

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las vías pavimentadas tienen una función muy importante en nuestra sociedad que nos permiten tener una comunicación vía terrestre de manera más rápida y eficiente. Actualmente los pavimentos flexibles de las principales vías de nuestro país, vienen sufriendo deterioros superficiales debido a la falencia de un adecuado mantenimiento vial o a factores climatológicos.

En Bolivia los mantenimientos preventivos de las carreteras son reducidos, los mismos significan actividades que resultan muy costosas, sobre todo si estas acciones no se hacen oportunamente; se puede considerar dos aspectos, los cuales sus propios nombres los describen, los mantenimientos correctivos que representan costos de tres a cinco veces más elevados con relación a los mantenimientos preventivos.

La vida útil de un pavimento depende del mantenimiento preventivo que se le haga, en caso de no realizarse se deteriorará lenta e imperceptiblemente durante los primeros años de servicio. Posterior a esto se deteriora mucho más rápido y sin un mantenimiento oportuno se desintegra. Por este motivo es recomendable realizar mantenimiento del pavimento para evitar un deterioro del mismo.

En esta investigación se evalúa de forma superficial y estructural el tramo vial de Entre Ríos – San Simón; considerando métodos específicos como ser; PCI, IRI, PSI y la viga Benkelman; de tal manera, se conoce la condición superficial y estructural actual.

La evaluación se realiza para determinar el estado en el que se encuentra el pavimento, identificar las fallas presentes y los deterioros que afecten las condiciones de transitabilidad y comodidad del usuario. Es una aplicación de la ingeniería civil con la que se pretende prevenir y/o brindar soluciones a las fallas y deterioros que se presentan en el tramo carretero.

1.2. Justificación

La evaluación superficial y estructural de una carretera pavimentada es crucial para garantizar la seguridad, durabilidad y eficiencia de las infraestructuras viales. Esta evaluación permite identificar y analizar las deficiencias en la funcionalidad de los pavimentos, las cuales pueden comprometer su rendimiento a lo largo del tiempo.

Con la implementación de carreteras pavimentadas hacia la región del chaco con casi su totalidad, el flujo vehicular hacia esta región ha aumentado tanto de vehículos pesados como livianos y es importante que las vías brinden las mejores condiciones de seguridad, resistencia y comodidad de los usuarios.

Al ser una carretera relativamente nueva no debería presentar fallas de consideración, pero sin embargo se puede observar que si las presenta a lo largo del tramo que a medida que pase el tiempo pueden agravarse estas fallas agrandando el problema en la circulación.

Lo que se desea realizar es una prevención y que este deterioro no continúe avanzando, dando así alternativas de solución que se las pueda hacer lo antes posible, de esa manera evitar en lo posterior mayores costos en su mantenimiento.

1.3. Planteamiento del Problema

1.3.1. Situación Problémica

El deterioro de un pavimento se va dando conforme pasa el tiempo, generando la presencia de fallas que estas son un problema no solamente visual, sino que al tener estas fallas en el pavimento reducen su calidad del mismo pudiendo producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos y por ende retrasos en los viajes de un destino a otro.

Actualmente el tramo carretero Entre Ríos – San Simón no tiene mucho tiempo desde su entrega definitiva, sin embargo, ya viene siendo afectado por fallas que presenta el pavimento que dificulta de cierta manera la circulación normal de los vehículos y con el paso del tiempo pueden aumentar las fallas; para determinar los tipos de fallas que existen en el tramo, se consideran métodos de evaluación superficial y estructural de pavimentos. Con la evaluación, aplicando los métodos requeridos, se determina los deterioros y los tipos de fallas que se presentan en el pavimento.

1.3.2. Delimitación temporal y espacial

➤ Delimitación temporal

La delimitación temporal está definida en tiempo presente. Los datos de la evaluación se mantendrán vigentes hasta que cambien las condiciones de la carretera.

➤ Delimitación espacial

El área del tema se centra en los deterioros y los tipos de fallas que presenta el pavimento. La base de operaciones es en el tramo a evaluar, Entre Ríos – San Simón.

1.3.3. Formulación del Problema

¿Cómo la evaluación superficial y estructural en el tramo Entre Ríos – San Simón determina la condición actual del pavimento?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la condición superficial y estructural actual del tramo Entre Ríos – San Simón aplicando métodos no destructivos, con el fin de identificar las deficiencias en su funcionalidad para poder plantear soluciones alternativas que ayuden a alargar la vida útil del pavimento.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Identificar que fallas se presentan con mayor frecuencia y severidad en el Pavimento
- ✓ Aplicar los métodos descritos para realizar la evaluación
- ✓ Analizar las posibles causas que generan un tipo de deterioro en particular del pavimento.
- ✓ Presentar los resultados obtenidos con cada uno de los métodos aplicados.
- ✓ Generar una base de datos necesaria que permita caracterizar el comportamiento del pavimento.

1.5. Planteamiento de la Hipótesis y sus variables

1.5.1. Formulación de la Hipótesis

Con la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo Entre Ríos – San Simón, se identifica el estado de deterioro en el que se encuentra el tramo, lo que facilita en la toma de decisiones para su reparación y mantenimiento.

1.6. Tipo de investigación

Este trabajo corresponde a una investigación descriptiva, los fenómenos se observan tal con se dan en su contexto natural para después hacer su análisis, se diagnostica las patologías tanto de la superficie como de la estructura haciendo una caracterización de manera cuantitativa como cualitativa.

1.7. Alcance de la Investigación

El alcance real de la presente investigación se la realiza haciendo primero la identificación del número de variables, en este caso existe una sola variable que es la condición del tramo, en tal sentido corresponde el nivel de investigación descriptivo; la variable no es manipulada por el investigador lo que responde a un tipo de diseño “No experimental”, transeccional debido a que la información se realizará en un momento único para desarrollar la investigación.

El trabajo corresponde a la aplicación de métodos de evaluación no destructivos como el PCI, IRI, PSI, en la parte superficial y la viga de Benkelman para la parte estructural en el tramo carretero Entre Ríos – San Simón.

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y
ESTRUCTURAL

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

2.1. Definición de pavimento

Un pavimento es una estructura constituida por una serie de capas superpuestas, que se diseñan y constituyen teniendo en cuenta diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente la rigidez y durabilidad necesaria para el tránsito de vehículos. (Vías, 2020)

Se define pavimento como un conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben de forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, donde se debe tener una operación rápida y cómoda. (Ramos, 2013)

Existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del Usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado periodo de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella, es decir debe proporcionar un servicio de calidad óptimo. (AASHTO, 1993)

2.2. Componentes del pavimento

El pavimento por lo general está conformado por las siguientes capas: capa base, capa subbase y capa de rodadura.

a) Capa subbase

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede

obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Comunicaciones, 2014)

b) Capa base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento. (Comunicaciones, 2014)

c) Capa de rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito. (Comunicaciones, 2014)

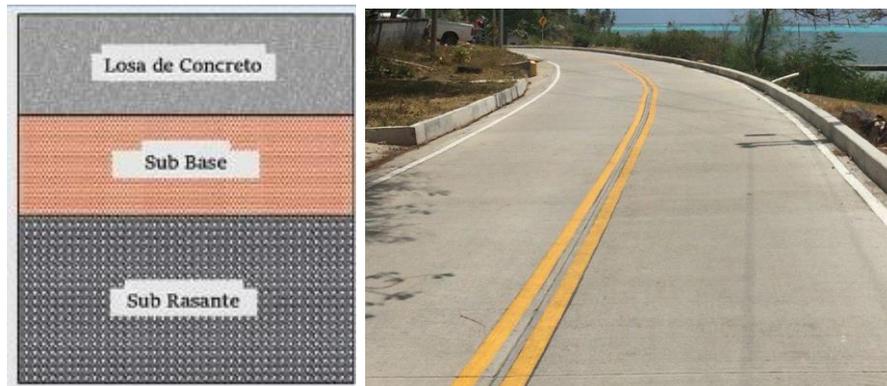
2.3. Clasificación de los pavimentos

Los pavimentos de acuerdo a las características de diseño y función que presenten pueden clasificarse en: pavimento rígido, pavimento semirrígido y pavimento flexible.

1) pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad. La distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (H., 2014)

Figura 1. Pavimento rígido

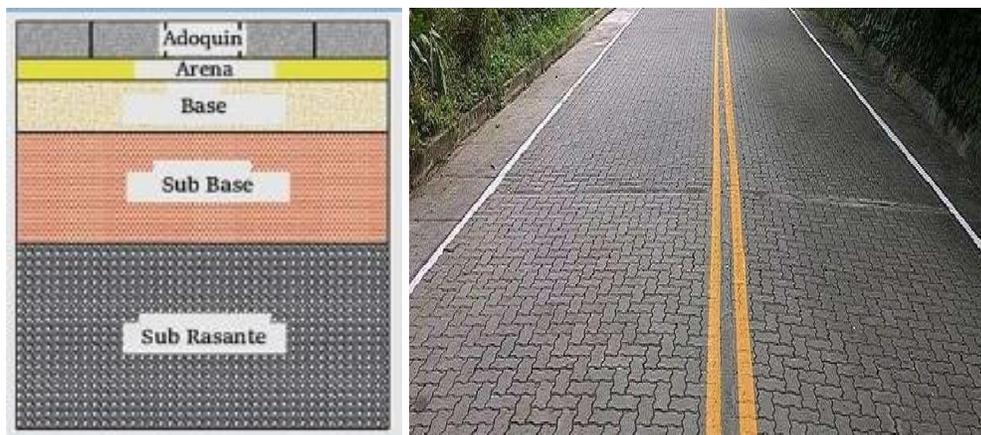


Fuente: (RAMÍREZ, 2012)

2) Pavimento semirrígido

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de Construcción. (H., 2014)

Figura 2. Pavimento semirrígido

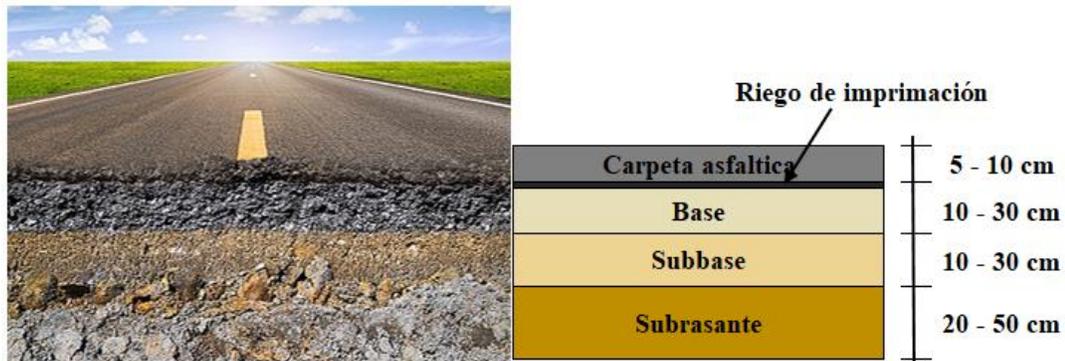


Fuente: (RAMÍREZ, 2012)

3) Pavimento flexible

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años. (H., 2014)

Figura 3. Pavimento flexible



Fuente: (RAMÍREZ, 2012)

2.4. Evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre. (Armijos, 2009)

Existen dos tipos de evaluación de pavimentos:

- Evaluación superficial
- Evaluación estructural

I. Evaluación superficial

La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie, y que afectan negativamente a los costos y seguridad de los usuarios. De los defectos superficiales que

pueden presentarse en un pavimento, el que más afecta la calidad del servicio al usuario es la rugosidad y en menor medida la pérdida de fricción.

a) Método PCI (Índice de Condición de Pavimento)

El Índice de Condición de Pavimentos (PCI) con sus siglas en inglés, es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la Tabla siguiente se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (ABC, 2011)

Tabla 1. Rango de clasificación del PCI

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

Fuente: manual de diseño de conservación vial, Administradora Boliviana de Carreteras, ABC

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños

obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (ABC, 2011)

Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños que establece la Norma ASTM 5340–98 para obtener un valor del PCI confiable.

El cálculo del PCI puede realizarse de manera manual o computarizada bajo una base de datos bien estructurada.

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.

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. (Varela, 2002)

Tabla 2. Hoja de registro de fallas. método PCI

MÉTODO PCI			ESQUEMA		
(ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO)					
HOJA DE REGISTRO					
NOMBRE DE LA VÍA:		SECCIÓN:			
EJECUTOR:		FECHA:			
UNIDAD DE MUESTRA:		ÁREA (m ²):			
FALLAS	Unidad	FALLAS	Unidad		
1.Piel de cocodrilo	m ²	11.Baches y parcheo	m ²		
2.Exudacion	m ²	12.Agregado pulido	m ²		
3.Grietas de contracción	m ²	13.Huecos	N°		
4.Elevaciones y hundimiento	m ²	14.Cruce de sumideros de rejilla	m ²		
5.Corrugación	m ²	15.Ahuellamiento	m ²		
6.Depresión	m ²	16.Deformaciones por empuje	m ²		
7.Grietas de borde	M	17.Grietas de desplazamiento	m ²		
8.Grietas de reflexión de juntas	M	18.Hinchamientos	m ²		
9.Desnivel carril-berma	M	19. Disgregación	m ²		
10.Grietas long. y transv.	M				
FALLA Y SEVERIDAD	CANTIDAD		TOTAL	FACTOR DE DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del PCI, comprende las siguientes etapas:

a) Etapa 1 Cálculo de los valores deducidos (VD):

- ❖ Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas por el formato. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- ❖ Se divide la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado en porcentaje. Esta será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

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

- ❖ Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas y tablas denominadas “valor deducido del daño”. Las tablas se encuentran en los anexos.

b) Etapa 2 Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

- ❖ Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” (VDT) en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), obteniendo en la Etapa 4; de lo contrario, se seguirán los pasos que continúan.
- ❖ Se listan los valores deducidos individuales en orden descendente.
- ❖ Se determina el “Número máximo de valores deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

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

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 .

- ❖ El número de valores individuales deducidos se reduce a “m”, inclusive la parte fraccionaria. Si se repone de menos valores deducidos que “m” se utilizan los que se tengan.

c) Etapa 3 Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV):

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

- ❖ Se determina el número de valores deducidos (q) mayores que 2.
- ❖ Se procede a determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.
- ❖ Se calcula el CDV con el “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- ❖ Se reduce a 2,0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y repita las etapas iniciales de esta etapa hasta que sea igual a 1.
- ❖ El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en este proceso.

d) Etapa 4: Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la etapa 3.

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

Donde:

PCI= Índice de Condición del pavimento.

máx. CDV= Máximo valor corregido deducido.

El PCI promedio, resulta ser el promedio de todos los PCI de cada unidad de muestra.

En la tabla 3. se presenta un formato para el desarrollo del proceso iterativo de obtención del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV. (Varela, 2002)

Tabla 3. Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido

N°	Valores deducidos					Total	q	CDV
1								
2								
3								

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) Para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, Luis Ricardo Vásquez, febrero 2002.

Descripción de las fallas, nivel de severidad y unidades de muestra

A continuación, se presenta una serie de fallas identificadas de 1 a 19 de acuerdo con el sistema de convención propuesto por el Método Pavement Condition Index -PCI- (USA) para la determinación de la condición del pavimento.

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.

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 4. Piel de cocodrilo





Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vázquez, 2002

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. (Varela, 2002)

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 (ó 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 5.Exudación



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

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). (Varela, 2002)

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 (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo 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.

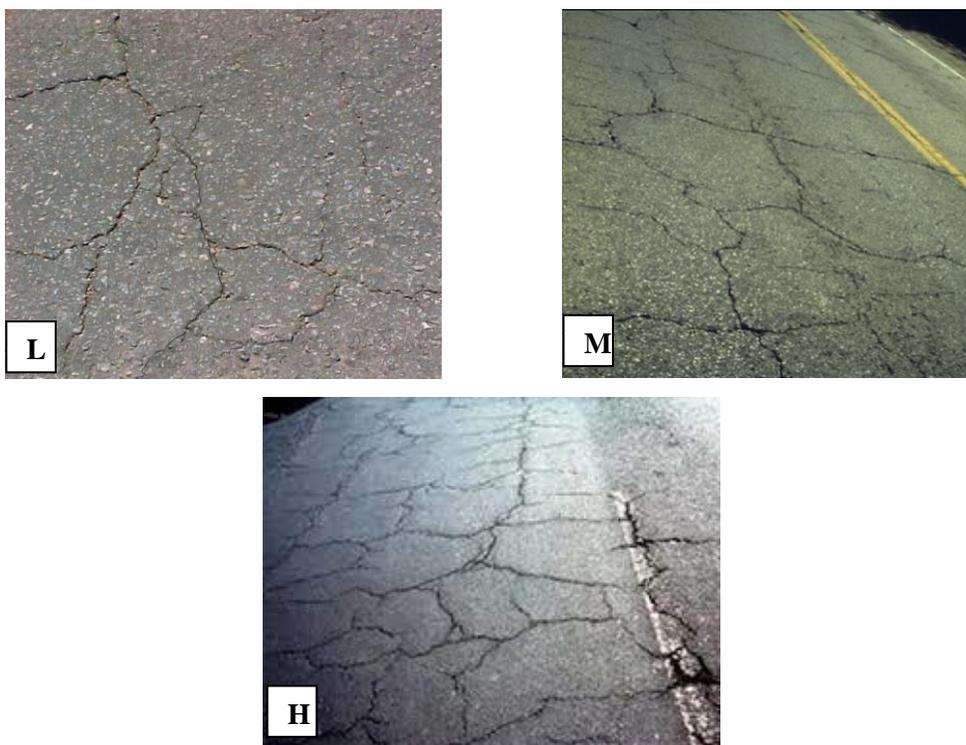
Opciones de reparación

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 6. Agrietamiento en bloque



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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). (Varela, 2002)

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 (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

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 7. Abultamientos y hundimientos





Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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. (Varela, 2002)

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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

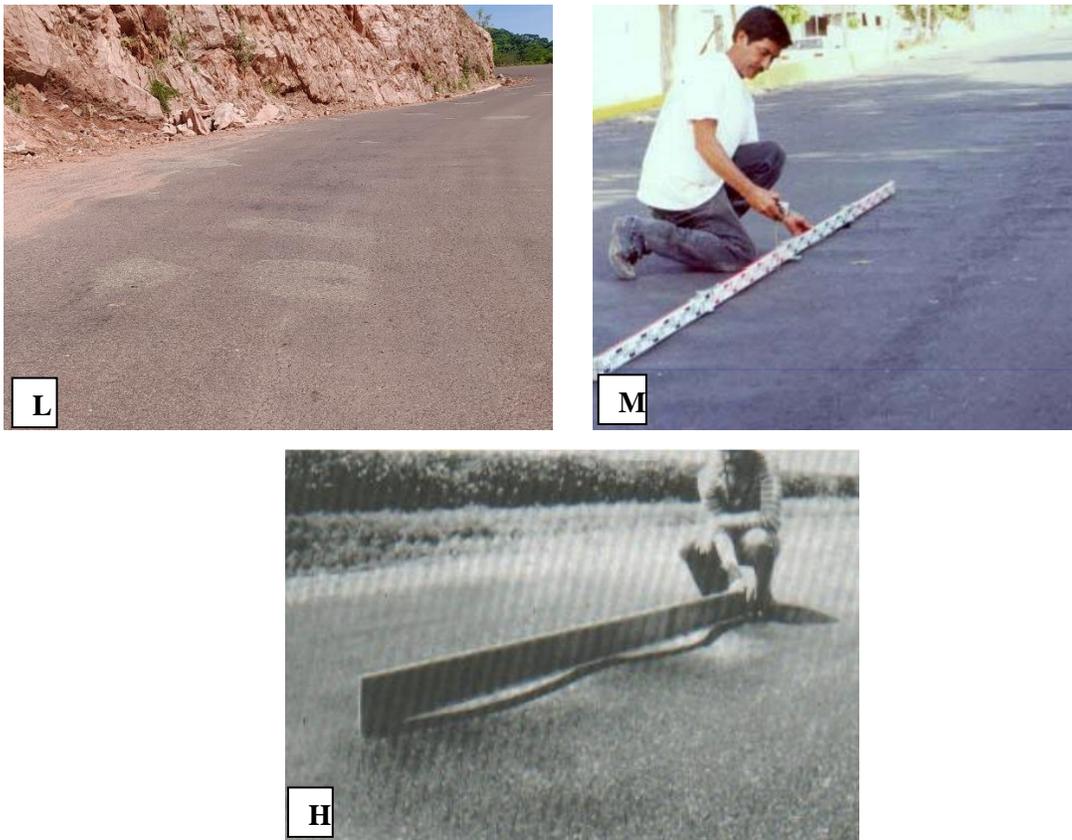
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Figura 8. Corrugación



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua pueden causar 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 (ó metros cuadrados) del área afectada.

