

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

Se entiende por falla o deterioro del pavimento a una serie de manifestaciones en la superficie de rodadura, originando una circulación vehicular menos segura, inconfortable y que los costos de operación sean mayores; por lo que en estos casos debe analizarse cuidadosamente las causas de falla que los originan.

Se considera que la evaluación es una actividad que, mediante procedimientos normados de medidas y observaciones, permite inferir condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos. La observación del deterioro de un camino y su calificación, desde el punto de vista de su estado o condición, permite generalizar en forma estimada el estado del camino a lo largo de su vida útil o período de servicio.

En la actualidad se cuenta con una serie de nuevas herramientas que permiten prever y cuantificar los daños e intervenir con el procedimiento más adecuado en el momento más oportuno, así mismo se cuenta con normas internacionales.

Bolivia ha adoptado normas internacionales que permiten determinar el estado del pavimento.

El alcance del presente proyecto realizado, propone la determinación del estado del pavimento mediante la evaluación superficial y estructural del pavimento del tramo Yacuiba – Pocitos.

Existen diversas metodologías prácticas para el estudio y medición de fallas que permiten la evaluación del estado de deterioro del pavimento; la condición del pavimento que establecen la clase, severidad y cantidad del estado superficial, evaluada con Índice de Condición del Pavimento (PCI). Para la determinación de la capacidad estructural se puede aplicar la observación visual y ensayos de materiales, con la finalidad de obtener información necesaria para plantear las medidas correctivas y/o preventivas necesarias.

## **1.2. Situación problemática**

Las fallas que afectan la condición funcional y la capacidad estructural del pavimento, son defectos o anomalías de las características superficiales del pavimento, para la funcional, y de la aptitud del pavimento para soportar las sollicitaciones del tránsito, para la segunda.

El tramo vial entre la ciudad de Yacuiba y Pocitos es un tramo fronterizo entre los países de Bolivia y Argentina, abarca unos 7.5 Km de vía por donde circulan a diario gran cantidad de vehículos que llegan o salen del país.

En el pavimento de tramo Yacuiba – Pocitos, se puede observar deterioro en ciertos sectores se observa que llevan años sin ser tratadas.

Al ser poblados fronterizos diariamente circulan vehículos de gran tonelaje, en gran cantidad, tanto de entrada como de salida del país; a ello las condiciones climáticas y con el pasar del tiempo produce un deterioro superficial y estructural del pavimento; conocer el estado de deterioro se hace necesario.

Es necesario realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento, para conocer el estado de su deterioro y así poder sugerir medidas correctivas.

Conocer el estado de las vías no solo significa saber los recursos que se debe invertir para reconstruirlas, sino saber programar los mantenimientos necesarios para alargar la vida útil del pavimento, sin disminuir la seguridad y comodidad para los usuarios.

## **1.3. Hipótesis**

Si se determina el deterioro, condición superficial y capacidad estructural, entonces se puede obtener información del estado superficial y estructural del pavimento para sugerir medidas correctivas.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el estado del pavimento, mediante la evaluación superficial y estructural del pavimento del tramo Yacuiba – Pocitos, de tal manera que se pueda obtener información de su comportamiento y así poder sugerir medidas correctivas y/o preventivas.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Compilar un marco teórico sobre conceptos referidos a la evaluación de pavimentos.
- Realizar la selección de métodos para realizar la evaluación.
- Identificar las muestras de estudio.
- Realizar la inspección y registro de las fallas en el tramo seleccionado.
- Determinar el estado actual del tramo seleccionado.
- Sugerir medidas correctivas para los tipos de fallas.

#### **1.5. Alcance**

La evaluación de pavimentos del presente proyecto, tiene como fin conocer el estado del pavimento entre la ciudad de Yacuiba – Pocitos.

El estado del pavimento está en relación a su comportamiento el cual está reflejado en sus diferentes indicadores de comportamiento.

Los métodos para realizar la evaluación superficial y estructural son diversos, con sus respectivas características y procesos para implementarla; los empleados en este presente proyecto están descritos en el mismo.

Los deterioros presentes en el pavimento deben inventariarse y clasificarse de acuerdo al lugar donde se originan, es decir, existen fallas de tipo superficial que afectan solo a la superficie del pavimento, existen también fallas de tipo estructural, presentes en la superficie del pavimento (como señal de fallas de tipo estructural en el pavimento).

Para conocer el estado de la estructural del pavimento, la extracción de núcleo ayuda a ver cómo se comportan las capas que lo conforman.

Con la evaluación de pavimentos se sugerirá operaciones de reparación a las fallas inspeccionadas que así lo precisen.

### 1.5.1. Ubicación

La red vial se encuentra entre las ciudades de Yacuiba y Pocitos.

Se ubica en la ciudad de Tarija, frontera entre Bolivia y Argentina, los tramos adicionales están en Pocitos.

Figura 1-1 País Bolivia



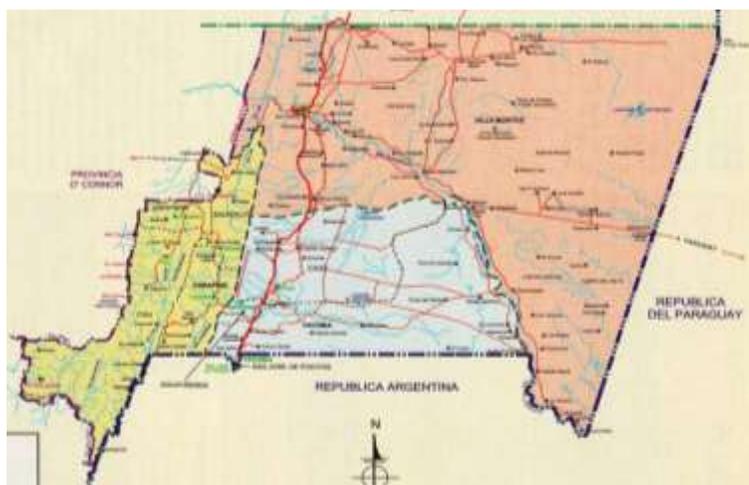
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 1-2 Departamento Tarija



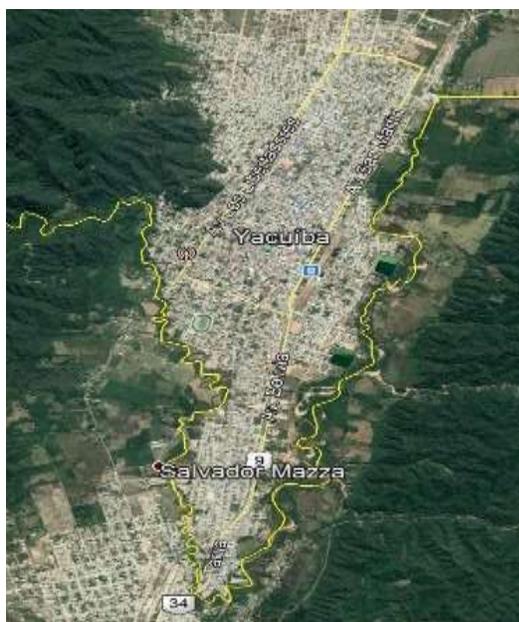
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 1-3 Provincia Gran Chaco



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 1-4 Ciudad Yacuiba



*Fuente: Elaboración propia*

### 1.5.2. Clima

Temp.Max.Extr.= 43 °C

Precipitación= 1133.5 mm

Temp.Min.Extr.= -7 °C

Pp. Max. Diaria= 230.0 mm

Dias con Helada= 5

Dias con Lluvia= 85

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. Definición de comportamiento del pavimento**

El comportamiento de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su periodo de diseño. El público usuario le asigna valores subjetivos de acuerdo a su calidad de rodadura, seguridad, aspecto y conveniencia.

Calidad aceptable de rodadura.

Adecuada fricción superficial.

Geometría apropiada para seguridad.

Aspecto estético.

La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La capacidad funcional y estructural están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido y aun riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. No obstante, hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural.

#### **2.2. Indicadores de comportamiento**

Hay características del pavimento que pueden medirse cuantitativamente y correlacionarse con las consideraciones subjetivas de los usuarios. Estas características se llaman indicadores de comportamiento y son:

Fallas.

Fricción superficial.

Capacidad estructural.

### **2.3. Fallas en pavimentos**

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

Fin del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.

Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.

Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como tal como en la calidad de los materiales empleados.

Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).

Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).

Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.

Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

Dependiendo de su origen, las fallas pueden ser clasificadas como fallas funcionales (superficiales) o fallas estructurales. En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa de rodadura y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad).

Por su parte, las fallas estructurales tienen su origen en defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que a nivel de sub-rasante o suelo de fundación de pavimento lleguen los menores esfuerzos y lo más distribuido posible. En estos casos la corrección de las fallas va dirigida al refuerzo de la estructura existente en función de los requerimientos de las cargas de tráfico previstas en el período de tiempo previsto para la rehabilitación.

### **2.3.1. Calidad de tránsito (ride quality)**

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vía férrea.

A continuación se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

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

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

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

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

### **2.3.2. Fallas más comunes de pavimentos asfálticos**

Las mezclas asfálticas que se utilizan para los pavimentos están constituidas por gravas, parcialmente trituradas, arena, filler y asfalto como ligante. Los asfaltos pueden ser cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados.

La mayor capacidad de soporte de estos pavimentos deriva de la fortaleza de la subrasante; es extremadamente importante mantener la condición impermeabilizante de la(s) capa(s) asfáltica(s).

Los pavimentos asfálticos o flexibles presentan una serie de fallas cuya prevención y/o corrección es abordada por operaciones de mantenimiento, las que suelen agruparse en tres categorías: operaciones rutinarias; operaciones periódicas y operaciones de restauración.

### **2.3.3. Fallas más comunes de pavimentos de hormigones**

Los pavimentos de hormigón que en general se utilizan en el país consisten en losas de hormigón de cemento Pórtland, sin armar y sin elementos para el traspaso de las cargas en las juntas.

Para orientar correctamente las operaciones de conservación, necesarias para mantener el pavimento en una condición similar a la que tenía cuando se construyó, es conveniente tener presente la forma cómo trabaja este tipo de pavimento al ser sometido a cargas. Las losas del pavimento distribuyen la carga solicitante en una gran superficie, de manera que las tensiones que experimenta la subrasante son mucho menores que las que se dan en un pavimento flexible.

Como consecuencia de la forma de trabajar las zonas más débiles son los bordes y las juntas, que implican una discontinuidad. Para las primeras se minimiza el efecto procurando que la acción de las cargas se aleje del borde, en tanto que para las segundas ello se logra mediante la transmisión de parte de la carga a las losas vecinas.

La necesidad de transmitir cargas a las losas vecinas a través de las juntas queda de manifiesto cuando se reemplaza una losa deteriorada sin tomar medidas adecuadas para asegurar este efecto; muchas veces, al poco tiempo la losa antigua, vecina a la reemplazada, comienza a agrietarse rápidamente. Ello se debe, fundamentalmente, a que el reemplazo eliminó el traspaso de cargas en esa junta, de manera que ahora la losa antigua debe soportar cargas mucho más altas que antes. Cuando se reemplazan losas debe asegurarse en las juntas extremas un sistema apropiado de transmisión de cargas, para lo cual lo más adecuado es colocar barras de acero diseñadas para esos propósitos, cuando

no se colocan estos elementos debe dosificarse un hormigón en que el efecto de retracción por fraguado se minimice, de manera que las caras entre hormigón nuevo y antiguo no tiendan a separarse.

Al igual que los pavimentos asfálticos, los de hormigón presentan una serie de fallas cuya previsión y/o corrección se hace con operaciones de mantenimiento que, para efectos de ordenamiento, suelen agruparse en tres categorías: operaciones rutinarias, operaciones periódicas y operaciones de restauración.

#### 2.3.4. Clasificación de fallas en pavimentos

Cuadro 2-1  
Fallas en pavimentos asfálticos

Clase	Tipo de deterioro	Falla estructural	Falla superficial
<b>Agrietamientos</b>	Piel de cocodrilo.	X	
	Agrietamiento en bloque.		X
	Grieta de borde.		X
	Grieta de reflexión de junta.	X	X
	Grietas long y transversal.		X
	Grieta parabólica (splippage)		X
<b>Deformaciones</b>	Abultamientos y hundimientos.		X
	Corrugación.	X	X
	Depresión.		X
	Parcheo	X	X
	Ahuellamiento.	X	
	Desplazamiento.		X
	Hinchamiento.		X
<b>Desprendimientos</b>	Pulimento de agregados.	X	
	Huecos.	X	
	Desprendimiento de agregados.		X
<b>Afloramientos</b>	Exudación.	X	
<b>Otros</b>	Desnivel carril/berma.		X
	Cruce de vía férrea.	X	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2-2  
Fallas en pavimentos rígidos

Clase	Tipo de deterioro	Falla estructural	Falla superficial
<b>Agrietamientos</b>	Grieta de esquina.	X	
	Losa dividida.	X	
	Grieta de durabilidad "D".		X
	Grieta lineal.	X	X
	Punzonamiento.	X	
	Retracción		X
<b>Deformaciones</b>	Blow up / Buckling.		X
	Escala.	X	X
	Parcheo (grande).		X
	Parcheo (pequeño)		X
<b>Desprendimientos</b>	Sello de junta.		X
	Popouts	X	X
	Desconchamiento		X
	Descascaramiento de esquina	X	X
	Descascaramiento de junta	X	X
<b>Afloramientos</b>	Bombeo	X	X
<b>Otros deterioros</b>	Desnivel Carril / Berma.		X
	Pulimento de agregados	X	X
	Cruce de vía férrea	X	

*Fuente: Elaboración propia*

## **Fallas más comunes de pavimentos asfálticos**

### **2.3.4.1. Piel de cocodrilo.**

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

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

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

#### **Niveles de severidad**

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

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

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

## Medida

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

## Opciones de reparación

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

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

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

Figura 2-1 Piel de cocodrilo - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-2 Piel de cocodrilo - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-3 Piel de cocodrilo - alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.2. Exudación.**

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

#### **Niveles de severidad.**

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

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

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

#### **Medida**

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

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y cilindrado.

H: Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

Figura 2-4 Exudación - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-5 Exudación - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-6 Exudación – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.3. Agrietamiento en bloque.**

**Descripción:** Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

**Niveles de severidad.**

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

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

**Medida**

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

**Opciones de reparación**

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

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

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

Figura 2-7 Agrietamiento en bloque - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-8 Agrietamiento en bloque - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-9 Agrietamiento en bloque – alta



Fuente: *Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags).**

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

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

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

#### **Niveles de severidad**

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

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

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

## Medida

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

## Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

Figura 2-10 Abultamientos y hundimientos - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-11 Abultamientos y hundimientos - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-12 Abultamientos y hundimientos - alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.5. Corrugación.

**Descripción:** La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

#### Niveles de severidad

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

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

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

#### Medida

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

#### Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Figura 2-13 Corrugación - baja



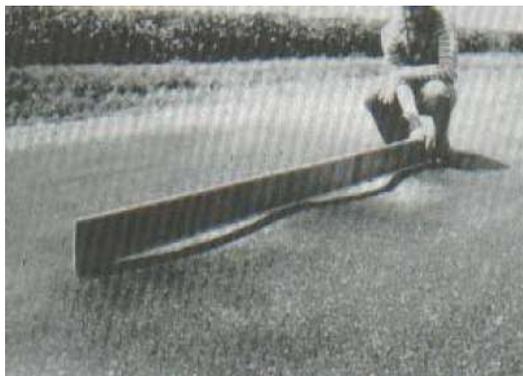
Fuente: *Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-14 Corrugación - media



Fuente: *Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-15 Corrugación – alta



Fuente: *Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.6. Depresión.**

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

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

#### **Niveles de severidad.**

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

#### **Medida**

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) del área afectada.

## Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

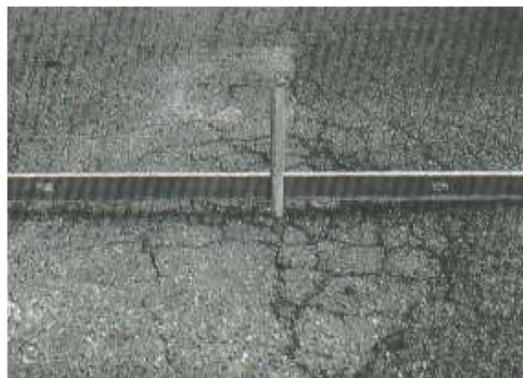
H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 2-16 Depresión - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-17 Depresión - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-18 Depresión – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.7. Grieta de borde.

**Descripción:** Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde

del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

### **Niveles de severidad.**

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

### **Medida**

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

### **Opciones de reparación**

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

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.

Figura 2-19 Grieta de borde - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-20 Grieta de borde - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-21 Grieta de borde – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland).**

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

#### **Niveles de Severidad**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

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

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho 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 pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

## Medida

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

## Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

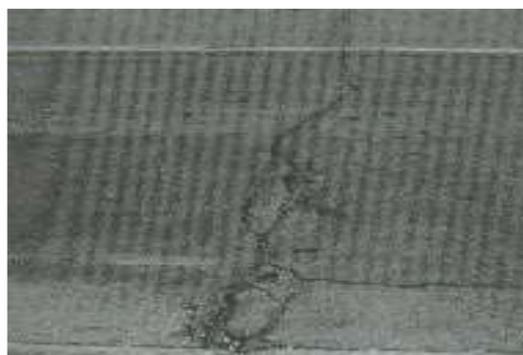
M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

Figura 2-22 Grieta de reflexión de junta - baja



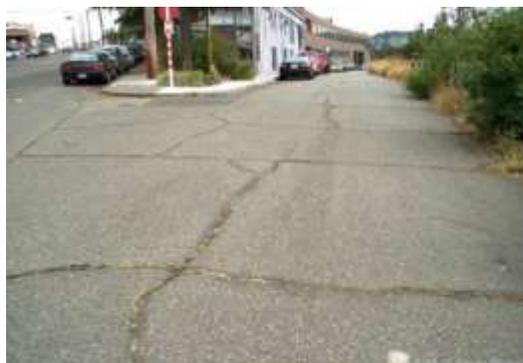
Figura 2-23 Grieta de reflexión de junta - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-24 Grieta de reflexión de junta – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.9. Desnivel carril / berma.

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

#### Niveles de severidad.

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

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

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

#### Medida

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

#### Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

Figura 2-25 Desnivel carril / berma - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-26 Desnivel carril / berma - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-27 Desnivel carril / berma – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento p rtland).**

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

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

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

#### **Niveles de Severidad**

L: Existe una de las siguientes condiciones:

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

M: Existe una de las siguientes condiciones:

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

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.

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

### Medida

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

### Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Figura 2-28 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-29 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-30 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.11. Parcheo y acometidas de servicios públicos.**

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

#### **Niveles de Severidad.**

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

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

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

#### **Medida.**

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m<sup>2</sup> puede tener 0.9 m<sup>2</sup> de severidad media y 1.35 m<sup>2</sup> de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aun si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.

Figura 2-31 Parcheo y acometidas de servicios públicos – baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-32 Parcheo y acometidas de servicios públicos - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-33 Parcheo y acometidas de servicios públicos – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.12. Pulimento de agregados.**

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

#### **Niveles de severidad.**

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

## Medida

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

## Opciones de reparación

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

Figura 2-34 Pulimento de agregados



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.4.13. Huecos.

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

### Niveles de severidad

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

Cuadro 2-3  
Niveles de severidad para huecos

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

*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies<sup>2</sup> (0.47 m<sup>2</sup>) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

### Medida

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

### Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

Figura 2-35 Huecos - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-36 Huecos - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-37 Huecos – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.14. Cruce de vía férrea.**

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

#### **Niveles de severidad**

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

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

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

## Medida

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

## Opciones de reparación

L: No se hace nada.

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

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

Figura 2-38 Cruce de vía férrea - baja



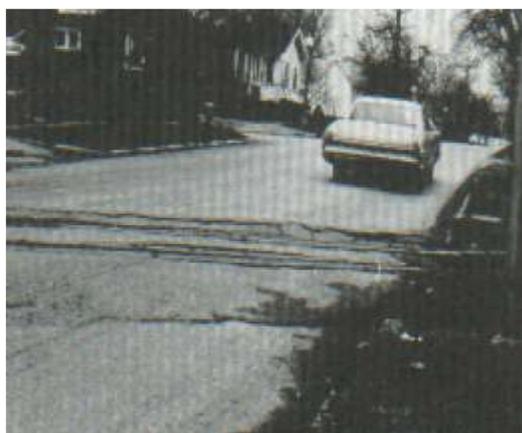
Figura 2-39 Cruce de vía férrea - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-40 Cruce de vía férrea – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.15. Ahuellamiento.**

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

#### **Niveles de severidad**

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

#### **Medida**

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

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

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

Figura 2-41 Ahuellamiento – baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-42 Ahuellamiento - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-43 Ahuellamiento – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.16. Desplazamiento.**

**Descripción:** El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño solo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

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

### Niveles de severidad

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

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

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

### Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada.

Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

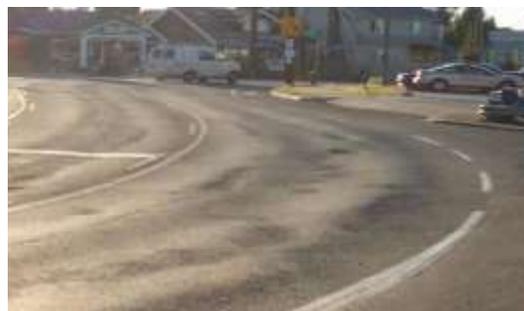
H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

Figura 2-44 Desplazamiento – baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-45 Desplazamiento - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-46 Desplazamiento – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.17. Grietas parabólicas (slippage).**

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

#### **Nivel de severidad**

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

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 está fracturada 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 está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

#### **Medida**

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

#### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

Figura 2-47 Grietas parabólicas (slippage) – baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-48 Grietas parabólicas (slippage) - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-49 Grietas parabólicas (slippage) – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.18.Hinchamiento.**

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

#### **Nivel de severidad**

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

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

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

### **Medida**

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

### **Opciones de reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Figura 2-50 Hinchamiento



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.19. Meteorización /**

#### **2.3.4.20. Desprendimiento de agregados.**

**Descripción:** La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debido al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

### Niveles de severidad

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

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

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

### Medida

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

### Opciones de reparación

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

Figura 2-51 Meteorización / desprendimiento de agregados – baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-52 Meteorización / desprendimiento de agregados - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-53 Meteorización / desprendimiento de agregados – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

## **Fallas más comunes de pavimentos de hormigones**

### **2.3.4.21. Blowup - buckling.**

**Descripción:** Los blowups o buckles ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta. Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.

#### **Niveles de Severidad**

L: Causa una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Causa una calidad de tránsito de severidad media.

H: Causa una calidad de tránsito de alta severidad.

#### **Medida**

En una grieta, un blowup se cuenta como presente en una losa. Sin embargo, si ocurre en una junta y afecta a dos losas se cuenta en ambas. Cuando la severidad del blowup deja el pavimento inutilizable, este debe repararse de inmediato.

#### **Opciones de Reparación**

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

M: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

H: Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

Figura 2-54 Blowup - buckling – baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-55 Blowup - buckling - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-56 Blowup - buckling – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### 2.3.4.22. Grieta de esquina.

**Descripción:** Una grieta de esquina es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3.70 m por 6.10 m presenta una grieta a 1.50 m en un lado y a 3.70 m en el otro lado, esta grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1.20 m y el otro lado a 2.40 m sí es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la pérdida de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.

### Niveles de Severidad

L: La grieta esta definida por una grieta de baja severidad y el área entre la grieta y las juntas está ligeramente agrietada o no presenta grieta alguna.

M: Se define por una grieta de severidad media o el área entre la grieta y las juntas presenta una grieta de severidad media (M)

H: Se define por una grieta de severidad alta o el área entre la junta y las grietas está muy agrietada.

### Medida

La losa dañada se registra como una (1) losa si:

1. Solo tiene una grieta de esquina.
2. Contiene más de una grieta de una severidad particular.
3. Contiene dos o más grietas de severidades diferentes.

