CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Con el transcurso del tiempo, los pavimentos flexibles de las vías urbanas y carreteras del país vienen presentando fallas superficiales y estructurales debido principalmente a la falta de mantenimiento preventivo y al incremento del tránsito vehicular. La ausencia de evaluaciones periódicas provoca que los deterioros se incrementen con el tiempo, reduciendo la vida útil del pavimento y afectando las condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios.

El mantenimiento del pavimento depende del grado de deterioro existente, por lo que es necesario aplicar métodos de evaluación que permitan determinar el estado superficial y estructural de la vía. Entre los métodos más utilizados se encuentran el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) y la medición de deflexiones mediante la Viga Benkelman, los cuales permiten conocer el estado real del pavimento sin afectar su estructura.

El tramo de estudio, comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** presenta deterioros visibles que requieren una evaluación técnica. Para el estudio, el tramo fue dividido en dos sectores, el primero entre el Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud, correspondiente a la carretera al Chaco, clasificada como Ruta Nacional y considerada el tramo más antiguo y el segundo entre el Cruce Yesera Sud y la U.E. Yesera Sud, correspondiente a una carretera rural de construcción más reciente.

En trabajos similares realizados en pavimentos flexibles se han aplicado los métodos PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman para determinar el estado superficial y estructural de la vía, permitiendo establecer criterios técnicos para su mantenimiento.

En el presente trabajo denominado **“Evaluación del deterioro superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud”**, se aplicarán los métodos PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman con el fin de conocer la condición actual del pavimento y determinar el nivel de deterioro existente.

1.2 Situación Problémica

Con el paso del tiempo, la acción del tránsito vehicular y las condiciones ambientales provocan el deterioro progresivo de los pavimentos, generando fallas que afectan tanto su superficie como su estructura. Esta situación incide directamente en la seguridad vial, en la comodidad de circulación de los usuarios y en la vida útil de la vía.

En el tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud se observan diferencias en el estado del pavimento flexible, las cuales están relacionadas con la antigüedad del tramo, las condiciones de servicio y el mantenimiento realizado. Durante la inspección se identificaron fallas superficiales como fisuras longitudinales, piel de cocodrilo, exudación, huecos y otras manifestaciones que afectan la calidad de rodadura, además de algunos hundimientos que evidencian posible afectación estructural.

El tramo presenta dos sectores con diferentes antecedentes de construcción. El sector comprendido desde el **Colegio Santa Ana La Nueva hasta Cruce Yesera Sud**, correspondiente a la carretera al Chaco, clasificada como Ruta Nacional 11 y considerada el tramo más antiguo, fue entregado en julio de 2013, donde se observan mayores deterioros. Por otra parte, el sector comprendido desde **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, correspondiente a una carretera rural, fue entregado en diciembre de 2019, presentando fallas en menor grado.

La presencia de estas fallas puede estar asociada al alto volumen de tránsito, al envejecimiento del pavimento, a la acción del clima y al ingreso de agua a las capas inferiores, por lo que si no se realiza una evaluación técnica oportuna los daños pueden incrementarse, reduciendo la capacidad funcional y estructural de la vía y aumentando los costos de mantenimiento.

En este sentido, es necesario realizar una evaluación del tramo **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud** para determinar su condición superficial y estructural, realizando el análisis por sectores debido a las diferencias en su antigüedad y condiciones de servicio, con el fin de contar con una base técnica para planificar trabajos de mantenimiento, conservación o rehabilitación.

1.2.1 Problema.

¿Cómo se encontró la condición superficial y estructural actual del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, considerando el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva** hasta el **Cruce Yesera Sud** y el sector desde el **Cruce Yesera Sud** hasta la **U.E. Yesera Sud**, determinada mediante la aplicación de los métodos **PCI, IRI, PSI** y **Viga Benkelman**?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

El estado del pavimento flexible puede determinarse mediante inspección visual y a través de métodos manuales de evaluación, tanto superficial como estructural, lo que permite obtener información sobre su condición y comportamiento, así como identificar fallas provocadas por factores como el tránsito vehicular, las condiciones climáticas y el drenaje. En el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y la U.E. Yesera Sud**, se realizó una inspección preliminar en la cual se pudo observar la presencia de deterioros en la superficie de rodadura, principalmente en el sector comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud**, correspondiente a la carretera al Chaco, clasificada como Ruta Nacional 11 y considerada el tramo más antiguo, mientras que el sector comprendido entre el **Cruce Yesera Sud y la U.E. Yesera Sud**, correspondiente a una carretera rural, presenta menor grado de deterioro.