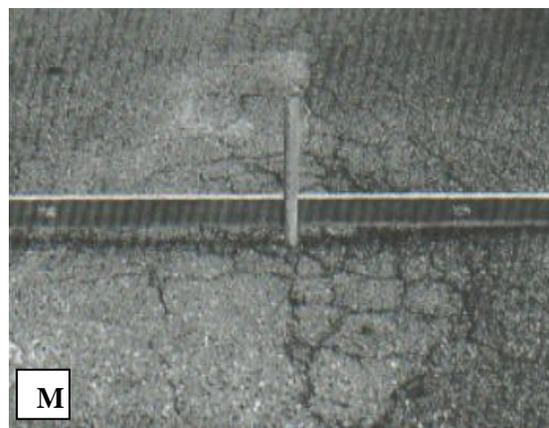
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 9. Depresión



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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). (Varela, 2002)

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 (ó 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 10. Grietas de borde



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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. (Varela, 2002)

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 11. Grieta de reflexión de junta



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 sobre carpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma. (Varela, 2002)

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.

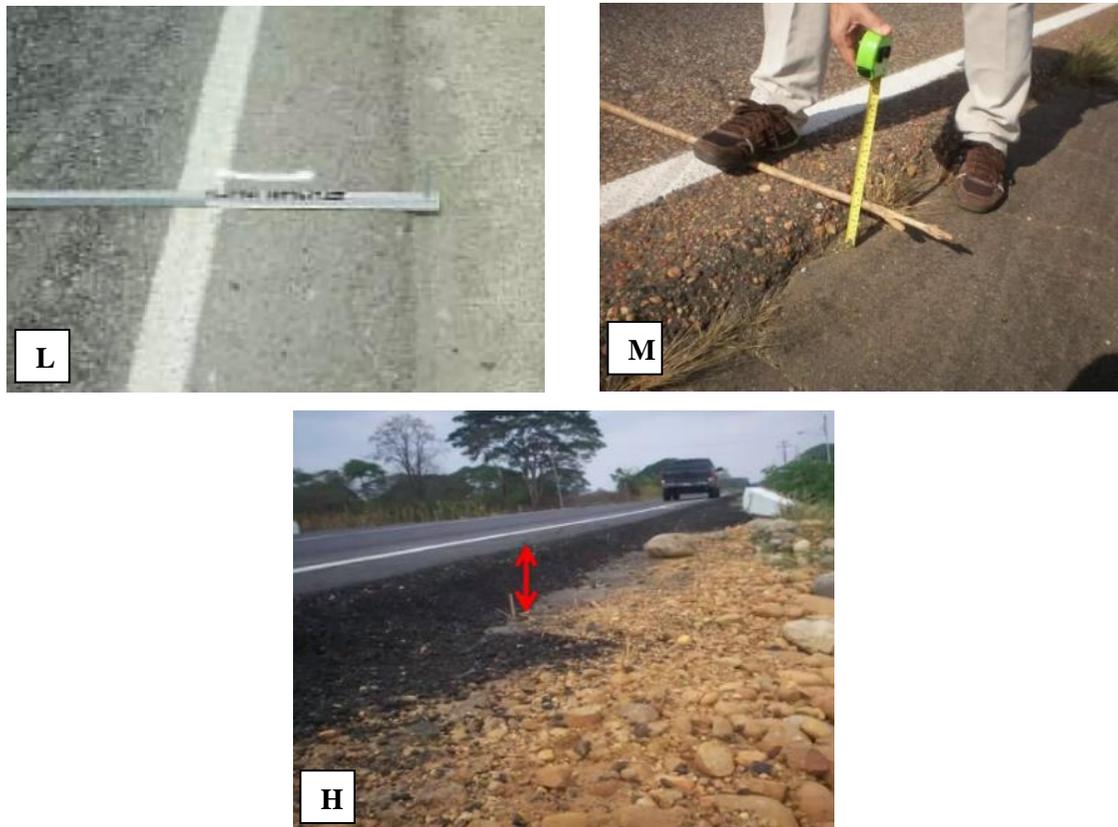
Medida

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

Opciones de reparación

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

Figura 12. Desnivel carril/berma



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

10. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (NO SON DE REFLEXIÓN DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND)

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 o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

Las grietas transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo o a la dirección de construcción. Usualmente, este tipo de grietas no está asociado con carga. (Varela, 2002)

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

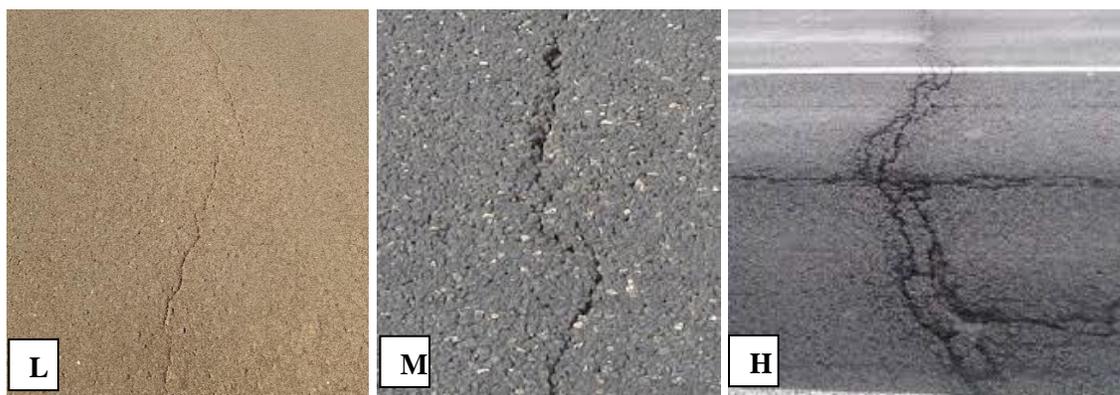
Opciones de reparación

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 13. Grietas longitudinales y transversales



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 está asociada con este daño. (Varela, 2002)

Niveles de Severidad

L: El parche está en buena condición buena 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 sólo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2,32 m² puede tener 0,9 m² de

severidad media y 1,35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

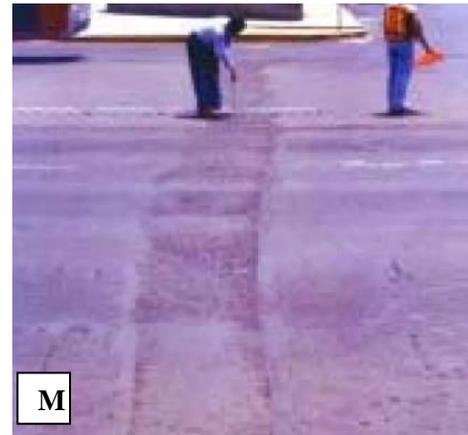
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche

Figura 14. Parcheo y acometidas



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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. (Varela, 2002)

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 (ó 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 15. Agregado pulido



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

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. (Varela, 2002)

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.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0,47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

Niveles de severidad para huecos.

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203	203 a 457	457 a 762
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 del PCI

Medida

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

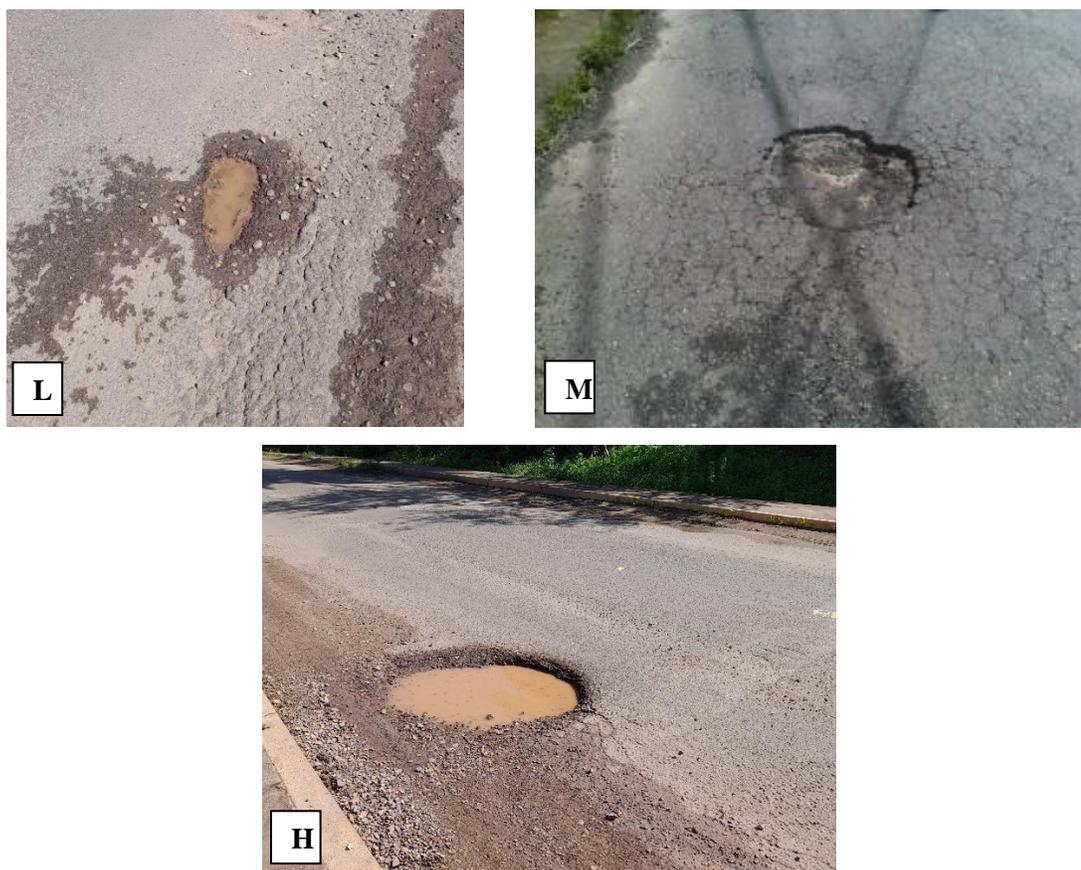
Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.

Figura 16. Huecos



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 (ó 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. (Varela, 2002)

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 17. Cruce de vía férrea



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento. (Varela, 2002)

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 (ó 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 18. Ahuellamiento



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

16. DESPLAZAMIENTO O DEFORMACIÓN POR EMPUJE

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 sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento. (Varela, 2002)

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 (ó 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.

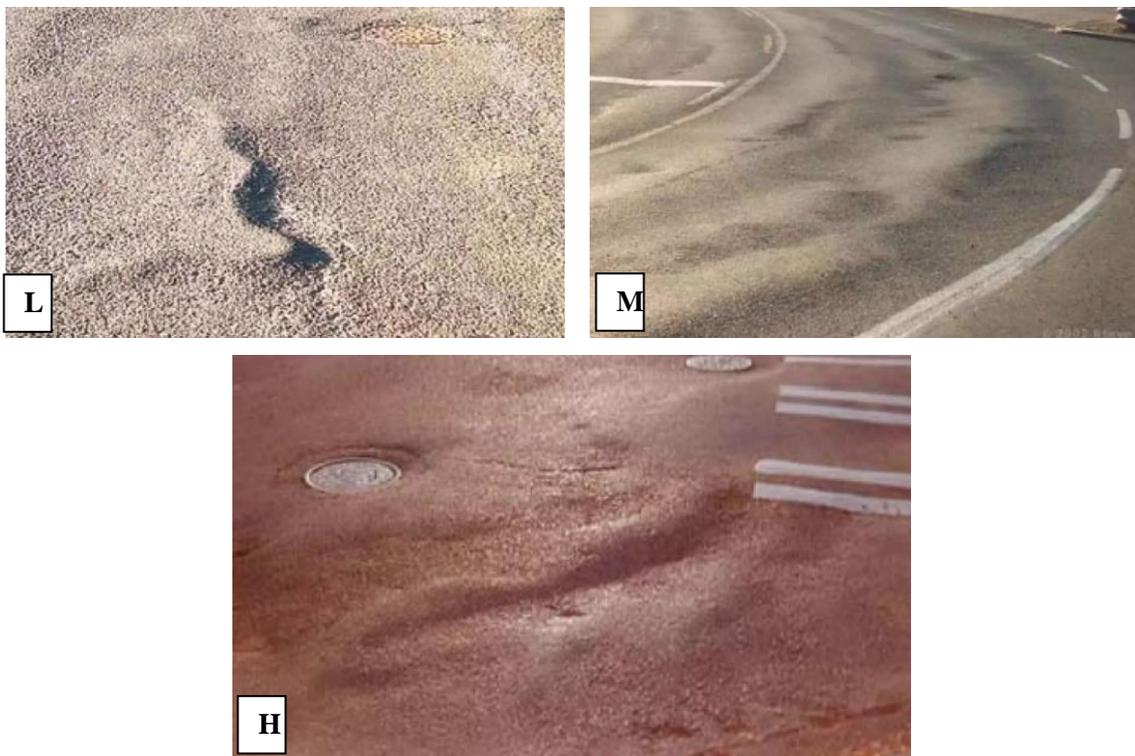
Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

Figura 19. Desplazamiento o deformación por empuje



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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 (ó 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 20. Grietas parabólicas o por desplazamientos





Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

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. (Varela, 2002)

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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

Figura 21. Hinchamiento



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

19. METEORIZACIÓN / DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS

Descripción: La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento. (Varela, 2002)

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 (ó metros cuadrados) de área afectada.

Opciones de reparación

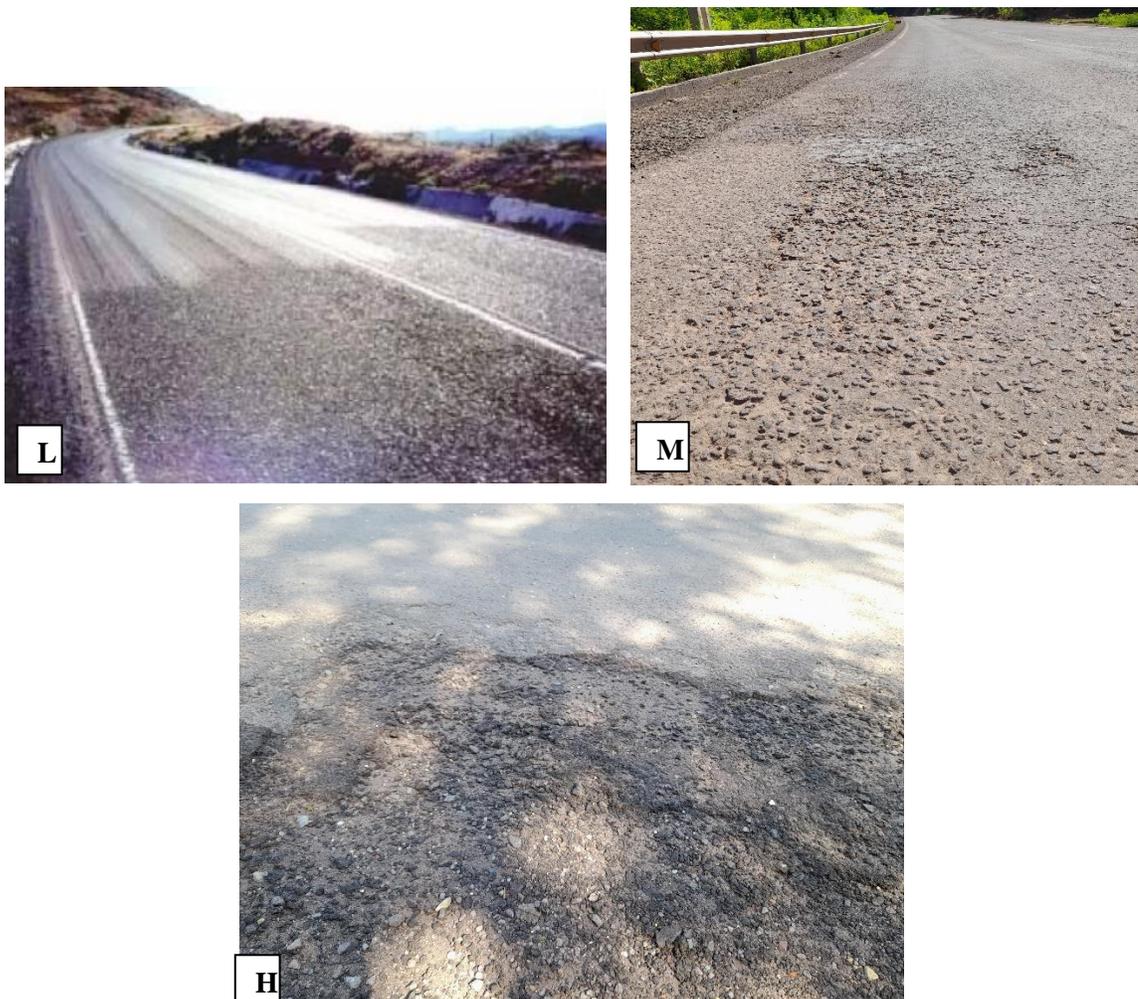
L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

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 22. Meteorización/desprendimiento de agregados



Fuente: Pavement Condition Index (PCI), Luis R. Vásquez, 2002

b) Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

La regularidad superficial es un factor que afecta de manera importante a la comodidad que percibe el usuario al circular por la carretera. Una carretera con una superficie irregular provocará molestos y continuos movimientos verticales bruscos en el vehículo que los amortiguadores no son capaces de absorber en su totalidad (ABC, 2011)

En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h. (Vargas, 2010)

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino. El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa norteamericano llamado Nacional Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP. (Patiño, Anaguas, & Rodríguez, 1998)

Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

Las investigaciones han demostrado que existen muchos factores que afectan la regularidad superficial del pavimento. De éstos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.
- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.