Para dos o más grietas se registrará el mayor nivel de severidad. Por ejemplo, si una losa tiene una grieta de esquina de severidad baja y una de severidad media, deberá contabilizarse como una (1) losa con una grieta de esquina media.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas de más de 3 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

Figura 2-57 Grieta de esquina - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-58 Grieta de esquina - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-59 Grieta de esquina – alta



Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento

### 2.3.4.23. Losa dividida.

**Descripción:** La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

#### Niveles de severidad

En el Cuadro se anota los niveles de severidad para losas divididas.

Cuadro 2-4 Niveles de Severidad para Losa Dividida.

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos en la losa agrietada		
	4 a 5	6 a 8	8 a más
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	M	H

Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento

Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela

#### Medida

Si la losa dividida es de severidad media o alta, no se contabiliza otro tipo de daño.

Opciones de reparación

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

M: Reemplazo de la losa.

H: Reemplazo de la losa.

Figura 2-60 Losa dividida - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-61 Losa dividida - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-62 Losa dividida – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.24. Grieta de durabilidad “D”.**

**Descripción:** Las grietas de durabilidad “D” son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

#### **Niveles de severidad**

L: Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unas pocas piezas pueden haberse desprendido.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Las grietas “D” cubren menos del 15% del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse con facilidad.

2. Las grietas “D” cubren más del 15% del área. La mayoría de las grietas están cerradas, pero unos pocos pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

H: Las grietas “D” cubren más del 15% del área y la mayoría de los pedazos se han desprendido o pueden removerse fácilmente.

### Medida

Cuando el daño se localiza y se califica en una severidad, se cuenta como una losa. Si existe más de un nivel de severidad, la losa se cuenta como poseedora del nivel de daño más alto. Por ejemplo, si grietas “D” de baja y media severidad están en la misma losa, la losa se registra como de severidad media únicamente.

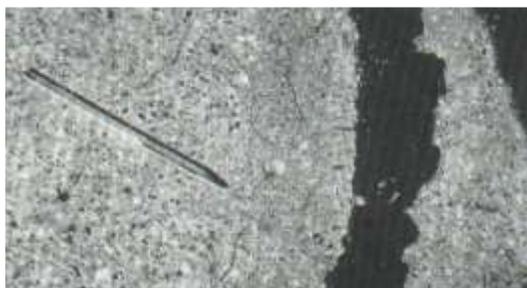
### Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas.

H: Parcheo profundo. Reconstrucción de juntas. Reemplazo de la losa.

Figura 2-63 Grieta de durabilidad “D” - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-64 Grieta de durabilidad “D” - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-65 Grieta de durabilidad “D” – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.25.Escala.

**Descripción:** Escala es la diferencia de nivel a través de la junta. Algunas causas comunes que la originan son:

1. Asentamiento debido una fundación blanda.
2. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
3. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

### Niveles de Severidad

Se definen por la diferencia de niveles a través de la grieta o junta como se indica:

Cuadro 2-5  
Niveles de Severidad para Escala

Nivel de severidad	Diferencia en elevación
L	3 a 10 mm
M	10 a 19 mm
H	Mayor que 19 mm

*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

### Medida

La escala a través de una junta se cuenta como una losa. Se cuentan únicamente las losas afectadas.

Las escalas a través de una grieta no se cuentan como daño pero se consideran para definir la severidad de las grietas.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado.

H: Fresado.

Figura 2-66 Escala - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-67 Escala - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-68 Escala – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.26. Daño del sello de la junta.**

**Descripción:** Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra. Los tipos típicos del daño de junta son:

1. Desprendimiento del sellante de la junta.
2. Extrusión del sellante.
3. Crecimiento de vegetación.
4. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
6. Falta o ausencia del sellante en la junta.

### Niveles de Severidad

L: El sellante está en una condición buena en forma general en toda la sección. Se comporta bien, con solo daño menor.

M: Está en condición regular en toda la sección, con uno o más de los tipos de daño que ocurre en un grado moderado. El sellante requiere reemplazo en dos años.

H: Está en condición generalmente buena en toda la sección, con uno o más de los daños mencionados arriba, los cuales ocurren en un grado severo. El sellante requiere reemplazo inmediato.

### Medida

No se registra losa por losa sino que se evalúa con base en la condición total del sellante en toda el área.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Resellado de juntas.

H: Resellado de juntas.

Figura 2-69 Daño del sello de la junta - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-70 Daño del sello de la junta - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-71 Daño del sello de la junta – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.27. Desnivel carril / berma.**

**Descripción:** El desnivel carril / berma es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad.

También puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.

#### **Nivel de severidad**

L: La diferencia entre el borde del pavimento y la berma es de 25.0 mm a 51.0 mm.

M: La diferencia de niveles es de 51.0 mm a 102.0 mm.

H: La diferencia de niveles es mayor que 102.0 mm.

#### **Medida**

El desnivel carril / berma se calcula promediando los desniveles máximo y mínimo a lo largo de la losa.

Cada losa que exhiba el daño se mide separadamente y se registra como una losa con el nivel de severidad apropiado.

#### **Opciones de reparación**

L, M, H: Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.

Figura 2-72 Desnivel carril / berma - baja



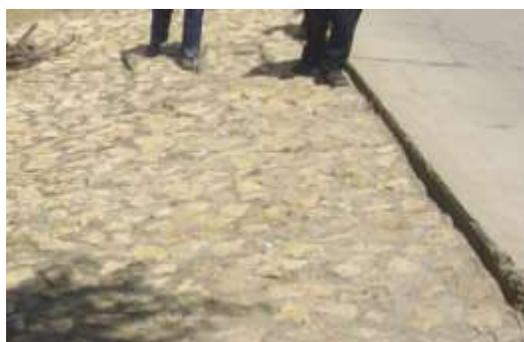
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-73 Desnivel carril / berma - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-74 Desnivel carril / berma – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.28. Grietas lineales (Grietas longitudinales, transversales y diagonales).**

**Descripción:** Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.

#### **Niveles de severidad**

Losas sin refuerzo

L: Grietas no selladas (incluye llenante inadecuado) con ancho menor que 12.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho entre 12.0 mm y 51.0 mm.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 51.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con ancho mayor que 51.0 mm.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho con escala mayor que 10.0 mm.

Losas con refuerzo

L: Grietas no selladas con ancho entre 3.0 mm y 25.0 mm, o grietas selladas de cualquier ancho con llenante en condición satisfactoria. No existe escala.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada con un ancho entre 25.0 mm y 76.0 mm y sin escala.
2. Grieta no sellada de cualquier ancho hasta 76.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
3. Grieta sellada de cualquier ancho con escala hasta de 10.0 mm.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta no sellada de más de 76.0 mm de ancho.
2. Grieta sellada o no de cualquier ancho y con escala mayor que 10.0 mm.

### **Medida**

Una vez se ha establecido la severidad, el daño se registra como una losa. Si dos grietas de severidad media se presentan en una losa, se cuenta dicha losa como una poseedora de grieta de alta severidad.

Las losas divididas en cuatro o más pedazos se cuentan como losas divididas. Las losas de longitud mayor que 9.10 m se dividen en “losas” de aproximadamente igual longitud y que tienen juntas imaginarias, las cuales, se asume están en perfecta condición.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas más anchas que 3.0 mm.

M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

Figura 2-75 Grietas lineales - baja



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-76 Grietas lineales - media



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 2-77 Grietas lineales – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### 2.3.4.29. Parche grande (mayor de 0.45 m<sup>2</sup>) y acometidas de servicios públicos.

**Descripción:** Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por material nuevo. Una excavación de servicios públicos (utility cut) es un parche que ha reemplazado el pavimento original para permitir la instalación o

mantenimiento de instalaciones subterráneas. Los niveles de severidad de una excavación de servicios son los mismos que para el parche regular.

### **Niveles de severidad**

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

M: El parche esta moderadamente deteriorado o moderadamente descascarado en sus bordes. El material del parche puede ser retirado con esfuerzo considerable.

H: El parche esta muy dañado. El estado de deterioro exige reemplazo.

### **Medida**

Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad. Si la causa del parche es más severa, únicamente el daño original se cuenta.

### **Opciones para Reparación**

L: No se hace nada.

M: Sellado de grietas. Reemplazo del parche.

H: Reemplazo del parche.

Figura 2-78 Parche grande y acometidas de servicios públicos - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-79 Parche grande y acometidas de servicios públicos - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-80 Parche grande y acometidas de servicios públicos – alta



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.30. Parche pequeño (menor de 0.45 m<sup>2</sup>).**

**Descripción:** Es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado por un material de relleno.

#### **Niveles de Severidad**

L: El parche está funcionando bien, con poco o ningún daño.

M: El parche está moderadamente deteriorado. El material del parche puede ser retirado con considerable esfuerzo.

H: El parche está muy deteriorado. La extensión del daño exige reemplazo.

#### **Medida**

Si una losa presenta uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se registra como una losa que tiene ese daño. Si una sola losa tiene más de un nivel de severidad, se registra como una losa con el mayor nivel de daño. Si la causa del parche es más severa, únicamente se contabiliza el daño original.

#### **Opciones para Reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reemplazo del parche.

H: Reemplazo del parche.

Figura 2-81 Parche pequeño - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-82 Parche pequeño - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-83 Parche pequeño – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.31. Pulimento de agregados.**

**Descripción:** Este daño se causa por aplicaciones repetidas de cargas del tránsito. Cuando los agregados en la superficie se vuelven suaves al tacto, se reduce considerablemente la adherencia con las llantas. Cuando la porción del agregado que se extiende sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye significativamente a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados que se extiende sobre el concreto es despreciable y suave al tacto. Este tipo de daño se reporta cuando el resultado de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha disminuido significativamente respecto a evaluaciones previas.

#### **Niveles de Severidad**

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el grado de pulimento deberá ser significativo antes de incluirlo en un inventario de la condición y calificarlo como un defecto.

**Medida**

Una losa con agregado pulido se cuenta como una losa.

**Opciones de reparación**

L, M y H: Ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.

Figura 2-84 Pulimento de agregados



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

**2.3.4.32. Popouts.**

Descripción: Un popout es un pequeño pedazo de pavimento que se desprende de la superficie del mismo. Puede deberse a partículas blandas o fragmentos de madera rotos y desgastados por el tránsito.

Varían en tamaño con diámetros entre 25.0 mm y 102.0 mm y en espesor de 13.0 mm a 51.0 mm.

**Niveles de severidad**

No se definen grados de severidad. Sin embargo, el popout debe ser extenso antes que se registre como un daño. La densidad promedio debe exceder aproximadamente tres por metro cuadrado en toda el área de la losa.

**Medida**

Debe medirse la densidad del daño. Si existe alguna duda de que el promedio es mayor que tres popout por metro cuadrado, debe revisarse al menos tres áreas de un metro cuadrado elegidas al azar.

Cuando el promedio es mayor que dicha densidad, debe contabilizarse la losa.

Opciones de reparación

L, M y H: No se hace nada.

Figura 2-85 Popouts



*Fuente: Elaboración propia*

#### **2.3.4.33. Bombeo.**

**Descripción:** El bombeo es la expulsión de material de la fundación de la losa a través de las juntas o grietas. Esto se origina por la deflexión de la losa debido a las cargas. Cuando una carga pasa sobre la junta entre las losas, el agua es primero forzada bajo la losa delantera y luego hacia atrás bajo la losa trasera. Esta acción erosiona y eventualmente remueve las partículas de suelo lo cual genera una pérdida progresiva del soporte del pavimento. El bombeo puede identificarse por manchas en la superficie y la evidencia de material de base o subrasante en el pavimento cerca de las juntas o grietas.

El bombeo cerca de las juntas es causado por un sellante pobre de la junta e indica la pérdida de soporte. Eventualmente, la repetición de cargas producirá grietas. El bombeo también puede ocurrir a lo largo del borde de la losa causando pérdida de soporte.

#### **Niveles de Severidad**

No se definen grados de severidad. Es suficiente indicar la existencia.

#### **Medida**

El bombeo de una junta entre dos losas se contabiliza como dos losas. Sin embargo, si las juntas restantes alrededor de la losa tienen bombeo, se agrega una losa por junta adicional con bombeo.

## Opciones de reparación

L, M y H: Sellado de juntas y grietas. Restauración de la transferencia de cargas.

Figura 2-86 Bombeo



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.34. Punzonamiento.

**Descripción:** Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (por ejemplo, hormigueros)

### Niveles de Severidad

Cuadro 2-6  
Niveles de Severidad para Punzonamiento

Severidad de la mayoría de las grietas	Número de pedazos		
	2 a 3	4 a 5	Más de 5
L	L	L	M
M	M	M	H
H	M	M	H

*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

## Medida

Si la losa tiene uno o más punzonamientos, se contabiliza como si tuviera uno en el mayor nivel de severidad que se presente.

## Opciones de reparación

L: No se hace nada. Sellado de grietas.

M: Parcheo profundo.

H: Parcheo profundo.

Figura 2-87 Punzonamiento - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-88 Punzonamiento - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-89 Punzonamiento – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.35. Cruce de vía férrea.

**Descripción:** El daño de cruce de vía férrea se caracteriza por depresiones o abultamientos alrededor de los rieles.

### Niveles de severidad

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

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

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

### Medida

Se registra el número de losas atravesadas por los rieles de la vía férrea. Cualquier gran abultamiento producido por los rieles debe contarse como parte del cruce.

### Opciones de reparación

L: No se hace nada.

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

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

Figura 2-90 Cruce de vía férrea - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-91 Cruce de vía férrea - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-92 Cruce de vía férrea - alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.36. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado.**

**Descripción:** El mapa de grietas o craquelado (crazing) se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6.0 mm a 13.0 mm. El descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.

#### **Niveles de Severidad**

L: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con solo un descamado menor presente.

M: La losa está descamada, pero menos del 15% de la losa está afectada.

H: La losa está descamada en más del 15% de su área.

#### **Medida**

Una losa descamada se contabiliza como una losa. El craquelado de baja severidad debe contabilizarse únicamente si el descamado potencial es inminente, o unas pocas piezas pequeñas se han salido.

#### **Opciones para Reparación**

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reemplazo de la losa.

H: Parcheo profundo o parcial. Reemplazo de la losa. Sobrecarpeta.

Figura 2-93 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado - baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-94 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado - media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

Figura 2-95 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

#### **2.3.4.37. Grietas de retracción.**

**Descripción:** Son grietas capilares usualmente de unos pocos pies de longitud y no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

#### **Niveles de Severidad**

No se definen niveles de severidad. Basta con indicar que están presentes.

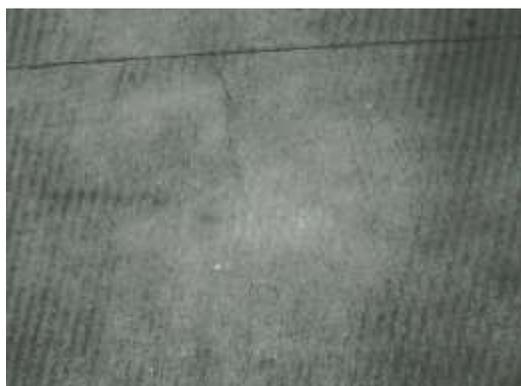
#### **Medida**

Si una o más grietas de retracción existen en una losa en particular, se cuenta como una losa con grietas de retracción.

#### **Opciones de reparación**

L, M y H: No se hace nada.

Figura 2-96 Grietas de retracción



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.38. Descascaramiento de esquina.

**Descripción:** Es la rotura de la losa a 0.6 m de la esquina aproximadamente. Un descascaramiento de esquina difiere de la grieta de esquina en que el descascaramiento usualmente buza hacia abajo para interceptar la junta, mientras que la grieta se extiende verticalmente a través de la esquina de losa. Un descascaramiento menor que 127 mm medidos en ambos lados desde la grieta hasta la esquina no deberá registrarse.

#### Niveles de severidad

El descascaramiento de esquina con un área menor que 6452 mm<sup>2</sup> desde la grieta hasta la esquina en ambos lados no deberá contarse.

Cuadro 2-7  
Niveles de Severidad para Descaramiento de Esquina

<b>Niveles de Severidad para Descaramiento de Esquina.</b>		
<b>Profundidad del Descascaramiento</b>	<b>Dimensiones de los lados del descascaramiento</b>	
	<b>127.0 x 127.0 mm a 305.0 x 305.0 mm</b>	<b>Mayor que 305.0 x 305.0 mm</b>
Menor de 25.0 mm	L	L
> 25.0 mm a 51.0 mm	L	M
Mayor de 51.0 mm	M	H

*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

## Medida

Si en una losa hay una o más grietas con descascaramiento con el mismo nivel de severidad, la losa se registra como una losa con descascaramiento de esquina. Si ocurre más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad.

## Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

Figura 2-97 Descascaramiento de esquina -  
baja



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del  
pavimento*

Figura 2-98 Descascaramiento de esquina -  
media



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del  
pavimento*

Figura 2-99 Descascaramiento de esquina – alta



*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

### 2.3.4.39. Descascaramiento de junta.

**Descripción:** Es la rotura de los bordes de la losa en los 0.60 m de la junta. Generalmente no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intercepta la junta en ángulo. Se origina por:

1. Esfuerzos excesivos en la junta causados por las cargas de tránsito o por la infiltración de materiales incompresibles.
2. Concreto débil en la junta por exceso de manipulación.

#### Niveles de Severidad

Una junta desgastada, en la cual el concreto ha sido desgastado a lo largo de toda la junta se califica como de baja severidad.

Cuadro 2-8  
Niveles de Severidad Descascaramiento de Junta

Fragmentos del Descascaramiento	Ancho del descascaramiento	Longitud del descascaramiento	
		< 0.6m	> 0.6 m
Duros. No puede removerse fácilmente (pueden faltar algunos pocos fragmentos).	< 102 mm	L	L
	> 102 mm	L	L
Suelos. Pueden removerse y algunos fragmentos pueden faltar. Si la mayoría o todos los fragmentos faltan, el descascaramiento es superficial, menos de 25.0 mm.	< 102 mm	L	M
	> 102 mm	L	M
Desaparecidos. La mayoría, o todos los fragmentos han sido removidos.	< 102 mm	L	M
	> 102 mm	M	H

*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

#### Medida

Si el descascaramiento se presenta a lo largo del borde de una losa, esta se cuenta como una losa con descascaramiento de junta. Si está sobre más de un borde de la misma losa,

el borde que tenga la mayor severidad se cuenta y se registra como una losa. El descascaramiento de junta también puede ocurrir a lo largo de los bordes de dos losas adyacentes. Si este es el caso, cada losa se contabiliza con descascaramiento de junta.

### Opciones para Reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial. Reconstrucción de la junta.

Figura 2-100 Descascaramiento de junta - baja



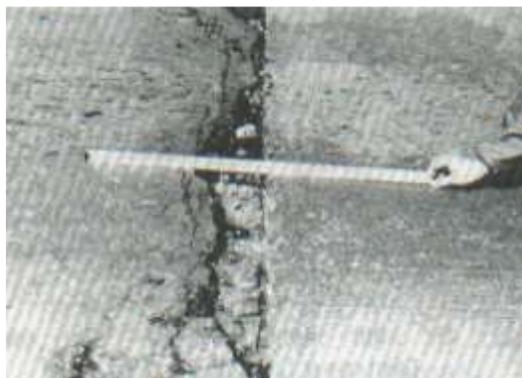
*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

Figura 2-101 Descascaramiento de junta - media



*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

Figura 2-102 Descascaramiento de junta – alta



*Fuente: Manual (PCI) Índice de Condición del Pavimento*

## 2.4. Fricción superficial

La fricción superficial de un pavimento es la fuerza desarrollada en la interface rueda – pavimento que resiste el deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado.

En los pavimentos secos hay, en general, buena fricción superficial, pero los mojados el agua actúa como lubricante y reduce el contacto entre rueda y pavimento. Si la película de agua es gruesa y el vehículo circula gran velocidad, las ruedas pierden contacto con el pavimento, creando el peligroso fenómeno de hidroplaneo.

Los tres factores que influyen en la fricción superficial son: microtextura, macrotextura y pendiente transversal de calzada. La microtextura se refiere a la rugosidad de las superficies de las partículas gruesas tomadas en forma individual de la superficie de rodamiento y del ligante de esta superficie. La macrotextura se refiere a la textura global del pavimento, la cual está controlada por el tipo y tamaño del agregado grueso en pavimentos flexibles y por la terminación superficial en pavimentos rígidos. Una buena macrotextura ayuda a mejorar la fricción superficial proveyendo canales de escape para el agua superficial en la interface rueda – pavimento. La pendiente transversal contribuye a la fricción superficial facilitando la salida del agua hacia los bordes. Por lo menos se recomienda una pendiente transversal del 1%, siendo más común aportar 2%.

## 2.5. Capacidad estructural

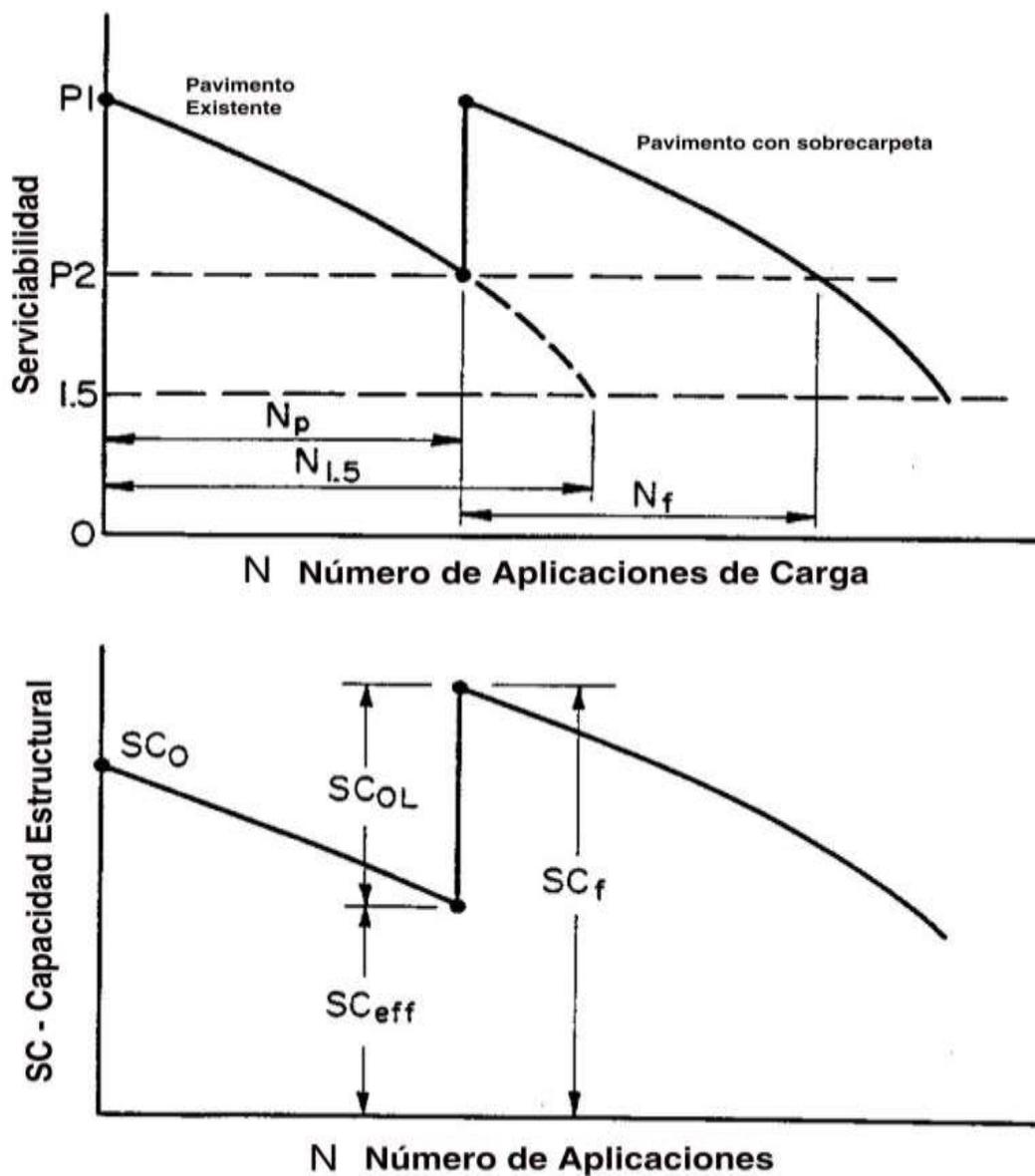
El diseño estructural de un pavimento comienza con la previsión de los tipos y volúmenes de vehículos que pasarán sobre este durante su vida útil. Se eligen los materiales que forman el pavimento y finalmente se determinan los espesores de cada una de las capas que forman el paquete estructural que soportará las cargas previstas sin que se produzcan fallas. Se puede definir la capacidad estructural como la capacidad del pavimento para soportar las cargas de tránsito durante el periodo de vida útil.

