tráfico son bastante similares, el número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 15 años para dicho tramo es el siguiente:

$$\mathbf{W18= 1109169}$$

La deflexión admisible está dada por la expresión mostrada a continuación:

$$Da = \left( \frac{1.15}{W18} \right)^{1/4}$$

$$Da = \left( \frac{1.15}{1.109169} \right)^{1/4}$$

$$\mathbf{Da = 1.002 mm}$$

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.

### 3.4.3 Resultados

#### 3.4.3.1 Resultados parciales

Progresiva	Lado	Do (mm)	D admisible (mm)	Radio de curvatura
0+700	P. Chaco - Carlazo	0,1852	1,009	50,63
	Carlazo P. Chaco	0,1605	1,009	50,63
1+320	P. Chaco - Carlazo	0,4197	1,009	50,63
	Carlazo P. Chaco	0,3950	1,009	42,19
2+560	P. Chaco - Carlazo	0,3333	1,009	84,39
	Carlazo P. Chaco	0,4073	1,009	19,47
3+120	P. Chaco - Carlazo	0,4876	1,009	28,13
	Carlazo P. Chaco	0,3456	1,009	84,39
4+520	P. Chaco - Carlazo	0,3827	1,009	50,63
	Carlazo P. Chaco	0,2716	1,009	50,63
5+320	P. Chaco - Carlazo	0,2592	1,009	31,65
	Carlazo P. Chaco	0,4691	1,009	31,65

Tabla 44 Resultados parciales de deflexión máxima y radio de curvatura

Fuente: Elaboración propia

#### 3.4.3.2 Resultados por kilometro

Progresiva	Do (mm)	D admisible (mm)	Radio de curvatura (m)
0+700	0,1728	1,0090	50,63
1+320	0,4073	1,0090	46,41
2+560	0,3703	1,0090	51,93
3+120	0,4166	1,0090	56,26
4+520	0,3271	1,0090	50,63
5+320	0,3641	1,0090	31,65

Tabla 45 Resultados de deflexión máxima y radio de curvatura por kilometro

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3.3 Resultados del proyecto

Progresiva	Do (mm)	D admisible (mm)	Radio de curvatura
0+000 - 6+200	0,2639	1,0090	65,3079

Tabla 46 Resultados de la deflexión máxima y el radio de curvatura del proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 Análisis de resultados

#### 3.4.4.1 Análisis de los resultados parciales

Progresiva	Lado	Do (mm)	D admisible (mm)	Calificación deflexión	R.curvatura	calificación R. curvatura
0+700	P. Chaco - Carlazo	0,1852	1,009	CUMPLE	50,63	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,1605	1,009	CUMPLE	50,63	NO CUMPLE
1+320	P. Chaco - Carlazo	0,4197	1,009	CUMPLE	50,63	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,3950	1,009	CUMPLE	42,19	NO CUMPLE
2+560	P. Chaco - Carlazo	0,3333	1,009	CUMPLE	84,39	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,4073	1,009	CUMPLE	19,47	NO CUMPLE
3+120	P. Chaco - Carlazo	0,4876	1,009	CUMPLE	28,13	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,3456	1,009	CUMPLE	84,39	NO CUMPLE
4+520	P. Chaco - Carlazo	0,3827	1,009	CUMPLE	50,63	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,2716	1,009	CUMPLE	50,63	NO CUMPLE
5+320	P. Chaco - Carlazo	0,2592	1,009	CUMPLE	31,65	NO CUMPLE
	Carlazo P. Chaco	0,4691	1,009	CUMPLE	31,65	NO CUMPLE

Tabla 47 Calificación de las deflexiones y los radios de curvatura (parciales)

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4.2 Análisis de los resultados por kilometro

Progresiva	Do (mm)	D admisible (mm)	Radio de curvatura (m)	Calificación Deflexion	Calificación R. Curvatura
0+700	0,1728	1,0090	50,63	CUMPLE	NO CUMPLE
1+320	0,4073	1,0090	46,41	CUMPLE	NO CUMPLE
2+560	0,3703	1,0090	51,93	CUMPLE	NO CUMPLE
3+120	0,4166	1,0090	56,26	CUMPLE	NO CUMPLE
4+520	0,3271	1,0090	50,63	CUMPLE	NO CUMPLE
5+320	0,3641	1,0090	31,65	CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 48 Calificación de deflexión máxima y radio de curvatura por kilometro

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4.3 Análisis de los resultados del proyecto

Progresiva	Do (mm)	D admisible (mm)	Radio de curvatura	Calificación Deflexion	Calificación R. Curvatura
0+000 - 6+200	0,2639	1,0090	65,3079	CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 49 Calificación de deflexión máxima y radio de curvatura del proyecto