- Propiedades de la subrasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

Equipos para evaluar la rugosidad

Los diferentes métodos para medir la rugosidad han sido agrupados en cuatro categorías clasificadas de acuerdo a cuan directamente sus mediciones se aproximan al IRI (ASTM 1995). Estos métodos pueden resumirse de acuerdo a lo siguiente: Clase 1, Perfiles de precisión (el cual requiere que el perfil longitudinal de una huella sea medida en forma precisa). Clase 2, Otros métodos perfilométricos (el cálculo del IRI se basa en medidas del perfil longitudinal, pero no tan precisas como los métodos de la Clase 1), Clase 3, Estimaciones del IRI mediante correlaciones (sistemas para medir la rugosidad por SMRR, MERLIN). Clase 4, Valoraciones subjetivas y medidas sin calibrar (aparatos tipo respuestas sin calibrar o valoraciones del estado mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta el usuario). (ABC, 2011)

Método IRI con el rugosímetro de Merlín

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el rugosímetro Merlín (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

La gran ventaja en el uso del Merlín es la exactitud en los resultados que solo puede ser superado por el método de mira y nivel. Pero también tiene la desventaja de que el rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos y el problema es mayor aun cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del Merlín se hace improductivo. (Rodríguez, Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión, 1998)

El MERLIN es un equipo de aplicación manual cuyo principio se basa en usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto a una cuerda promedio. Según el procedimiento se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto a la cuerda promedio en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie, mayor es la variabilidad de los desplazamientos. (Urbáez, Corredor, & Jugo, 2002)

Figura 23. Equipo de medición de la rugosidad superficial, Merlín



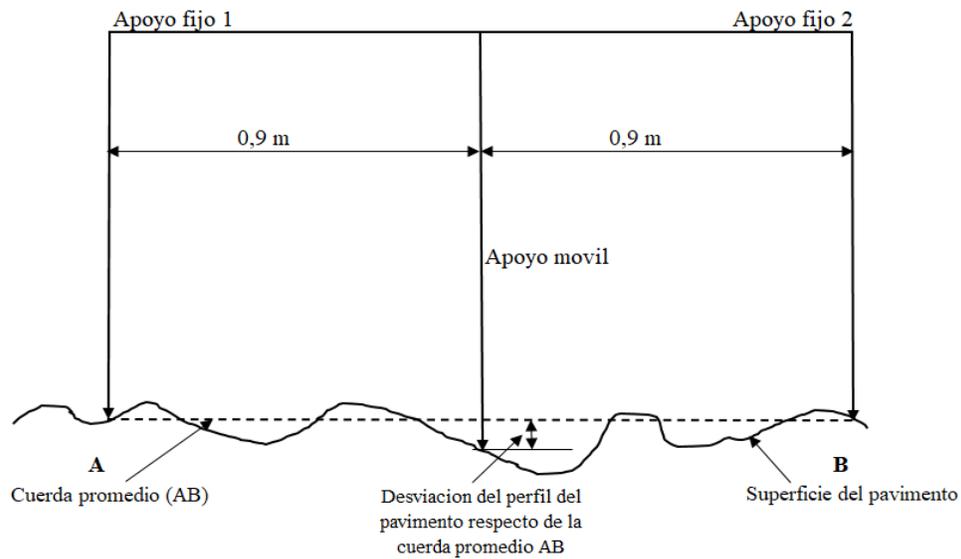
Fuente: Elaboración propia

Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. El Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. (Rodríguez, Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión, 1998)

Figura 24. Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio



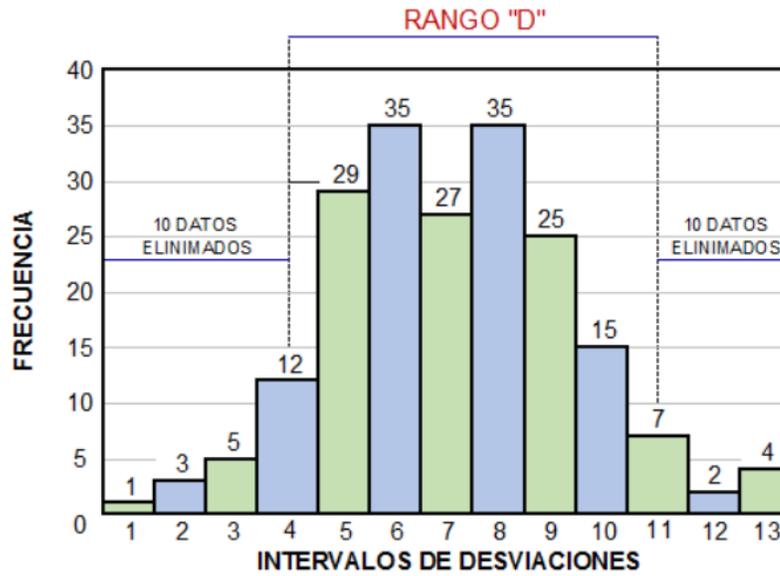
Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las irregularidades que presenta el pavimento (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuales son detectadas por el patín móvil de MERLIN, y a que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente a cada 2 metros de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

Histograma de la distribución de frecuencias

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias; en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones; en la figura que sigue se muestra el parámetro estadístico “D” que representa la rugosidad del pavimento en escala Merlín; luego de hacer la depuración de 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango “D” debe ser convertido a unidades IRI mediante ecuaciones de correlación. (Rodríguez, METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS, 1993)

Figura 25. Histograma de distribución de frecuencias



Fuente: Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú.

Cálculo del rango “D”

$$D = \left(\frac{(d_i - f_i)}{d_i} + d_m + \frac{(d_d - f_d)}{d_d} \right) * 5 [mm]$$

Cálculo del factor de corrección

$$f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5} \right)$$

Donde:

Ep = Espesor de la pastilla

Li = Posición inicial del puntero

Lf = Posición final del puntero

Correlación “D” vs “IRI”

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados

provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utiliza las siguientes ecuaciones:

a) Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$, entonces $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471D$ (1)

b) $\text{IRI} < 2,4$, entonces $\text{IRI} = 0,0485D$ (2)

La expresión (1) es la ecuación original establecida por el TRRL, es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión (2) es la ecuación de correlación establecida que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

Tabla 4. Clasificación del rango de rugosidad

Rango de Rugosidad (m/km)	Calificación
0,0-2,0	Excelente
2,0-3,5	Bueno
3,5-5,0	Regular
>5,0	Malo

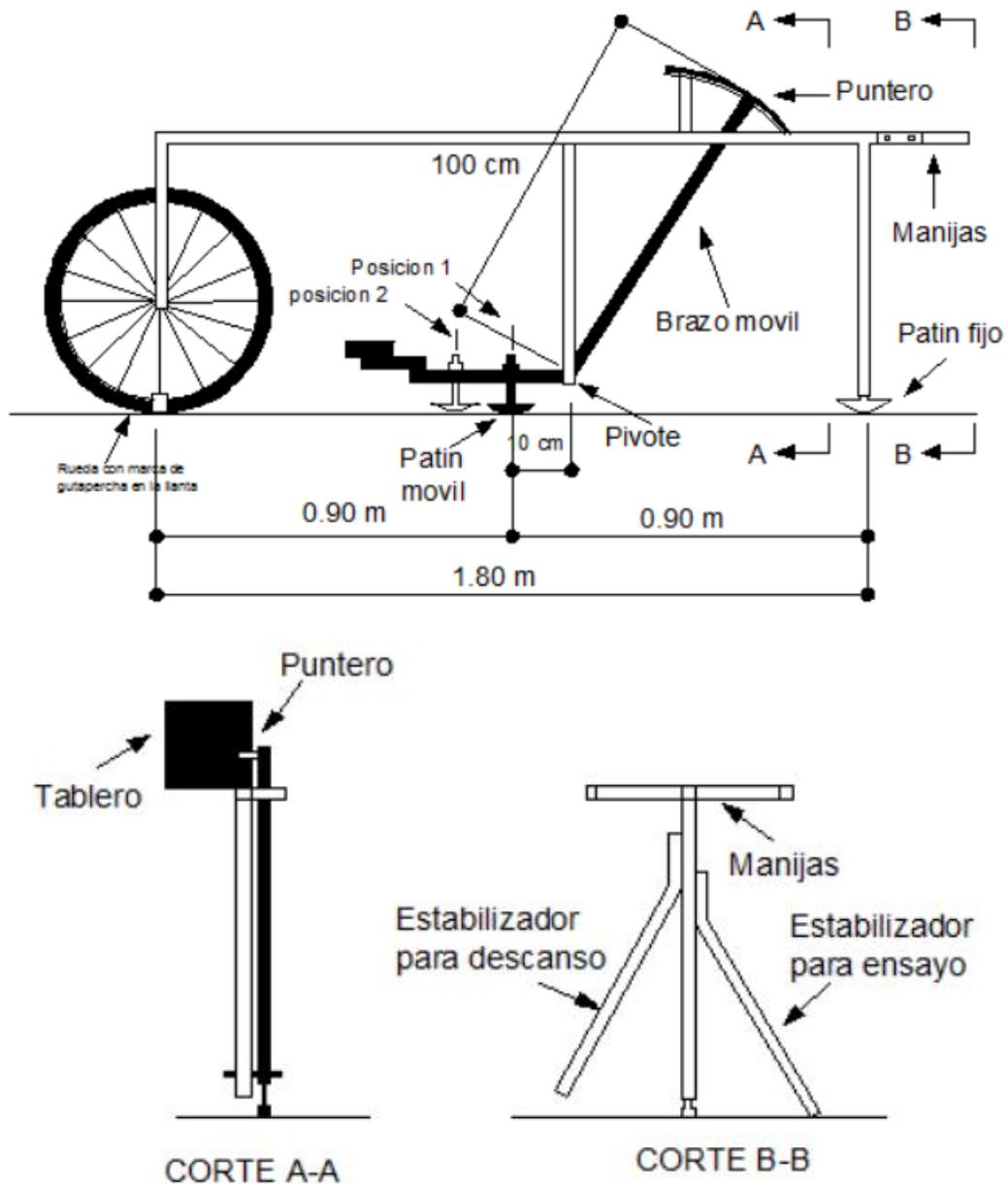
Fuente: Pacheco N, Marcelo. Texto guía de Carreteras III. (Nuñez, 2017)

Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín

El Merlín es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera.

Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla. (Rodríguez, Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión, 1998)

Figura 26. Esquema del rugosímetro Merlín



Fuente: Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú.

Procedimiento en campo

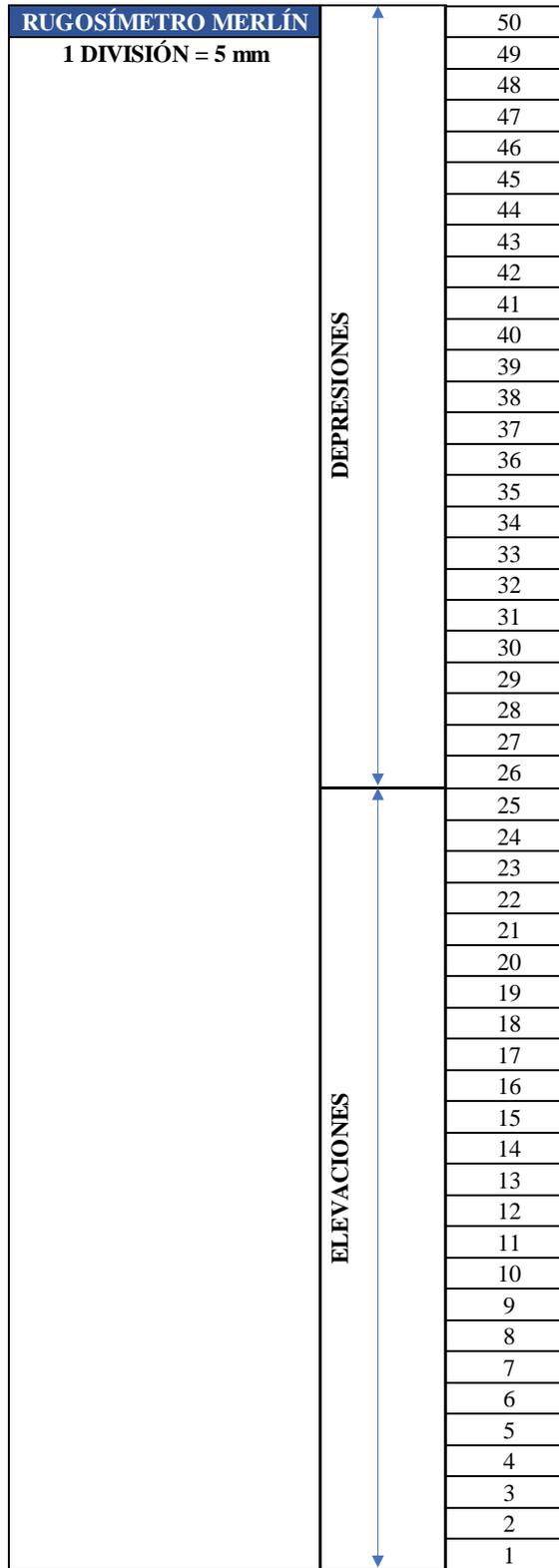
- Calibración inicial del equipo MERLIN
- Personal requerido
 - Un (01) Operador del Equipo.

- Un (01) Ayudante (para anotar lecturas).
 - Personal de Seguridad
-
- Para la ejecución de los ensayos se debe seleccionar un tramo de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de la vía. Se deben efectuar 200 mediciones estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2 m. de separación. En la práctica esto se realiza tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al concluir una vuelta de la rueda. Para ello se coloca una señal o marca llamativa sobre la rueda, la cual debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto a la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura. Paso seguido, el operador eleva y desplaza el instrumento la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). Se repite la operación hasta completar las 200 lecturas.

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

Figura 27. Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la Superficie de pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio



Fuente: Del Águila Rodríguez Pablo, 1999

Tabla 5. Formato guía para la recolección de datos de campo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
:										
:										
20										

Fuente: Del Águila Rodríguez Pablo, 1999

c) Método PSI (Índice de Serviciabilidad de Pavimento)

El Índice de Serviciabilidad de Pavimento (PSI) tiene como propósito dar un valor de nivel de confort y seguridad con la que cuenta un pavimento con respecto al desplazamiento natural y normal de los vehículos. La determinación del PSI tiene un nivel de 0 a 5, en donde un valor 0 significa que el pavimento se encuentra en muy mal estado y un valor de 5, que se encuentra en muy buen estado (Cedeño Cevallos, 2014).

La AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural. Introdujo para ello el concepto de serviciabilidad.

La metodología consiste en seleccionar un grupo de personas para formar un panel evaluador; cada persona expresa su opinión propia y subjetiva acerca de la calidad de la carretera o del tramo evaluado y la expresa en una cartilla especialmente diseñada IPSR (Individual Present Serviciability Rating). El promedio de estas evaluaciones se denomina PSR (Present Serviciability Rating)

El número de personas, para tener una estimación adecuada, deberá estar comprendido entre 5 y 10, como mínimo. Es conveniente que la apreciación se realice individualmente y con el mismo tipo de vehículo que la persona que califica utiliza normalmente. En general, se obtienen promedios congruentes utilizando persona de diversa preparación; aún, cuando la calificación individual varía ampliamente, el promedio es congruente y permite una estimación adecuada del estado de la carretera en el momento de la inspección.

Para obtener valores objetivos de la calificación, estudios posteriores realizados en diferentes países y en la misma AASHTO, relacionaron la calificación subjetiva (PSR) con medidas proporcionadas por el perfilómetro CHLOE, determinando la variación de la pendiente longitudinal y la deformación transversal, así como el porcentaje de áreas agrietadas y reparadas; obteniéndose ecuaciones del Índice de Serviciabilidad Presente PSI (Present Serviciability Index).

$$PSI = 5,03 - 1,91 * \log(1 + SV) - 1,38 * (RD)^2 - 0,01 * \sqrt{(C + P)} \dots (2-a)$$

Donde:

SV = Varianza de la pendiente longitudinal (Slope Variance), medida con un perfilómetro CHLOE, $\text{rad} \times 10^{-6} (\text{in}/\text{ft})^2$

RD = Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in.

C (en asfalto) = Superficie agrietada, $\text{ft}^2 / 1000 \text{ft}^2$

P = Superficie bacheada, $\text{ft}^2 / 1000 \text{ft}^2$

El Índice de Serviciabilidad Presente nos sirve de apoyo para determinar si la superficie de rodamiento necesita mejorarse, pero por sí solo no debe usarse para diseño de sobrecarpetas u otras mejoras. Índices de Serviciabilidad Presente altos, corresponden a condiciones más satisfactorias. Cuando un tramo denota calificaciones bajas (de 2,5 hacia abajo), se debe hacer un examen más detallado de la superficie, utilizando, si es necesario, otros métodos para su evaluación. (ABC, 2011)

Tabla 6. Calificación del Índice de Serviciabilidad Presente según AASHTO

Calificación	Estado del pavimento
4,5-5,0	Excelente
3,1-4,4	Bueno
2,6-3,0	Regular a bueno
2,1-2,5	Regular a malo
1,1-2,0	Malo
0,0-1,0	Muy malo

Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC.

Correlación entre el IRI y el Índice de Serviciabilidad

Tanto el IRI como el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se calculan a partir de prácticamente el mismo parámetro, de manera que se han desarrollado varias correlaciones entre el IRI y el PSI.

Paterson (1987) sugiere el cálculo del IRI en función del índice PSI según la siguiente ecuación:

$$IRI = 5,5 * \ln\left(\frac{5}{PSI}\right) \dots\dots (2-1)$$

En Chile Dujisin y Arroyo (1995) observaron que el IRI y el PSI puede correlacionarse con la ecuación:

$$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0.5}) \dots\dots (2-2)$$

La AASHTO define las siguientes ecuaciones para diferenciando pavimentos asfálticos y de hormigón.

Asfalto: $PSI = 5,671 - 1,714\sqrt{IRI} \dots\dots (2-3)$

II. Evaluación estructural

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función o demanda de tráfico. (Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila, 1985)

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de ésta y realizar ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que componen.

Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión producida por la carga, es útil para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la

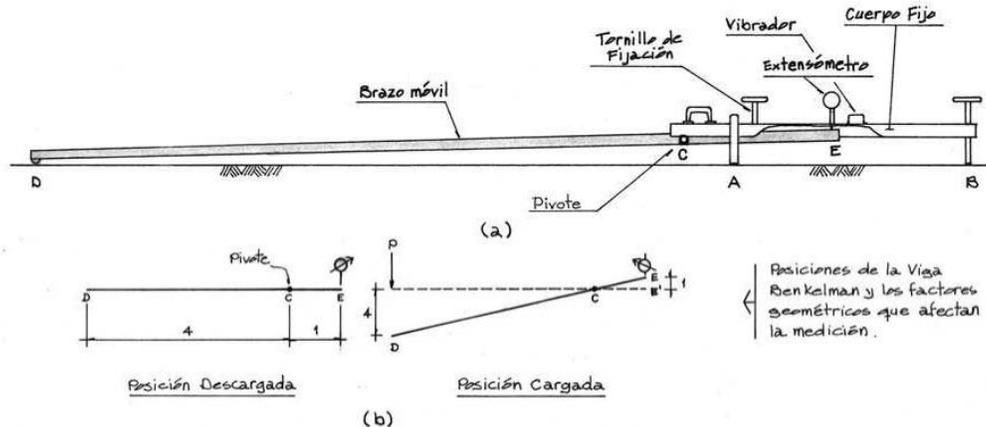
estructura. El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman. (Legia P., 2016)

a) Viga de Benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante. El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie.

Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes. (Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila, 1985)

Figura 28. Esquema del equipo de medición de las deflexiones (Viga Benkelman)



Fuente: Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretación de Curvas de Deflexión. Mario S. Hoffman – Pablo M. del Águila.

Equipo requerido

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

- Deflectómetro Viga Benkelman
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm
- Camión cargado, con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta metrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.)

Procedimiento para la medición

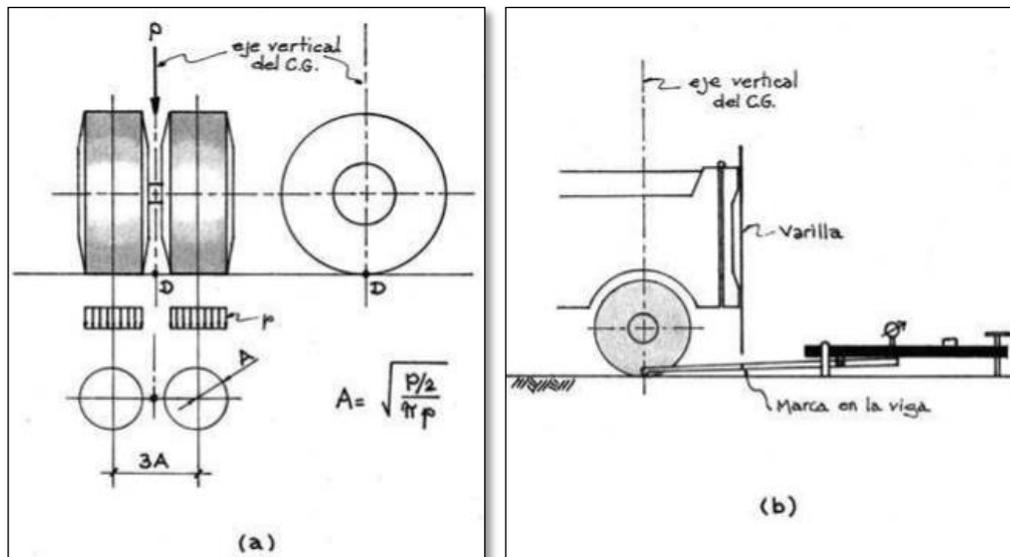
Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver figura 30a, punto "D").