Por lo tanto, es necesario realizar una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible para conocer su estado actual, mediante la aplicación de métodos técnicos que permitan obtener resultados confiables y establecer criterios adecuados para su mantenimiento y rehabilitación

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

Los datos obtenidos en la evaluación fueron válidos mientras no se produjeron cambios significativos en las condiciones del pavimento en el tramo de estudio.

El área de estudio estuvo ubicada en el tramo comprendido entre el Colegio Santa Ana La Nueva y la U.E. Yesera Sud, en el municipio de Tarija, formando parte de una vía importante para la circulación vehicular del sector. El tramo presentó dos sectores con diferentes antecedentes constructivos: el primero, desde el **Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud**, correspondiente a la carretera al Chaco, clasificada como

Ruta Nacional 11 y considerada el tramo más antiguo; y el segundo, desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, correspondiente a una carretera rural de construcción más reciente.

La evaluación se realizó directamente sobre el tramo mencionado, considerado como área de operación para la recolección de datos, inspección visual y mediciones necesarias para determinar la condición superficial y estructural del pavimento flexible.

1.3 Justificación

El presente proyecto tiene como finalidad aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica del estudiante, relacionados con el análisis, evaluación y conservación de pavimentos, mediante la aplicación de métodos técnicos reconocidos para determinar el estado actual de la vía. Para el desarrollo del estudio se consideran normas y guías técnicas, entre ellas la norma **AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)**, así como manuales y documentos especializados en evaluación de pavimentos, con el propósito de obtener resultados confiables y cumplir los objetivos propuestos.

En los últimos años se ha observado un incremento del tránsito vehicular en la ciudad de Tarija, lo que ha generado una mayor exigencia sobre la infraestructura vial, haciendo necesario el mantenimiento y la mejora de las carreteras para garantizar seguridad y comodidad a los usuarios. En el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y la U.E. Yesera Sud**, el tránsito vehicular ha aumentado considerablemente, contribuyendo al desgaste del pavimento, especialmente en el sector comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud**, correspondiente a la carretera al Chaco, clasificada como Ruta Nacional 11 y considerada el tramo más antiguo.

Debido a la importancia de esta vía y al deterioro observado, es necesario realizar una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible, aplicando los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**, con el fin de determinar su estado actual, identificar los daños existentes y proponer alternativas de mantenimiento y rehabilitación que permitan mejorar la seguridad, la transitabilidad y la comodidad de los usuarios en el tramo de estudio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar el estado superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, considerando el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva** hasta el **Cruce Yesera Sud** y el sector desde el **Cruce Yesera Sud** hasta la **U.E. Yesera Sud**, mediante la aplicación de los métodos **PCI, IRI, PSI** y **Viga Benkelman**, con el fin de diagnosticar su nivel de deterioro y proponer alternativas técnicas para su rehabilitación y mejora funcional.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los tipos de deterioros superficiales y estructurales presentes en el pavimento flexible del tramo **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, considerando los sectores **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**.
- Establecer el procedimiento para la evaluación del deterioro superficial y estructural del tramo de estudio.
- Aplicar los métodos PCI, IRI y PSI para la evaluación superficial del pavimento flexible.
- Aplicar el método de la Viga Benkelman para la evaluación estructural del pavimento flexible.
- Analizar los resultados obtenidos en cada uno de los métodos aplicados.
- Proponer alternativas de reparación, mantenimiento y mejoramiento del pavimento flexible en el tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud.

1.5 Hipótesis.

Si, al evaluar la condición superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva** y la **U.E. Yesera Sud**, que incluye el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva** hasta el **Cruce Yesera Sud** y desde el **Cruce Yesera Sud** hasta la **U.E. Yesera Sud**, se determina que el pavimento presenta una condición **buena o superior.**

1.6 Operacionalización de las variables.

1.6.1 Variable Independiente

Tabla N° 1.- Operacionalización de la variable independiente

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Situación actual del tramo	Estado en que se encuentra el pavimento flexible en un tramo vial existente	Evaluación superficial	Escala del PCI, IRI, PSI.	Aplicación de métodos visuales y de medición (PCI, IRI, PSI).
		Evaluación estructural	Deflexión mm	Uso de método no destructivo (Viga Benkelman).