Las fallas estructurales son aquellas que reducen la capacidad de carga del pavimento.

En la figura se indica los conceptos generales de deficiencia estructural y capacidad estructural. Esta última se denota por SC (structural capacity). Cuando el pavimento es nuevo se tiene  $SC_0$ . Para pavimentos flexibles,  $SC = SN$ , y para pavimentos rígidos,

SC=D. Para pavimentos compuestos,  $CoAo/Ho$ , SC se expresa como un espesor equivalente.

Figura 2-103 Pérdida de la capacidad estructural en función al tiempo y tráfico



Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO - 97). Instituto boliviano del cemento y el hormigón

## **2.6. Evaluación de pavimentos**

La evaluación de un pavimento, corresponde a la acción de calificar y cuantificar las condiciones de fallas de la vía, con la finalidad de obtener información a fin de plantear soluciones a los deterioros encontrados.

Se considera que la evaluación es una actividad que, mediante procedimientos normados de medidas y observaciones, permite inferir condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos.

### **2.6.1. Evaluación superficial del pavimento**

Conjunto de actividades de campo y gabinete que se realizan para determinar el estado superficial, a partir de indicadores como:

Coefficiente de resistencia al desplazamiento (CRD).

Deterioros.

Índice de condición del pavimento (PCI).

Con el objeto de obtener periódicamente información del estado superficial del pavimento, para determinar la evolución de su comportamiento y velocidad de degradación a través del tiempo, a fin de programar las acciones de conservación o rehabilitación.

Son los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento.

### **2.6.2. Evaluación estructural de pavimentos existentes**

Conjunto de actividades de campo y gabinete que se efectúan con la finalidad de recabar la información para determinar la capacidad estructural del pavimento.

Obtener periódicamente información del estado estructural del pavimento, para determinar la evolución de su comportamiento y velocidad de degradación a través del tiempo, a fin de programar las acciones de conservación o rehabilitación.

La capacidad estructural del pavimento declina por efecto del tiempo y del tránsito y en el momento de colocar el refuerzo, ésta ha pasado de SCo a SCef (SNef para pavimentos flexibles, Def para pavimentos rígidos).

Supongamos que para el tránsito futuro esperado se requiera una capacidad estructural SCf. La diferencia  $SC_f - SC_{ef} = Col$  debe ser dada por el refuerzo. Este criterio de diseñar el refuerzo se llama la aproximación por deficiencia estructural. El problema más serio consiste en determinar  $SC_{ef}$  lo cual no es para nada sencillo.

## 2.7. Definición de pavimentos

Estructura o sistema estructural formado por un conjunto de capas de materiales y dimensiones apropiadas, comprendidas entre el nivel superior del terreno de fundación o subrasante y la superficie de rodamiento o rodadura, cuyas funciones fundamentales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura adecuados, resistente a la acción del tránsito (como carga o acción principal), de la intemperie y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito a las terracerías y suelo de fundación.

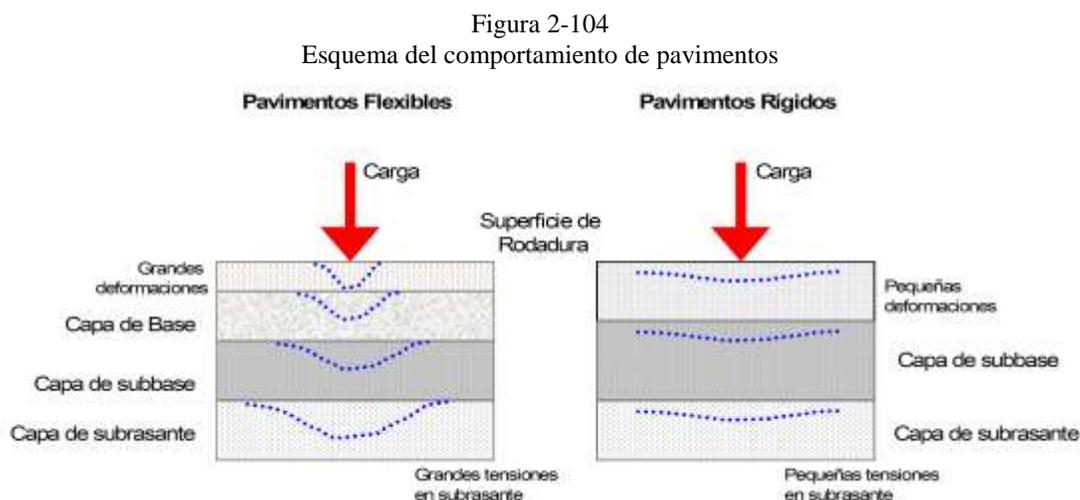
### 2.7.1. Tipos de pavimentos

Tradicionalmente, los pavimentos se han agrupado en dos tipos principales:

Pavimentos flexibles.

Pavimentos rígidos.

El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse:



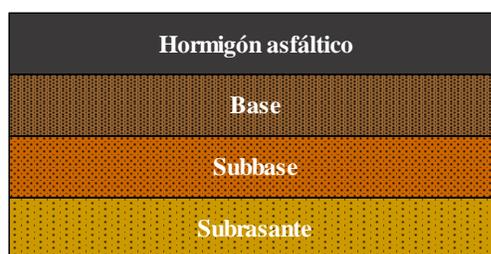
*Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos.*

### 2.7.1.1. Pavimentos flexibles

Pavimentos compuestos de subbase y base granulares no tratadas o cementadas. La superficie de rodadura está compuesta por capas asfálticas con espesor inferior a los 150mm., incluso puede ser un tratamiento superficial con agregados o un riego asfáltico para controlar el polvo.

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

Figura 2-105 Capas del pavimento flexible



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.7.1.2. Pavimentos rígidos

Estos pavimentos están constituidos por una losa o placa de concreto de cemento Pórtland construida sobre capas de base y/o subbase. Las características de retracción del concreto hidráulico y los esfuerzos térmicos inducidos por el clima obligan a seccionar el concreto mediante juntas transversales y longitudinales.

La capa de subbase es opcional, pues el elemento estructural principal es la losa de concreto hidráulico. En ocasiones, la capa de base puede ser tratada para garantizar su carácter no erodable o erosionable en presencia de agua y cargas de tránsito pesadas y frecuentes.

Figura 2-106 Capas del pavimento rígido



*Fuente: Elaboración propia*

## **2.7.2. Descripción funcional de las capas de pavimento**

### **2.7.2.1. Subrasante**

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

### **2.7.2.2. Subbase**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

### **2.7.2.3. Base**

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

### **2.7.3. Capa de rodadura**

#### **Pavimento Flexible:**

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

#### **Pavimento Rígido:**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

## **2.8. Tránsito**

El tránsito (Tráfico) se refiere a los vehículos de todo tipo, con sus respectivas cargas, considerados aisladamente o en conjunto mientras utilizan cualquier vía.

“El tránsito es la variable más importante en el diseño de pavimentos”. En algunos países es la variable menos estudiada y a la que se le otorga la menor importancia.

### **2.8.1. Caracterización del tránsito**

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de

diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple” “Equivalent Single Axle Load”.

La transformación del número equivalente de ejes de distinta naturaleza y peso en ESALs es una tarea compleja. Es necesario fijar adecuadamente el concepto de que el tipo de eje y su peso es más importante que el peso del vehículo en lo que respecta al comportamiento del pavimento.

**Volumen de Tránsito:**

Número de vehículos que pasan por una sección dada de un canal o vía durante un período determinado

**Promedio Diario de Tránsito (PDT o TPDA):**

Volumen promedio de tránsito en veinticuatro (24) horas, obtenido al dividir el volumen total de un determinado período de tiempo, generalmente un (1) año, entre el número de días del mismo período.

**Volumen de tránsito Actual:**

Es aquel que circularía por una vía si ésta fuera abierta al tránsito. En el caso de vías existentes, donde se cuenta con datos estadísticos, el tránsito actual se puede obtener proyectando para la fecha en consideración la tendencia de los registros históricos.

**Período de Análisis:**

Se entiende como tal el número de años seleccionado para la comparación de las diversas alternativas de diseño; puede comprender varios períodos de diseño (diseño por etapas). Generalmente es de veinte (20) años para vías troncales y autopistas, aún cuando actualmente se está considerando un período de hasta treinta (30) años para autopistas urbanas.

**Período de Diseño:**

Es el número de años para el cual se diseña específicamente el pavimento; generalmente varía entre los ocho (8) y veinte (20) años, dependiendo del tipo de vía.

### **2.8.2. Eje patrón y daño unitario**

Dada la gran cantidad de cargas que pueden circular por las vías, los métodos de diseño de pavimentos recurren a establecer un eje patrón al cual se le asigna una carga determinada, la más tradicional es la 80 KN, 18 kips o de 8,2 toneladas para el eje sencillo de llanta doble.

Cuando un eje pasa por un sector de la vía genera un daño proporcional a la carga que transmite al suelo.

En el ensayo vial AASHTO, una de las investigaciones viales más importantes que se han desarrollado hasta el momento, al eje patrón de 8,2 toneladas se le asignó un valor de daño igual a la unidad.

Un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple” “Equivalent Single Axle Load”.

### **2.8.3. Conversión de tránsito en ESALS**

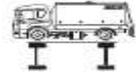
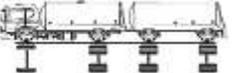
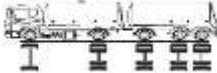
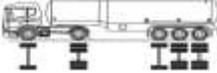
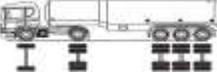
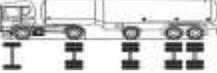
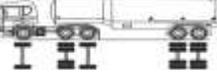
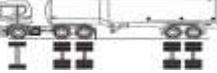
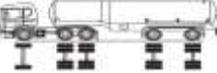
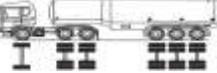
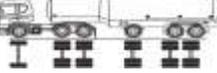
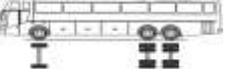
Las diferentes cargas actuantes sobre un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones en el mismo. Además, diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales responden de diferente manera a una misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirán el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHTO es de 80 KN o 18 kips.

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga, denominados LEF por sus siglas en inglés (“Load Equivalent Factor”) o Factor Equivalente de Carga.

### **2.8.4. Tipos de vehículos**

Los tipos de vehículos y sus características están definidas en el Reglamento de la Ley de Cargas que circulen por las carreteras del país.

Cuadro N° 2-1  
Tipos y características de los vehículos pesados que circulan normalmente por la red vial de estudio.

N°	Descripción gráfica de los vehículos	N° de ejes/ llantas	Long. max. m.	Eje. Delante ro	Peso por eje en Ton				Peso máx. Ton.
					Ejes traseros				
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
1		1RS-1RS	11.5	7	7				14
3		1RS-1RD	11.5	7	11				18
17		1RS-1RD 1RD-1RD	20.5	7	11	11	11		40
19		1RS-1RD 1RD-1RD	20.5	7	11	11	18		45
23		1RS-2RD 1RD-1RD	20.5	7	18	11	11		45
38		1RS-1RD 2RD	18	7	11	18			36
40		1RS-1RD 1RS2RD	18	7	11	21			39
41		1RS-1RD 3RD	18	7	11	25			43
42		1RS-1RD 1RD-2RD	18	7	11	11	18		45
43		1RS-1RD1RS 2RD	18	7	14	18			39
46		1RS-1RD1RS 3RD	18	7	14	21			42
48		1RS-2RD 2RD	18	7	18	18			43
49		1RS-2RD 1RD-1RD	18	7	18	11	11		45
51		1RS-2RD 3RD	18	7	18	25			45
52		1RS-2RD 1RD-2RD	18	7	18	11	18		45
60		1RS-2RD	13.2	7	18				25

Fuente: Reglamento de la Ley de Cargas  
Autor: Administradora Boliviana de caminos

## **2.9. Métodos de diseño basados en ensayos de carreteras**

### **2.9.1. Road Test de la AASHTO**

Fue el último de los grandes ensayos a escala natural de carreteras realizados en EEUU. Se efectuó entre 1958 y 1960 cerca de Ottawa, Illinois. Se eligió esta zona por poseer características de suelos uniformes, típicos de gran parte de EEUU y el clima es típico del Norte de dicho país. Además, los trabajos de construcción se incorporarían en la ruta interestatal 80.

Este ensayo introdujo el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos. La serviciabilidad es una medida de la capacidad del pavimento para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Este parámetro varía entre 0 (pavimento intransitable) a 5 (pavimento perfecto). Durante los dos años que duró el experimento, se registró la serviciabilidad de cada sección de pavimento según la calificaban los conductores de camiones del ensayo cada dos semanas. Así se registró el índice de serviciabilidad presente o actual, PSI (present serviceability index) y se graficó en función del tiempo tal como muestra la Figura 1.2 para pavimentos rígidos y flexibles. En base a datos de este tipo se dedujeron las ecuaciones de diseño.

#### **2.9.1.1. Condiciones específicas para el Road Test de AASHTO**

Se construyeron pistas entre 1956 y 1958. La construcción fue de excelente calidad. Hay 6 pistas, 4 grandes y 2 pequeñas. Las grandes son las 3, 4, 5 y 6, y las pequeñas la 1 y la 2. Cada pista tenía un tramo recto de cuatro carriles divididas al centro con curvas de retorno en los extremos. Los tramos rectos tenían una longitud de 2073 m para las pistas grandes (3 a 6), 1341 m para la 2 y 610 m para la pista 1. La pista 1 fue sometida a cargas estáticas y efectos del clima y las pistas 2 a 6 fueron solicitadas con cargas dinámicas que van aumentando de una pista a otra. En todas las pistas, los tramos rectos al Norte y las curvas de retorno al Este eran de concreto asfáltico, mientras que los tramos rectos al Sur y las curvas de retorno al Oeste eran de hormigón.

Las variables para este estudio eran: espesor de pavimento, magnitud de cargas y efectos ambientales.

Las secciones de pavimentos eran variables, con tramos de transición entre ellas. La longitud mínima de sección era de 30 m.

La capa de concreto asfáltico usada consistía en una mezcla de piedra caliza partida densa y bien graduada con un 5.4% de cemento asfáltico de grado de penetración 85-100. El espesor de esta capa oscilaba entre 25 y 152 mm (1 a 6 pulg). Se usaron cuatro tipos de base: piedra partida caliza, grava bien graduada, grava tratada con cemento y grava tratada con asfalto. El espesor de la base variaba de 0 a 229 mm (0 a 9 pulg). El pavimento de hormigón estaba hecho con aire intencionalmente incorporado y contenía 335 Kg de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón, grava y arena natural.

La subbase del pavimento flexible y rígido era una mezcla densa de grava y arena con un porcentaje apreciable de finos (PT N1200 = 6.5%). Los espesores variaban de 0 a 406 mm (0 a 16 pulg) para los pavimentos flexibles y de 0 a 229 mm (0 a 9 pulg) para pavimentos rígidos.

El tránsito que circuló por estas pistas consistía en cargas de ejes simples que variaban entre 9 y 133 KN (2 a 30 kips) y cargas de ejes tándem que variaban entre 107 y 214 KN (24 a 48 kips). Se aplicaron 1.14x10<sup>7</sup> cargas por eje en cada sección, lo que daba un equivalente de 10 millones de pasadas de ejes de 80 KN (18 kips) en la pista más cargada.

### **2.9.2. Pavimentos flexibles**

En el año 1986 se presentaron muchas innovaciones. Aparece el concepto de “Nivel de Confianza” o confiabilidad, que permite al proyectista diseñar un pavimento con un nivel apropiado de riesgo. El factor de confiabilidad de diseño FR permite tener en cuenta variaciones tanto en la predicción del tránsito como en el comportamiento del pavimento.

Se introduce el módulo resiliente que reemplaza al CBR como dato de entrada. Esto permite una mejor definición de las propiedades resistentes de los materiales. Puede aplicarse también a materiales estabilizados.

Las condiciones de drenaje están tomadas en cuenta con los coeficientes de drenaje  $m_i$ . Estos son función de la calidad del drenaje y del porcentaje de tiempo que la estructura estará sometida a niveles de humedad próximos a la saturación. Este coeficiente se aplica a las capas no estabilizadas.

También se prevé el efecto de hinchamiento por subrasantes expansivas y el efecto de hinchamiento por congelación.

La ecuación de diseño es ahora:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Ecuación 2-1

donde:

$W_{18}$  = número de aplicaciones de cargas de 80 KN

$Z_R$  = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

$S_o$  = desvío estándar de las variables

$\Delta PSI$  = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

$M_R$  = módulo resiliente de la subrasante

En unidades inglesas viene expresado en pulgadas y conserva el valor numérico obtenido mediante la ecuación 2-1

En el sistema métrico viene expresado en mm y su valor es igual a SN (en pulgadas) multiplicado por 25.4.

### 2.9.2.1. Variables de entrada

Se describen a continuación las variables a considerar en el método AASHTO.

#### 2.9.2.1.1. Variables de tiempo

Hay dos variables a tener en cuenta: *período de análisis* y *vida útil del pavimento*. La vida útil es el período que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. *El período de análisis* es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir. Puede ser igual que *la vida*

*útil*, pero en casos en donde se prevén reconstrucciones a lo largo del tiempo, el período de análisis comprende varios períodos de vida útil, el del pavimento original y el de los distintos refuerzos. Los períodos de análisis recomendados son:

Cuadro 2-9 Períodos de análisis recomendados

<b>Tipo de camino</b>	<b>Período de análisis</b>
Gran volumen de tránsito urbano	30-50 años
Gran volumen de tránsito rural	20-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

*Fuente: Diseño de pavimentos- Instituto boliviano del cemento y el hormigón*

#### **2.9.2.1.2.Tránsito**

Se usa el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 KN) o ESALs. La conversión de una carga dada por eje a ESAL se hace a través de los LEF (factores equivalentes de carga).

#### **2.9.2.1.3.Confiabilidad**

Se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones.

Para una construcción por etapas (vida útil < período de análisis) se deben componer las confiabilidades de cada etapa para tener la confiabilidad en todo el período de diseño.

#### **2.9.2.1.4.Subrasantes expansivas o sometidas a expansión por congelación**

Si se tiene una subrasante expansiva, o bien sometida a expansión por congelamiento, habrá una pérdida adicional de serviciabilidad que debe ser tenida en cuenta. Esto se hace analizando la pérdida de serviciabilidad por esta causa en función del tiempo mediante estudios hechos sobre los materiales existentes en el proyecto. Alternativamente, se puede optar por procedimientos que eliminen esta pérdida de serviciabilidad como el uso de

capas estabilizadas de suelo – cemento o suelo – cal que sirvan como una barrera contra la expansión.

#### **2.9.2.1.5. Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviceability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial,  $p_o$ , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal,  $p_t$ , es función de la categoría del camino

y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

Serviciabilidad inicial:

$p_o = 4.5$  para pavimentos rígidos

$p_o = 4.2$  para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

$p_t = 2.5$  o más para caminos muy importantes

$p_t = 2.0$  para caminos de menor tránsito

Es importante considerar además que estos valores significan un buen acabado de construcción, si el trabajo se va a realizar con herramientas manuales o equipos gastados es probable que el pavimento nuevo no alcance los niveles de serviciabilidad establecidos y por tanto dure menos.

#### **2.9.2.1.6. Propiedades de los materiales**

Como ya se había expresado en el capítulo correspondiente, la variable que se usa para el diseño de pavimentos flexibles es el módulo resiliente, tanto para la determinación del número estructural SN así como para, en función de los materiales que componen cada capa del paquete estructural, obtener los coeficientes estructurales o de capa.

### 2.9.2.1.7.Drenaje

En el método AASHTO los coeficientes de capa se ajustan con factores mayores o menores que la unidad para tener en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad próximos a la saturación.

### 2.9.3. Pavimentos rígidos

En 1981 se introdujo un factor de seguridad para bajar S'c. En 1986 aparecen los conceptos de confiabilidad R, desviación estándar So, factor de confiabilidad de diseño FR como en el caso de pavimentos flexibles. Las condiciones de drenaje se tienen en cuenta con el coeficiente de drenaje Cd, que tiene en cuenta la calidad del drenaje y el tiempo en que el pavimento está sometido a niveles de humedad próximos a la saturación. Se pueden tener en cuenta subrasantes expansivas o sometidas a congelamiento. Aparece también el factor de pérdida de soporte LS que tiene en cuenta la pérdida potencial de soporte debido a erosión de la subbase y/o al movimiento diferencial vertical del suelo. Este factor LS reduce el valor efectivo de k.

Finalmente, la ecuación de diseño es:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.625 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log\left(\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c}\right)^{0.25}\right)}\right)$$

Ecuación 2-2

donde:

W18 = número de aplicaciones de carga de 80 KN

ZR = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

So = desviación estándar de las variables

D = espesor de la losa (pulg)

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad de diseño

S'c = módulo de rotura del hormigón (psi)

$J$  = coeficiente de transferencia de carga

$C_d$  = coeficiente de drenaje

$E_c$  = módulo de elasticidad del hormigón (psi)

$K$  = módulo de reacción de subrasante (pci)

Con las nuevas modificaciones las variables vienen expresadas en:

$D$  = espesor de la losa (mm)

$S'_c$  = módulo de rotura del hormigón (kPa)

$E_c$  = módulo de elasticidad del hormigón (kPa)

$K$  = módulo de reacción de subrasante (kPa/mm)

### **2.9.3.1. Variables de entrada**

Se describen a continuación las variables a tener en cuenta en el diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO.

#### **2.9.3.1.1. Variables de tiempo**

Son ellas la vida útil del pavimento y el período de análisis. Tienen el mismo significado que para pavimentos flexibles, por lo que no se las describirá aquí.

#### **2.9.3.1.2. Tránsito**

Al igual que para pavimentos flexibles, el tránsito es reducido a un número de pasadas de ejes tipo de 18 kips (80 KN) a través de los factores equivalentes de carga, LEF, que difieren de los usados para pavimentos flexibles.

#### **2.9.3.1.3. Confiabilidad y desviación estándar**

Tiene el mismo significado que para pavimentos flexibles, es decir que se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. En cuanto al desvío estándar de las variables,  $S_0$ , se recomienda para pavimentos rígidos un valor de 0.34 para el caso en que se considere la varianza del tránsito futuro y  $S_0 = 0.39$  para el caso en que ésta no esté considerada.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de valores de ZR en función al valor de confiabilidad:

Cuadro 2-10 Relación de confiabilidad y el valor de ZR

<b>Confiabilidad R, %</b>	<b>Desviación normal estándar ZR</b>
50	0
60	0.253
70	0.524
80	0.841
90	1.282
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.09
99.99	3.75

*Fuente: Diseño de pavimentos- Instituto boliviano del cemento y el hormigón*

#### **2.9.3.1.4. Subrasantes expansivas o sometidas a expansión por congelación**

Con este método se puede prever la pérdida de serviciabilidad por estas causas, las que se suman a las de tránsito. Se hace el mismo análisis que para pavimentos flexibles.

#### **2.9.3.1.5. Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad**

Vale lo expresado en el capítulo correspondiente a pavimentos flexibles.

#### **2.9.3.1.6. Módulo de reacción de la subrasante**

A partir del módulo de reacción de la subrasante (valor real), por una serie de pasos descrito en la "Caracterización de subrasante", se obtiene un k efectivo para usar en los cálculos.