Fuente: Elaboración propia

- En la evaluación de pavimentos es fundamental la evaluación estructural, la misma permitirá conocer el estado de la fundación y mediante un análisis demuestra si algunas de las fallas superficiales son causadas por deficiencias estructurales.
- Los resultados de la evaluación estructural, apoyada en el ensayo de la Viga Benkelman demuestran que el pavimento ante la acción de una carga de diseño (8200 Kg) sufre una deflexión máxima muy inferior a la deflexión admisible lo que indica que se cuenta con una excelente subrasante, sin embargo los radios de curvatura son muy pequeños esto puede revelar un pavimento de mala calidad.
- Puede notarse que en la mayoría de los casos los resultados en el carril de ida y en el de vuelta son similares, sin embargo en algunos se nota una marcada diferencia, esto puede deberse a un error en la ejecución.
- Las deflexiones máximas obtenidas con la Viga Benkelman en el rango de (**0.17 – 0.42 mm**) menores a la deflexión admisible de (**1.009 mm**) manifiestan que no existen fallas estructurales en el pavimento.
- Considerando la excesiva aparición de fallas tipo piel de cocodrilo, la escasa aparición de ahuellamientos y las deflexiones máximas con valores tan pequeños se presume que el paquete estructural fue bien diseñado y bien ejecutado y que el pavimento carece de una insuficiencia estructural.
- La aparición excesiva de fallas en la carpeta de rodadura y las bajas deflexiones suponen que la falla del pavimento del tramo radica en la carpeta asfáltica.

### 3.5 Análisis de los resultados de la evaluación superficial y estructural

<b>RESUMEN DE RESULTADOS</b>																
Progresivas			Evaluación Superficial										Evaluación estructural			
			PCI		IRI		PSI		IFI				Viga Benkelman			
			Valor	Calificación	Valor (m/Km)	Calificación	Valor	Calificación	Valor		Calificación		Valor		Calificación	
									Sp	F60	Textura	Fricción	Do (mm)	R. curvatura (m)	Deflexión	R. curvatura
0+000	A	1+000	20,38	MUY POBRE	3,7	REGULAR	2,57	REGULAR	71,04	0,41	MEDIA	MALA	0,17	50,63	CUMPLE	NO CUMPLE
1+000	A	2+000	34,38	POBRE	3,44	REGULAR	2,7	REGULAR	49,64	0,35	MEDIA	MALA	0,41	46,41	CUMPLE	NO CUMPLE
2+000	A	3+000	33,25	POBRE	2,95	BUENO	2,94	REGULAR	55,35	0,36	MEDIA	MALA	0,37	51,93	CUMPLE	NO CUMPLE
3+000	A	4+000	37,47	POBRE	2,27	BUENO	3,32	BUENO	54,28	0,38	MEDIA	MALA	0,42	56,26	CUMPLE	NO CUMPLE
4+000	A	5+000	20,19	MUY POBRE	4,48	MALO	2,24	REGULAR	93,09	0,53	GRUESA	REGULAR A BUENA	0,33	50,63	CUMPLE	NO CUMPLE
5+000	A	6+200	49,48	REGULAR	3,5	REGULAR	2,67	REGULAR	80,38	0,48	GRUESA	MALA	0,36	31,65	CUMPLE	NO CUMPLE

Tabla 50 Resumen de resultados y calificación de todos los indicadores de estado

Fuente: Elaboración propia

- Realizar evaluaciones rutinarias de la condición, el nivel de servicio, la fricción, la regularidad y el estado de la estructura del pavimento es fundamental para un adecuado mantenimiento que prolongue la vida útil de la carretera antes de que sea necesaria una reconstrucción que conlleva un gasto mucho mayor.

Estas evaluaciones deberían estar impulsadas y financiadas por la entidades encargadas de las carreteras de nuestro país, lamentablemente existe una política de “construir y dejar morir”, aun no se ha introducido la cultura de la operación y conservación que es la forma óptima de administrar una carretera.

No es tarea solamente de estas instituciones viales, sino también de entidades encargadas del control de hidrocarburos en vista de que una carretera en mal estado produce un viaje ineficiente, lo que se refleja en tiempos de viaje y estos se reflejan en consumo y en un país como el nuestro en el que los combustibles fósiles están subvencionados esto genera pérdidas millonarias al estado. Más aun debería ser preocupación del usuario que por ellas transita y que pone en riesgo no solo su economía incrementando el gasto en carburantes, mantenimiento del vehículo y repuestos por el desgaste que sufre al transitar por vías deterioradas, sino también el riesgo invaluable que representa la vida humana.

Es por todas estas razones que la evaluación de los pavimentos en uso es tan imprescindible.