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera

del camión (ver figura 30b), se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la 17 marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

Figura 29. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



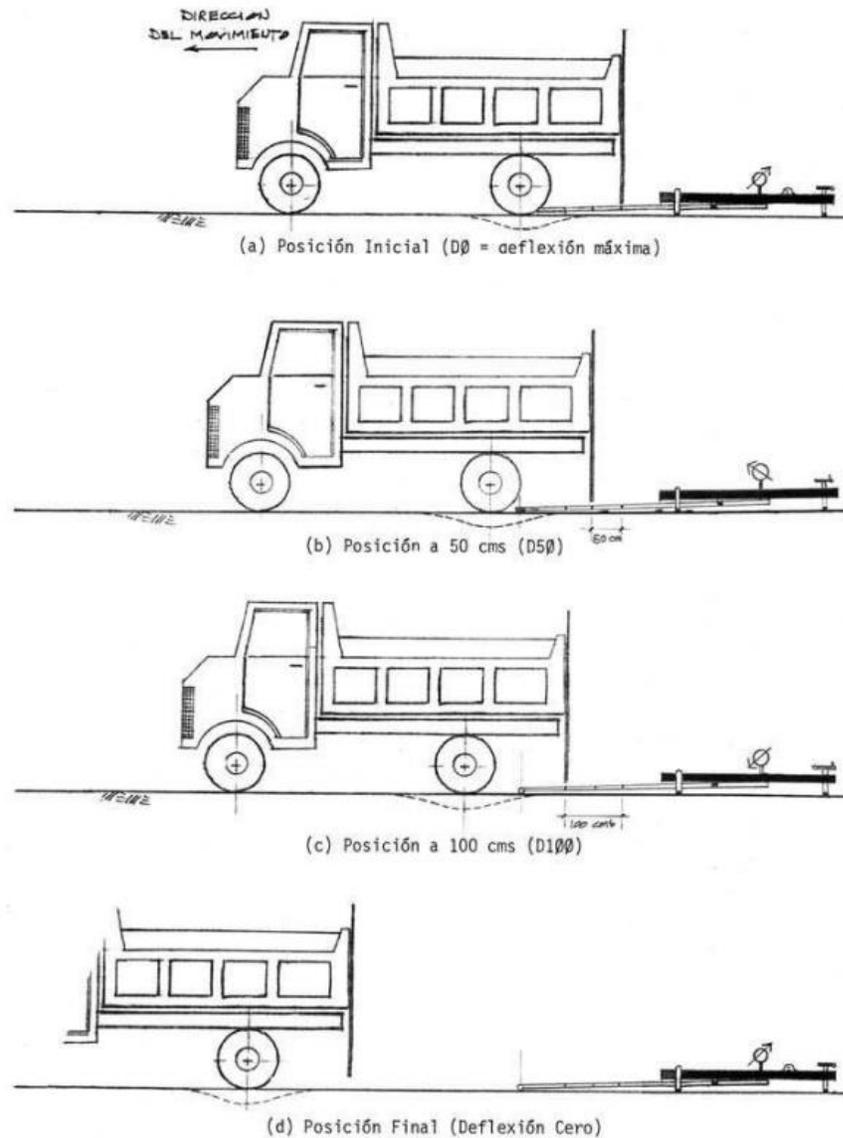
Fuente: Estudios de Evaluación Estructural -Pablo M. del Águila

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, como se verá en el numeral 2.4, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante

la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Figura 30. Esquema del proceso de medición de la Viga Benkelman



Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver figura 31a), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial del

extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (figuras 31b, c) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5,00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.). (Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila, 1985)

Cálculo de deflexiones

Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_0 = K * (L_f - L_0)$$

Donde:

Do= Deflexión máxima.

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

Lo= Lectura inicial.

Lf= Lectura final.

Deflexión a los 50 cm:

$$D_{50} = K * (L_f - L_{50})$$

Donde:

D50= Deflexión a 50 cm.

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

L50= Lectura a 50 cm de la posición inicial.

Lf= Lectura final.

Corrección por temperatura:

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

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

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

Donde:

D20= Deflexión a la temperatura standard (20°C).

Dt= Deflexión a la temperatura t.

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

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

e= Espesor de la carpeta asfáltica.

Cálculo del radio de curvatura:

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

$$Rc = \frac{6250}{k * (Do - D50)}$$

Donde:

Rc= Radio de curvatura en (m).

Do= Deflexión máxima.

D50= Deflexión a 0,50 m.

Cálculo de la deflexión admisible:

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

$$Da = \left(\frac{1,15}{N18} \right)^{1/4}$$

N18= Número total de ejes equivalentes DE 8,2 Ton.

2.5. Marco referencial

- ☞ Tesis evaluación superficial y estructural del estado del pavimento (Subia Loida. 2021) Tarija – Bolivia. Que tiene como objetivo determinar la condición del pavimento flexible aplicando métodos superficiales y estructurales, se ha tomado como referencia para concepto del marco teórico para la parte superficial y estructural del presente trabajo.
- ☞ Tesis evaluación superficial y estructural de pavimento flexible (Cruz Aleman E. 2016) Tarija - Bolivia. Este trabajo tiene también como objetivo determinar el estado en el que se encuentra el pavimento flexible del tramo avenida integración. Se tomaron conceptos y referencias bibliográficas para aportar a este trabajo.
- ☞ Determinación del índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. Se ha tomado de este trabajo conceptos y ecuaciones que van a ayudar a la determinación del PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento).

2.6. Marco normativo

Dentro de las normas a basarse, se considera la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), el “Manual de Diseño y Conservación Vial”, el “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales*Asfaltos” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)

- ✓ Para el procedimiento de evaluación del PCI (Índice de Condición de Pavimentos) se empleó la norma ASTM D6433-03, ASTM 5340-98.
- ✓ Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se empleó la norma IRI (ASTM-95).
- ✓ Para el procedimiento de la viga Benkelman se empleó la norma ASTM D-4695.

- **Posición del autor respecto de los marcos seleccionados**

Los marcos descritos son seleccionados por el investigador porque están relacionados con el tema de la investigación para dar la conceptualización y definición de la teoría y práctica de manera más precisa y corta posible, rescatando todo lo más relevante de cada referencia; esto ayuda a que sea lo más entendible tanto para el autor como para el lector de este trabajo.

Los marcos seleccionados aportan al trabajo de investigación a tener claros los conceptos y pasos a seguir para desarrollar el tema, tanto en la teoría como en la práctica.

El tema de investigación desarrollado está basado en la evaluación de pavimentos flexibles por lo que los marcos seleccionados están enfocados concretamente al tema de acuerdo a los métodos seleccionados, tomando en cuenta las normas y manuales en las que se rige la evaluación.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

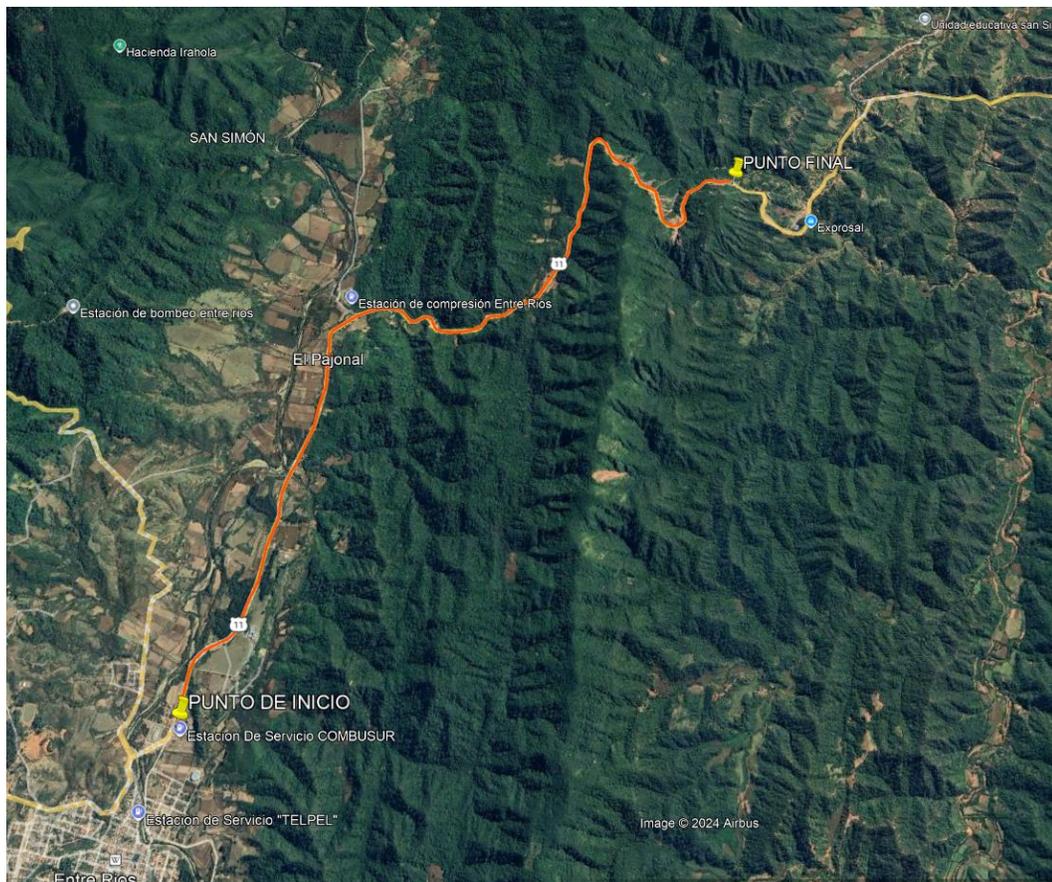
RELEVAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Ubicación

El tramo en estudio se encuentra ubicado en el municipio de Entre Ríos, provincia O'Connor del departamento de Tarija, con coordenadas UTM iniciales: 378619.13m E ; 7620311.03m N y coordenadas UTM finales: 382313.23m E ; 7626245.97m N.

Coordenadas geográficas iniciales: Latitud: 21°30'56.53"S Longitud: 64°10'19.13"O; coordenadas finales: Latitud: 21°27'44.41"S Longitud: 64° 8'9.33"O.

Figura 31. Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente: Google Earth

- **Antecedentes**

El tramo en estudio tiene una topografía accidentada con una vegetación bien boscosa predominando los árboles altos. El tramo Entre Ríos – San Simón fue ejecutado por la empresa española Eurofinsa a mediados de abril del año 2014, el contrato suscrito tiene modalidad “llave en mano”, es decir, la empresa se encargó, tanto del diseño como la construcción del mismo y fue entregado a mediados de mayo del año 2019.

La carretera tiene una velocidad de diseño de 80 km/hr bajando a 60 km/hr en algunos sectores críticos. Se muestra sus parámetros de diseño a continuación:

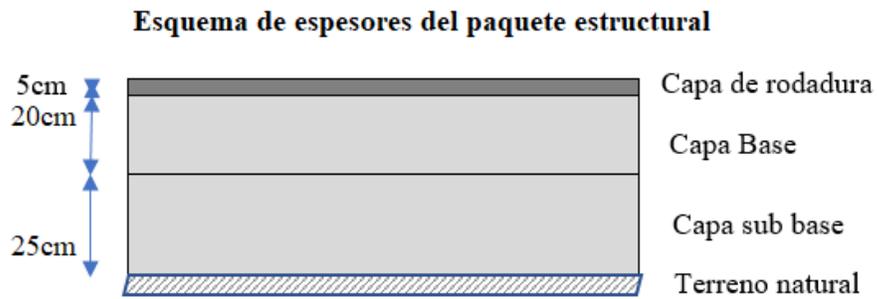
Tabla 7. Parámetros de diseño geométrico

Parámetros de diseño geométrico	
Clase de terreno	Ondulado
Derecho de vía	100m (50m a cada lado)
Velocidad de diseño	80 km/h
Transito promedio diario anual	< 700 vehículos/día
Ancho de corona del camino	10,3 m
Ancho de calzada	7,3 m
Ancho de berma	1,5 m
Radio mínimo de curvatura	80 m
Gradiente máxima	7%
Sobre ancho en las curvas	1,5 m
Peralte o sobre elevación máxima	7%
Bombeo normal o peralte transversal	2,5% bidireccional
Distancia de visibilidad de parada	300 m
Distancia de visibilidad de adelantamiento	300 m
Taludes para terraplén	H:1,5 V:1
Taludes para corte	H:0,5 V:1

Fuente: DBC, SICOES

Dentro del paquete estructural cuenta con una capa sub base de 25 cm, capa base de 20 cm y la capa de rodadura 5 cm, haciendo un total del paquete estructural de 50 cm.

Figura 32. Esquema de espesores del paquete estructural



Fuente: DBC, SICOES

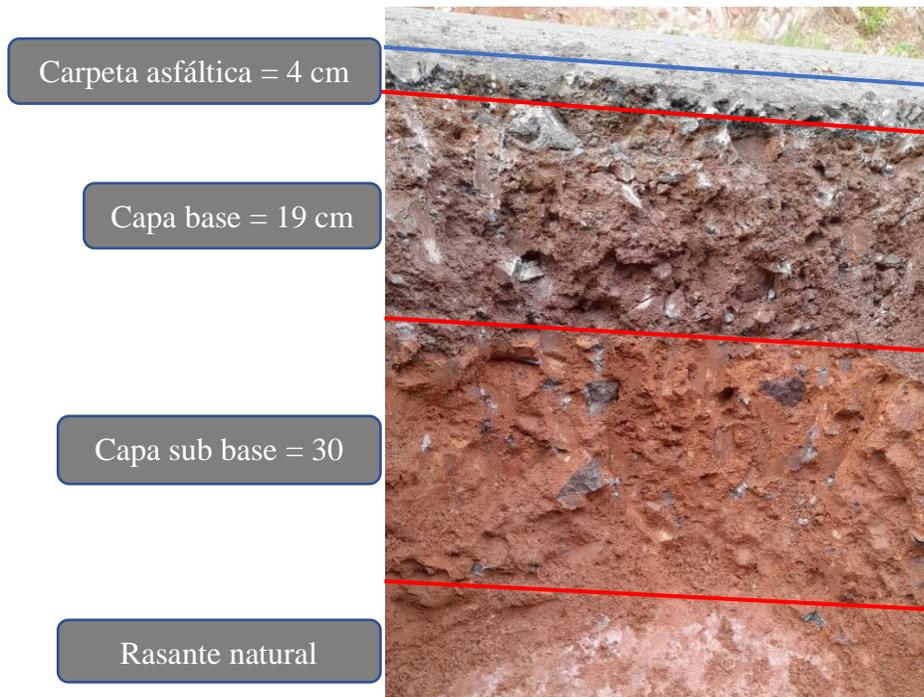
Para corroborar la información de la conformación de la estructura se realizó un sondeo en la calzada de la carretera en la progresiva 8+430 donde se puede observar en la figura 33 y figura 34 los espesores del paquete estructural.

Figura 33. Excavación para verificar espesores de la estructura



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Espesores del paquete estructural



Fuente: Elaboración propia

3.2. Tamaño confiable de la muestra

3.2.1. Unidad de estudio

Kilometro medido en el tramo Entre Ríos – San Simón.

3.2.2. Población

10 kilómetros del tramo en estudio.

3.2.3. Muestra

Ensayos realizados en el tramo Entre Ríos – San Simón que ayudan a determinar el estado del pavimento donde se aplicarán las metodologías de evaluación tanto estructural como superficial; para ello se proponen métodos no destructivos como el PCI (Índice de condición del Pavimento), IRI (Índice de Rugosidad Internacional), PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento), dentro de lo superficial y la viga de Benkelman en la parte estructural.

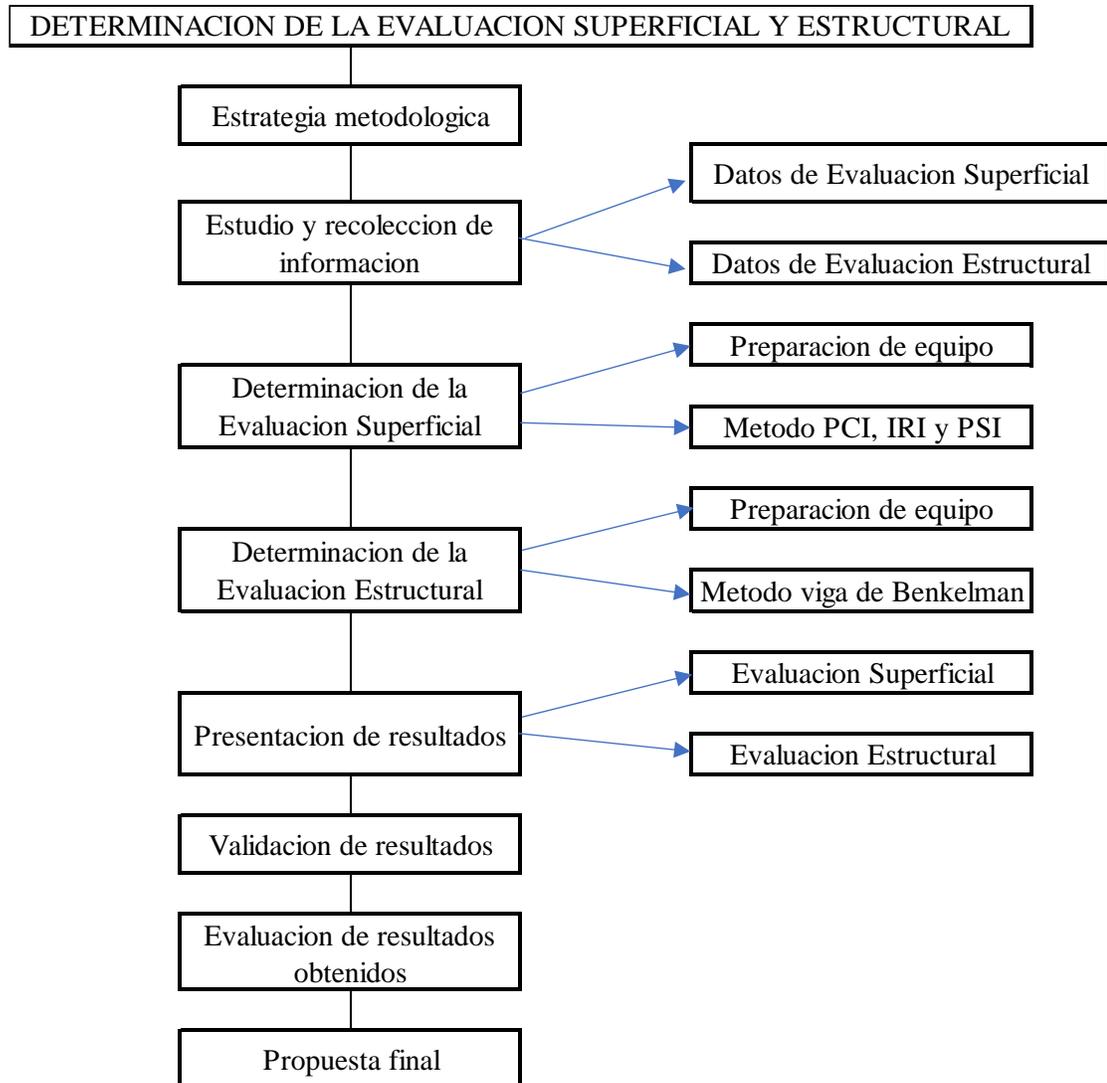
3.2.4. Muestreo

Para obtener los datos requeridos de la evaluación, se realizará una división de la totalidad de la superficie del tramo en unidades homogéneas; considerando los tipos de fallas

existentes aplicando los métodos elegidos, para así lograr obtener datos más representativos.

De acuerdo a la población y los datos estadísticos se puede aproximar un tamaño confiable de muestra. En este caso, como son distintos métodos cada uno tiene una forma diferente de determinar el número de unidades de muestra o sub tramos.