#### **2.9.3.1.7. Caracterización de los materiales que forman el pavimento**

El módulo elástico del pavimento se determina con la ecuación:

$$E_c = 57000(f'_c)^{0.5}$$

Ecuación 2-3

donde:

$E_c$  = módulo elástico del hormigón (psi)

$f'_c$  = resistencia a la compresión simple del hormigón (psi)

El módulo de rotura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón  $f'_r$  se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio y está relacionado con  $f'_c$  a través de la ecuación:

$$f'_r = K(f'_c)^{0.5}$$

Ecuación 2-4

$f'_r$  y  $f'_c$  están dados en psi, K es una constante que varía entre 7 y 12.

La resistencia a la tracción indirecta,  $f'_{ri}$  está relacionada con  $f'_r$  a través de:

$$f'_{ri} = 1.02f'_r + 210$$

Ecuación 2-5

con las resistencias en psi.

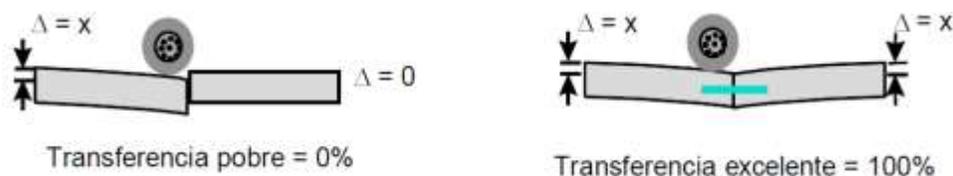
### 2.9.3.1.8.Drenaje

En este caso se usa un coeficiente de drenaje  $C_d$  que puede variar entre 0.70 y 1.25 según sea la calidad del drenaje, a mayor  $C_d$ , mejor drenaje.

### 2.9.3.1.9.Transferencia de cargas

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde.

Figura 2-107 Transferencia de carga longitudinal



Fuente: Diseño de pavimentos- Instituto boliviano del cemento y el hormigón

**2.10. Marco normativo**

Manual de carreteras. Bolivia ABC.

Curso de diseño de pavimentos métodos AASHTO – 97. IBCH.

Reglamento de la Ley de Cargas. Servicio Nacional de Caminos

Manual de carreteras. Chile. Dirección de vialidad.

American standard testing materials ASTM.

American association of state highway and transportation officials AASHTO.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

#### 3.1. Metodología para los tipos de evaluación

Evaluación de deterioro: PCI

Evaluación superficial: CRD

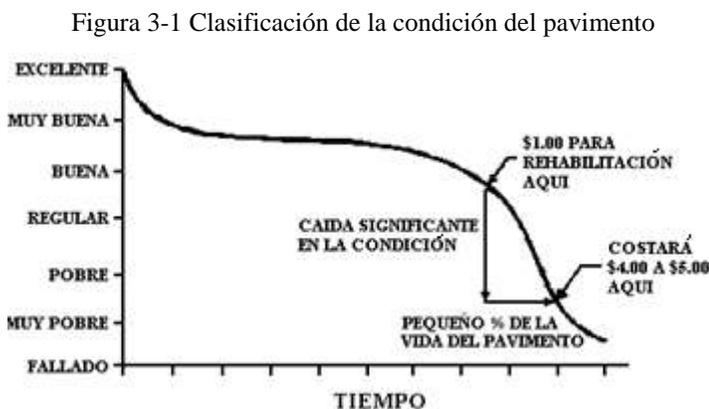
Evaluación estructural: SC

#### 3.2. Evaluación de deterioro en pavimentos

##### 3.2.1. Índice de condición del pavimento (PCI – pavement condition index)

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

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



Fuente: *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, M. Y. Shahin, 1994

Cuadro 3-1  
Rangos de calificación del PCI

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy malo
10 – 0	Fallado

*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

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 que cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

### **3.2.2. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento**

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Los cuadros 3-2 y 3-3 ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.





### 3.2.2.1. Unidades de muestreo

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

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

Cuadro 3-4  
Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

b. Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7.60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $20 \pm 8$  losas.

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

### 3.2.2.2. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

En la “evaluación de una red” vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará 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 mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la

Ecuación 3-1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

Ecuación 3-1

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

s= Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará 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.

### **3.2.2.3. Selección de las unidades de muestreo para inspección**

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

a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación 3-2

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

Ecuación 3-2

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

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

b. El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.

Así, si  $i = 3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

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

#### **3.2.2.4. Selección de unidades de muestreo adicionales**

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

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el

cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

#### **3.2.2.5. Evaluación de la condición**

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

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a. Equipo.

Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.

Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

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

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

#### **3.2.3. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “valores deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

### 3.2.3.1. Pavimentos con capa de rodadura asfáltica

#### **Etapa 1.** Cálculo de los valores deducidos

1. a. Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna total del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

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

1. c. Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “valor deducido del daño” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

#### **Etapa 2.** Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m).

2. a. Si ninguno ó tan sólo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del mayor “valor deducido corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.

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

2. c. Determine el “número máximo admisible de valores deducidos” (m), utilizando la Ecuación 3-3:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV_i)$$

Ecuación 3-3

Donde:

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

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

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

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

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

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

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

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

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

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

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

**3.2.3.2. Pavimentos con capa de rodadura en concreto de cemento pòrtland**

**Etapa 1.** Cálculo de los valores deducidos

1. a. Contabilice el número de losas en las cuales se presenta cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad en el formato PCI-02.

1. b. Divida el número de losas contabilizado en 1.a. entre el número de losas de la unidad y exprese el resultado como porcentaje (%) Esta es la densidad por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.

1. c. Determine los valores deducidos para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva de “valor deducido de daño” apropiada entre las que se adjuntan a este documento.

**Etapa 2.** Cálculo del número admisible máximo de deducidos ( $m$ )

Proceda de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, como se describió anteriormente.

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

Proceda de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, pero usando la curva correspondiente a pavimentos de concreto.

**Etapa 4.** Calcule el PCI restando de 100 el máximo CDV

En el cuadro 3-5 se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “máximo valor deducido corregido”, CDV.

Cuadro 3-5  
Formato para las iteraciones del cálculo de CDV

N°	Valores deducidos										Total	q	CDV

*Fuente: Manual (PCI) índice de condición del pavimento*

*Autor: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela*

**3.2.3.3. 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 utilizó 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:

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

Ecuación 3-4

Donde:

PCI<sub>S</sub>= 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 total de unidades de muestreo en la sección.

A= Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

### **3.3. Evaluación superficial de pavimentos**

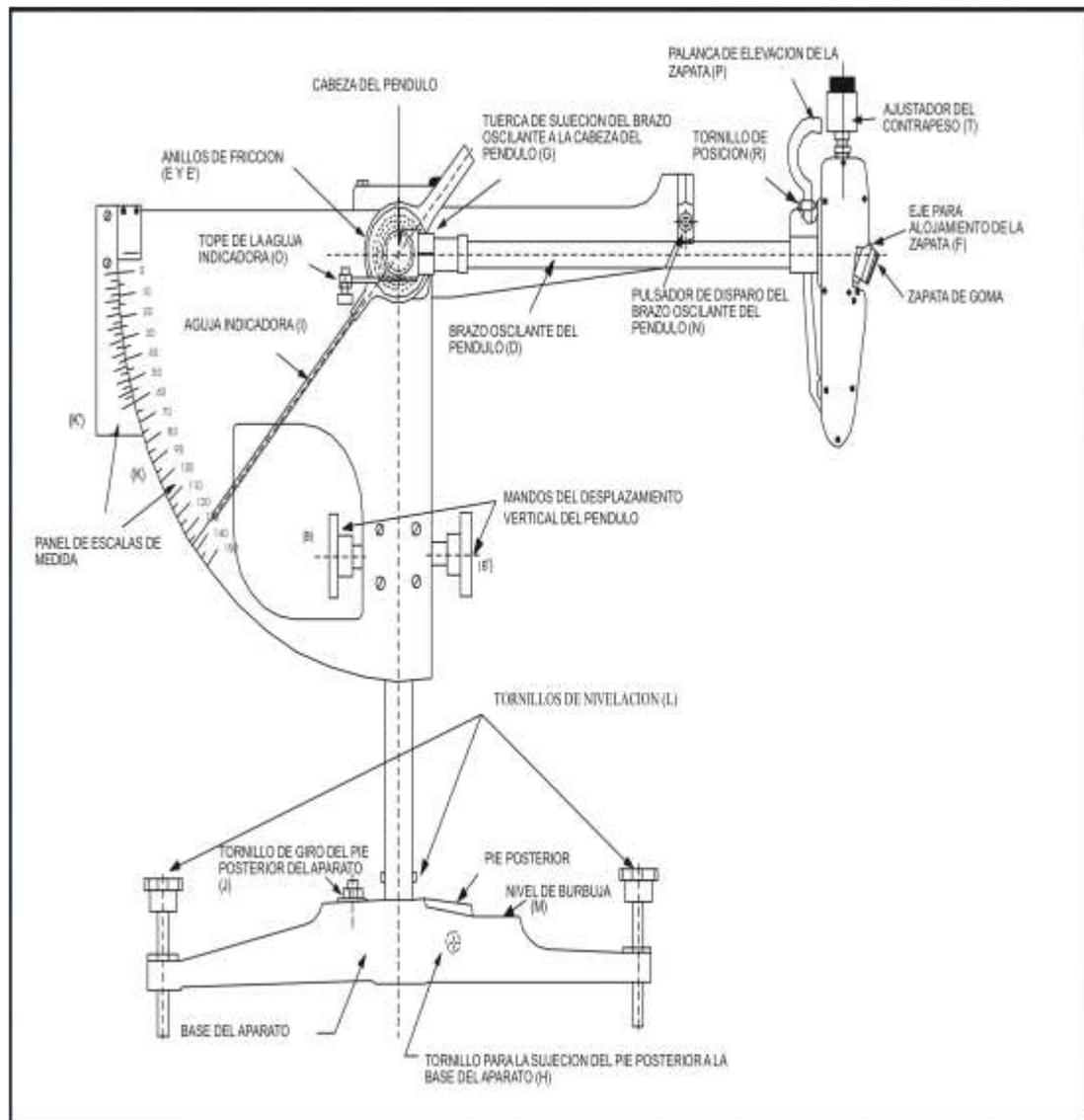
Conjunto de actividades de campo y gabinete que se realizan para determinar el estado superficial del pavimento.

#### **3.3.1. Resistencia al deslizamiento (fricción)**

#### **3.3.2. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL)**

El método (ASTME 303 AASHTO T278-90) tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Figura 3-2 Péndulo TRRL



*Fuente: Manual de ensayos y materiales – asfaltos. Bolivia ABC.*

### 3.3.2.1. Equipo y materiales

Péndulo del TRRL.

Regla graduada.

Termómetro.

Recipientes para agua.

Cinta métrica.

### 3.3.2.2. Selección espaciamiento de medición

Con respecto a la cantidad de puntos a auscultar, ésta dependerá de la longitud del tramo, de los sectores homogéneos y del estudio que se quiera efectuar.

En términos de puntos de medición por km, puede reducirse a la expresión:

$$\text{Mediciones} = \text{Entero } (94 * CV - 3.2) \text{PuntosKm} - \text{pista}$$

Ecuación 3-5

Donde:

CV = Coeficiente de variación de las muestras.

Esta expresión es independiente del tipo de medida. El espaciamiento obtenido está asociado a un error máximo de 10% y a una confiabilidad de 95%.

En los casos en que no se disponga de datos para estimar un CV histórico, se empleará un CV de 15%

Se debe realizar una inspección visual del lugar con el fin de determinar los sectores uniformes. Si el tramo experimental es mayor a 5 km se recomienda realizar 4 mediciones por km/pista; si es menor que 5 km se recomienda un punto cada 100 m; cabe señalar que éstas son solo recomendaciones y para efectos de estudio puede variar la densidad de puntos a auscultar.

### 3.3.2.3. Procedimiento de ensayo

El péndulo una vez montado, se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación.

Comprobando el cero del aparato, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical accionando la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del

aparato. Se hace oscilar en forma manual el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta se comprueba usando la regla graduada. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P).

Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta, en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo. La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cuatro medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor de 3 unidades BPN (british pendulum number), se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.

Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo. Asimismo, se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.

Después de un determinado número de mediciones efectuadas con el péndulo, 5 a 6 puntos de ensayo, se debe realizar una nueva comprobación del cero.

Cuadro 3-6  
Registro de mediciones con péndulo británico

Proyecto								Fecha	Operador		
Secciones	T agua		Registro (BPN)				Observaciones	Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)			Clasificación
	Km	Punto	T °C	1	2	3		4	Lec efec de BPN	Sin corregir	

*Fuente: Fuente: Manual de ensayos y materiales – asfaltos. Bolivia ABC.*

#### 3.3.2.4. Cálculos

Esta es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:

$$\text{CRD} = \text{Lectura efectiva de } \frac{\text{BPN}}{100}$$

Ecuación 3-6

Donde:

BPN= Son las siglas correspondientes a british pendulum number (número de péndulo británico).

Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la curva de corrección, para expresar los resultados a 20 °C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

#### 3.3.2.5. Rangos de fricción

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la

experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

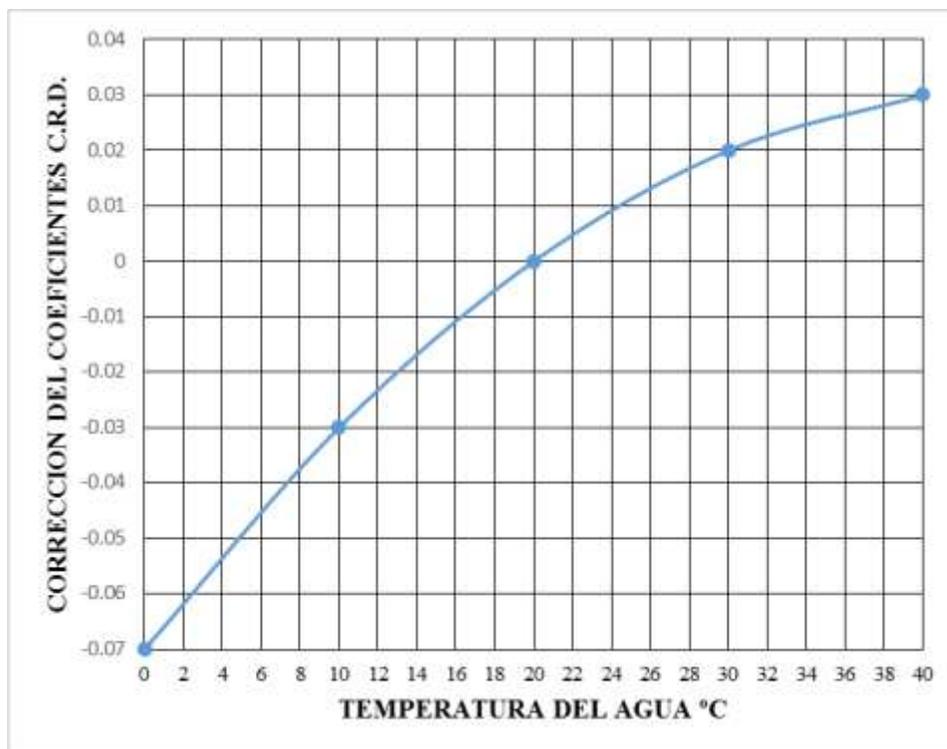
Cuadro 3-7  
Criterio para evaluar los valores de fricción

<b>Fricción, valor de CDR, adimensional</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)

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México  
Autor: secretaria de comunicaciones y transportes instituto mexicano del transporte.*

Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C.

Figura 3-3 Curva de corrección



*Fuente: Fuente: Manual de ensayos y materiales – asfaltos. Bolivia ABC.*

### **3.4. Evaluación estructural de pavimentos**

Hay tres maneras de conocerlo:

**Por observación visual y ensayos de materiales.** Esto implica el estudio de los tipos de fallas presentes, así como el análisis de las condiciones de drenaje existentes, complementada con toma de muestras y ensayos de laboratorio.

**Mediante ensayos no destructivos o “NDT” (nom destructive test).** Con determinados aparatos se pueden conocer las condiciones de la subrasante y de las distintas capas.

**Por estudios de daños de fatiga por efecto del tránsito.** En base al tránsito que ha pasado se puede inferir un daño por fatiga en el pavimento y, en base a ésta, determinar la vida remanente que le queda al pavimento.

#### **3.4.1. Capacidad estructural basada en observación visual y ensayo de materiales**

Es muy importante la observación visual del pavimento existente. El observador debería tener información en lo que concierne al diseño, construcción y mantenimiento del mismo. Se deben inventariar los tipos de falla presentes para pavimentos flexibles y para rígidos. Se debe analizar también el drenaje y correlacionar sus deficiencias con las fallas presentes.

Se recomienda la extracción de núcleos y ensayo de materiales. Esto permitirá conocer los espesores reales de cada capa y el estado de deterioro en que se encuentran. Los ensayos recomendados son los de resistencia para muestras asfálticas o de hormigón, ensayos de granulometría para analizar la degradación y/o contaminación de capas granulares. Si en muestras de hormigón se observan fallas de durabilidad, se recomienda consultar a un petrógrafo para conocer sus causas.

##### **3.4.1.1. Observación del estado del pavimento existente**

###### **Flexible:**

Es necesario detectar, distinguir y medir los tipos de fallas presentes. En base a los mismos pueden determinarse los coeficientes estructurales. Se recomienda extraer muestras de las trochas más transitadas para estimar estas cantidades.

Se debe computar:

Porcentaje de superficie con piel de cocodrilo (baja, media y alta severidad).

Número de fisuras transversales por Km o milla (baja, media y alta severidad).

Profundidad media de ahuellamiento.

Evidencia de bombeo en fisuras y bordes de pavimentos.

### **Rígido:**

Deberán medirse los tipos de fallas que se indican a continuación. Es conveniente hacer toma de muestras para cuantificar mejor.

Fallas para pavimentos de hormigón simple o armado con juntas:

Número de juntas transversales deterioradas por milla (1.6 Km) o Km.

Número de fisuras transversales deterioradas por milla o Km.

Número de parches de concreto asfáltico en todo el espesor, excepcionalmente juntas anchas (mayores de 1 plg o 25mm) y juntas de expansión por milla o Km (excepto las correspondientes a puentes).

Presencia y severidad de problemas de durabilidad del hormigón.

Fisuras de durabilidad: baja severidad (fisuras solamente), severidad media (algo de descascaramiento), alta severidad (descaramiento severo).

Fisuras por áridos reactivos: baja, media y alta severidad.

Evidencia de movimiento verticales entre losas, bombeo de finos o agua en juntas, fisuras y bordes de pavimento.

### **3.4.1.2. Muestreo y ensayo de materiales**

La extracción de núcleos y ensayo de materiales son recomendados para analizar al pavimento existente, especialmente en caminos de alto volumen de tráfico.

### **Flexible:**

El examen visual de probetas de concreto asfáltico (núcleos) permitirá conocer distintos grados de alteración, disgregación y erosión. Lo propio puede hacerse con las capas base

y subbase para determinar principalmente el grado de degradación y la posible contaminación de finos de las capas inferiores.

Los espesores de cada uno de las capas componentes deben ser medidas como resultado final de este acápite.

**Rígido:**

Para la determinación del módulo de rotura  $Sc'$  del hormigón se deben extraer núcleos de 150 mm (6 pulg) de diámetro del centro de la losa y hacer un ensayo de tracción indirecta. El módulo de rotura se puede estimar usando la siguiente ecuación (Foxworthy 1985)

$$Sc' = 210 + 1.02 IT$$

Ecuación 3-7

Donde:

$Sc'$  = Módulo de rotura, psi

IT = Tracción indirecta medida en las probetas, psi

En unidades métricas:

$$Sc' = 1450 + 1.02 IT$$

Ecuación 3-8

$Sc'$  = Módulo de rotura, kPa

IT = Tracción indirecta medida en las probetas, kPa

**3.4.1.3. Determinación del número estructural efectivo  $SN_{ef}$  – Def**

**Flexible:**

En el caso de usar el método de observación visual y ensayo de materiales, se debe analizar la ecuación del número estructural:

$$SN_{ef} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Ecuación 3-9

D1, D2 y D3 son los espesores de cada capa y m2 y m3 se determinan de acuerdo a las condiciones de drenaje.

Los valores de a1, a2 y a3 serán menores que los que se consideran en un diseño nuevo debido al deterioro que presentan las capas. En el cuadro 3.8.

Cuadro 3-8  
Valores sugeridos del coeficiente estructural para capas de pavimentos deteriorados

Material	Condiciones de superficie	Coeficiente
Concreto asfáltico	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0.35-0.40
	< 10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.25-0.35
	> 10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o < 10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5 - 10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.20-0.30
	> 10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o < 10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o > 10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0.14-0.20
	> 10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o > 10% de fisuras transversales de alta severidad	0.20-0.35
Base o sub base granular	Sin evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0.10-0.14
	Alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0.00-0.10

*Fuente: Diseño de pavimentos- Instituto boliviano del cemento y el hormigón*

### Rígido:

El espesor efectivo de la losa existente es:

$$D_{ef} = F_{jc} F_{dur} F_{fat} D$$

Ecuación 3-10

Donde:

D= Espesor de la losa existente de hormigón.

F<sub>jc</sub>= Factor de ajuste por juntas y fisuras.

F<sub>dur</sub>= Factor de ajuste por durabilidad.

F<sub>fat</sub>= Factor de ajuste por fatiga.

### Factor de ajuste por juntas y fisuras F<sub>jc</sub>:

Este factor hace un ajuste por una pérdida extra de serviciabilidad causada por fisuras reflejadas y deterioradas en la sobrecarpeta que son el resultado de juntas o fisuras no reparadas y otros tipos de discontinuidades en el pavimento existente. Una junta deteriorada o una fisura se reflejarán rápidamente en la sobrecarpeta con la consecuente pérdida de serviciabilidad. Es por esto que se recomienda que todas las juntas deterioradas, fisuras y cualquier otro tipo de discontinuidades en la losa existente sean reparadas en todo su espesor con hormigón vinculado (pasadores y barras de unión) al pavimento existente. Reparación de todos estos deterioros resultan en un F<sub>jc</sub> igual a 1.0.

Si no es posible reparar todas las áreas deterioradas, con la siguiente información se puede determinar F<sub>jc</sub>:

Número de juntas deterioradas no reparadas por milla o 1.6 km.

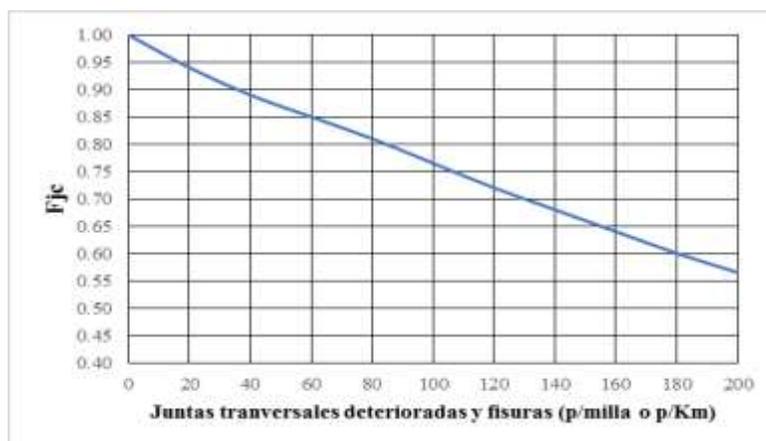
Número de fisuras deterioradas no reparadas por milla o 1.6 km.

Número de sectores punzonados no reparados por milla o 1.6 km.

Número de juntas de expansión, excepcionalmente juntas anchas (>2,5 mm) y parches de concreto asfáltico en todo el espesor, por milla o 1.6 km.

En función del número de juntas deterioradas no reparadas, fisuras, baches, etc., se determina el F<sub>jc</sub> mediante el gráfico siguiente:

Figura 3-4 Factor de ajuste F<sub>jc</sub>



Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO – 97). Instituto boliviano del cemento y el hormigón

**Factor de ajuste por durabilidad Fdur:**

Este factor tiene en cuenta la pérdida de serviciabilidad adicional que puede tener el pavimento existente cuando hay fisuras de durabilidad o fallas debidas a reacción álcali-agregado. Los valores a adoptar para Fdur son:

Fdur = 1,00; No hay problemas de durabilidad.

Fdur = 0,96-0,99; Hay fisuras de durabilidad, pero sin desportilladuras.

Fdur = 0,88-0,95; Fisuras importantes y algo de desportilladuras.