- Los valores de los indicadores de estado de la evaluación superficial (PCI IRI, PSI e IFI) tienen concordancia entre sí con excepción de los valores de fricción que fueron desechados, los resultados son contundentes el estado superficial de la vía se encuentra en un estado comprendido entre **“REGULAR A MALO”**

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Conclusiones**

- Se investigó y profundizo en el conocimiento de los pavimentos, su estructura, características, comportamiento y evaluación.
- Se Establecieron los sectores de evaluación en los cuales se ejecutaron los ensayos para cada uno de los indicadores de estado superficiales y estructurales.
- Se efectuaron satisfactoriamente las mediciones de campo para obtener los indicadores de estado superficial (Pavement Condition Index PCI, International Roughness Index IRI, Present Condition Index PSI, International Friction Index IFI), y estructural (Viga Benkelman).
- Se realizó el trabajo de gabinete y se encontraron los resultados de cada uno de los indicadores de estado anteriormente mencionados.
- Luego de un profundo análisis de los resultados se calificó cada uno de los indicadores de estado como se muestra a continuación:
  - Los resultados finales del índice de condición del pavimento para el tramo estudiado “Puerta del Chaco – Carlazo” tienen un valor numérico de **32.44**, valor que pertenece, según la escala del método al intervalo (25 – 40) que comprende valores de PCI de calificación “**MALA**”.
  - Puede evidenciarse en los resultados del índice internacional de rugosidad para el proyecto con un valor de **3.9 m/Km** que se tiene una regularidad del perfil longitudinal de la carretera con una calificación “**REGULAR**” de acuerdo a los límites establecidos por la agencia encargada del control de carreteras de Chile.

- Los resultados del proyecto para el indicador de estado PSI muestran un estado **“REGULAR”** al presentar un valor de **2.72**, esta calificación es apreciada en la experiencia al transitar por el tramo, en muchos tramos se debe reducir la velocidad, los niveles de sonoridad al interior y exterior del vehículo son apreciables y se producen sobresaltos al circular a cierta velocidad.
- Los valores de textura que refleja el ensayo corresponden a texturas de calificación **“MEDIA”** en los cuatro primeros kilómetros con valores y **“GRUESA”** en los dos últimos, los resultados se traducen en que la carpeta tiene la capacidad para evacuar el agua de la superficie en época de lluvias permitiendo un buen contacto entre el neumático y la capa de rodadura, y evitando la formación de una lámina de agua entre ambos, reduciendo el riesgo de accidentalidad.
- La totalidad de las deflexiones máximas en los sectores de evaluación se encuentran comprendidas en un rango de **0.17 a 0.42 mm.** muy por debajo de la deflexión admisible para el tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” con un valor de **1.009 mm.** lo que indica un comportamiento de la estructura adecuado al tiempo de operación de la misma.

Ninguno de los radios de curvatura obtenidos en el tramo se acercan a los radios de curvatura óptimos comprendidos en el rango de **300 y 500m.**

- Tras evaluar los resultados de los indicadores de estado, podemos concluir que el estado superficial del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” se encuentra en un intervalo de calificación de **“Malo a Regular”** y el estado estructural del mismo se encuentra en un rango de **“Regular a Bueno”**.

## 4.2 Recomendaciones

- Tras haber evaluado superficial y estructuralmente el pavimento del tramo “Puerta del Chaco – Carlazo” se notó que se requiere tomar acciones preventivas y correctivas inmediatas, a continuación se recomiendan algunas de ellas.
  - En las progresivas (0+000 – 0+1000) y (4+000 – 5+000) se recomienda un recapamiento de la totalidad de la superficie de rodadura.
  - Se recomienda el sellado de grietas y bacheo parcial y profundo en las progresivas (1+000 – 4+000) en algunos sectores se recomienda la restitución de la carpeta de rodadura
- La introducción de instrumentos medición de avanzada tecnología en la auscultación de pavimentos que recolecten los indicadores de estado con una precisión idónea, con una alta densidad de datos y que minimicen de manera considerable los tiempos relevamiento de datos. certificar la información vertida en el presente documento y poder recomendar una solución apropiada para el problema.
- Se notó la presencia de varias fallas externas al pavimento ,es necesario efectuar evaluaciones no solamente del pavimento, es preciso realizar una evaluación de la carretera que comprenda la evaluación de los sistemas de drenaje, señalización, taludes, etc. considerando su potencial riesgo en la circulación vehicular y que todos estos pueden ser causales de muchas fallas en el pavimento.
- El personal que realice una evaluación debe recibir una capacitación intensiva y profunda, teórica y práctica sobre el uso de los equipos, los procedimientos de medición y de cálculo, de lo contrario podrían producirse contratiempos y podrían incidir en los resultados al introducir datos erróneos que estropeen la evaluación.

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