Fuente: Elaboracion Propia

1.6.2 Variable dependiente

- Método del PCI (Índice del Condición del Pavimento).
- Método del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).
- Método del PSI (Índice de Serviciabilidad de Pavimento).
- Viga Benkelman.

1.7 Identificación del tipo investigación.

La presente investigación se desarrolla bajo un diseño no experimental, de **tipo descriptivo**, orientado a evaluar la condición actual del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, en el municipio de Tarija, realizándose el análisis en dos sectores debido a las diferencias en su tiempo de servicio.

Para ello, se aplicaron los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**, con el propósito de analizar las condiciones superficiales y estructurales del pavimento en los dos sectores del estudio. El trabajo permitió identificar los tipos de deterioro presentes, determinar su severidad y diagnosticar el estado actual de la vía.

Con base en los resultados obtenidos, se busca generar información técnica que sirva de sustento para la formulación de estrategias de mantenimiento, conservación y

rehabilitación, contribuyendo al mejoramiento de la infraestructura vial, la seguridad de los usuarios y la eficiencia de la circulación en el tramo de estudio.

1.8 Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1 Unidad de estudio

Estado actual del pavimento flexible del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", dividido en dos sectores para su evaluación.

1.8.2 Población

Métodos de evaluación superficial y estructural.

Tabla N° 2.- Población

Población	
Evaluación superficial	**Evaluación estructural**
- VIZIR (Inspección visual de daños en carreteras)	- Deflectómetro de impacto
- IFI (Índice internacional de fricción)	- Georadar
- PCI (Índice de condición de pavimento)	
- IRI (índice de condición de rugosidad)	- Viga Benkelman
- PSI (Índice de serviciabilidad de pavimento)	

Fuente: Elaboración propia

1.8.3 Muestra

Los métodos seleccionados para la evaluación superficial son el método **PCI** (Índice de Condición del Pavimento), **IRI** (Índice de Rugosidad Internacional), **PSI** (Índice de serviciabilidad de pavimento) y para la evaluación estructural la **viga Benkelman**.

1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo

Se dividirá el tramo total de la superficie en secciones homogéneas aplicando los métodos mencionados con la finalidad de representar los deterioros existentes.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

1.9.1 Métodos

- PCI
- IRI
- PSI
- Viga Benkelman

1.9.2 Técnicas

Los instrumentos que se utilizaron para los diferentes métodos son:

- IRI

  Rugosímetro de Merlín

  Planillas de datos

- PCI

  Regla graduada

  Tiza o pintura para marcar

  Planillas de datos

  Cámara fotográfica

  Cinta métrica

- Viga Benkelman

  Volqueta de 10.790 toneladas de carga

  Viga Benkelman

1.10 Procesamiento de la información

Se realizó una evaluación de los resultados para conocer el estado del pavimento.

1.11 Alcance de la investigación

El presente trabajo denominado "Evaluación del deterioro superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", se desarrolló en el departamento de Tarija, provincia Cercado. El tramo de estudio correspondió a una vía importante para la circulación vehicular del sector, comprendiendo dos sectores: el primero desde el Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud,

correspondiente a la carretera al Chaco, y el segundo desde el Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud, correspondiente a una carretera rural.

El proyecto se enfocó en la evaluación del estado actual del pavimento flexible, considerando la condición superficial y estructural del tramo, mediante inspección visual y análisis por unidades de muestreo, con el fin de identificar los tipos de fallas existentes y su nivel de severidad.

La evaluación superficial se realizó mediante los métodos PCI, IRI y PSI, los cuales permitieron determinar el estado funcional del pavimento, mientras que la evaluación estructural se efectuará mediante el ensayo de la Viga Benkelman, con el propósito de conocer la capacidad estructural del pavimento.

Los resultados permitieron establecer el estado actual del pavimento flexible y servirán como base para plantear alternativas de mantenimiento, rehabilitación o mejoramiento, garantizando adecuadas condiciones de transitabilidad y seguridad vial.