Fdur = 0,80-0,88; Gran extensión de fisuras y desportillamiento severo.

**Factor de ajuste por fatiga Ffat:**

Este factor considera un ajuste por daños de fatiga anteriores que pueden existir en la losa. Se lo determina observando la extensión de fisuras transversales (en pavimentos de H°S° o H°A° con juntas) o por punzonamientos (H°A° continuo) que pueden haber sido ocasionados preliminarmente por repetición de cargas.

Como guía se dan estos valores para el factor de ajuste Ffat:

0,97-1,00 Pocas fisuras transversales/existen sectores con punzonamiento (ninguna causada por problemas de durabilidad)

H°S° con juntas: < 5% de losas fisuradas

H°A° con juntas: < 15 de fisuras de trabajo, por Km

H°A° continuo: < 2.5 % de punzonados, por Km

0,94-0,96 Se presenta un número significativo de fisuras transversales/existen sectores con punzonamiento (ninguna causada por problemas de durabilidad)

H°S° con juntas: 5 – 15% de losas fisuradas

H°A° con juntas: 15 – 45% de fisuras de trabajo, por Km

H°A° continuo: 2,5 – 7,5% de punzonados, por Km

0,90-0,93 Muchas fisuras transversales/existen sectores con punzonamiento (ninguna causada por problemas de durabilidad)

H°S° con juntas: > 15% de losas fisuradas

H°A° con juntas: > 45% de fisuras de trabajo, por Km

H°A° continuo: > 7.5% de punzonados, por Km

### 3.5. Años previstos de serviciabilidad final

Debemos conocer el volumen de tránsito número de vehículos que pasan por una sección dada durante un período determinado.

Calculamos el promedio diario de tránsito (PDT o TPDA), divididos por tipo de camiones según la distribución de ejes, el volumen promedio de tránsito en veinticuatro (24) horas, obtenido al dividir el volumen total de un determinado período de tiempo, generalmente un (1) año, entre el número de días del mismo período.

Según la configuración de ejes calculamos los factores de equivalencia según la AASHTO para pavimentos rígidos y pavimentos flexibles.

Para cálculo del un número equivalente de ejes tipo (ESAL) - número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas o tránsito equivalente total acumulado, usamos la ecuación de diseño según la AASHTO.

Para iterar empleamos la capacidad estructural efectiva  $SC_{ef}$  en la variable D para el rígido y SN para flexible.

La variable del módulo elástico del hormigón ( $E_c$ ) y módulo de rotura del hormigón ( $S'_c$ ) se obtienen por laboratorio de las muestras extraídas en campo, en el caso de los pavimentos rígidos.

La iteración para el cálculo de años previstos de serviciabilidad final, la realizamos con el procedimiento simplificado.

### 3.5.1. Conversión de tránsito en ESALS - Procedimiento simplificado

Sirve para hacer una rápida estimación del número de ESALs. Este procedimiento se llama simplificado porque usa un factor de camión promedio en lugar de factores de camión para cada tipo de vehículo. El resultado no es muy exacto y se debería usar solo como una primera aproximación. La fórmula a usar es:

$$ESAL = PDTn * FC * Fe$$

Ecuación 3-11

Donde:

ESAL= un número equivalente de ejes tipo

PDTn= Proyección de Tránsito

FC= Factor Crecimiento Tránsito

#### **Factor Crecimiento Tránsito FC**

$$FC = \frac{[(1 + TC)^n - 1]}{TC}$$

Ecuación 3-12

Donde:

n= Período de Análisis (años)

TC= Tasa de Crecimiento

#### **Tasa de Crecimiento TC:**

Es el incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje. Se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolarlo la tendencia de los datos estadísticos.

#### **Período de Análisis n:**

Se entiende como tal el número de años seleccionado para la comparación de las diversas alternativas de diseño; puede comprender varios períodos de diseño (diseño por etapas). Generalmente es de veinte (20) años para vías troncales y autopistas, aún cuando actualmente se está considerando un período de hasta treinta (30) años para autopistas urbanas.

### 3.5.1.1. Factor de equivalencia

Un concepto desarrollado a partir de la información recolectada en el Ensayo Vial AASHTO fue el de factor de equivalencia, que determina el correspondiente daño proporcionado al pavimento a partir de la relación que existe entre el peso que ejerce el eje con una carga cualquiera y el eje patrón. Se encontró en dicho ensayo que el daño que hacen los ejes en el pavimento no es linealmente proporcional a la carga, sino que es exponencial, teniendo un comportamiento como el dado por la ecuación:

$$Fe = \left(\frac{Pi}{Pe}\right)^n$$

Ecuación 3-13

En donde:

Fe= Factor de equivalencia

Pi= Carga en el eje

Pe= Carga en el eje patrón

n= Exponente

### Factores de equivalencia según la AASHTO para pavimentos de concreto

Cuadro 3-9  
Cargas patrón y exponenciales para pavimeto rigido.

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Trídem
Carga patrón (KN)	60.00	81.81	132.14	184.00
Exponencial	4	4.5	4.2	4.3

*Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto- Instituto Colombiano de Productores de Cemento*

En el caso de que no se tengan suficientes y confiables datos de representación del tránsito actual y proyectado, se puede recurrir a la Cuadro 3-9, en el que se hace una aproximación ponderada de los valores para el exponencial “n”, dependiendo del tipo de eje, para un índice de servicio final de 2,5. Este valor es aplicable solo para los pavimentos de concreto.

### Factores de equivalencia según la AASHTO para pavimentos flexibles

Cuadro 3-10  
Cargas patrón y exponenciales para el para pavimento flexible.

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Tridem
Carga patrón (KN)	64.75	80.44	147.15	225.63
Exponencial	4	4	4	4

Fuente: Pavimentos – Ing. Hugo Alexander Rondón Quintana

Para el caso de pavimentos flexibles se emplea la denominada “leyes de la cuarta potencia”

### 3.5.1.2. Proyección de Tránsito (PDTn)

El volumen de tránsito para un año cualquiera se determina empleando la siguiente ecuación:

$$PDTn = PDT_o * DD * LD * 365$$

Ecuación 3-14

Donde:

PDT<sub>o</sub> = Volumen diario de vehículos para el año inicial del período considerado.

DD= Factor de distribución por dirección

LD= Factor de distribución por carril

#### Promedio Diario de Tránsito PDT o TPDA:

Volumen promedio de tránsito en veinticuatro (24) horas, obtenido al dividir el volumen total de un determinado período de tiempo, generalmente un (1) año, entre el número de días del mismo período.

#### Factor de distribución por dirección DD:

En general es 0.5, es decir que del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito.

Quizás es más importante la diferencia en peso entre los vehículos que van en una y otra dirección, como puede ser por la cercanía de una fábrica, una mina, un puerto, etc. En

carreteras que tienen una diferencia notable en las cargas de ida o vuelta también puede utilizarse el factor 0.6.

**Factor de distribución por carril LD:**

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso  $LD = 1$ . Para caminos multicarril, el carril de diseño es el más externo, dado que los camiones y, por lo tanto la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso LD puede variar entre 1 y 0.5 de acuerdo a esta tabla:

Cuadro 3-11  
Factor de distribución por carril

<b>Número de carriles en cada dirección</b>	<b>LD</b>
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

*Fuente: Diseño de pavimentos- Instituto boliviano del cemento y el hormigón*

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Definición de la red de pavimentos

En un sistema de administración de pavimentos, lo primero que se debe definir es la red de Pavimento que se desea evaluar. Una vez que la red o redes estén identificadas se debe definir los “tramos y secciones”. Un tramo está dividido en una o más secciones uniformes para ejecutar las funciones de administración. Las secciones se clasifican de acuerdo a su localización geográfica dentro de la red o de acuerdo a cualquier otro factor que se considere pertinente.

##### 4.1.1. Definición de tramo

Un tramo es una parte fácilmente identificable de la red de pavimento y cada tramo tiene características distintas. Por ejemplo, una calle individual o un lote de parqueo podría considerarse como un tramo separado dentro la red vial.

Cada tramo puede identificarse de dos maneras: (1) por descripción alfanumérica denominada “nombre del tramo” y (2) por un código alfanumérico llamado “número del tramo”. Los nombres de las calles son usados típicamente como nombres de tramo.

El número del tramo es un código único que es usado para ayudar a guardar y recuperar los datos de la base de datos. En la selección de código, la revisión de códigos existentes en la agencia es recomendada para asegurar la compatibilidad. También, algunos informes pueden listar el número del tramo y no el nombre del tramo. Por esta razón, abreviando el nombre del tramo como un número del tramo puede hacer el informe más fácil de leer. Por ejemplo, el nombre del tramo “calle verde” podría darse el número del tramo “verde”; semejante a una pista de aterrizaje 12-30 se daría el número “R1230”.

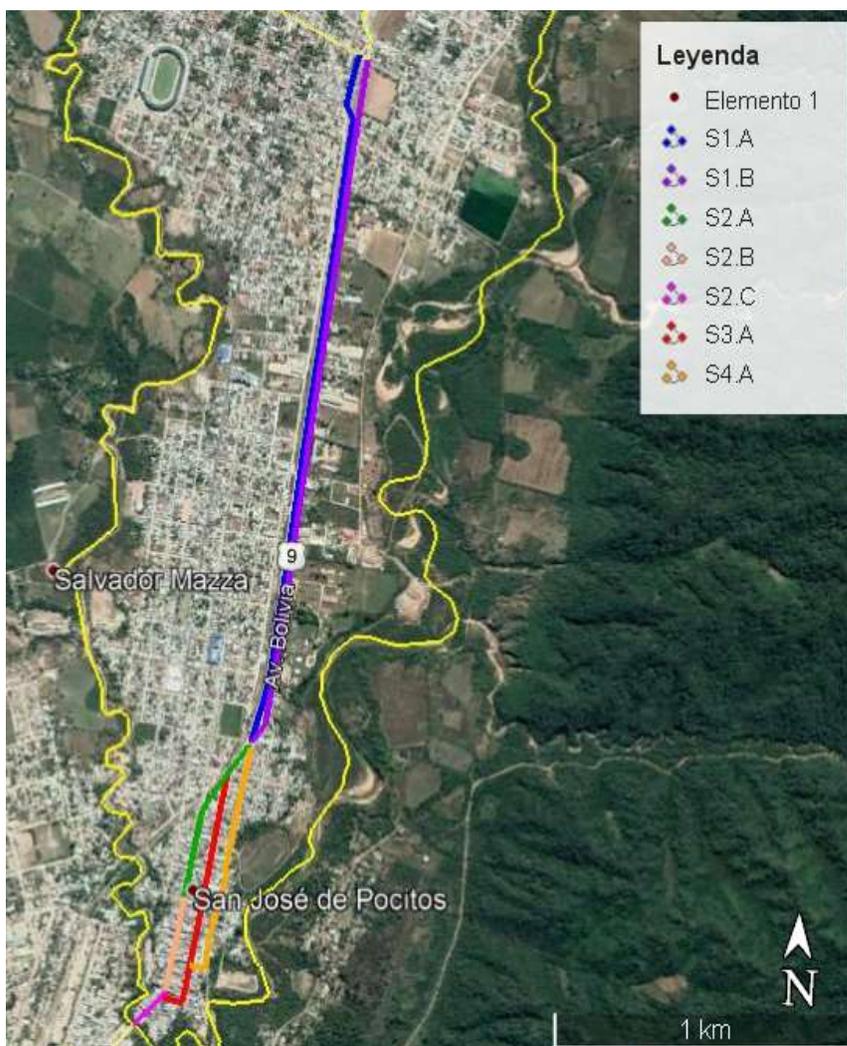
#### 4.1.2. Definición de sección

Los tramos son típicamente unidades grandes en la red de pavimento, lo que hace que no siempre tengan las mismas características a lo largo de toda su área o longitud. Por esta razón es que los tramos son divididos en pequeños componentes denominadas “secciones” para propósitos evaluativos. Una sección puede ser vista como una pequeña unidad administrativa cuando se considere la aplicación y la selección del tratamiento de mantenimiento y rehabilitación. Los factores que se consideran cuando se divide un tramo en secciones son: estructura del pavimento, tráfico, historia constructiva, categoría del pavimento (o clasificación funcional), facilidad de drenaje y hombreras, y su condición.

#### 4.2. Definición de red de estudio tramos - secciones

Tramo	Secciones	Longitud (Km)	Observación
1 Av. Bolivia	S1.A	2.405	Av. Bolivia salida
	S1.B	2.381	Av. Bolivia entrada
2 Av. Tarija	S2.A	0.588	Rígido nuevo
	S2.B	0.310	Flexible
	S2.C	0.141	Rígido viejo
3 C. Chuquisaca	S3.A	0.823	Entrada livianos
4 C. La Paz	S4.A	0.839	Salida livianos

Figura 4-1 Red vial de estudio.



Fuente: Google earth

Los resultados que se han obtenido son de un estudio del pavimentos rígido y flexible de los tramos: Av. Bolivia, como tramo principal y aledañas como las Av. Tarija, C. Chuquisaca, C. La Paz.

La obtención de muestras de núcleos fue respectivamente supervisadas, para luego ser sometidas rigurosamente a pruebas de laboratorios.

Los siguientes cuadros reflejan los resultados obtenidos.

### 4.3. Unidades de muestreo

Cuadro 4-1 Número de muestras por sección para inventario de fallas y PCI

Tramo	Secciones	Capa de rodadura	Longitud de sección	Ancho de calzada	Área total asfaltada	Número total de Losas	Unidad de muestreo - Asfáltica	Unidad de muestreo - Concreto	Número total de unidades de muestreo.	Error admisible en el estimativo del PCI.	Desviación estándar del PCI entre las unidades	Número mínimo de unidades de muestreo.	Intervalo de muestreo
			L Km	a m	ATS m <sup>2</sup>	NL und	UM m <sup>2</sup>	-	N -	e %	σ -	n -	i -
1	S1.A	Concreto	2.405	7.50		1082		20	54	5	15	22	2
	S1.B	Concreto	2.381	7.50		1068		20	53	5	15	22	2
2	S2.A	Concreto	0.588	8.00		272		20	14	5	15	11	1
	S2.B	Asfáltica	0.310	7.75		2402.5	232.5	10	5	10	7	1	
	S2.C	Concreto	0.141	8.00		62	20	3	5	15	3	1	
3	S3.A	Concreto	0.823	7.00		406		20	20	5	15	14	1
4	S4.A	Concreto	0.839	7.00		328		20	16	5	15	12	1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-2 Muestras seleccionadas

<b>Tramo</b>	<b>Secciones</b>	<b>Capa de rodadura</b>	<b>Comprobación de tolerancia</b>		<b>Distribución</b>
1	S1.A	Concreto	22	OK	LIII - 20 y I - 22
	S1.B	Concreto	28	OK	LII - 20 y I - 28
2	S2.A	Concreto	12	OK	XIII - 20 y I - 12
	S2.B	Asfáltica	310	OK	IX - 30m y I - 40m
	S2.C	Concreto	22	OK	II - 20 y I - 22
3	S3.A	Concreto	26	OK	XIX - 20 y I - 26
4	S4.A	Concreto	28	OK	XV - 20 y I - 28

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-3 Número de muestras para CRD

<b>Tramo:</b>		<b>Secciones:</b>	<b>Longitud</b>	<b>CV</b>	<b>M</b>	<b>TM</b>
			<b>Km</b>	<b>%</b>	<b>Puntos/Km - pista</b>	<b>Puntos - pista</b>
1	Av. Bolivia	S1.A	2.405	15	10	24
		S1.B	2.381	15	10	24
2	Av. Tarija	S2.A	0.588	15	10	6
		S2.B	0.310	15	10	3
		S2.C	0.141	15	10	1
3	C. Chuquisaca	S3.A	0.823	15	10	8
4	C. La Paz	S4.A	0.839	15	10	8

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-2 Puntos de extracción de muestra



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Antecedentes del paquete estructural

Cuadro 4-4 Antecedentes de las secciones en los tramos.

Tramo:	Av. Bolivia		Av. Tarija		C. Chuquisaca		C. La Paz	
	S1.A	S1.B	S2.A	S2.B	S2.C	S3.A	S4.A	
Sección:								
LL=	22	22	22	22	22			
IP=	0	0	0	0	0			
Clasificación=	A-4	A-4	A-4	A-4	A-4			
H Óptimo=	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%	5.6%			
Densidad máxima=	2168 gr/dm3							
CBR=	20%	20%	20%	20%	20%			
Espesor=	15 cm							
LL=	18	18	18	20	20	15	15	15
IP=	5	5	5	5	5	4	4	4
Clasificación=	A-1-a	A-1-a	A-1-b	A-1-a	A-1-a	A-1-b	A-1-b	A-1-b
H Óptimo=	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%	5.2%
Densidad máxima=	2235 gr/dm3	2235 gr/dm3	2235 gr/dm3	2235 gr/dm3				
CBR=	60%	60%	60%	60%	60%	80%	80%	80%
Espesor=	25 cm	15 cm	15 cm	15 cm				
resistencia a la flexión o Estabilidad =	4.50 MPa	4.50 MPa	4.50 MPa	1800.00 lb	4.50 MPa	4.50 MPa	4.50 MPa	3.51 MPa
Espesor=	23 cm	23 cm	23 cm	5 cm	23 cm	20 cm	20 cm	18 cm

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-5 Detalles técnicos

Tramo:	Av. Bolivia		Av. Tarija			C. Chuquisaca		C. La Paz	
	S1.A	S1.B	S2.A	S2.B	S2.C	S3.A	S4.A		
Sección:	22	22	6	3	2	8	8		
N° de cuadras:	2405	2381	588	310	141	823	839		
Longitud de tramo en estudio:	7.5	7.5	8	7.8	8	7	7		
Ancho de la calzada:	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Asfalto	Hormigón	Hormigón	Hormigón		
Pavimento:									
Año de construcción:	2006	2006	2009	2012	-	-	2006		
Vida útil:	20	20	20	20	20	20	20		
Años de servicio del pavimento:	12	12	9	6	-	-	12		
Pendiente longitudinal:	0.2%	0.2%	0.5%	0.02%	0.5%	0.3%	0.5%		
Pendiente transversal:	2.5%	2.5%	2.5%	2.0%	2.5%	2.5%	2.5%		
Espesor del pavimento:	23 cm	23 cm	23 cm	5 cm	23 cm	20 cm	18 cm		
Dimensiones de losas:	B=3.75 L=4.5	B=3.75 L=4.5	B=4 L=4.5	-	B=4 L=4.5	B=3.5 L=4	B=3.5 L=4		
Pasadores de juntas:	Ø 12	Ø 12	Ø 12	-	Ø 12	Ø 12	Ø 12		

Fuente: Elaboración Propia

## 4.5. Inventario de fallas

Cuadro 4-6 Inventario S1.A

Tramo:		<u>Av. Bolivia</u>		Prg. inicial:		<u>0+0</u>		
Sección:		<u>S1.A</u>		Prg. final:		<u>2+430.0</u>		
No. muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M2	0+45	0+90	20	7	0.65%	35.00%	22L,28L,37-,38M,39L,	1, 1, 1, 2, 2,
M4	0+135	0+180	20	3	0.28%	15.00%	38L,39M,	2, 1,
M5	0+180	0+225	20	9	0.83%	45.00%	22L,35L,38M,39L,	1, 2, 1, 5,
M6	0+225	0+270	20	7	0.65%	35.00%	38M,39L,	1, 6,
M7	0+270	0+315	20	4	0.37%	20.00%	38M,38H,	1, 3,
M8	0+315	0+360	20	4	0.37%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M10	0+405	0+450	20	2	0.18%	10.00%	32-,	2,
M12	0+495	0+540	20	4	0.37%	20.00%	32-,37-,39L,39M,	1, 1, 1, 1,
M14	0+585	0+630	20	4	0.37%	20.00%	27M,38L,39L,	2, 1, 1,
M16	0+675	0+720	20	6	0.55%	30.00%	22L,38L,39L,	1, 1, 4,
M18	0+765	0+810	20	8	0.74%	40.00%	28L,38L,39L,39M,	2, 2, 2, 2,
M20	0+855	0+900	20	9	0.83%	45.00%	25L,38L,39L,39M,	1, 3, 4, 1,
M22	0+945	0+990	20	13	1.20%	65.00%	22M,32-,38L,39L,	1, 1, 3, 8,
M24	1+035	1+080	20	9	0.83%	45.00%	25M,39L,39M,	2, 4, 3,
M25	1+080	1+125	20	4	0.37%	20.00%	28L,38H,39L,	1, 1, 2,
M26	1+125	1+170	20	4	0.37%	20.00%	28L,38L,39L,39M,	1, 1, 1, 1,
M27	1+170	1+215	20	4	0.37%	20.00%	38L,39L,39M,	2, 1, 1,
M28	1+215	1+260	20	4	0.37%	20.00%	28L,39L,	2, 2,
M30	1+305	1+350	20	2	0.18%	10.00%	38L,39L,	1, 1,
M32	1+395	1+440	20	4	0.37%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M34	1+485	1+530	20	2	0.18%	10.00%	38L,39L,	1, 1,
M38	1+665	1+710	20	2	0.18%	10.00%	39L,	2,
M40	1+755	1+800	20	4	0.37%	20.00%	27H,32-,39L,	2, 1,
M42	1+845	1+890	20	5	0.46%	25.00%	39L,39M,	4, 1,
M44	1+935	1+980	20	6	0.55%	30.00%	38L,39L,39M,	1, 4, 1,
M46	2+025	2+070	20	2	0.18%	10.00%	39L,	2,
<b>Total</b>			<b>1082</b>	<b>132</b>	<b>12.20%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-7 Inventario S1.B

Tramo: Av. Bolivia Prg. inicial: 0+0  
 Sección: S1.B Prg. final: 2+385.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+45	20	3	0.3%	15.00%	28L,38L,39L,	1, 1, 1,
M5	0+180	0+225	20	5	0.5%	25.00%	22L,28L,38L,39L,	1, 1, 2, 1,
M7	0+270	0+315	20	4	0.4%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M9	0+360	0+405	20	3	0.3%	15.00%	22L,38L,39L,	1, 1, 1,
M11	0+450	0+495	20	1	0.1%	5.00%	38L,	1,
M13	0+540	0+585	20	2	0.2%	10.00%	38L,39L,	1, 1,
M15	0+630	0+675	20	5	0.5%	25.00%	28L,39L,39M,	2, 1, 2,
M17	0+720	0+765	20	3	0.3%	15.00%	28L,39L,	2, 1,
M19	0+810	0+855	20	7	0.7%	35.00%	22L,38L,38M,39L,	2, 1, 1, 3,
M21	0+900	0+945	20	3	0.3%	15.00%	38L,	3,
M23	0+990	1+035	20	2	0.2%	10.00%	38L,	2,
M27	1+170	1+215	20	2	0.2%	10.00%	39L,	2,
M29	1+260	1+305	20	4	0.4%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M33	1+440	1+485	20	1	0.1%	5.00%	38L,	1,
M35	1+530	1+575	20	8	0.7%	40.00%	32-,38L,39L,	1, 3, 4,
M37	1+620	1+665	20	3	0.3%	15.00%	32-,38L,39L,	1, 1, 1,
M39	1+710	1+755	20	3	0.3%	15.00%	22L,39L,	1, 2,
M41	1+800	1+845	20	4	0.4%	20.00%	22L,39L,	1, 3,
M43	1+890	1+935	20	5	0.5%	25.00%	38L,39L,	1, 4,
<b>Total</b>			<b>1068</b>	<b>68</b>	<b>6.4%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-8 Inventario S2.A

Tramo: Av. Tarija Prg. inicial: 0+0  
 Sección: S2.A Prg. final: 0+612.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas Construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+45	20	13	4.78%	65.00%	22L,38L,39L,	1, 6, 6,
M2	0+45	0+90	20	20	7.35%	100.00%	28L,38L,39L,39M,	1, 6, 11, 2,
M3	0+90	0+135	20	5	1.84%	25.00%	38L,39L,39M,	1, 1, 3,
M4	0+135	0+180	20	4	1.47%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M6	0+225	0+270	20	8	2.94%	40.00%	31-,	8,
M8	0+315	0+360	20	3	1.10%	15.00%	39L,39M,	1, 2,
M9	0+360	0+405	20	3	1.10%	15.00%	39L,	3,
M10	0+405	0+450	20	2	0.74%	10.00%	25L,	2,
M11	0+450	0+495	20	5	1.84%	25.00%	39L,39M,	1, 4,
M12	0+495	0+540	20	4	1.47%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M13	0+540	0+585	20	2	0.74%	10.00%	39L,	2,
M14	0+585	0+612	12	1	0.37%	8.33%	39L,	1,
<b>Total</b>			<b>272</b>	<b>70</b>	<b>25.7%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-9 Inventario S2.B