3.2.5. Procedimiento de trabajo



3.2.6. Método PCI

- **Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación**

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 la tabla 10 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 8. 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 (maximo)	31,5

Fuente: Pavement Condition Index (PCI) Para pavimentos asfálticos y de concretos en carreteras, Luis Ricardo Vásquez, febrero 2002.

El ancho de calzada del tramo Entre Ríos - San Simón es de 7,3 m por lo que se opta una longitud de unidad de muestra de 31,5 m; por tanto, haciendo la división de todo el tramo entre 31,5 m se tiene 312,5 unidades de muestra con un área de 230 m^2 cada una.

Todas las unidades de muestra en una sección pueden inspeccionarse para determinar el valor PCI promedio de la sección. Sin embargo, esta posibilidad se limita normalmente por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo. El muestreo total es recomendable para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación necesarias.

Debe calcularse un número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad).

El número de muestras se determina de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM D6433-03 con la ecuación siguiente:

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

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 %).

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades (= 10).

Para el presente trabajo con el fin de obtener resultados más representativos se realiza con una confiabilidad del 97% y un error admisible de 3%

Entonces se tiene un número de unidades de muestra de:

$$n = \frac{312,5 * 10^2}{\frac{3^2}{4} * (312,5 - 1) + 10^2} = 39,02$$

$$n = 39 \text{ unidades o subtramos}$$

Selección de las unidades de muestreo

Es recomendable que las unidades de muestra que se elijan estén igualmente separadas a lo largo del tramo y que la primera se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

a) El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ecuación:

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

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.

El intervalo de muestreo queda entonces:

$$i = \frac{312,5}{39,02} = 8,009 = 8$$

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez

(por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección. (Varela, 2002)

3.2.7. Método IRI

Para este método se hace la división del tramo estudiado en secciones de 400 metros cada una, esto dado a que se deben tomar 200 datos de cada sección y la rueda del Merlin con un giro completo abarca 2 metros de distancia.

3.2.8. Método PSI

En este método como se está haciendo una correlación con el método IRI, corresponde a la misma cantidad de muestras que el IRI, es decir, se divide el tramo estudiado en secciones de 400 metros cada una.

3.2.9. Método viga de Benkelman

La evaluación por el método de la viga Benkelman se la realiza de manera vertical y puntual sobre la superficie del pavimento, de acuerdo a INVIAS (2012) se puede dividir el tramo como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 9. Frecuencia de medición según la Norma INVE-795-13

Tipo de Ensayo	Frecuencia	Numero Mínimo
A nivel de red	Cada (200 - 500m)	7
A nivel general de proyecto	Cada (50 - 200m)	15
A nivel detallado de proyecto	Cada (10 - 50m)	/

Fuente: INVIAS (2012)

Para el presente trabajo se mide las deflexiones a un nivel general de proyecto, cada 200 metros.

3.3. Evaluación superficial del tramo

Para la evaluación superficial del tramo vial Entre Ríos – San Simón se aplicó tres métodos de evaluación; PCI (Índice de Condición del Pavimento), IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento) que se detalla a continuación su desarrollo.

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

Después de hacer una exploración detallada del tramo de estudio se procedió con la medición de los datos para la determinación del PCI de acuerdo con el manual de daños. Para el registro de las fallas se utilizó la tabla 3 presentada en el capítulo anterior.

Las herramientas y equipo utilizado son el flexómetro, una cinta métrica, regla, manual de daños y los conos de seguridad.

Figura 35. Fallas superficiales presentes en el tramo



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los datos y el procedimiento de cálculo del PCI para una de las unidades de muestra del tramo evaluado siguiendo el proceso que nos indica el manual del PCI.

Tabla 10. Fallas existentes en una unidad de muestreo

MÉTODO PCI				ESQUEMA		
(ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO)						
HOJA DE REGISTRO						
NOMBRE DE LA VÍA: Entre Ríos - San Simón			SECCIÓN: 0+768			
EJECUTOR: Ever Altamirano			FECHA: 28/09/2023			
UNIDAD DE MUESTRA: 4			ÁREA (m ²):		230	
FALLAS		Unidad	FALLAS			Unidad
1.Piel de cocodrilo		m ²	11.Baches y parcheo			m ²
2.Exudacion		m ²	12.Agregado pulido			m ²
3.Grietas de contracción		m ²	13.Huecos			#
4.Elevaciones y hundimiento		m ²	14.Cruce de sumideros de rejilla			m ²
5.Corrugación		m ²	15.Ahuellamiento			m ²
6.Depresión		m ²	16.Deformaciones por empuje			m ²
7.Grietas de borde		m	17.Grietas de desplazamiento			m ²
8.Grietas de reflexion de juntas		m	18.Hinchamientos			m ²
9.Desnivel carril-berma		m	19. Disgregación			m ²
10.Grietas long. y transv.		m				
FALLA Y SEVERIDAD	CANTIDAD			TOTAL	FACTOR DE DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
9M	0,04	0,04		0,08	0,03	0
10L	0,7	4,4	6,3	11,4	4,96	4,26
13L	1			1	0,43	10,64
11L	0,39			0,39	0,17	0
12L	0,4			0,4	0,17	0

Fuente: Elaboración propia

Etapas 1. Cálculo de los Valores Deducidos:

Se hace la sumatoria de cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en la columna **TOTAL** de la tabla 11, por ejemplo, para la falla y severidad **10L** se tiene un total de 11,4m.

Cálculo del factor de densidad

Calculando para la falla y severidad **10L** que su área total de falla es igual a 11,4m se tiene:

$$\text{factor de densidad} = \frac{\text{Área total de falla}}{\text{Área de la unidad de muestreo}} * 100$$

$$\text{factor de densidad} = \frac{11,4}{230} * 100 = 4,96$$

De la misma manera se calcula para las demás fallas registradas en la unidad de muestra.

Cálculo de los valores deducidos

El valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad se encuentra mediante la tabla 12. denominada “valor deducido del daño” en este caso para el tipo de falla y severidad **10L** se tiene un factor de densidad de 4,96.

Tabla 11. Valor deducido del daño

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

Fuente: (Varela, 2002)

Haciendo una interpolación entre los valores del factor de densidad de 4 y 5, se tiene un valor deducido de 4,26 resultado que se muestra también en la tabla 11. Se calcula de igual forma para las demás fallas con las tablas que se encuentran en los anexos.

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

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} (100 - 10,64) = 9,21$$

$$m = 9$$

Para el ejemplo al disponer de menos valores deducidos que *m* se utilizan todos los valores que se tengan mayores que 2.

Etapas 3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV):

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a) Se determina el número de valores deducidos, *q*, mayores que 2,0.
- b) Se determina el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- c) Se determina el CDV con *q* y el “Valor Deducido Total” en la tabla de valores deducidos corregidos (tabla 14).
- d) Se reduce a 2,0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y se repite las etapas a) a c) hasta que *q* sea igual a 1.
- e) El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Tabla 12. Máximo valor deducido corregido

CÁLCULO DEL NÚMERO MÁXIMO DEL VALOR DEDUCIDO						
Nro	VALOR DEDUCIDO			TOTAL	q	CDV
1	10,64	4,26		14,9	2	10,18
2	10,64	2		12,64	1	12,64
3						

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro ejemplo interpolando valores de la tabla 13 se encuentra los CDV corregidos y de ellos se toma el máximo que es igual a 12,64.

Tabla 13. Valores deducidos corregidos CDV

TOTAL, DE VALORES DEDUCIDOS	VALOR DEDUCIDO CORREGIDO						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0,0	0,0						
10,0	10,0						
12,0	12,0	8,0					
18,0	18,0	12,5	8,0				
20,0	20,0	14,0	10,0				
25,0	25,0	18,0	13,5	8,0			
28,0	28,0	20,4	15,6	10,4	8,0		
30,0	30,0	22,0	17,0	12,0	10,0		
40,0	40,0	30,0	24,0	19,0	17,0		
42,0	42,0	31,4	25,4	20,4	18,2	15,0	15,0
50,0	50,0	37,0	31,0	26,0	23,0	20,0	20,0
60,0	60,0	44,0	38,0	33,0	29,0	26,0	26,0
70,0	70,0	51,0	44,5	39,0	35,0	32,0	32,0
80,0	80,0	58,0	50,5	45,0	41,0	38,0	38,0
90,0	90,0	64,0	57,0	51,0	46,0	44,0	44,0
100,0	100,0	71,0	63,0	57,0	52,0	49,0	49,0
110,0		76,0	68,0	62,0	57,0	54,0	54,0
120,0		81,0	73,0	68,0	62,0	59,0	59,0
130,0		86,0	78,5	73,0	67,0	63,0	63,0
135,0		88,5	81,5	75,5	69,5	65,0	65,0
140,0		91,0	84,0	78,0	72,0	68,0	67,0
150,0		94,0	88,0	82,0	76,0	72,0	70,0
160,0		98,0	93,0	86,0	81,0	76,0	74,0
166,0		100,0	94,8	88,4	83,4	79,0	75,2
170,0			96,0	90,0	85,0	81,0	76,0
180,0			99,0	93,0	88,0	84,0	79,0
182,0			100,0	93,6	88,6	84,8	79,6
190,0				96,0	91,0	88,0	82,0
200,0				98,0	94,0	90,0	84,0

Fuente: (Varela, 2002)

Etapla 4. Determinación del PCI

$$PCI = 100 - \max. CDV$$

$$\max. CDV = 12,64$$

$$PCI = 100 - 12,64$$

$$PCI = 87,36$$

Según el rango de clasificación para el PCI que se muestra en la tabla 3, la muestra se encuentra en; **CONDICIÓN EXCELENTE.**

Se realiza el mismo procedimiento de cálculo para todas las unidades de muestra del tramo y se le da su calificación respectiva. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de todo el tramo evaluado:

Tabla 14. Resultados de todo el tramo evaluado

N° de muestra	Progresiva	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m²)	PCI	Condición
1	km 0+000	31,5	7,3	230,0	100	Excelente
2	km 0+256	31,5	7,3	230,0	100	Excelente
3	km 0+512	31,5	7,3	230,0	100	Excelente
4	km 0+768	31,5	7,3	230,0	87,36	Excelente
5	km 1+024	31,5	7,3	230,0	58,26	Bueno
6	km 1+280	31,5	7,3	230,0	85,05	Excelente
7	km 1+536	31,5	7,3	230,0	52,11	Regular
8	km 1+792	31,5	7,3	230,0	60,36	Bueno
9	km 2+048	31,5	7,3	230,0	71,58	Muy bueno
10	km 2+304	31,5	7,3	230,0	39,5	Malo
11	km 2+560	31,5	7,3	230,0	49,88	Regular
12	km 2+816	31,5	7,3	230,0	30,96	Malo
13	km 3+072	31,5	7,3	230,0	16,15	Muy malo
14	km 3+328	31,5	7,3	230,0	24,5	Muy malo
15	km 3+584	31,5	7,3	230,0	17,73	Muy malo
16	km 3+840	31,5	7,3	230,0	53,37	Regular
17	km 4+096	31,5	7,3	230,0	16,4	Muy malo
18	km 4+352	31,5	7,3	230,0	61,86	Bueno
19	km 4+608	31,5	7,3	230,0	77,31	Muy bueno
20	km 4+864	31,5	7,3	230,0	92,65	Excelente
21	km 5+120	31,5	7,3	230,0	48,33	Regular
22	km 5+376	31,5	7,3	230,0	98,02	Excelente
23	km 5+632	31,5	7,3	230,0	66,86	Bueno
24	km 5+888	31,5	7,3	230,0	33,16	Malo
25	km 6+144	31,5	7,3	230,0	32,54	Malo
26	km 6+400	31,5	7,3	230,0	81,26	Muy bueno
27	km 6+656	31,5	7,3	230,0	76,02	Muy bueno
28	km 6+912	31,5	7,3	230,0	44,18	Regular
29	km 7+168	31,5	7,3	230,0	72,53	Muy bueno
30	km 7+424	31,5	7,3	230,0	27,62	Muy malo
31	km 7+680	31,5	7,3	230,0	51,66	Regular
32	km 7+936	31,5	7,3	230,0	17,07	Muy malo

N° de muestra	Progresiva	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	PCI	Condición
33	km 8+192	31,5	7,3	230,0	62,3	Bueno
34	km 8+448	31,5	7,3	230,0	21,74	Muy malo
35	km 8+704	31,5	7,3	230,0	63,9	Bueno
36	km 8+960	31,5	7,3	230,0	84,75	Muy bueno
37	km 9+216	31,5	7,3	230,0	39,8	Malo
38	km 9+472	31,5	7,3	230,0	35,39	Malo
39	km 9+728	31,5	7,3	230,0	26,91	Malo
40	km 9+984	31,5	7,3	230,0	31,27	Malo
PROM.=					55,26	Bueno

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Aplicación del método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

Para la obtención de los datos de este método se hizo el uso del equipo MERLIN, siguiendo la metodología para la determinación de rugosidad de los pavimentos se ha dividido el tramo de estudio en secciones de 400 metros cada una aproximadamente, tanto para el carril de ida como de vuelta. Se procede con los ensayos manipulando el equipo y el registro de los datos en la planilla de campo.

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota.

Figura 36. Manipuleo del equipo MERLIN para la obtención de datos



Fuente: Elaboración propia

Se muestran a continuación los datos obtenidos y registrados en la planilla de campo y se procede también a aplicar el procedimiento de cálculo para una de las secciones del tramo y de esa manera obtener su resultado. El procedimiento de cálculo a seguir para todas las demás secciones es el mismo.

Tabla 15. Datos obtenidos en una sección con el MERLIN

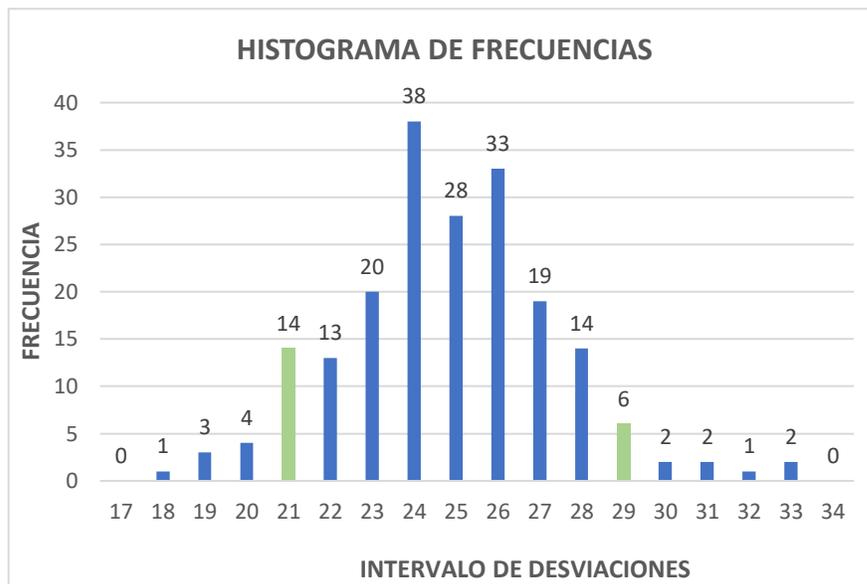
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	28	25	26	26	26	25	19	30	29
2	24	25	27	20	21	18	27	25	24	23
3	25	25	23	28	27	21	24	22	26	28
4	26	24	22	26	27	24	31	21	29	24
5	26	25	22	19	27	23	23	27	28	21
6	32	20	26	33	26	24	21	23	29	26
7	21	28	31	25	27	26	28	21	22	26
8	21	25	26	24	25	30	20	23	27	21
9	22	24	21	24	22	26	29	26	24	24
10	24	23	29	27	28	21	23	24	24	26
11	25	28	24	24	22	26	28	21	24	24
12	23	26	23	24	25	27	23	23	25	27
13	26	24	21	22	26	27	24	26	24	21
14	22	23	26	26	23	26	22	23	23	24
15	26	24	24	27	33	20	26	24	22	27
16	24	25	25	25	28	25	24	24	23	23
17	28	25	24	24	24	26	27	29	27	24
18	27	27	26	24	28	25	24	25	25	26
19	25	26	26	22	22	25	25	25	25	26
20	28	25	28	26	19	27	25	24	24	23

Fuente: Elaboración propia

Se hace la depuración del 5% (10 datos) de cada lado del histograma de distribución de frecuencias.

Efectuada la depuración de los datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos y se determina el rango D que se expresa en milímetros.

Figura 37. Distribución de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(d_i - f_i)}{d_i} + d_m + \frac{(d_d - f_d)}{d_d} \right) * 5 [mm]$$

$$D = \left(\frac{14 - 2}{14} + 7 + \frac{6 - 3}{6} \right) * 5mm = 41,79mm$$

Cálculo del factor de corrección

$$f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5} \right)$$

$$f_c = \left(\frac{(6,2 * 10)}{(25 - 10) * 5} \right) = 0,83$$

Rango D corregido

$$D_c = D * f_c = 41,79 * 0,83$$

$$D_c = 34,54$$

Determinación del IRI

El tramo evaluado ya se encuentra en servicio; por tanto, nos corresponde usar la expresión (1) citada en el capítulo anterior:

$$IRI = 0,593 + 0,0471 * D$$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 * 34,54 = 2,22 \frac{m}{km}$$

De acuerdo a la clasificación que muestra la tabla 6. Clasificación del rango de rugosidad, el valor del IRI en la sección evaluada se encuentra en un: **ESTADO BUENO**.

A continuación, se muestran todos los resultados de cada una de las secciones del tramo:

Tabla 16. Resultados de todo el tramo evaluado, método IRI

Tramo	Carril	IRI (m/km)	Clasificación de serviciabilidad
km 0+000 - 0+400	Ida	2,22	Bueno
km 0+400 - 0+800	Ida	2,14	Bueno
km 0+800 - 1+200	Ida	1,96	Excelente
km 1+200 - 1+600	Ida	2,46	Bueno
km 1+600 - 2+000	Ida	2,68	Bueno
km 2+000 - 2+400	Ida	2,82	Bueno
km 2+400 - 2+800	Ida	2,73	Bueno
km 2+800 - 3+200	Ida	3,87	Regular
km 3+200 - 3+600	Ida	3,82	Regular
km 3+600 - 4+000	Ida	4,10	Regular
km 4+000 - 4+400	Ida	3,61	Regular
km 4+400 - 4+800	Ida	3,11	Bueno
km 4+800 - 5+200	Ida	2,64	Bueno
km 5+200 - 5+600	Ida	2,64	Bueno
km 5+600 - 6+000	Ida	2,30	Bueno
km 6+000 - 6+400	Ida	2,24	Bueno
km 6+400 - 6+800	Ida	1,95	Excelente
km 6+800 - 7+200	Ida	2,30	Bueno
km 7+200 - 7+600	Ida	2,86	Bueno
km 7+600 - 8+000	Ida	2,81	Bueno
km 8+000 - 8+400	Ida	2,70	Bueno
km 8+400 - 8+800	Ida	2,74	Bueno
km 8+800 - 9+200	Ida	2,71	Bueno

Tramo	Carril	IRI (m/km)	Clasificación de serviciabilidad
km 9+200 - 9+600	Ida	3,16	Bueno
km 9+600 - 10+000	Ida	3,03	Bueno
km 10+000 - 9+600	Vuelta	3,10	Bueno
km 9+600 - 9+200	Vuelta	2,96	Bueno
km 9+200 - 8+800	Vuelta	2,75	Bueno
km 8+800 - 8+400	Vuelta	2,93	Bueno
km 8+400 - 8+000	Vuelta	2,95	Bueno
km 8+000 - 7+600	Vuelta	2,73	Bueno
km 7+600 - 7+200	Vuelta	2,84	Bueno
km 7+200 - 6+800	Vuelta	2,66	Bueno
km 6+800 - 6+400	Vuelta	2,71	Bueno
km 6+400 - 6+000	Vuelta	3,11	Bueno
km 6+000 - 5+600	Vuelta	3,47	Bueno
km 5+600 - 5+200	Vuelta	3,14	Bueno
km 5+200 - 4+800	Vuelta	2,91	Bueno
km 4+800 - 4+400	Vuelta	3,92	Regular
km 4+400 - 4+000	Vuelta	3,95	Regular
km 4+000 - 3+600	Vuelta	4,11	Regular
km 3+600 - 3+200	Vuelta	3,79	Regular
km 3+200 - 2+800	Vuelta	3,94	Regular
km 2+800 - 2+400	Vuelta	3,51	Regular
km 2+400 - 2+000	Vuelta	2,45	Bueno
km 2+000 - 1+600	Vuelta	2,68	Bueno
km 1+600 - 1+200	Vuelta	2,25	Bueno
km 1+200 - 0+800	Vuelta	2,20	Bueno
km 0+800 - 0+400	Vuelta	2,23	Bueno
km 0+400 - 0+000	Vuelta	2,23	Bueno
PROMEDIO=		2,90	Bueno

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Aplicación del método PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento)

Para este método se hace una correlación con el valor del IRI para obtener un valor del PSI y darle la clasificación de acuerdo a la normativa. Se utilizan las tres ecuaciones propuestas en el anterior capítulo y de los valores obtenidos se tomará el valor promedio.