Tramo: Av. Tarija

Prg. inicial:

0+0Sección: S2.B

Prg. final:

0+310.0

No. muestra	Abscisa		Área m2	Total área afectada	% Afectación por muestra	% Afectación por muestra - total	Patología - severidad	Áreas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+30	232.5	56.3	24.19%	2.34%	1M,7M,9M,13M,16M,16H,17M,	1.8, 8, 40, 1, 1.3, 3.75, 0.4,
M2	0+30	0+60	232.5	36.6	15.74%	1.52%	9M,9H,17M,	13, 14, 9.6,
M3	0+60	0+90	232.5	72.3	31.08%	3.01%	1M,1H,7H,9M,11H,15M,17L,17H,	4.8, 1.6, 15, 36, 7.7, 1.6, 0.55, 5,
M4	0+90	0+120	232.5	8.5	3.66%	0.35%	1L,9M,11M,	4, 4, 0.5,
M5	0+120	0+150	232.5	8	3.44%	0.33%	1L,9L,	4, 4,
M6	0+150	0+180	232.5	32.2	13.86%	1.34%	1L,1M,9L,9M,9H,15L,	3.9, 0.42, 13, 10, 4, 0.9,
M7	0+180	0+210	232.5	30.7	13.18%	1.28%	9M,9H,19L,	11, 19, 0.65,
M8	0+210	0+240	232.5	12.4	5.31%	0.51%	1M,1H,5H,9M,9H,13M,15M,19M,	2.2, 0.9, 2.7, 4, 1, 1, 0.3, 0.25,
M9	0+240	0+270	232.5	15.3	6.58%	0.64%	1L,1H,9M,11H,16H,19M,19H,	3, 0.3, 4, 3.2, 4, 0.24, 0.57,
M10	0+270	0+300	310.0	24.3	7.84%	1.01%	1M,1H,9M,11H,16H,19M,19H,	12, 0.3, 4, 3.2, 4, 0.24, 0.57,
<b>Total</b>			<b>2403</b>	<b>296.4</b>	<b>12.34%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-10 Inventario S2.C

Tramo: Av. Tarija Prg. inicial: 0+0  
 Sección: S2.C Prg. final: 0+140.0

No. Muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+45	20	21	33.87%	105.00%	22H,23H,28H,	1, 17, 3,
M2	0+45	0+90	20	17	27.42%	85.00%	22H,23H,28H,	1, 13, 3,
M3	0+90	0+140	22	21	33.87%	95.45%	22M,22H,23H,28H,	1, 3, 15, 2,
<b>Total</b>			<b>62</b>	<b>59</b>	<b>95.2%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-11 Inventario S3.A

Tramo: C. Chuquisaca Prg. inicial: 0+0  
 Sección: S3.A Prg. final: 0+812.0

No. Muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+40	20	1	0.25%	5.00%	38L,	1,
M2	0+40	0+80	20	4	0.99%	20.00%	38L,39L,39M,	1, 2, 1,
M3	0+80	0+120	20	5	1.23%	25.00%	38L,39L,	3, 2,
M4	0+120	0+160	20	5	1.23%	25.00%	38L,39L,	2, 3,
M5	0+160	0+200	20	5	1.23%	25.00%	38L,39L,	2, 3,
M6	0+200	0+240	20	3	0.74%	15.00%	38L,39L,	1, 2,
M7	0+240	0+280	20	4	0.99%	20.00%	39L,	4,
M8	0+280	0+320	20	14	3.45%	70.00%	38L,39L,39M,	6, 5, 3,
M9	0+320	0+360	20	6	1.48%	30.00%	27L,38L,39L,	2, 3, 1,
M10	0+360	0+400	20	17	4.19%	85.00%	27L,38L,39L,	10, 2, 5,
M11	0+400	0+440	20	4	0.99%	20.00%	38L,39L,	1, 3,
M12	0+440	0+480	20	3	0.74%	15.00%	38L,39L,	1, 2,
M13	0+480	0+520	20	7	1.72%	35.00%	38L,39L,39M,	1, 5, 1,
M14	0+520	0+560	20	4	0.99%	20.00%	39L,	4,
M15	0+560	0+600	20	2	0.49%	10.00%	39L,	2,
M16	0+600	0+640	20	3	0.74%	15.00%	39L,	3,
M17	0+640	0+680	20	3	0.74%	15.00%	38L,	3,
M18	0+680	0+720	20	2	0.49%	10.00%	39L,	2,
M19	0+720	0+760	20	4	0.99%	20.00%	38L,39L,	3, 1,
M20	0+760	0+812	26	8	1.97%	30.77%	38L,39L,39M,	2, 5, 1,
<b>Total</b>			<b>406</b>	<b>104</b>	<b>25.62%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-12 Inventario S4.A

Tramo: C. La Paz Prg. inicial: 0+0  
 Sección: S4.A Prg. final: 0+816.0

No. Muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	% Respecto al total de losas construidas	% Respecto al total de losas construidas en la muestra	Patología - severidad	N° de losas afectadas
	Desde	Hasta						
M1	0+0	0+40	20	4	1.22%	20.00%	22L,38L,39L,	1,2,1,
M2	0+40	0+80	20	2	0.61%	10.00%	38L,39L,	1,1,
M3	0+80	0+120	20	3	0.91%	15.00%	38L,39L,39M,	1,1,1,
M4	0+120	0+160	20	1	0.30%	5.00%	39L,	1,
M5	0+160	0+200	20	2	0.61%	10.00%	38L,39L,	1,1,
M6	0+200	0+240	20	6	1.83%	30.00%	38L,39L,	3,3,
M7	0+240	0+280	20	6	1.83%	30.00%	39L,39M,	5,1,
M8	0+280	0+336	20	7	2.13%	35.00%	22L,30L,32-,39L,	1,1,1,4,
M9	0+336	0+428	26	8	2.44%	30.77%	28L,28M,39L,	3,1,4,
M10	0+428	0+468	20	11	3.35%	55.00%	38L,39L,	2,9,
M11	0+468	0+508	20	6	1.83%	30.00%	29L,29M,38L,39L,	1,2,2,1,
M12	0+508	0+560	20	9	2.74%	45.00%	24L,25L,28M,29L,38L,39L,	1,2,1,1,1,3,
M13	0+560	0+640	20	22	6.71%	110.00%	22L,28L,28M,39L,39M,	1,9,7,4,1,
M14	0+640	0+720	20	2	0.61%	10.00%	36L,39L,	1,1,
M15	0+720	0+760	20	3	0.91%	15.00%	28L,	3,
M16	0+760	0+816	22	2	0.61%	9.09%	29L,	2,
<b>Total</b>			<b>328</b>	<b>94</b>	<b>28.66%</b>			

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3 Piel de cocodrilo - 1



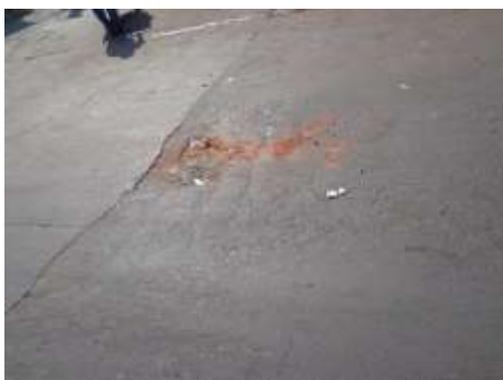
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-4 Corrugación - 5



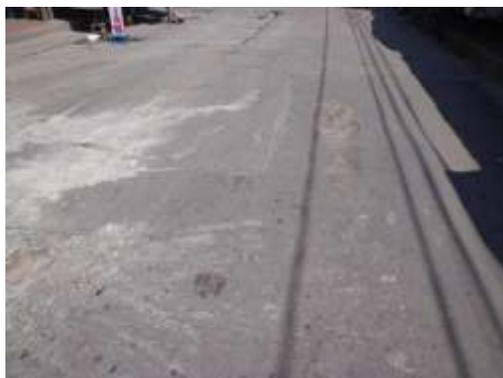
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-5 Grieta de borde - 7



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-7 Hueco - 13



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-6 Parcheo - 11



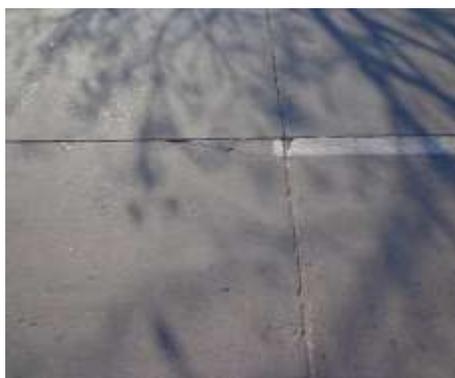
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-8 Desplazamiento - 16



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-9 Grieta de esquina - 22



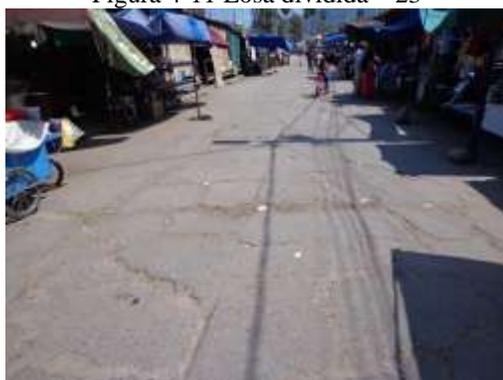
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-10 Desnivel de carril - 27



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-11 Losa dividida - 23



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-12 Escala - 25



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-13 Grieta lineal - 28



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-14 Parcheo - 29



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-15 Descaramiento de esquina - 38



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-16 Descaramiento de junta - 39



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-17 Pulimento - 31



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-18 Popouts - 32



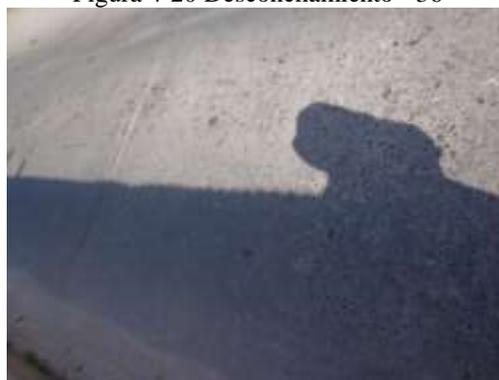
*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-19 Cruce de vías - 35



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-20 Desconchamiento - 36



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-21 Registro y toma de datos en campo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Índice de condición del pavimento

Cuadro 4-13 PCI S1.A

**Tramo:** Av. Bolivia  
**Sección:** S1.A

**Prg. inicial:** 0+0  
**Prg. final:** 2+430.0

	<b>U.M.</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>	<b>PCIs</b>	<b>Clasificación</b>
S1.A	2	90	Excelente	94	<b>Excelente</b>
	4	98	Excelente		
	6	93	Excelente		
	8	97	Excelente		
	10	100	Excelente		
	12	98	Excelente		
	14	94	Excelente		
	16	94	Excelente		
	18	90	Excelente		
	20	92	Excelente		
	22	87	Excelente		
	24	88	Excelente		
	26	95	Excelente		
	28	93	Excelente		
	30	99	Excelente		
	32	97	Excelente		
	34	99	Excelente		
	36	100	Excelente		
	38	98	Excelente		
	40	94	Excelente		
	42	95	Excelente		
	44	91	Excelente		
	46	99	Excelente		
	5	86	Excelente		
	7	89	Excelente		
	25	92	Excelente		
27	90	Excelente			

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-14 PCI S1.B

**Tramo:** Av. Bolivia  
**Sección:** S1.B

**Prg. inicial:** 0+0  
**Prg. final:** 2+385.0

	<b>U.M.</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación</b>	<b>PCIs</b>	<b>Clasificación</b>
<b>S1.B</b>	1	96	Excelente	97	<b>Excelente</b>
	3	100	Excelente		
	5	93	Excelente		
	7	97	Excelente		
	9	95	Excelente		
	11	100	Excelente		
	13	99	Excelente		
	15	92	Excelente		
	17	94	Excelente		
	19	89	Excelente		
	21	98	Excelente		
	23	99	Excelente		
	25	99	Excelente		
	27	99	Excelente		
	29	97	Excelente		
	31	100	Excelente		
	33	100	Excelente		
	35	94	Excelente		
	37	98	Excelente		
	39	94	Excelente		
41	94	Excelente			
43	96	Excelente			
45	100	Excelente			

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-15 PCI S2.A

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S2.A **Prg. final:** 0+612.0

	U.M.	PCI	Clasificación	PCIs	Clasificación
S2.A	1	90	Excelente	95	<b>Excelente</b>
	2	84	Muy bueno		
	3	93	Excelente		
	4	97	Excelente		
	5	100	Excelente		
	6	93	Excelente		
	7	100	Excelente		
	8	96	Excelente		
	9	97	Excelente		
	10	97	Excelente		
	11	91	Excelente		
	12	97	Excelente		
	13	98	Excelente		
	14	99	Excelente		

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-16 PCI S2.B

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. inicial:** 0+612.0  
**Sección:** S2.B **Prg. final:** 0+922.0

	U.M.	PCI	Clasificación	PCIs	Clasificación
S2.B	1	55	Regular	61	<b>Bueno</b>
	2	67	Bueno		
	3	25	Muy malo		
	4	81	Muy bueno		
	5	83	Muy bueno		
	6	75	Muy bueno		
	7	85	Muy bueno		
	8	42	Regular		
	9	55	Regular		
	10	39	Malo		

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-17 PCI S2.C

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. inicial:** 0+922.0  
**Sección:** S2.C **Prg. final:** 1+062.0

	U.M.	PCI	Clasificación	PCIs	Clasificación
S2.C	1	12	Muy malo	14	<b>Muy malo</b>
	2	16	Muy malo		
	3	15	Muy malo		

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-18 PCI S3.A

**Tramo:** C. Chuquisaca **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S3.A **Prg. final:** 0+812

	U.M.	PCI	Clasificación	PCIs	Clasificación
S3.A	1	100	Excelente	96	<b>Excelente</b>
	2	96	Excelente		
	3	97	Excelente		
	4	97	Excelente		
	5	97	Excelente		
	6	98	Excelente		
	7	96	Excelente		
	8	90	Excelente		
	9	97	Excelente		
	10	93	Excelente		
	11	97	Excelente		
	12	98	Excelente		
	13	94	Excelente		
	14	94	Excelente		
	15	97	Excelente		
	16	97	Excelente		
	17	98	Excelente		
	18	99	Excelente		
	19	98	Excelente		
	20	95	Excelente		

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-19 PCI S4.A

**Tramo:** C. La Paz **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S4.A **Prg. final:** 0+816

	U.M.	PCI	Clasificación	PCIs	Clasificación
S4.A	1	95	Excelente	93	<b>Excelente</b>
	2	99	Excelente		
	3	98	Excelente		
	4	99	Excelente		
	5	99	Excelente		
	6	96	Excelente		
	7	94	Excelente		
	8	93	Excelente		
	9	90	Excelente		
	10	91	Excelente		
	11	92	Excelente		
	12	89	Excelente		
	13	64	Bueno		
	14	98	Excelente		
	15	92	Excelente		
	16	98	Excelente		

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.6.1. Resumen del PCI

Cuadro 4-20 Resumen clasificación de PCI

Tramo	Secciones	PCI	Clasificación
1 Av. Bolivia	S1.A	94	Excelente
	S1.B	97	Excelente
2 Av. Tarija	S2.A	95	Excelente
	S2.B	61	Bueno
	S2.C	14	Muy malo
3 C. Chuquisaca	S3.A	96	Excelente
4 C. La Paz	S4.A	93	Excelente

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.7. Resistencia al desplazamiento

Cuadro 4-21 Clasificación CRD

Tramo		Secciones	Coefficiente de resistencia al deslizamiento (CRD)	Clasificación
1	Av. Bolivia	S1.A	0.68	Bueno
		S1.B	0.68	Bueno
2	Av. Tarija	S2.A	0.75	Bueno
		S2.B	0.59	De regular a bueno
		S2.C	0.91	Malo
3	C. Chuquisaca	S3.A	0.65	Bueno
4	C. La Paz	S4.A	0.62	Bueno

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-22 Medición en campo BPN



*Fuente: Elaboración propia*

## 4.8. Capacidad estructural

Cuadro 4-22 Capacidad estructural “SC” – S1.A

**Tramo:** Av. Bolivia      **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S1.A              **Prg. final:** 2+430.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
				SCo	SCef
	Desde	Hasta		D (mm)	Def (mm)
M2	0+45	0+90	20	220	<b>206.8</b>
M4	0+135	0+180	20	220	<b>188.2</b>
M5	0+180	0+225	20	220	<b>209.0</b>
M6	0+225	0+270	20	220	<b>211.2</b>
M7	0+270	0+315	20	220	<b>204.2</b>
M8	0+315	0+360	20	220	<b>211.2</b>
M12	0+495	0+540	20	220	<b>198.1</b>
M14	0+585	0+630	20	220	<b>211.2</b>
M16	0+675	0+720	20	220	<b>209.0</b>
M18	0+765	0+810	20	220	<b>172.8</b>
M20	0+855	0+900	20	220	<b>186.2</b>
M22	0+945	0+990	20	220	<b>204.2</b>
M24	1+035	1+080	20	220	<b>164.7</b>
M25	1+080	1+125	20	220	<b>211.2</b>
M26	1+125	1+170	20	220	<b>190.2</b>
M27	1+170	1+215	20	220	<b>188.2</b>
M30	1+305	1+350	20	220	<b>211.2</b>
M32	1+395	1+440	20	220	<b>211.2</b>
M34	1+485	1+530	20	220	<b>211.2</b>
M42	1+845	1+890	20	220	<b>198.1</b>
M44	1+935	1+980	20	220	<b>190.2</b>
M46	2+025	2+070	20	220	<b>220.0</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>1082</b>		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-23 Capacidad estructural “SC” – S1.B

**Tramo:** Av. Bolivia      **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S1.B              **Prg. final:** 2+385.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
	Desde	Hasta		SCo	SCef
				D (mm)	Def (mm)
M1	0+0	0+45	20	220	<b>211.2</b>
M5	0+180	0+225	20	220	<b>206.8</b>
M7	0+270	0+315	20	220	<b>211.2</b>
M9	0+360	0+405	20	220	<b>209</b>
M11	0+450	0+495	20	220	<b>211.2</b>
M13	0+540	0+585	20	220	<b>211.2</b>
M15	0+630	0+675	20	220	<b>181.9</b>
M17	0+720	0+765	20	220	<b>220.0</b>
M19	0+810	0+855	20	220	<b>204.2</b>
M21	0+900	0+945	20	220	<b>206.8</b>
M23	0+990	1+035	20	220	<b>209.0</b>
M27	1+170	1+215	20	220	<b>220.0</b>
M29	1+260	1+305	20	220	<b>211.2</b>
M33	1+440	1+485	20	220	<b>211.2</b>
M35	1+530	1+575	20	220	<b>206.8</b>
M37	1+620	1+665	20	220	<b>211.2</b>
M39	1+710	1+755	20	220	<b>211.2</b>
M41	1+800	1+845	20	220	<b>211.2</b>
M43	1+890	1+935	20	220	<b>211.2</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>1068</b>		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-24 Capacidad estructural “SC” – S2.A

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S2.A **Prg. final:** 0+612.0

No. muestra	Abscisa		No. Losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
				SCo	SCef
	Desde	Hasta		D (mm)	Def (mm)
M1	0+0	0+45	20	220	<b>203.1</b>
M2	0+45	0+90	20	220	<b>168.2</b>
M3	0+90	0+135	20	220	<b>158.1</b>
M4	0+135	0+180	20	220	<b>211.2</b>
M5	0+180	0+225	20	220	<b>220.0</b>
M6	0+225	0+270	20	220	<b>220.0</b>
M7	0+270	0+315	20	220	<b>220.0</b>
M8	0+315	0+360	20	220	<b>181.9</b>
M9	0+360	0+405	20	220	<b>220.0</b>
M10	0+405	0+450	20	220	<b>220.0</b>
M11	0+450	0+495	20	220	<b>148.3</b>
M12	0+495	0+540	20	220	<b>211.2</b>
M13	0+540	0+585	20	220	<b>220.0</b>
M14	0+585	0+612	12	220	<b>220.0</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>272</b>		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-25 Capacidad estructural “SC” – S2.B

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. inicial:** 0+612.0  
**Sección:** S2.B **Prg. final:** 1+047.0

No. muestra	Abscisa		Área m <sup>2</sup>	Capacidad estructural efectivo
	Desde	Hasta		SCef
				SNef (mm)
1	0+0	0+30	232.5	<b>55.92</b>
2	0+30	0+75	232.5	<b>55.92</b>
3	0+75	0+120	232.5	<b>55.92</b>
4	0+120	0+165	232.5	<b>55.92</b>
5	0+165	0+210	232.5	<b>55.92</b>
6	0+210	0+255	232.5	<b>55.92</b>
7	0+255	0+300	232.5	<b>59.67</b>
8	0+300	0+345	232.5	<b>55.92</b>
9	0+345	0+390	232.5	<b>32.05</b>
10	0+390	0+435	310.0	<b>32.05</b>
<b>Área total inspeccionada (m<sup>2</sup>)</b>			<b>2402.5</b>	

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-26 Capacidad estructural “SC” – S2.C

**Tramo:** Av. Tarija      **Prg. inicial:** 1+047.0  
**Sección:** S2.C      **Prg. final:** 1+187.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
				SCo	SCef
	Desde	Hasta		D (mm)	Def (mm)
M1	0+0	0+45	20	220	<b>148.8</b>
M2	0+45	0+90	20	220	<b>150.0</b>
M3	0+90	0+140	22	220	<b>167.2</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>62</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-27 Capacidad estructural “SC” – S3.A

**Tramo:** C. Chuquisaca **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S3.A **Prg. final:** 0+902.0

No. muestra	Abscisa		No. losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
				SCo	SCef
	Desde	Hasta		D (mm)	Def (mm)
M1	0+0	0+40	20	200	<b>192.0</b>
M2	0+40	0+85	20	200	<b>170.8</b>
M3	0+85	0+130	20	200	<b>188.0</b>
M4	0+130	0+175	20	200	<b>190.0</b>
M5	0+175	0+220	20	200	<b>190.0</b>
M6	0+220	0+265	20	200	<b>192.0</b>
M7	0+265	0+310	20	200	<b>200.0</b>
M8	0+310	0+355	20	200	<b>132.9</b>
M9	0+355	0+400	20	200	<b>188.0</b>
M10	0+400	0+445	20	200	<b>190.0</b>
M11	0+445	0+490	20	200	<b>192.0</b>
M12	0+490	0+535	20	200	<b>192.0</b>
M13	0+535	0+580	20	200	<b>170.8</b>
M14	0+580	0+625	20	200	<b>200.0</b>
M15	0+625	0+670	20	200	<b>200.0</b>
M16	0+670	0+715	20	200	<b>200.0</b>
M17	0+715	0+760	20	200	<b>188.0</b>
M18	0+760	0+805	20	200	<b>200.0</b>
M19	0+805	0+850	20	200	<b>188.0</b>
M20	0+850	0+902	26	200	<b>174.2</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>406</b>		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-28 Capacidad estructural “SC” – S4.A

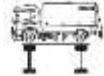
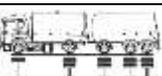
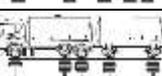
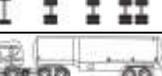
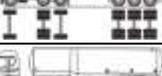
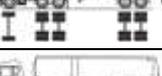
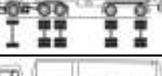
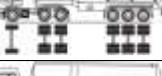
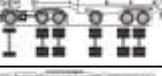
**Tramo:** C. La Paz      **Prg. inicial:** 0+0  
**Sección:** S4.A      **Prg. final:** 0+816.0

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Capacidad estructural inicial	Capacidad estructural efectivo
				SC <sub>o</sub>	SC <sub>ef</sub>
	Desde	Hasta		D (mm)	Def (mm)
M1	0+0	0+40	20	175	<b>164.5</b>
M2	0+40	0+80	20	175	<b>168.0</b>
M3	0+80	0+120	20	175	<b>149.4</b>
M4	0+120	0+160	20	175	<b>175.0</b>
M5	0+160	0+200	20	175	<b>168.0</b>
M6	0+200	0+240	20	175	<b>164.5</b>
M7	0+240	0+280	20	175	<b>155.7</b>
M8	0+280	0+336	20	175	<b>168.0</b>
M9	0+336	0+428	26	175	<b>165.8</b>
M10	0+428	0+468	20	175	<b>166.3</b>
M11	0+468	0+508	20	175	<b>134.5</b>
M12	0+508	0+560	20	175	<b>149.5</b>
M13	0+560	0+640	20	175	<b>107.2</b>
M14	0+640	0+720	20	175	<b>175.0</b>
M15	0+720	0+760	20	175	<b>175.0</b>
M16	0+760	0+816	22	175	<b>175.0</b>
<b>Losas totales inspeccionadas</b>			<b>328</b>		

Fuente: Elaboración propia

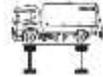
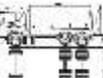
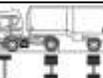
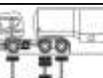
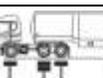
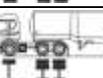
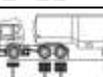
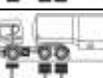
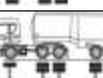
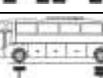
## 4.9. Volumen de tráfico TPDA

Cuadro 4-29 TPDA tramo 1

Avenida Bolivia				
N°	Descripción gráfica de los vehículos	N° de ejes/ llantas	S1.A	S1.B
			Volumen de tráfico (salida) (vehículo / día)	Volumen de tráfico (entrada) (vehículo / día)
1		1RS-1RS	6	5
3		1RS-1RD	7	11
19		1RS-1RD 1RD-1RD	3	0
23		1RS-2RD 1RD-1RD	0	1
38		1RS-1RD 2RD	2	1
41		1RS-1RD 3RD	5	2
42		1RS-1RD 1RD-2RD	55	10
43		1RS- 1RD1RS 2RD	1	0
46		1RS- 1RD1RS 3RD	1	0
48		1RS-2RD 2RD	6	1
49		1RS-2RD 1RD-1RD	14	2
51		1RS-2RD 3RD	6	1
52		1RS-2RD 1RD-2RD	2	1
60		1RS-2RD	2	4
	Autos, miniBan, vagonetas	1RS - 1RS	1864	1716
	Micros	1RS - 1RD	91	93

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-30 TPDA tramo 2

Avenida Tarija					
N°	Descripción gráfica de los vehículos	N° de ejes/ llantas	S2.A	S2.B	S2.C
			Volumen de tráfico total (vehículo / día)	Volumen de tráfico total (vehículo / día)	Volumen de tráfico total (vehículo / día)
1		1RS-1RS	3	3	3
3		1RS-1RD	17	17	17
19		1RS-1RD 1RD-1RD	3	3	3
23		1RS-2RD 1RD-1RD	1	1	1
38		1RS-1RD 2RD	3	3	3
41		1RS-1RD 3RD	7	7	7
42		1RS-1RD 1RD-2RD	65	65	65
43		1RS- 1RD1RS 2RD	1	1	1
46		1RS- 1RD1RS 3RD	1	1	1
48		1RS-2RD 2RD	7	7	7
49		1RS-2RD 1RD-1RD	16	16	16
51		1RS-2RD 3RD	7	7	7
52		1RS-2RD 1RD-2RD	3	3	3
60		1RS-2RD	6	6	6
	Autos, miniBan, vagonetas	1RS - 1RS	1331	1331	1331
	Micros	1RS - 1RD	91	91	91

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-31 TPDA tramo 3

<b>Calle Chuquisaca</b>			
<b>N°</b>	<b>Descripción gráfica de los vehículos</b>	<b>N° de ejes/ llantas</b>	<b>S3.A</b>
			<b>Volumen de tráfico total (vehículo / día)</b>
<b>1</b>		<b>1RS-1RS</b>	4
<b>3</b>		<b>1RS-1RD</b>	2
	Autos, miniBan, vagonetas	<b>1RS - 1RS</b>	415
	Micros	<b>1RS - 1RD</b>	2

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-32 TPDA tramo 4

<b>Calle La Paz</b>			
<b>N°</b>	<b>Descripción gráfica de los vehículos</b>	<b>N° de ejes/ llantas</b>	<b>S3.A</b>
			<b>Volumen de tráfico total (vehículo / día)</b>
<b>1</b>		<b>1RS-1RS</b>	6
<b>3</b>		<b>1RS-1RD</b>	1
	Autos, miniBan, vagonetas	<b>1RS - 1RS</b>	1846
	Micros	<b>1RS - 1RD</b>	91

*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-23 Extracción de núcleo pavimento rígido



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-24 Toma de núcleo



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-25 Extracción de núcleo pavimento flexible



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 4-26 Reposición de núcleo



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.10. Operaciones de reparación para tipos de fallas existentes

Cuadro 4-33 Muestras que necesitan reparación.

**Tramo:** Av. Bolivia      **Prg. Inicial:** 0+0  
**Sección:** S1.A      **Prg. Final:** 2+430

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Total losas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M2	0+45	0+90	20	7	38M	2	_Parcheo parcial.
M4	0+135	0+180	20	3	39M	1	_Parcheo parcial.
M5	0+180	0+225	20	9	38M	1	_Parcheo parcial.
M6	0+225	0+270	20	7	38M	1	_Parcheo parcial.
M7	0+270	0+315	20	4	38M 38H	1 3	_Parcheo parcial. _Parcheo parcial.
M12	0+495	0+540	20	4	39M	1	_Parcheo parcial.
M14	0+585	0+630	20	4	27M	2	_Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.
M18	0+765	0+810	20	8	39M	2	_Parcheo parcial.
M20	0+855	0+900	20	9	39M	2	_Parcheo parcial.
M22	0+945	0+990	20	13	22M	1	_Sellado de grietas. Parcheo profundo.
M24	1+035	1+080	20	9	25M 39M	2 3	_Fresado. _Parcheo parcial.
M25	1+080	1+125	20	4	38H	1	_Parcheo parcial.
M26	1+125	1+170	20	4	39M	1	_Parcheo parcial.
M27	1+170	1+215	20	4	39M	1	_Parcheo parcial.
M40	1+755	1+800	20	4	27H	1	_Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.
M42	1+845	1+890	20	5	39M	1	_Parcheo parcial.
M44	1+935	1+980	20	6	39M	1	_Parcheo parcial.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-34 Muestras que necesitan reparación.

**Tramo:** Av. Bolivia **Prg. Inicial:** 0+0  
**Sección:** S1.B **Prg. Final:** 2+385

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Total losas Afectadas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M15	0+630	0+675	20	5	39M	2	_Parcheo parcial.
M19	0+810	0+855	20	7	38M	1	_Parcheo parcial.

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-35 Muestras que necesitan reparación.

**Tramo:** Av. Tarija **Prg. Inicial:** 0+0  
**Sección:** S2.A **Prg. Final:** 0+612

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Total losas afectadas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M2	0+45	0+90	20	20	39M	2	_Parcheo parcial.
M3	0+90	0+135	20	5	39M	3	_Parcheo parcial.
M6	0+225	0+270	20	8	31-	8	_Ranurado de la superficie. Sobrecarpeta.
M8	0+315	0+360	20	3	39M	2	_Parcheo parcial.
M11	0+450	0+495	20	5	39M	4	_Parcheo parcial.

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-36 Muestras que necesitan reparación.

Tramo: Av. Tarija

Prg. Inicial:

0+0Sección: S2.B

Prg. Final:

0+310

No. Muestra	Abscisa		Área m <sup>2</sup>	Total área afectada	Patología - severidad	Áreas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M1	0+0	0+30	232.5	56	7M 9M 13M 16M 16H 17M	8 40 1 1.3 3.75 0.4	_Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Parcheo parcial o profundo. _Fresado. Parcheo parcial o profundo. _Fresado. Parcheo parcial o profundo. _Parcheo parcial.
M2	0+30	0+60	232.5	37	9M 9H 17M	13 14 9.6	_Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Parcheo parcial.
M3	0+60	0+90	232.5	72	1M 1H 7H 9M 11H 15M 17H	4.8 1.6 15 36 7.7 1.6 5	_Parcheo parcial o en toda la profundidad. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. _Reconstrucción. _Parcheo parcial – profundo. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Sustitución del parche. _Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta. _Parcheo parcial.
M4	0+90	0+120	232.5	8.5	9M	4	_Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.
M5	0+120	0+150	232.5	8	9L	M4	_Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.
M6	0+150	0+180	232.5	32	1M 9L 9M 9H	0.42 13 10 4	_Parcheo parcial o en toda la profundidad. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.
M7	0+180	0+210	232.5	31	9M 9H	11 19	_Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

							_Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.
M8	0+210	0+240	232.5	12	1M 1H 5H 9M 9H 13M 15M 19M	2.2 0.9 2.7 4 1 1 0.3 0.25	_Parcheo parcial o en toda la profundidad. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Parcheo parcial o profundo. _Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta. _Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.
M9	0+240	0+270	232.5	15	1H 9M 11H 16H 19M 19H	0.3 4 3.2 4 0.24 0.57	_Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Sustitución del parche. _Fresado. Parcheo parcial o profundo. _Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. _Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.
M10	0+270	0+300	310	24	1M 1H 9M 11H 16H 19M 19H	12 0.3 4 3.2 4 0.24 0.57	_Parcheo parcial o en toda la profundidad. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción. _Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril. _Sustitución del parche. _Fresado. Parcheo parcial o profundo. _Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. _Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4-37 Muestras que necesitan reparación.

Tramo: Av. TarijaPrg. Inicial: 0+0Sección: S2.CPrg. Final: 0+140

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Total losas afectadas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M1	0+0	0+45	20	<b>21</b>	22H, 23H, 28H,	1 17 3	_Parcheo profundo. _Reemplazo de la losa. _Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.
M2	0+45	0+90	20	<b>17</b>	22H, 23H, 28H,	1 13 3	_Parcheo profundo. _Reemplazo de la losa. _Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.
M3	0+90	0+140	22	<b>21</b>	22M, 22H, 23H, 28H,	1 3 15 2	_Sellado de grietas. Parcheo profundo. _Parcheo profundo. _Reemplazo de la losa. _Sellado de grietas. Parcheo profundo. Reemplazo de la losa.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4-38 Muestras que necesitan reparación.

**Tramo:** C. Chuquisaca      **Prg. Inicial:** 0+0  
**Sección:** S3.A                      **Prg. Final:** 0+812

No. Muestra	Abscisa		No. losas	Total losas afectadas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M2	0+40	0+80	20	4	39M	1	_Parcheo parcial.
M8	0+280	0+320	20	14	39M	3	_Parcheo parcial.
M9	0+320	0+360	20	6	27L	2	_Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.
M10	0+360	0+400	20	17	27L	10	_Renivelación y llenado de bermas para coincidir con el nivel del carril.
M13	0+480	0+520	20	7	39M	1	_Parcheo parcial.
M20	0+760	0+812	26	8	39M	1	_Parcheo parcial.

*Fuente: Elaboración propia*

Cuadro 4-39 Muestras que necesitan reparación.

**Tramo:** C. La Paz **Prg. Inicial:** 0+0  
**Sección:** S4.A **Prg. Final:** 0+816

No. Muestra	Abscisa		No. Losas	Total losas afectadas	Patología - severidad	N° de losas afectadas	Operaciones de reparación
	Desde	Hasta					
M3	0+80	0+120	20	3	39M	1	_Parqueo parcial.
M7	0+240	0+280	20	6	39M	1	_Parqueo parcial.
M9	0+336	0+428	26	8	28M	1	_Sellado de grietas.
M11	0+468	0+508	20	6	29M	2	_Sellado de grietas. Reemplazo del parche.
M12	0+508	0+560	20	9	28M	1	_Sellado de grietas.
M13	0+560	0+640	20	22	28M 39M	7 1	_Sellado de grietas. _Parqueo parcial.

*Fuente: Elaboración propia*

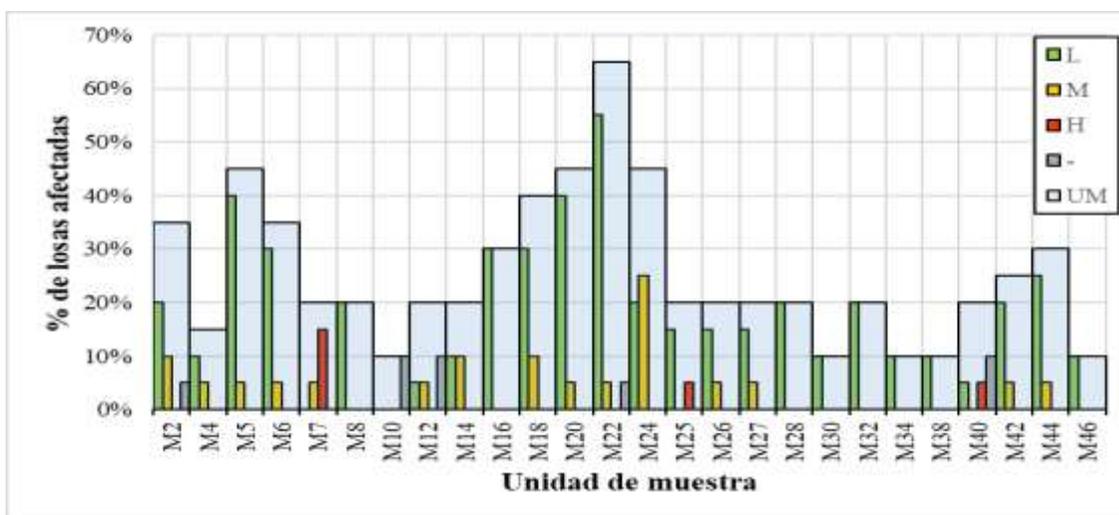
## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

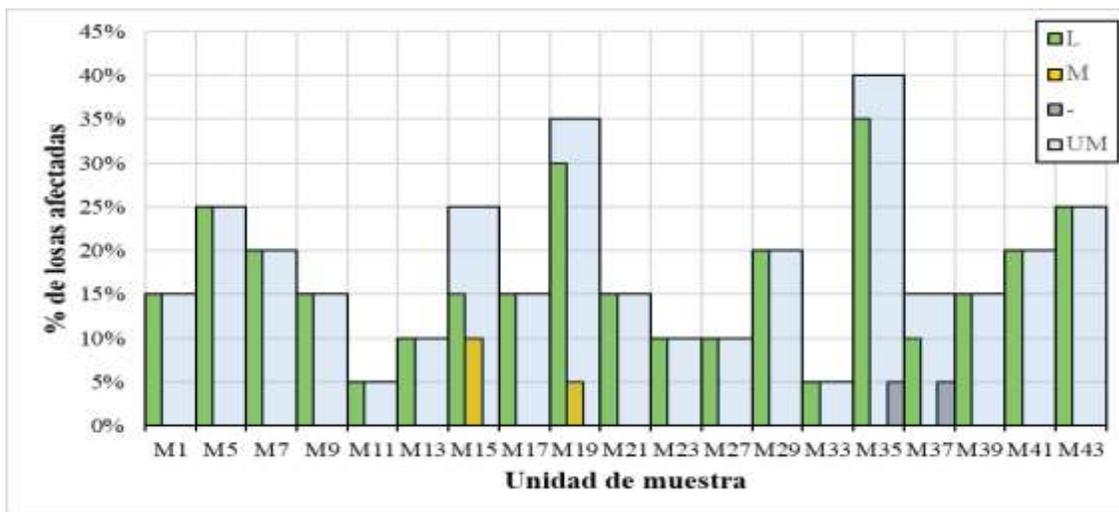
- La red seleccionada presenta diferentes características en material de capa de rodadura, espesor, año de construcción por lo que se dividió en tramos y evaluó por secciones.
- Las muestras en las diferentes secciones presentan daños desde leves (L), medios (M) y severos (H) existiendo muestras puntuales con gran daño:

Figura 5-1 Daños por unidad de muestra S1.A



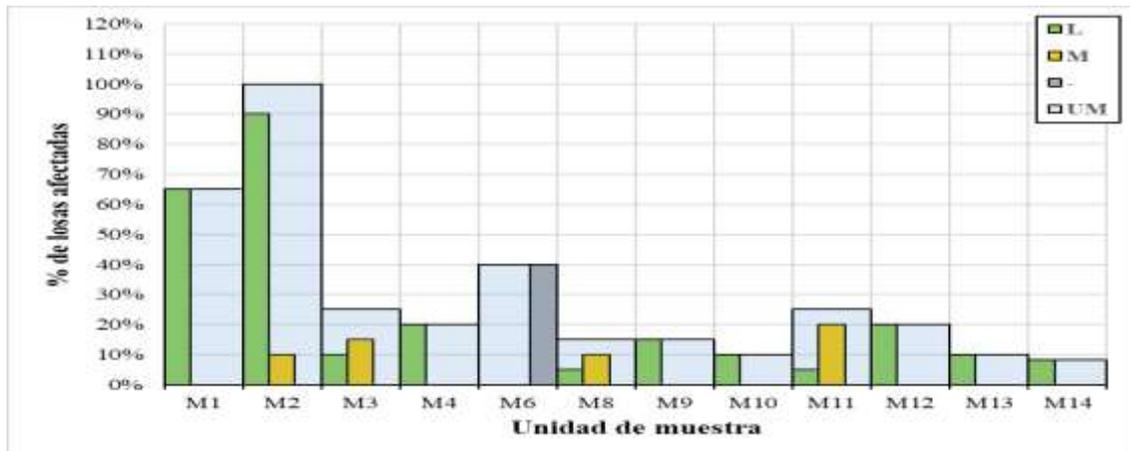
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2 Daños por unidad de muestra S1.B



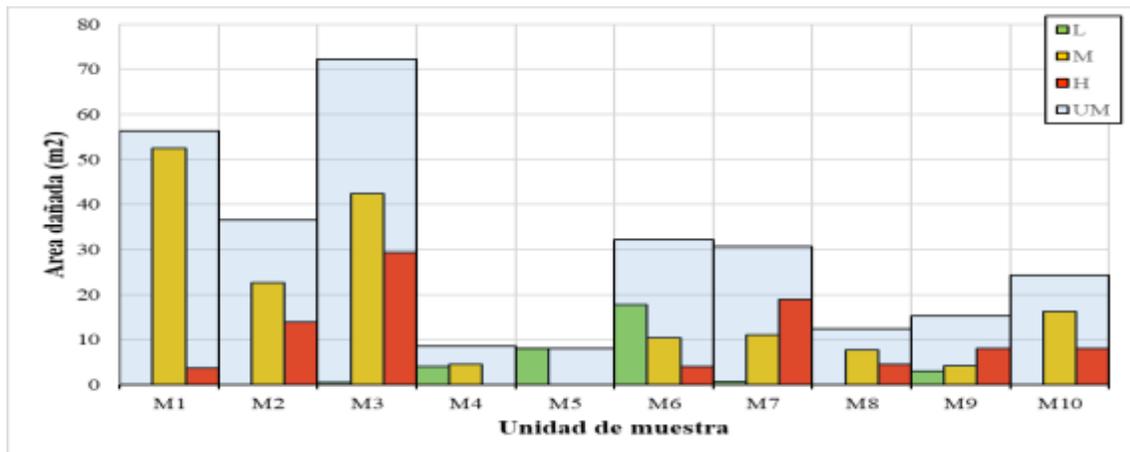
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-3 Daños por unidad de muestra S2.A



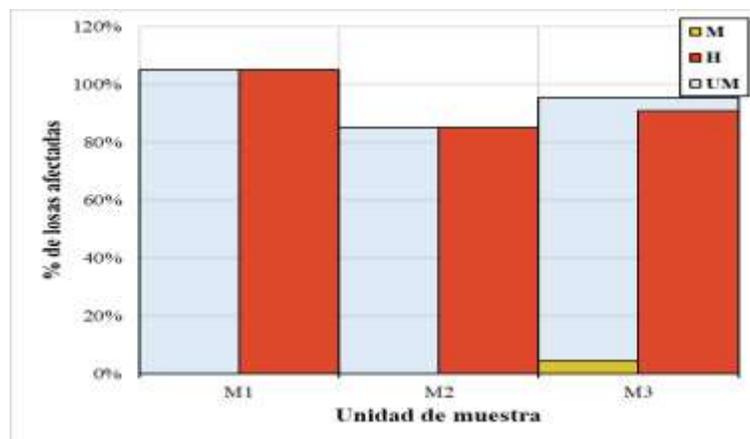
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-4 Daños por unidad de muestra S2.B



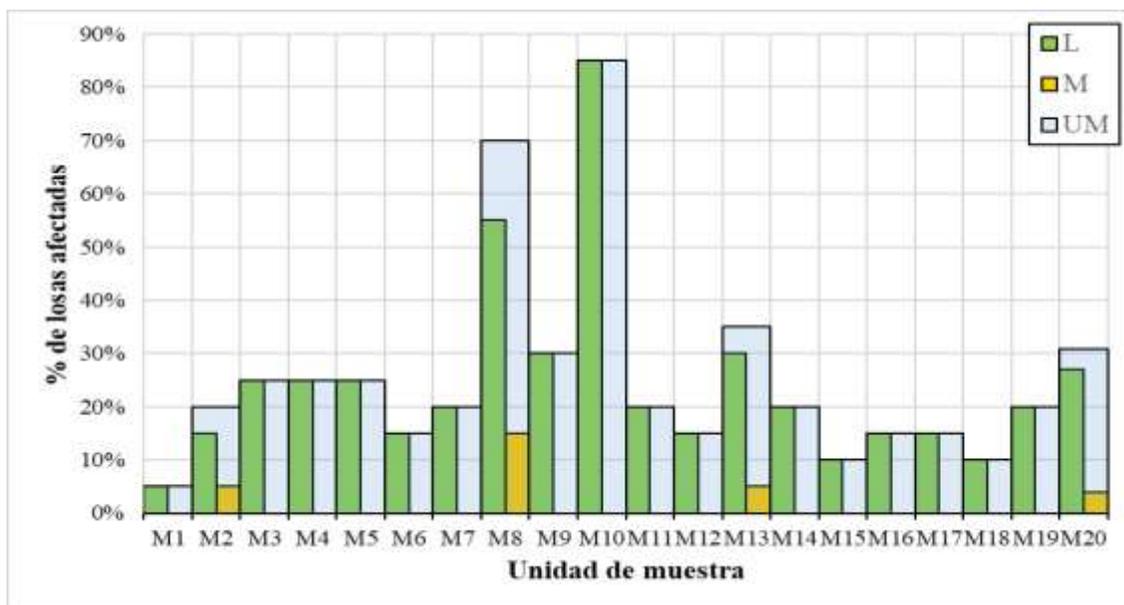
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-5 Daños por unidad de muestra S2.C