Tomando en cuenta la misma muestra anterior usada para el IRI con un valor de 2,22 m/km se tiene:

Ecuación de Paterson (1987)

$$PSI = \frac{5}{e^{5,5} IRI}$$

$$PSI = \frac{5}{\frac{2,22}{e^{5,5}}} \Rightarrow PSI = 3,34$$

Ecuación de Dujisin y Arroyo

$$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0,5})$$

$$PSI = 5,85 - (1,68 * 2,22^{0,5}) \Rightarrow PSI = 3,35$$

Ecuación de la AASHTO

$$PSI = 5,671 - 1,714\sqrt{IRI}$$

$$PSI = 5,671 - 1,714\sqrt{2,22} \Rightarrow PSI = 3,12$$

Para tener un solo valor y darle la clasificación a la sección, se saca el promedio de los tres resultados.

$$PSI_{prom} = \frac{PSI_1 + PSI_2 + PSI_3}{3}$$

$$PSI_{prom} = \frac{3,34 + 3,35 + 3,12}{3}$$

$$PSI_{prom} = 3,27$$

Según su clasificación para este método y con el valor obtenido, la sección evaluada se encuentra en:

ESTADO BUENO

El procedimiento de cálculo para todas las demás secciones del tramo en estudio es el mismo. A continuación, se muestran los resultados de cada una de las secciones de todo el tramo:

Tabla 17. Resultados de todo el tramo evaluado, método PSI

Tramo	Carril	IRI	PSI (1)	PSI (2)	PSI (3)	Prom PSI	Clasificación de serviciabilidad
km 0+000 - 0+400	Ida	2,22	3,34	3,35	3,12	3,27	Bueno
km 0+400 - 0+800	Ida	2,14	3,39	3,39	3,16	3,31	Bueno
km 0+800 - 1+200	Ida	1,96	3,50	3,50	3,27	3,42	Bueno
km 1+200 - 1+600	Ida	2,46	3,20	3,21	2,98	3,13	Bueno
km 1+600 - 2+000	Ida	2,68	3,07	3,10	2,87	3,01	Bueno
km 2+000 - 2+400	Ida	2,82	2,99	3,03	2,79	2,94	Regular a bueno
km 2+400 - 2+800	Ida	2,73	3,04	3,07	2,84	2,98	Regular a bueno
km 2+800 - 3+200	Ida	3,87	2,47	2,55	2,30	2,44	Regular a malo
km 3+200 - 3+600	Ida	3,82	2,50	2,57	2,32	2,46	Regular a malo
km 3+600 - 4+000	Ida	4,10	2,37	2,45	2,20	2,34	Regular a malo
km 4+000 - 4+400	Ida	3,61	2,59	2,66	2,41	2,56	Regular a bueno
km 4+400 - 4+800	Ida	3,11	2,84	2,89	2,65	2,79	Regular a bueno
km 4+800 - 5+200	Ida	2,64	3,10	3,12	2,89	3,03	Regular a bueno
km 5+200 - 5+600	Ida	2,64	3,09	3,12	2,88	3,03	Regular a bueno
km 5+600 - 6+000	Ida	2,30	3,29	3,30	3,07	3,22	Bueno
km 6+000 - 6+400	Ida	2,24	3,33	3,34	3,11	3,26	Bueno
km 6+400 - 6+800	Ida	1,95	3,51	3,51	3,28	3,43	Bueno
km 6+800 - 7+200	Ida	2,30	3,29	3,30	3,07	3,22	Bueno
km 7+200 - 7+600	Ida	2,86	2,97	3,01	2,77	2,92	Regular a bueno
km 7+600 - 8+000	Ida	2,81	3,00	3,03	2,80	2,94	Regular a bueno
km 8+000 - 8+400	Ida	2,70	3,06	3,09	2,86	3,00	Regular a bueno
km 8+400 - 8+800	Ida	2,74	3,04	3,07	2,83	2,98	Regular a bueno
km 8+800 - 9+200	Ida	2,71	3,06	3,09	2,85	3,00	Regular a bueno
km 9+200 - 9+600	Ida	3,16	2,82	2,87	2,63	2,77	Regular a bueno
km 9+600 - 10+000	Ida	3,03	2,88	2,93	2,69	2,83	Regular a bueno
km 10+000 - 9+600	Vuelta	3,10	2,85	2,89	2,65	2,80	Regular a bueno
km 9+600 - 9+200	Vuelta	2,96	2,92	2,96	2,72	2,87	Regular a bueno
km 9+200 - 8+800	Vuelta	2,75	3,03	3,06	2,83	2,98	Regular a bueno
km 8+800 - 8+400	Vuelta	2,93	2,94	2,97	2,74	2,88	Regular a bueno
km 8+400 - 8+000	Vuelta	2,95	2,93	2,97	2,73	2,87	Regular a bueno
km 8+000 - 7+600	Vuelta	2,73	3,04	3,07	2,84	2,98	Regular a bueno
km 7+600 - 7+200	Vuelta	2,84	2,99	3,02	2,78	2,93	Regular a bueno
km 7+200 - 6+800	Vuelta	2,66	3,08	3,11	2,87	3,02	Regular a bueno
km 6+800 - 6+400	Vuelta	2,71	3,06	3,09	2,85	3,00	Regular a bueno
km 6+400 - 6+000	Vuelta	3,11	2,84	2,89	2,65	2,79	Regular a bueno
km 6+000 - 5+600	Vuelta	3,47	2,66	2,72	2,48	2,62	Regular a bueno
km 5+600 - 5+200	Vuelta	3,14	2,82	2,87	2,63	2,78	Regular a bueno
km 5+200 - 4+800	Vuelta	2,91	2,94	2,98	2,75	2,89	Regular a bueno
km 4+800 - 4+400	Vuelta	3,92	2,45	2,52	2,28	2,42	Regular a malo
km 4+400 - 4+000	Vuelta	3,95	2,44	2,51	2,26	2,40	Regular a malo

Tramo	Carril	IRI	PSI (1)	PSI (2)	PSI (3)	Prom PSI	Clasificación de serviciabilidad
km 4+000 - 3+600	Vuelta	4,11	2,37	2,44	2,20	2,34	Regular a malo
km 3+600 - 3+200	Vuelta	3,79	2,51	2,58	2,33	2,48	Regular a malo
km 3+200 - 2+800	Vuelta	3,94	2,44	2,52	2,27	2,41	Regular a malo
km 2+800 - 2+400	Vuelta	3,51	2,64	2,70	2,46	2,60	Regular a bueno
km 2+400 - 2+000	Vuelta	2,45	3,20	3,22	2,99	3,14	Bueno
km 2+000 - 1+600	Vuelta	2,68	3,07	3,10	2,86	3,01	Regular a bueno
km 1+600 - 1+200	Vuelta	2,25	3,32	3,33	3,10	3,25	Bueno
km 1+200 - 0+800	Vuelta	2,20	3,35	3,36	3,13	3,28	Bueno
km 0+800 - 0+400	Vuelta	2,23	3,33	3,34	3,11	3,26	Bueno
km 0+400 - 0+000	Vuelta	2,23	3,33	3,34	3,11	3,26	Bueno
PROMEDIO=						2,91	Regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

3.4. Evaluación estructural

3.4.1. Metodología y procedimiento de cálculo para la Viga de Benkelman

Para el estudio realizado se utilizó un deflectómetro de viga Benkelman, que se encuentra bajo la custodia del Laboratorio de Asfaltos de la UAJMS. Para determinar la condición estructural actual del pavimento se siguió la metodología AASHTO 1993.

Figura 38. Manipulación de la Viga Benkelman para obtener datos de las deflexiones



Fuente: Elaboración propia

Para el estudio se usó ambos carriles de la vía dividiendo en tramos promedio de 200 m. Con el equipo y las herramientas necesarias en campo, se procede a la obtención de las deflexiones en el tramo, siguiendo el procedimiento que indica el manual del equipo y se registra los datos en la planilla de campo como se muestra en la tabla que sigue.

Tabla 18. Datos obtenidos de campo con la Viga Benkelman

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman									
Tramo: Entre Ríos - San Simón									
Carril: IDA									
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro					
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm
1	00+000	28	20	0	2	2	2	2	4
2	00+200	28	20	0	2	2	2	4	4
3	00+400	28	20	0	2	4	4	6	8
4	00+600	28	20	0	4	4	8	8	10
5	0+800	28	20	0	2	2	4	6	8
6	1+000	28	20	0	2	2	4	6	8
7	1+200	29	21	0	2	2	6	6	8
8	1+400	29	21	0	2	4	4	8	10
9	1+600	29	21	0	4	4	6	6	8
10	1+800	29	22	0	2	2	6	10	8
11	2+000	29	22	0	2	4	4	8	8
12	2+200	29	22	0	2	2	6	8	8
13	2+400	29	22	0	2	2	4	6	8
14	2+600	28	22	0	2	4	8	10	12
15	2+800	28	22	0	4	4	6	8	8
16	3+000	29	22	0	6	6	8	8	10
17	3+200	29	22	0	2	2	6	8	8
18	3+400	28	22	0	2	0	4	6	8
19	3+600	29	22	0	2	2	4	6	8
20	3+800	29	22	0	2	4	4	6	10
21	4+000	28	23	0	2	6	10	8	8
22	4+200	28	23	0	2	4	6	8	8
23	4+400	28	23	0	2	6	8	8	10
24	4+600	29	23	0	2	6	6	6	10
25	4+800	29	23	0	2	2	2	4	8
26	5+000	29	23	0	4	4	6	6	8
27	5+200	28	23	0	2	4	4	8	8
28	5+400	29	23	0	2	4	8	10	12
29	5+600	29	23	0	2	4	6	8	10
30	5+800	28	23	0	2	2	6	10	14

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos en campo del tramo en estudio, se procede a calcular los indicadores del estado de la estructura del pavimento. A continuación, se muestran los datos obtenidos y se realiza el procedimiento de cálculo de los indicadores.

El procedimiento de cálculo para determinar la deflexión máxima y el radio de curvatura se lo realiza para el primer punto medido y para el resto de los puntos en el tramo, se repite el mismo procedimiento. Se muestran más adelante en una tabla, los resultados obtenidos de todos los puntos obtenidos.

Cálculo de la deflexión máxima

$$D_0 = K * (L_f - L_0)$$

$$D_0 = 1 * (4 - 0) = 4x10^{-2}mm$$

Corrección por temperatura

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

$$Dot = \frac{4}{0,001 * (28 - 20^{\circ}C) * 5 + 1}$$

$$Dot = 3,85x10^{-2}mm$$

Deflexión a 50cm

$$D_{50} = K * (L_f - L_{50})$$

$$D_{50} = 1 * (4 - 2) = 2x10^{-2}mm$$

Corrección por temperatura

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

$$Dot = \frac{2}{0,001 * (28 - 20^{\circ}C) * 5 + 1}$$

$$Dot = 1,92x10^{-2}mm$$

Cálculo del radio de curvatura

$$Rc = \frac{6250}{k * (Do - D50)}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (3,85 - 1,92)}$$

$$Rc = 1625m$$

Cálculo de la deflexión admisible

La construcción del tramo Entre Ríos – San Simón fue cargo de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), al ser un proyecto llave en mano no fue posible acceder a la información específica del proyecto por lo que se toma un valor estándar del número de ejes equivalentes para Bolivia para un periodo de 20 años; $W18 = 3108870$.

$$Da = \left(\frac{1,15}{N18} \right)^{1/4}$$

$$Da = \left(\frac{1,15}{3108870} \right)^{1/4}$$

$$Da = 0,7799mm = 77,99 \times 10^{-2}mm$$

Tabla 19. Resultados de la evaluación estructural, carril de ida

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: IDA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
1	00+000	28	20	0	2	2	2	2	4	3,85	1,92	1625,00
2	00+200	28	20	0	2	2	2	4	4	3,85	1,92	1625,00
3	00+400	28	20	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
4	00+600	28	20	0	4	4	8	8	10	9,62	5,77	812,50
5	0+800	28	20	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
6	1+000	28	20	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
7	1+200	29	21	0	2	2	6	6	8	7,66	5,74	1632,81
8	1+400	29	21	0	2	4	4	8	10	9,57	7,66	1632,81
9	1+600	29	21	0	4	4	6	6	8	7,66	3,83	816,41
10	1+800	29	22	0	2	2	6	10	8	9,57	7,66	1632,81
11	2+000	29	22	0	2	4	4	8	8	7,66	5,74	1632,81
12	2+200	29	22	0	2	2	6	8	8	7,66	5,74	1632,81
13	2+400	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1632,81
14	2+600	28	22	0	2	4	8	10	12	11,54	9,62	1625,00
15	2+800	28	22	0	4	4	6	8	8	7,69	3,85	812,50
16	3+000	29	22	0	6	6	8	8	10	9,57	3,83	544,27
17	3+200	29	22	0	2	2	6	8	8	7,66	5,74	1632,81
18	3+400	28	22	0	2	0	4	6	8	7,69	5,77	1625,00

Tramo: Entre Ríos - San Simón											Fecha: 19/10/2023	
Carril: IDA											Ejecutor: Ever Altamirano	
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
19	3+600	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1632,81
20	3+800	29	22	0	2	4	4	6	10	9,57	7,66	1632,81
21	4+000	28	23	0	2	6	10	8	8	9,62	7,69	1625,00
22	4+200	28	23	0	2	4	6	8	8	7,69	5,77	1625,00
23	4+400	28	23	0	2	6	8	8	10	9,62	7,69	1625,00
24	4+600	29	23	0	2	6	6	6	10	9,57	7,66	1632,81
25	4+800	29	23	0	2	2	2	4	8	7,66	5,74	1632,81
26	5+000	29	23	0	4	4	6	6	8	7,66	3,83	816,41
27	5+200	28	23	0	2	4	4	8	8	7,69	5,77	1625,00
28	5+400	29	23	0	2	4	8	10	12	11,48	9,57	1632,81
29	5+600	29	23	0	2	4	6	8	10	9,57	7,66	1632,81
30	5+800	28	23	0	2	2	6	10	14	13,46	11,54	1625,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Resultados de la evaluación estructural, carril de vuelta

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: VUELTA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
1	0+000	28	20	0	4	4	6	8	8	7,69	3,85	813
2	0+200	28	20	0	2	2	4	6	10	9,62	7,69	1625
3	0+400	28	22	0	2	6	6	8	8	7,69	5,77	1625
4	0+600	28	22	0	4	6	8	8	8	7,69	3,85	813
5	0+800	28	22	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625
6	1+000	28	22	0	10	6	6	8	8	9,62	0,00	325
7	1+200	29	22	0	6	6	8	8	10	9,57	3,83	544
8	1+400	29	22	0	4	4	6	8	12	11,48	7,66	816
9	1+600	29	22	0	2	6	6	8	8	7,66	5,74	1633
10	1+800	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1633
11	2+000	29	22	0	2	4	4	6	8	7,66	5,74	1633
12	2+200	29	22	0	2	4	6	8	8	7,66	5,74	1633
13	2+400	28	22	0	2	2	6	6	8	7,69	5,77	1625
14	2+600	29	23	0	4	4	8	10	12	11,48	7,66	816
15	2+800	29	23	0	2	4	6	6	8	7,66	5,74	1633
16	3+000	28	23	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625
17	3+200	29	23	0	4	6	6	6	8	7,66	3,83	816
18	3+400	29	23	0	2	2	4	4	8	7,66	5,74	1633

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: VUELTA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
19	3+600	29	23	0	2	6	6	8	8	7,66	5,74	1633
20	3+800	29	23	0	6	8	12	10	10	11,48	5,74	544
21	4+000	28	23	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625
22	4+200	28	23	0	2	4	8	8	8	7,69	5,77	1625
23	4+400	29	23	0	2	6	6	6	8	7,66	5,74	1633
24	4+600	28	23	0	2	4	6	8	10	9,62	7,69	1625
25	4+800	29	23	0	4	4	4	6	8	7,66	3,83	816
26	5+000	29	23	0	2	4	6	6	8	7,66	5,74	1633
27	5+200	28	23	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625
28	5+400	29	23	0	2	2	2	6	8	7,66	5,74	1633
29	5+600	29	23	0	4	4	6	8	10	9,57	5,74	816
30	5+800	28	23	0	2	4	6	6	8	7,69	5,77	1625

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE DATOS Y
RESULTADOS OBSERVADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS OBSERVADOS

4.1. Organización de las planillas resumen de resultados

4.1.1. Evaluación superficial

- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

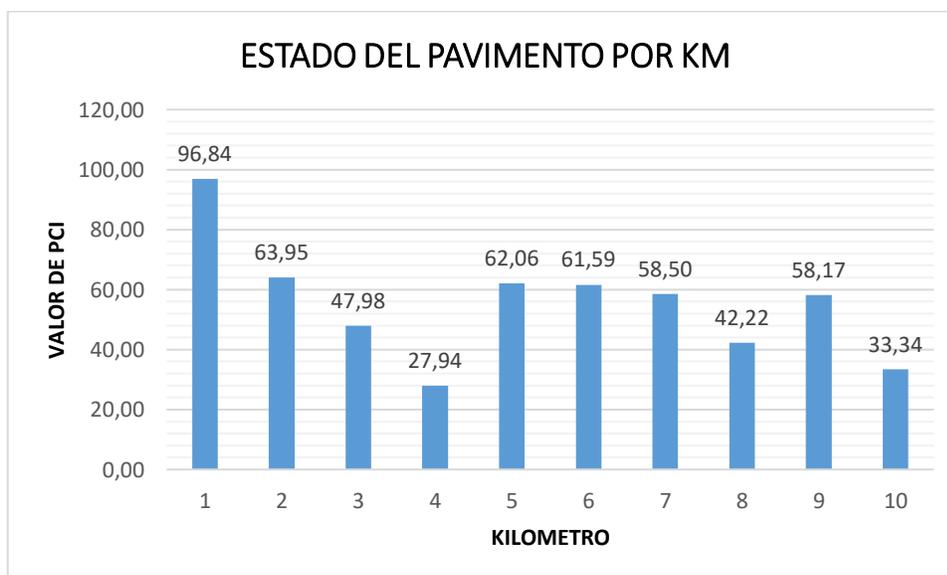
Se presenta un resumen de resultados obtenidos bajo los indicadores de la metodología PCI.

Tabla 21. Resultados del tramo por kilómetro evaluado

KM	Progresiva	PCI	Condición
1	0+000 - 0+768	96,84	EXCELENTE
2	1+024 - 1+792	63,95	BUENO
3	2+048 - 2+816	47,98	REGULAR
4	3+072 - 3+840	27,94	MALO
5	4+096 - 4+864	62,06	BUENO
6	5+120 - 5+888	61,59	BUENO
7	6+144 - 6+912	58,50	BUENO
8	7+168 - 7+936	42,22	REGULAR
9	8+192 - 8+960	58,17	BUENO
10	9+216 - 9+984	33,34	MALO

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Estado del pavimento por kilómetro evaluado



Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de los resultados del método**

En la tabla 21 se muestran resultados de la condición del pavimento por cada kilómetro evaluado donde el valor promedio del PCI en todo el tramo es igual a **55,26** que está calificado como una condición de pavimento **BUENO**. Así también se puede observar en la figura 39 que el valor de PCI más crítico se encuentra en el kilómetro 4, por lo que se debe centrar más la atención a este sub tramo.