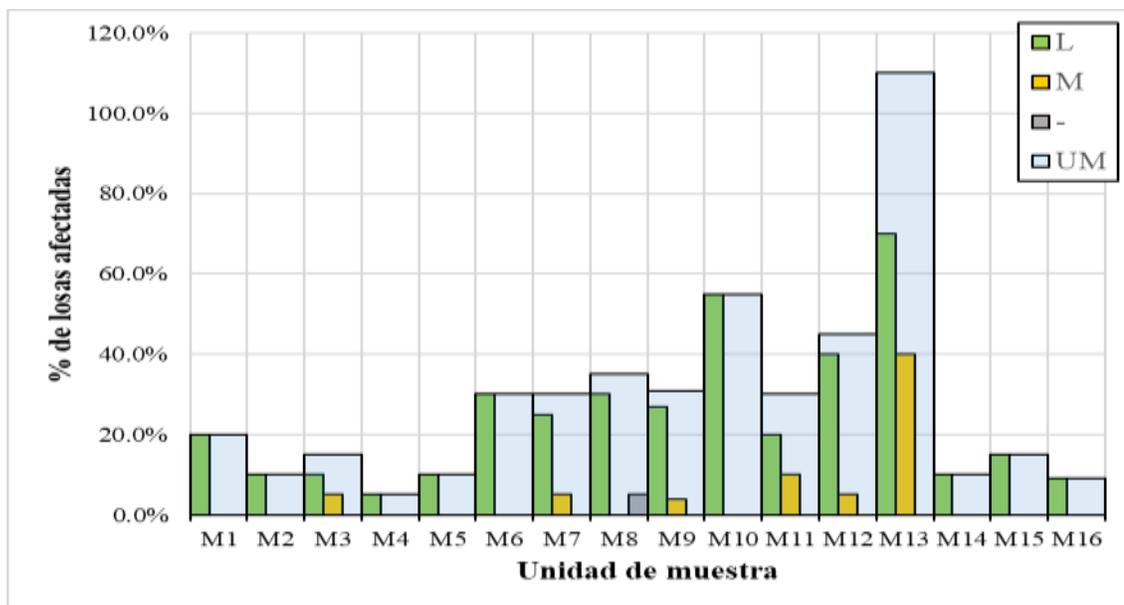
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-6 Daños por unidad de muestra S3.A



Fuente: Elaboración propia

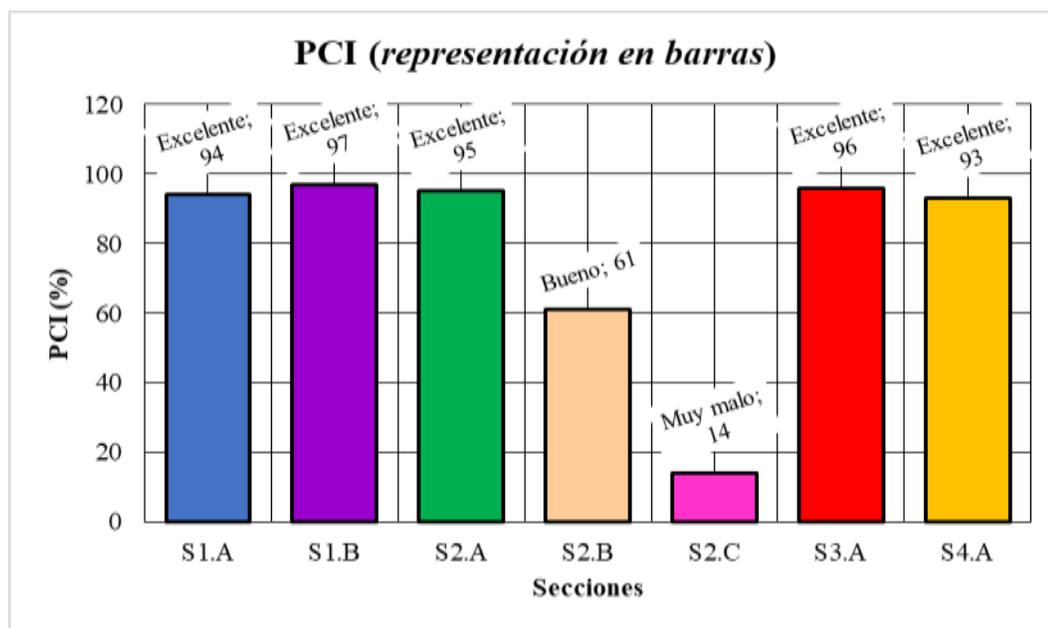
Figura 5-7 Daños por unidad de muestra S4.A



Fuente: Elaboración propia

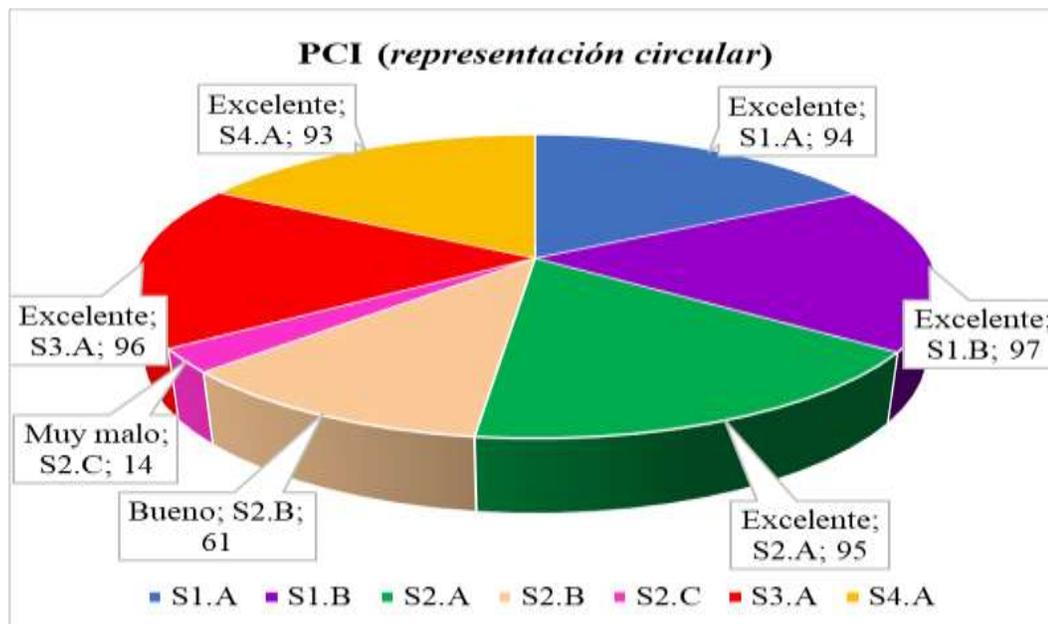
- Para Evaluación de deterioro de pavimentos mediante el índice de condición pavimento obtenemos una condición de 14 muy malo en la sección más crítica y 97 excelente en la seccion más favorable.

Figura 5-8 Resumen de PCI



Fuente: Elaboración propia

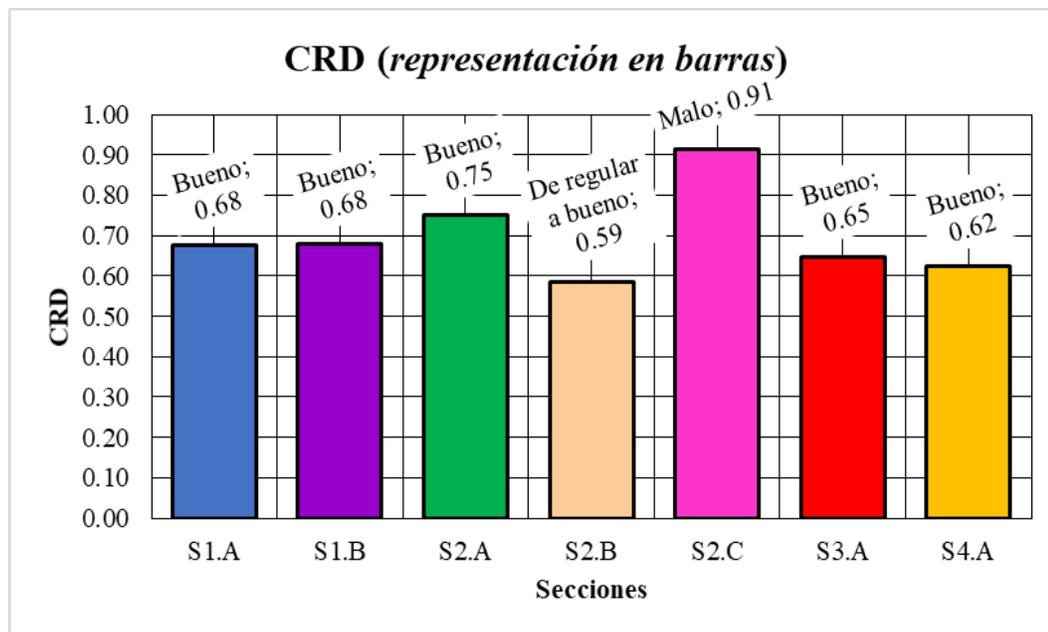
Figura 5-9 Distribución PCI



Fuente: Elaboración propia

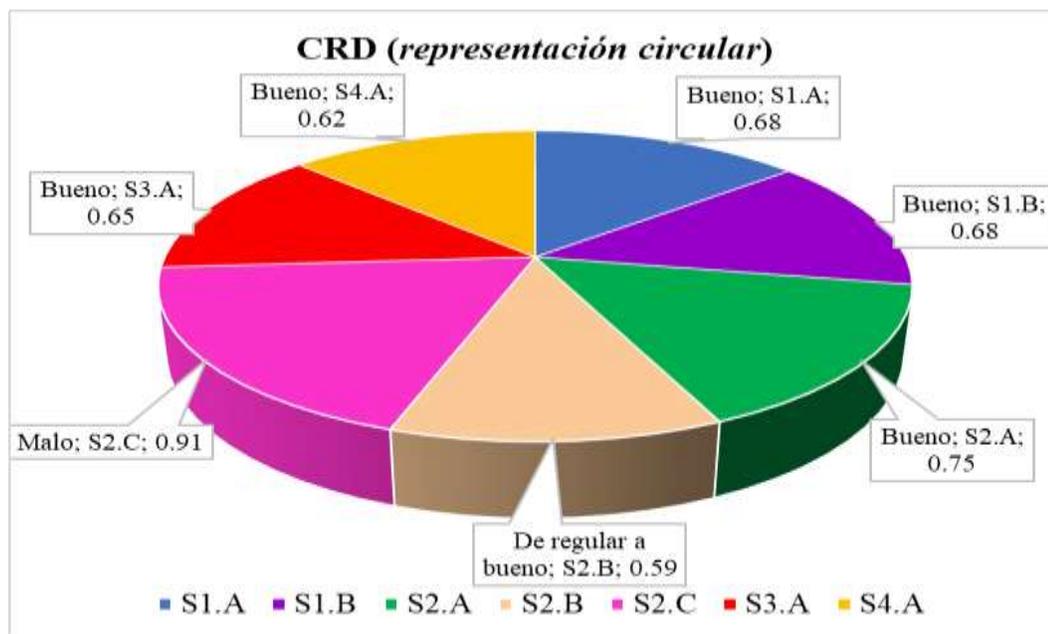
- Para Evaluación superficial de pavimentos el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) de 0.91 - malo a 0.59 regular a bueno en las secciones.

Figura 5-10 Resumen CRD



Fuente: Elaboración propia

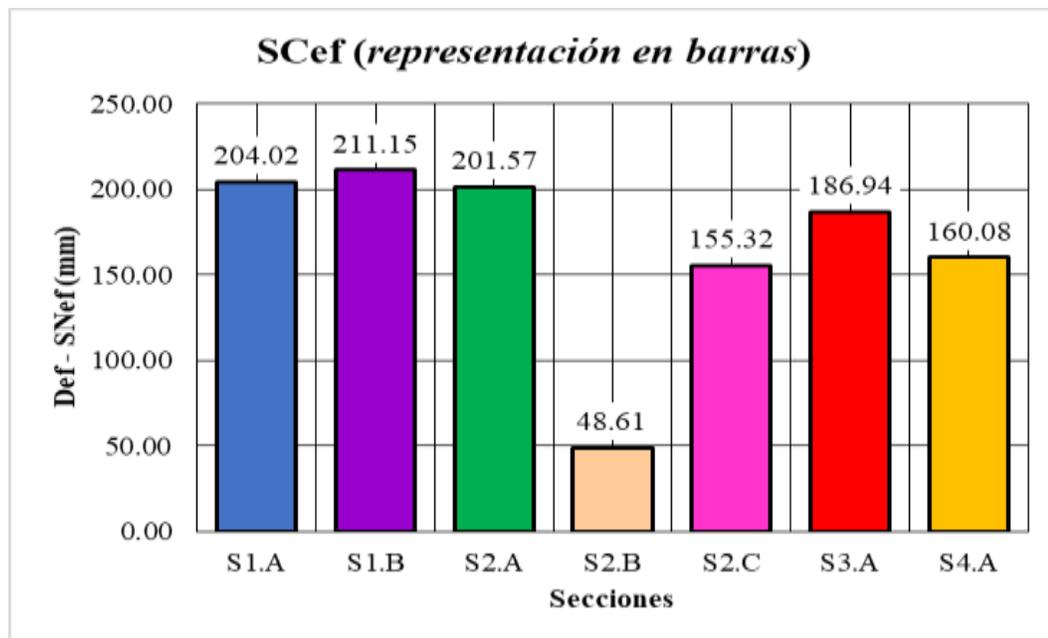
Figura 5-11 Distribución CRD



Fuente: Elaboración propia

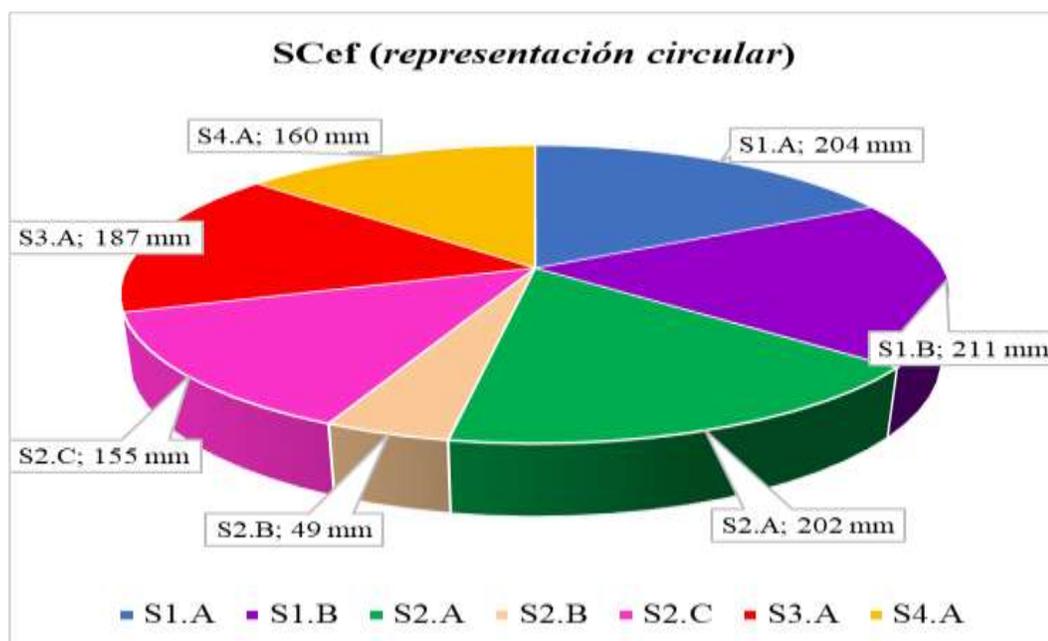
- Para Evaluación estructural de pavimentos la Capacidad Estructural efectiva (SCef) los valores inferiores están en las secciones S2.B y S2.C.

Figura 5-12 Resumen SCef



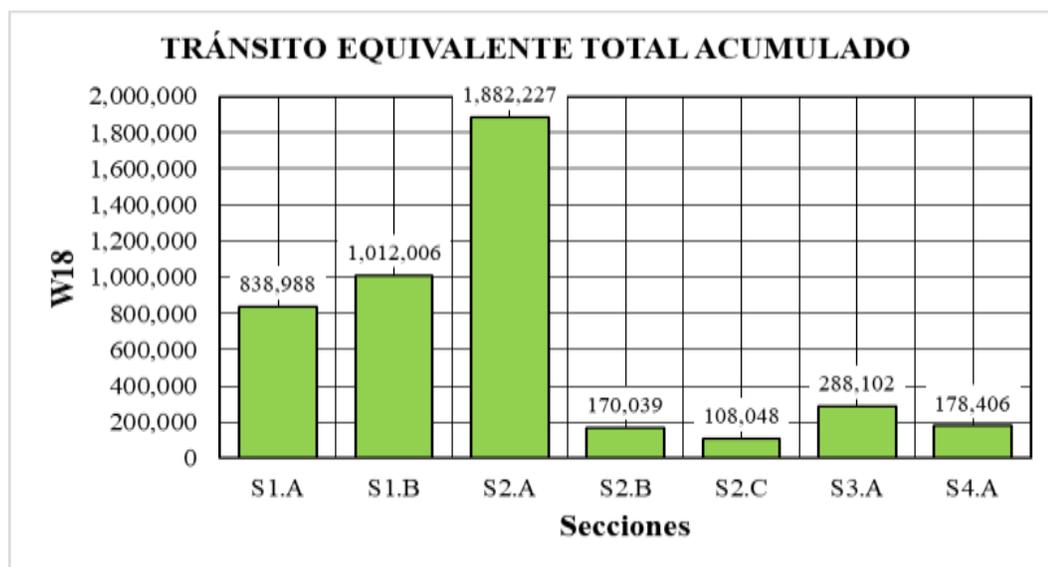
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-13 Distribución SCef



Fuente: Elaboración propia

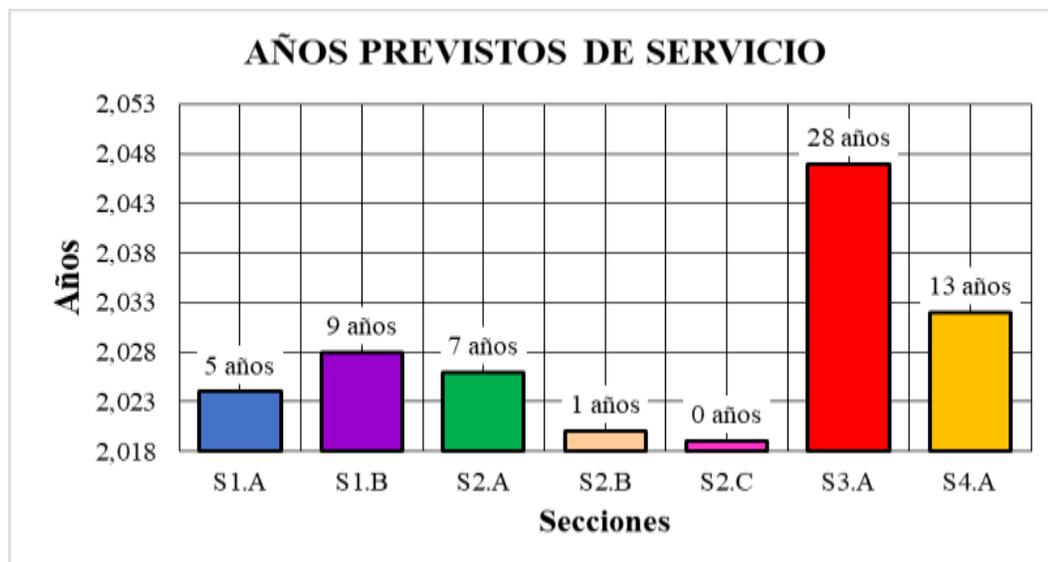
- Con el TPDA, obtenido en el mes de enero, de cada sección se calculó el número equivalente de ejes tipo ESAL para cada sección con una servicialidad final de  $Pt=2.5$ , obteniendo los siguientes valores.

Figura 5-14 Distribución ESAL con un  $Pt=2.5$ 

*Fuente: Elaboración propia*

- Los años proyectados de servicio restantes para las diferentes secciones con una servicialidad final de  $Pt=2.5$ , tiene la siguiente distribución:

Figura 5-15 Distribución años se servicio



*Fuente: Elaboración propia*

- Los valores resultantes de cada sección obtenidos de la evaluación:

Cuadro 5-1 Resumen de resultados

Tramo		Secciones	PCI	(CRD)	(SCef)	ESAL
1	Av. Bolivia	S1.A	94	0.68	204.02	838,988
		S1.B	97	0.68	211.15	1,012,006
2	Av. Tarija	S2.A	95	0.75	201.57	1,882,227
		S2.B	61	0.59	48.61	170,039
		S2.C	14	0.91	155.32	108,048
3	C. Chuquisaca	S3.A	96	0.65	186.94	288,102
4	C. La Paz	S4.A	93	0.62	160.08	178,406

Fuente: Elaboración propia

- Cuadro del estado del pavimento en las diferentes secciones interpretando los valores resultantes de la evaluación:

Cuadro 5-2 Estado del pavimento

Tramo	Secciones	PCI	(CRD)	Periodos calculados (años)	Características	
1	Av. Bolivia	S1.A	Excelente	Bueno	5 años	El pavimento no requiere acción especial.
		S1.B	Excelente	Bueno	9 años	El pavimento no requiere acción especial.
2	Av. Tarija	S2.A	Excelente	Bueno	7 años	El pavimento no requiere acción especial.
		S2.B	Bueno	De regular a bueno	1 años	Condición intermedia. Acciones recomendables/diferibles.
		S2.C	Muy malo	Malo	0 años	El pavimento requiere mejoras.
3	C. Chuquisaca	S3.A	Excelente	Bueno	28 años	El pavimento no requiere acción especial.
4	C. La Paz	S4.A	Excelente	Bueno	13 años	El pavimento no requiere acción especial.

Fuente: Elaboración propia

- Esquema de aplicación general del mantenimiento, en base a los valores actuales de evaluación, en las secciones evaluadas, nos muestra que las secciones S2.B y S2.C son las más afectadas.

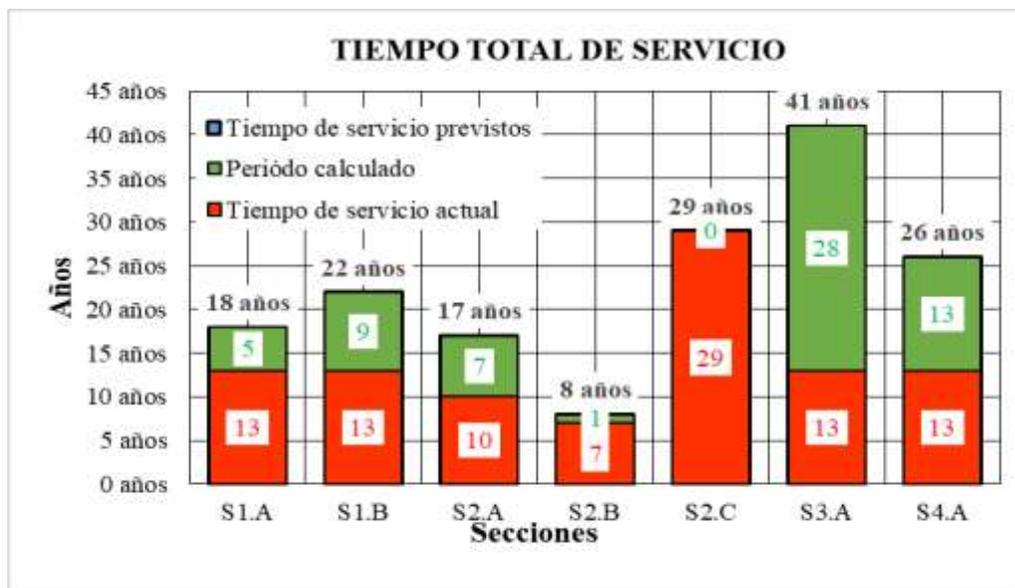
Figura 5-16 Curva de deterioro



Fuente: Elaboración propia

- Los años de servicio totales proyectados para las diferentes secciones, tiene la siguiente distribución:

Figura 5-17 Distribución de tiempo de serviciabilidad



Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Recomendaciones

- Disponer de una base de datos con los aspectos técnicos de los proyectos viales, se pudo notar que a cada cambio de gestión en autoridades responsables esos datos van desapareciendo.
- El inventario de fallas debe hacerse lo más preciso posible, considerando todas las muestras que presenten deterioro visible, si estas no estuvieran consideradas en el cálculo de muestras.
- Un control periódico del comportamiento del pavimento reflejado en u PCI, proporcionarían una gran ayuda para proponer medidas preventivas.
- El tramo de la Av. Tarija, más específico S2. B y S2.C se recomienda una pronta reparación o reposición.
- Para una adecuada evaluación la disponibilidad de equipo especializado y laboratorios es muy necesario, al calcular las diferentes características.
- Es un tramo muy importante por la conexión con los países de Bolivia y Argentina, el tipo de tráfico , la toma de datos, almacenamiento y procesamiento se precisan.