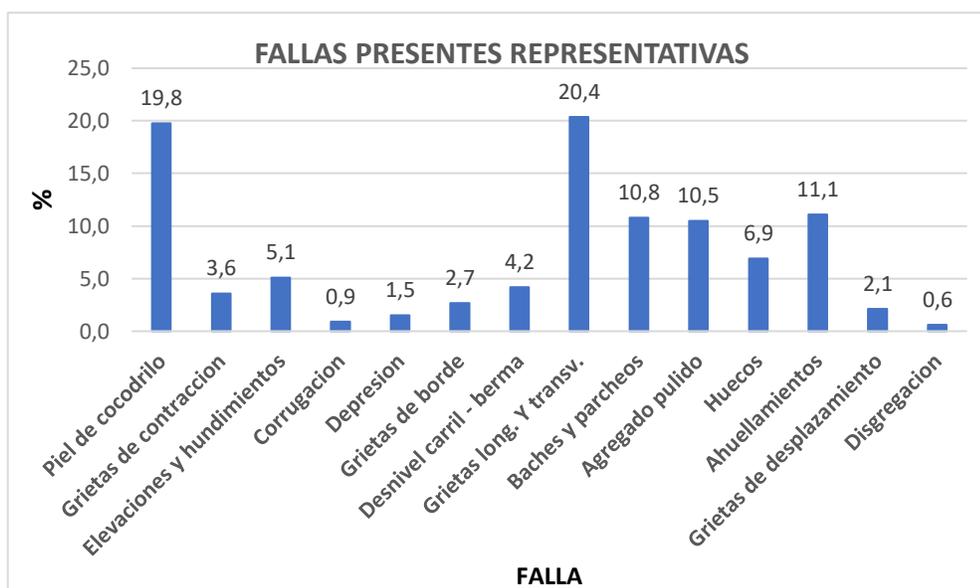
En el trayecto del tramo Entre Ríos – San Simón evaluado por el método PCI se ha llegado a observar los tipos de fallas que se muestran a continuación:

Tabla 22. Fallas presentes en la superficie del pavimento

Falla	Cantidad	%
Piel de cocodrilo	66	19,8
Grietas de contracción	12	3,6
Elevaciones y hundimientos	17	5,1
Corrugación	3	0,9
Depresión	5	1,5
Grietas de borde	9	2,7
Desnivel carril – berma	14	4,2
Grietas longitudinales y transversales.	68	20,4
Baches y parcheos	36	10,8
Agregado pulido	35	10,5
Huecos	23	6,9
Ahuellamientos	37	11,1
Grietas de desplazamiento	7	2,1
Disgregación	2	0,6

Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Fallas presentes en el tramo en porcentaje



Fuente: Elaboración propia

De la tabla 22 se obtiene la figura 40 la cual nos muestra que la mayor cantidad de fallas son las grietas longitudinales con un 20,4% seguida de la falla piel de cocodrilo con un 19,8 % que son las más considerables en el tramo.

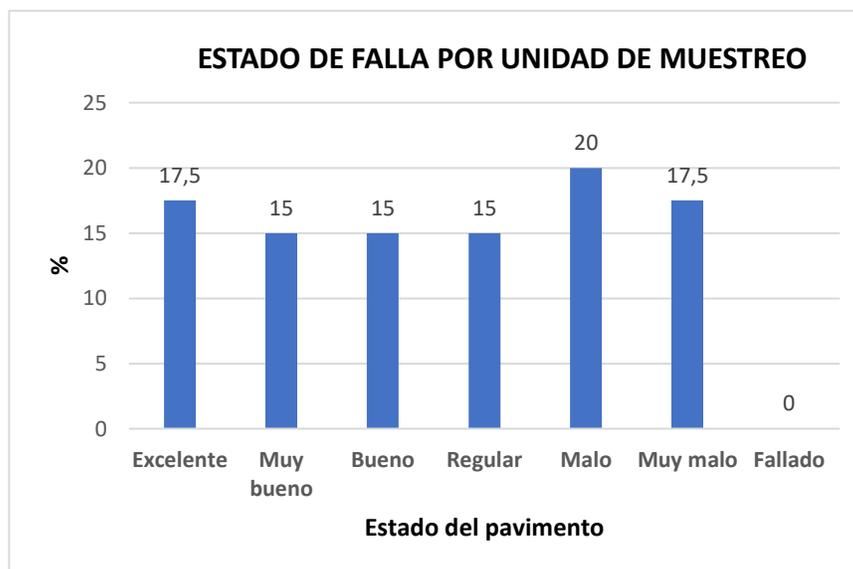
Tabla 23. Estados del pavimento en porcentaje

Estado	Unidades de muestreo	%
Excelente	7	17,5
Muy bueno	6	15
Bueno	6	15
Regular	5	12,5
Malo	7	17,5
Muy malo	4	10
Fallado	5	12,5
Total	40	100

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se puede observar que en un mayor porcentaje se encuentra en estado **MALO** como se muestra en la figura 41, sin embargo, esto no llega a significar que todo el tramo se encuentre en ese estado; se detalla en la tabla 23 la distribución en porcentaje de todos los estados en el tramo de estudio.

Figura 41. Estado de falla por unidad de muestreo



Fuente: Elaboración propia

- **Prueba de hipótesis**

Se hace un análisis estadístico realizando una prueba de hipótesis para confirmar o descartar la hipótesis propuesta de la investigación.

Resultados obtenidos de la evaluación superficial por el método PCI

N° muestra	KM1	KM2	KM3	KM4	KM5	KM6	KM7	KM8	KM9	KM10
1	100	58,26	71,58	16,15	16,4	48,33	32,54	72,53	62,3	39,8
2	100	85,05	39,5	24,5	61,86	98,02	81,26	27,62	21,74	35,39
3	100	52,11	49,88	17,73	77,31	66,86	76,02	51,66	63,9	26,91
4	87,36	60,36	30,96	53,37	92,65	33,16	44,18	17,07	84,75	31,27

Según la normativa usada se tiene rangos de clasificación del PCI

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

Hipótesis de la investigación

Con la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo Entre Ríos – San Simón, se identifica el estado de deterioro en el que se encuentra el tramo.

Interpretación de las hipótesis

Ho: Se puede establecer una buena condición superficial del tramo carretero.

H1: Se puede establecer una mala condición superficial del tramo carretero.

Valores de frecuencia observada (fo)

KM	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado	Total
KM1	4	0	0	0	0	0	0	4
KM2	1	0	2	1	0	0	0	4
KM3	0	1	0	1	1	1	0	4
KM4	0	0	0	1	0	3	0	4
KM5	1	1	1	0	0	1	0	4
KM6	1	0	1	1	1	0	0	4
KM7	0	2	0	0	2	0	0	4
KM8	0	1	0	1	1	1	0	4
KM9	0	1	2	0	0	1	0	4
KM10	0	0	0	0	4	0	0	4
Total	7	6	6	5	9	7	0	40

Cálculo de la frecuencia esperada (fe)

$$fe = \frac{\text{total de columna} \times \text{total de fila}}{\text{suma total}}$$

KM	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado
KM1	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM2	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM3	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM5	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0
KM10	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,7	0

Determinación del X^2 calculado

$$X_c^2 = \sum \frac{(fo - fe)}{fe}$$

Kilometro	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado
KM1	15,557	0,600	0,600	0,500	0,900	0,700	0,000
KM2	0,129	0,600	3,267	0,500	0,900	0,700	0,000
KM3	0,700	0,267	0,600	0,500	0,011	0,129	0,000
KM4	0,700	0,600	0,600	0,500	0,900	7,557	0,000
KM5	0,129	0,267	0,267	0,500	0,900	0,129	0,000
KM6	0,129	0,600	0,267	0,500	0,011	0,700	0,000
KM7	0,700	3,267	0,600	0,500	1,344	0,700	0,000
KM8	0,700	0,267	0,600	0,500	0,011	0,129	0,000
KM9	0,700	0,267	3,267	0,500	0,900	0,129	0,000
KM10	0,700	0,600	0,600	0,500	10,678	0,700	0,000

$$X^2_{calc} = 71,27$$

Determinación del X^2 crítico

$$n = (n_{fil} - 1)(n_{col} - 1)$$

$$n_{fil} = 7$$

$$n_{col} = 10$$

$$n = 54$$

valor de significancia

$$\alpha = 0,05$$

$$X^2_{crit} = 38,116$$

Comparación de valores

$$X^2_{calc} > X^2_{crit} \quad Ho \text{ cae en la zona de rechazo}$$

$$71,27 > 38,116 \text{ Verdadero} \rightarrow Ho \text{ cae en la zona de rechazo}$$

Conclusión de la prueba

La hipótesis nula es rechazada; por lo tanto, se puede establecer que la hipótesis de investigación no está emparejada con ésta y se puede afirmar que el tramo estudiado no está en una buena condición.

Se deben hacer las mejoras de refacción y/o reparación, en algunos casos de toda la plataforma y en otros casos de manera puntual.

- **Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)**

Se muestra un resumen de resultados obtenidos por la metodología del IRI.

Tabla 24. Resultados del tramo por kilómetro evaluado

KM	TRAMO	VALOR IRI	CLASIFICACIÓN
1	0+000 - 0+800	2,21	BUENO
2	0+800 - 2+000	2,37	BUENO
3	2+000 - 2+800	2,88	BUENO
4	2+800 - 4+000	3,94	REGULAR
5	4+000 - 4+800	3,65	REGULAR
6	4+800 - 6+000	2,85	BUENO
7	6+000 - 6+800	2,50	BUENO
8	6+800 - 8+000	2,70	BUENO
9	8+000 - 8+800	2,83	BUENO
10	8+800 - 10+000	2,95	BUENO

Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Estado del pavimento por kilómetro evaluado



Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de resultado del método**

En la tabla 24 se presenta un resumen de resultados obtenidos por kilómetro evaluado del tramo, el valor promedio de todo el tramo es de **2,90 m/km** que se califica como un estado de pavimento **BUENO**.

De la tabla 24 se obtiene la figura 42 donde se puede notar que el valor más crítico del IRI está también en el kilómetro 4 al igual que el anterior método.

Haciendo una observación a los resultados de evaluación por este método en el tramo, se puede notar que en mayor porcentaje se encuentra una serviciabilidad de condición buena con un 76% como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Nivel de serviciabilidad en porcentaje

Serviciabilidad	Sección de muestreo	%
Excelente	2	4
Bueno	38	76
Regular	10	20
Malo	0	0
Total	50	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Condición del pavimento por unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

El manual de Merliner especifica que para pavimentos asfálticos nuevos el IRI característico deberá ser menor o igual a 2 m/km para ser aceptado como en mejor serviciabilidad.

Para la evaluación del tramo se tiene un valor promedio del IRI de 2,90 m/km que es mayor a 2 m/km, es decir, no cumple con la condición especificada por el manual. Encontrando el IRI característico del tramo estudiado se tiene que el $IRI_c = 3,87$ m/km siendo este mayor que 2 m/km, donde tampoco cumple con la condición del manual; por otra parte, según la tabla de clasificación, en general, el tramo se encuentra en **ESTADO BUENO**, debiendo hacerse las reparaciones correspondientes en las partes más críticas.

- **Método PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento)**

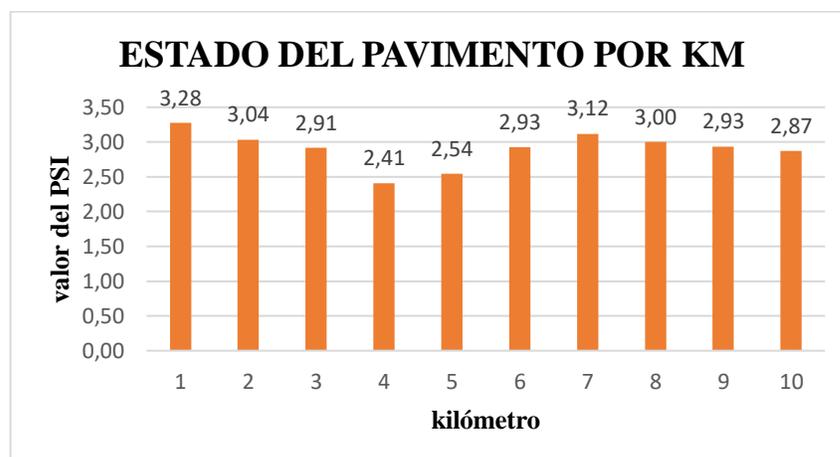
Para este método se presenta un resumen de los resultados evaluados por cada kilómetro del tramo, que se correlaciona con el método IRI para su obtención.

Tabla 26. Resultados del tramo por kilómetro evaluado

KM	TRAMO	VALOR IRI	CLASIFICACIÓN
1	0+000 - 0+800	3,28	BUENO
2	0+800 - 2+000	3,04	REGULAR A BUENO
3	2+000 - 2+800	2,91	REGULAR A BUENO
4	2+800 - 4+000	2,41	REGULAR A MALO
5	4+000 - 4+800	2,54	REGULAR A MALO
6	4+800 - 6+000	2,93	REGULAR A BUENO
7	6+000 - 6+800	3,12	BUENO
8	6+800 - 8+000	3,00	REGULAR A BUENO
9	8+000 - 8+800	2,93	REGULAR A BUENO
10	8+800 - 10+000	2,87	REGULAR A BUENO

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Resultados del tramo por kilómetro



Fuente: Elaboración propia

- **Análisis de resultados del método**

La tabla 26 muestra los resultados obtenidos por cada kilómetro evaluado a lo largo del tramo con un valor promedio de **2,91** que, según la clasificación, el pavimento en general, se encuentra en un estado de **REGULAR A BUENO**, es decir el tramo a pesar de las fallas que presenta, tiene una condición no mala.

Según la figura 44 de acuerdo a los parámetros de calificación, el sub tramo más crítico se encuentra en el kilómetro 4.

Las mejoras ya sea de refacción o reparación en algunas secciones deberán ser puntuales, mas no de toda la plataforma.

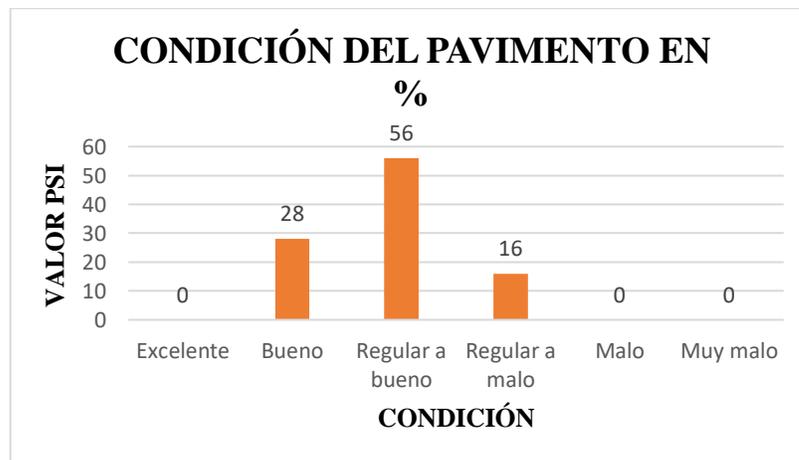
En la tabla 27 y la figura 45 se muestra el cómo están distribuidos los estados de serviciabilidad en porcentaje para este método. Así mismo se nota que el estado regular a bueno es lo que más presencia tiene el tramo con un 76%.

Tabla 27. Estados de serviciabilidad en porcentaje

Estado de pavimento	Secciones de muestreo	%
Excelente	0	0
Bueno	14	28
Regular a bueno	28	56
Regular a malo	8	16
Malo	0	0
Muy malo	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Estado del pavimento por unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Evaluación estructural

Para la evaluación estructural se utilizó un solo método no destructivo que es la viga de Benkelman. Se muestran los resultados a continuación:

Resultados del método de la Viga Benkelman carril de ida

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: IDA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
1	00+000	28	20	0	2	2	2	2	4	3,85	1,92	1625,00
2	00+200	28	20	0	2	2	2	4	4	3,85	1,92	1625,00
3	00+400	28	20	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
4	00+600	28	20	0	4	4	8	8	10	9,62	5,77	812,50
5	0+800	28	20	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
6	1+000	28	20	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
7	1+200	29	21	0	2	2	6	6	8	7,66	5,74	1632,81
8	1+400	29	21	0	2	4	4	8	10	9,57	7,66	1632,81
9	1+600	29	21	0	4	4	6	6	8	7,66	3,83	816,41
10	1+800	29	22	0	2	2	6	10	8	9,57	7,66	1632,81
11	2+000	29	22	0	2	4	4	8	8	7,66	5,74	1632,81
12	2+200	29	22	0	2	2	6	8	8	7,66	5,74	1632,81
13	2+400	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1632,81

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: IDA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
14	2+600	28	22	0	2	4	8	10	12	11,54	9,62	1625,00
15	2+800	28	22	0	4	4	6	8	8	7,69	3,85	812,50
16	3+000	29	22	0	6	6	8	8	10	9,57	3,83	544,27
17	3+200	29	22	0	2	2	6	8	8	7,66	5,74	1632,81
18	3+400	28	22	0	2	0	4	6	8	7,69	5,77	1625,00
19	3+600	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1632,81
20	3+800	29	22	0	2	4	4	6	10	9,57	7,66	1632,81
21	4+000	28	23	0	2	6	10	8	8	9,62	7,69	1625,00
22	4+200	28	23	0	2	4	6	8	8	7,69	5,77	1625,00
23	4+400	28	23	0	2	6	8	8	10	9,62	7,69	1625,00
24	4+600	29	23	0	2	6	6	6	10	9,57	7,66	1632,81
25	4+800	29	23	0	2	2	2	4	8	7,66	5,74	1632,81
26	5+000	29	23	0	4	4	6	6	8	7,66	3,83	816,41
27	5+200	28	23	0	2	4	4	8	8	7,69	5,77	1625,00
28	5+400	29	23	0	2	4	8	10	12	11,48	9,57	1632,81
29	5+600	29	23	0	2	4	6	8	10	9,57	7,66	1632,81
30	5+800	28	23	0	2	2	6	10	14	13,46	11,54	1625,00

NÚMERO DE MUESTRAS	30,00	30,00	30,00
SUMATORIA	253,18	184,14	44528,65
PROMEDIO:	8,44	6,14	1484,29
DEFLEXIÓN MÍNIMA	3,85	1,92	544,27
DEFLEXIÓN MÁXIMA	13,46	11,54	1632,81
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,93	2,10	332,32
VARIANZA	3,71	4,42	110439,1
COEFICIENTE DE VAR.	22,82	34,26	22,39
VALOR CARACTERÍSTICO	10,91	8,83	1910,33

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

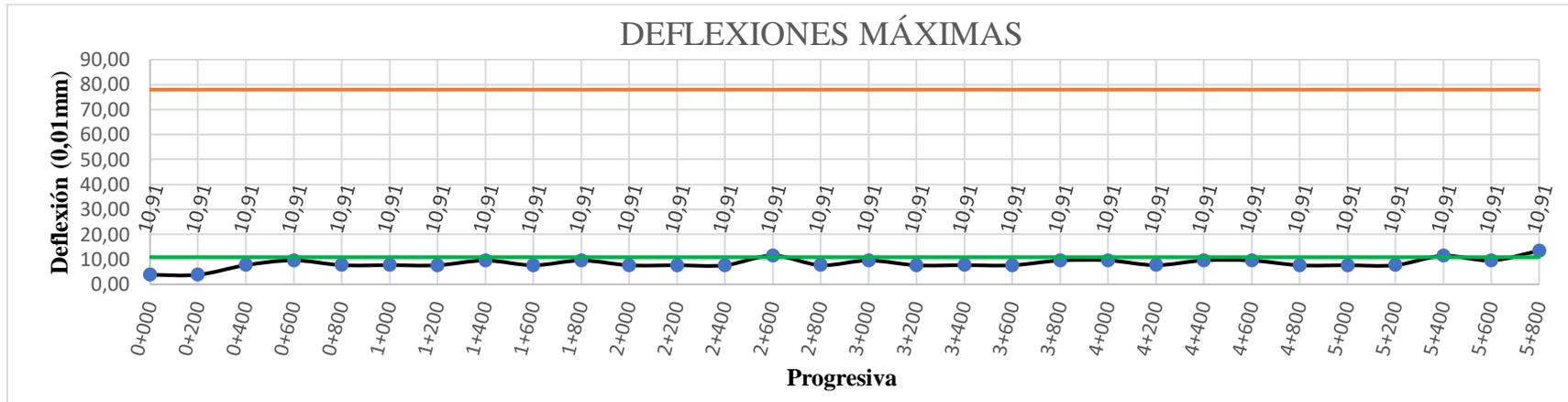
$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D = Deflexión recuperable promedio = 8,44
D_s = Desviación standard = 1,93
t = constante de probabilidad al 95% = 1,282

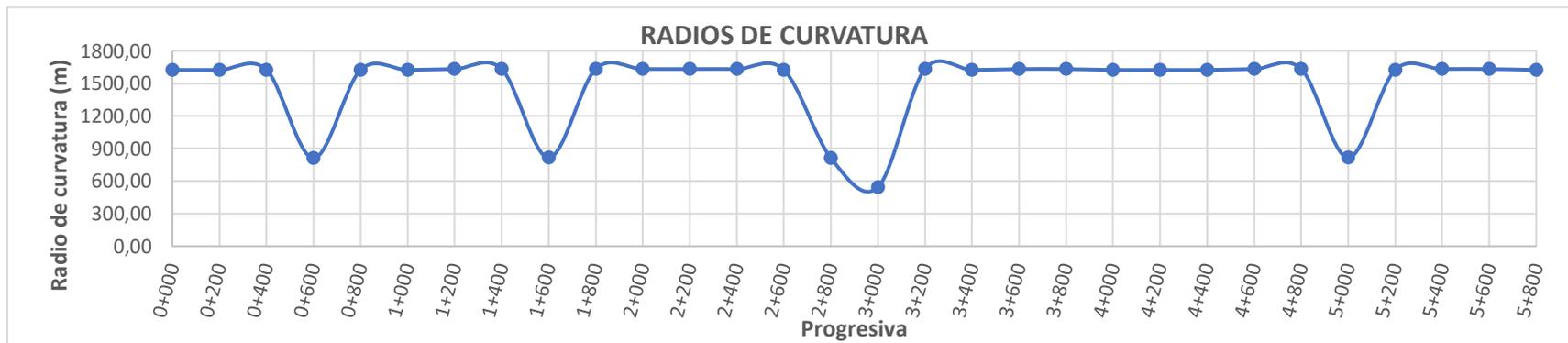
D_c = 10,91 x10⁻² mm
D_{am} = 77,99 x10⁻² mm

Figura 46. Deflexiones máximas, carril de ida



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Radios de curvatura, carril de ida



Fuente: Elaboración Propia

Resultados del método de la Viga Benkelman carril de vuelta

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: VUELTA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
1	0+000	28	20	0	4	4	6	8	8	7,69	3,85	813
2	0+200	28	20	0	2	2	4	6	10	9,62	7,69	1625
3	0+400	28	22	0	2	6	6	8	8	7,69	5,77	1625
4	0+600	28	22	0	4	6	8	8	8	7,69	3,85	813
5	0+800	28	22	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625
6	1+000	28	22	0	10	6	6	8	8	9,62	0,00	325
7	1+200	29	22	0	6	6	8	8	10	9,57	3,83	544
8	1+400	29	22	0	4	4	6	8	12	11,48	7,66	816
9	1+600	29	22	0	2	6	6	8	8	7,66	5,74	1633
10	1+800	29	22	0	2	2	4	6	8	7,66	5,74	1633
11	2+000	29	22	0	2	4	4	6	8	7,66	5,74	1633
12	2+200	29	22	0	2	4	6	8	8	7,66	5,74	1633
13	2+400	28	22	0	2	2	6	6	8	7,69	5,77	1625
14	2+600	29	23	0	4	4	8	10	12	11,48	7,66	816
15	2+800	29	23	0	2	4	6	6	8	7,66	5,74	1633
16	3+000	28	23	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625
17	3+200	29	23	0	4	6	6	6	8	7,66	3,83	816

Deflexiones por el método de la viga de Benkelman												
Tramo: Entre Ríos - San Simón										Fecha: 19/10/2023		
Carril: VUELTA										Ejecutor: Ever Altamirano		
N° de ensayo	Progresiva km	Temperaturas		Lectura del extensómetro						PARÁMETROS DE EVALUACIÓN CORREGIDOS		
		Asfalto C°	Amb. C°	L=0 0,01mm	L=50cm 0,01mm	L=100cm 0,01mm	L=150cm 0,01mm	L=200cm 0,01mm	L=500cm 0,01mm	Do' (0,01mm)	D50' (0,01mm)	RC' (m)
18	3+400	29	23	0	2	2	4	4	8	7,66	5,74	1633
19	3+600	29	23	0	2	6	6	8	8	7,66	5,74	1633
20	3+800	29	23	0	6	8	12	10	10	11,48	5,74	544
21	4+000	28	23	0	2	2	4	6	8	7,69	5,77	1625
22	4+200	28	23	0	2	4	8	8	8	7,69	5,77	1625
23	4+400	29	23	0	2	6	6	6	8	7,66	5,74	1633
24	4+600	28	23	0	2	4	6	8	10	9,62	7,69	1625
25	4+800	29	23	0	4	4	4	6	8	7,66	3,83	816
26	5+000	29	23	0	2	4	6	6	8	7,66	5,74	1633
27	5+200	28	23	0	2	4	4	6	8	7,69	5,77	1625
28	5+400	29	23	0	2	2	2	6	8	7,66	5,74	1633
29	5+600	29	23	0	4	4	6	8	10	9,57	5,74	816
30	5+800	28	23	0	2	4	6	6	8	7,69	5,77	1625

NÚMERO DE MUESTRAS	30,00	30,00	30,00
SUMATORIA	251,22	164,92	39698,70
PROMEDIO:	8,37	5,50	1323,29
DEFLEXIÓN MÍNIMA	7,66	0,00	325,00
DEFLEXIÓN MÁXIMA	11,48	7,69	1632,81
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,28	1,49	450,48
VARIANZA	1,63	2,22	202935,3
COEFICIENTE DE VAR.	15,25	27,08	34,04
VALOR CARACTERÍSTICO	10,01	7,41	1900,81

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 8,37

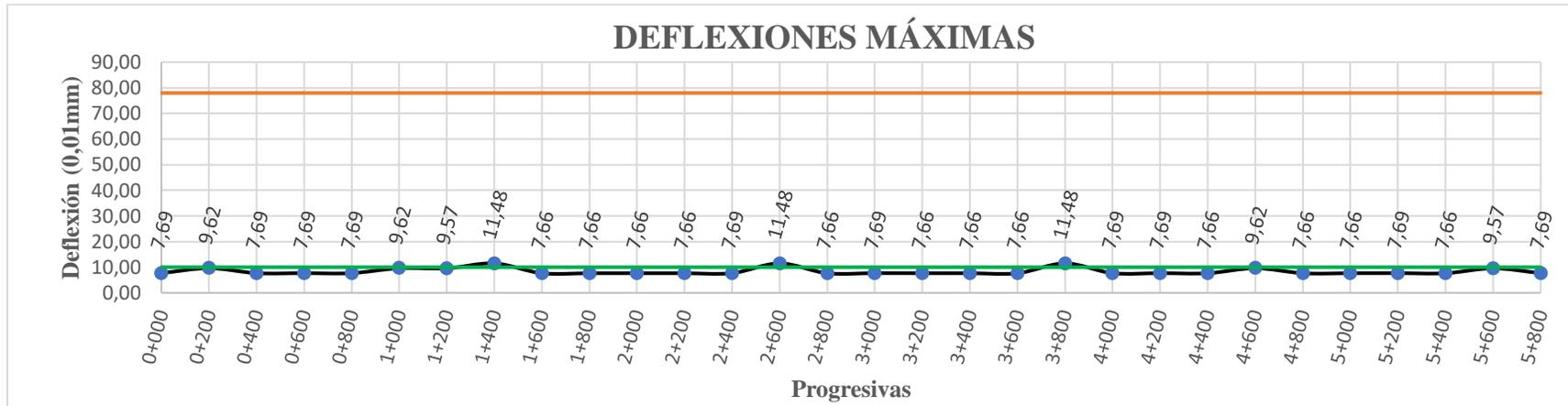
Ds = desviación standard = 1,28

t = constante de probabilidad al 95% = 1,282

Dc= 10,01 x10-2 mm

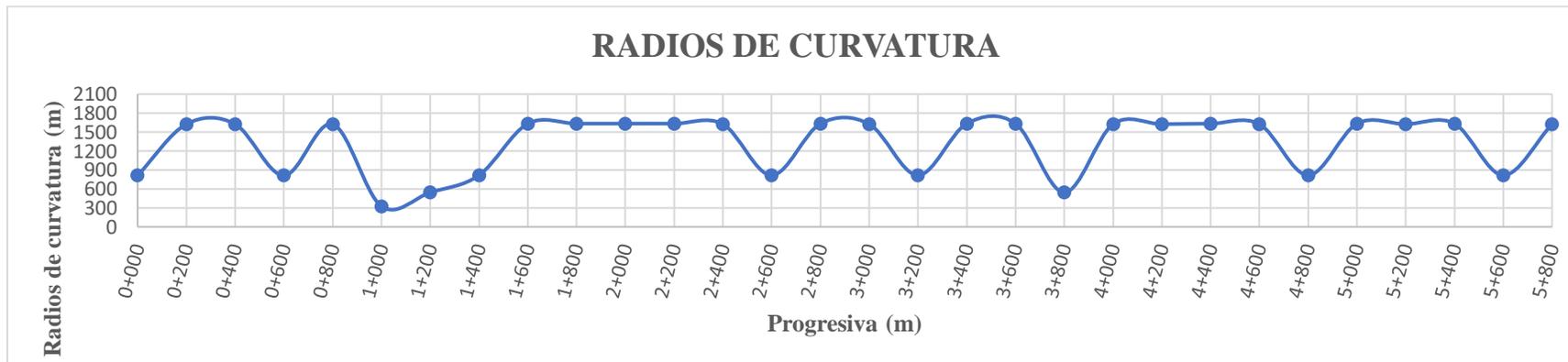
Dadm= 77,99 x10-2 mm

Figura 48. Deflexiones máximas, carril de vuelta



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Radios de curvatura, carril de vuelta



Fuente: Elaboración propia

- Prueba de hipótesis

Deflexiones máximas

N° de ensayo	Progresiva km	Do' (0,01mm)
1	0+000	3,85
2	0+200	3,85
3	0+400	7,69
4	0+600	9,62
5	0+800	7,69
6	1+000	7,69
7	1+200	7,66
8	1+400	9,57
9	1+600	7,66
10	1+800	9,57
11	2+000	7,66
12	2+200	7,66
13	2+400	7,66
14	2+600	11,54
15	2+800	7,69
16	3+000	9,57
17	3+200	7,66
18	3+400	7,69
19	3+600	7,66
20	3+800	9,57
21	4+000	9,62
22	4+200	7,69
23	4+400	9,62
24	4+600	9,57
25	4+800	7,66
26	5+000	7,66
27	5+200	7,69
28	5+400	11,48
29	5+600	9,57
30	5+800	13,46

Promedio= 8,44 x10-2 mm
 σ = 1,89
Dadm= 77,99 x10-2 mm
Dc= 10,91 x10-2 mm

Interpretación de las hipótesis.

Ho: Se puede establecer una buena condición estructural del tramo carretero.

Hi: Se puede establecer una mala condición estructural del tramo carretero.

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

Evidencia muestral

$$\text{prom} = 8,44$$

$$\sigma = 1,89$$

Aplicación de la distribución normal

$$Z = \frac{X - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

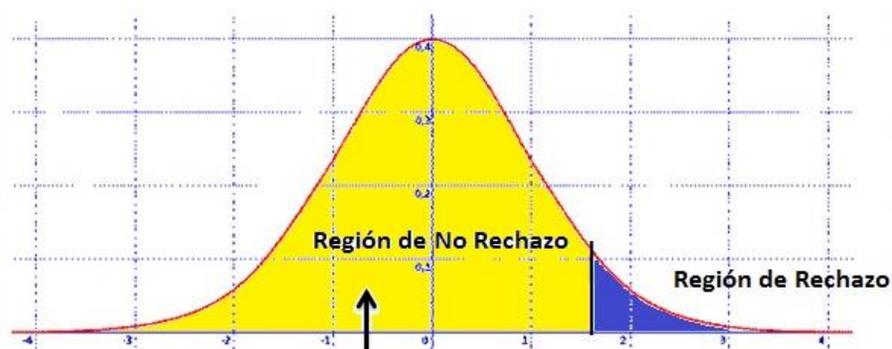
$$Z = -7,14$$

Valores de Z para pruebas de hipótesis de una cola.

Nivel de significancia (α)	Z
0,01	2,33
0,05	1,645
0,1	1,28

Para un nivel de significancia de 0,05 $Z = 1,645$

Colocando en la campana el valor de Z encontrado y el valor de Z calculado



$$Z_{cal} = -7,14$$

El valor de Z calculado se encuentra en la zona de no rechazo

Conclusión de la prueba

Como el valor de Z calculado se encuentra en la zona de no rechazo, la hipótesis nula es aceptada; por lo tanto, se puede establecer que la hipótesis de la investigación al estar emparejada con la nula, se confirma que a pesar de las fallas presentes en la superficie todavía existe una buena condición en la parte estructural del tramo en general.

Las mejoras de refacción se las debe hacer de manera puntual donde se necesite y no así de toda la plataforma.

4.2. Plan de mejoras y mantenimiento

El pavimento flexible analizado en el tramo Entre Ríos San - Simón en general se encuentra en una condición superficial regular de acuerdo al método PCI que es el más confiable. Las fallas que se presentan en la superficie en gran parte se encuentran con severidad media lo que significa que se debe intervenir de manera pronta para darle las mejoras y mantenimiento correspondientes, estas mejoras corresponden en lo máximo a cambiar la carpeta asfáltica en los puntos con fallas de mayor severidad.

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

Para las fallas de severidad media y alta se opta por realizar un bacheo, un sellado de grietas o una reconstrucción en áreas que se presenten dichas fallas, dependerá de la severidad.

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

El fin del mantenimiento del tramo Entre Ríos - San Simón es preservar, reparar y mejorar la infraestructura vial para que funcione de manera óptima y prolongar su vida útil.

A continuación, se presenta un resumen de las actividades que se realizarán para el mantenimiento del pavimento según el tipo de falla y la severidad que presente.

Tabla 28. Plan de mejoras y mantenimiento de acuerdo al tipo de fallas

Tipo de falla	Severidad	Fresado de carpeta asfáltica (m ²)	Eliminación de material excedente (m ²)	Imprimación (m ²)	Provisión y colocado de carpeta asfáltica (m ²)	Sellado de fisuras (m)
Piel de cocodrilo	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Grietas de contracción	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Elevaciones y hundimientos	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Grietas de borde	Media					x
	Alta					x
Depresión	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Grietas longitudinales y transversales	Media					x
	Alta					x
Baches	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Agregado pulido	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Ahuellamiento	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
Grietas de desplazamiento	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	
disgregación	Media	X	X	x	x	
	Alta	X	X	x	x	

Fuente: Elaboración propia

En base a las actividades que se presenta en el plan de mejoras se realiza un presupuesto para la ejecución del mantenimiento.

4.2.1. Cómputos métricos

Tabla 29. Cómputos métricos del mantenimiento

ITEM	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Fresado de carpeta asfáltica	m ²	846,1
2	Riego de imprimación	m ²	846,1
3	Bacheo con concreto asfaltico	m ²	863,32
4	Sellado de fisuras	m	180,6

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Presupuesto de la obra

Tabla 30. Presupuesto general

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario	Parcial (Bs)
1	Fresado de carpeta asfáltica	m ²	846,10	38,66	32.710,23
2	Imprimación bituminosa	m ²	846,10	11,53	9.755,53
3	Bacheo asfáltico (t.s.)	m ²	863,32	947,70	818.168,36
4	Sello de fisuras	m	180,60	36,14	6.526,88
	Total presupuesto:				867.161,00

Fuente: Elaboración propia

Son ochocientos sesenta y siete mil ciento sesenta y uno Bs.

La descripción de los ítems y el análisis de precios unitarios se detallan en los anexos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

- Se confirma el cumplimiento del objetivo general de la investigación realizando la evaluación e identificando las deficiencias que presenta el tramo Entre Ríos – San Simón.
- Las fallas con mayor presencia en el tramo estudiado de acuerdo a la visualización y recolección de datos, son las fallas de grietas longitudinales y transversales y la falla piel de cocodrilo.
- La evaluación superficial y estructural se la realizó y concluyó de una buena manera, aplicando la metodología propuesta para la investigación se logra determinar la condición del pavimento flexible del tramo Entre Ríos – San Simón que deja como resultado según las calificaciones de acuerdo a normativa y de forma general, un pavimento en **CONDICIÓN BUENA**.
- Evaluado el pavimento por el método PCI la condición del pavimento es **BUENA** con un valor de PCI promedio en todo el tramo de **55,26%**, esto no quiere decir que todo el tramo se encuentre en esa condición ya que existen secciones evaluadas que tienen una condición excelente, así como también secciones con una condición muy mala.
- Para el método IRI se tiene un resultado promedio del tramo con un valor de $IRI = 2,90$ m/km que se queda fuera del rango (0,0 – 2,0 m/km) obteniendo una calificación de condición **BUENA**.
- En la parte estructural las deformaciones determinadas están por debajo de las máximas admisibles; por tanto, se puede decir que el pavimento está en una **CONDICIÓN BUENA**, sin embargo, de manera visual se puede observar que existe deformaciones significativas, esto hacer notar que el equipo de medición de las deflexiones se ha descalibrado o se debe hacer un estudio de mayor alcance.
- Para alargar la vida útil del pavimento de este tramo se debe hacer una intervención pronta de las entidades correspondientes, en este caso corresponde a la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) hacer la reparación de las partes más críticas y afectadas del tramo, en algunos puntos realizar bacheos, así como en otros reemplazar la capa asfáltica haciendo un refuerzo estructural.

- Se hace notar la importancia que tiene una evaluación y el mantenimiento que hay que hacerles a las vías, porque estas actividades ayudan a prevenir su deterioro y alargar su vida útil, así también evita que se hagan más costosos los precios de mantenimiento a medida que pase el tiempo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable llevar todas las herramientas y/o equipos de seguridad y precaución para evitar cualquier tipo de accidente mientras se realiza el levantamiento de datos, además del personal necesario para hacer una recopilación de datos de una mejor manera.
- Se recomienda revisar pronósticos del tiempo del día en que se tenga programado el levantamiento de datos para evitar ser sorprendidos y perjudicados en el caso de lluvias.
- Se debe verificar bien los equipos y herramientas antes de su manipulación para tener una mejor obtención de datos.
- Según el punto de vista del investigador para la evaluación superficial de manera no destructiva, el método recomendable y más confiable es el método PCI porque se visualiza y se mide las fallas existentes, además es económico.
- En los sectores de derrumbe dentro el tramo se recomienda una limpieza de las cunetas y las alcantarillas para que estas cumplan su función de manera óptima y así se evite el escurrido excesivo en la calzada que provoque deterioros.
- Se recomienda realizar un aforo de vehículos para identificar la carga vehicular que transita sobre la vía evaluada así obtener resultados precisos y actuales para verificar si los espesores adoptados aun cumplen con los parámetros de diseño.