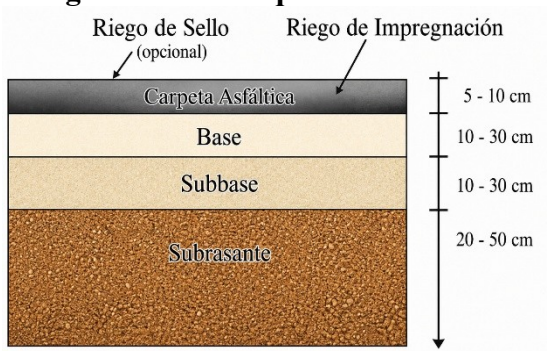
El alcance de investigación se desarrolló bajo un **diseño no experimental, de tipo descriptivo**, orientado a evaluar la condición actual del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, considerando su análisis en dos sectores.

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1 Pavimento

Se define a los pavimentos como una estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y carpeta de rodadura. Según AASHTO (1993) 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. El paquete estructural que contiene un pavimento es:

Figura N° 1.- Paquete estructural.



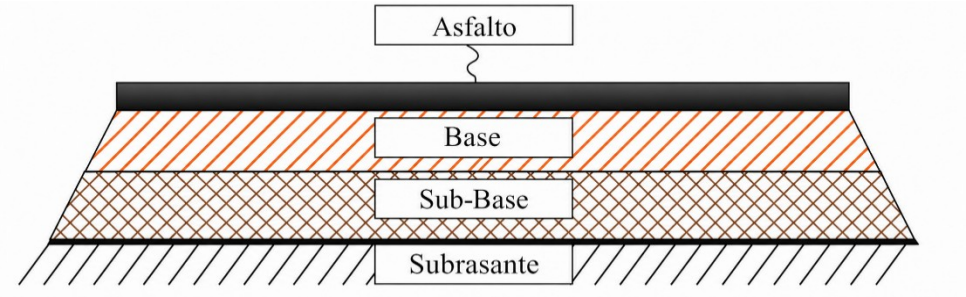
Fuente: (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 14)

2.2 Pavimento flexible

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de

tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa. (Manual Completo Diseño De Pavimento, pág. 11)

Figura N° 2.- Sección típica transversal pavimento flexible



Fuente: (Rolando Armijos 2009, pág. 4)

2.2.1 Características del pavimento flexible

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

a. Resistencia estructural
b. Deformabilidad
c. Durabilidad
d. Costo
e. Requerimientos de conservación
f. Comodidad (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 27)

- Carpeta o capa de rodadura: La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. (Ingeniería de Pavimentos para carreteras-Alfonso motejo Fonseca, pág. 4)
- Capa base: Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior. La base puede estar constituida

principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural. (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 25)

- Capa Sub-base: La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica. Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento. La capa subbase tendrá la función de disminuir el espesor de base que requiera un diseño, reemplazando parte del material de base por uno de inferiores características, el cual viene a formar la capa de sub-base con un menor costo. (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 25)

Ciclo de pavimentos

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

Construcción: El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural.

Deterioro imperceptible: El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe, pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una

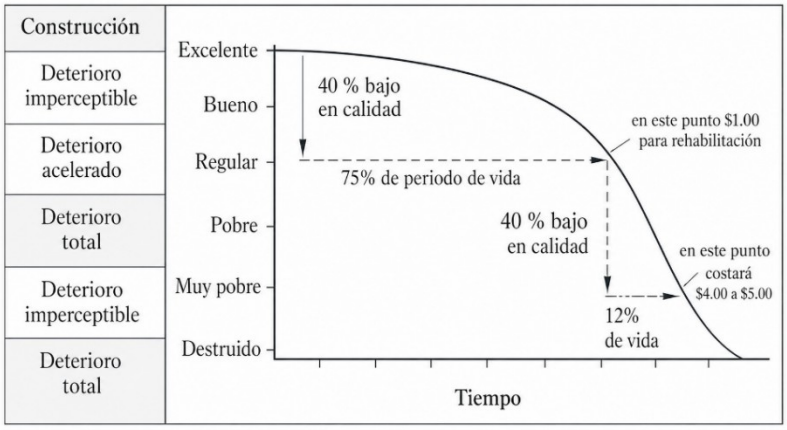
serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual este alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

Deterioro acelerado: Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Deterioro total: Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumentan y la vía se hace intransitable para autos.

Según lo descrito líneas arriba los pavimentos sufren deteriores constantes debido a las solicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la siguiente figura 3 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

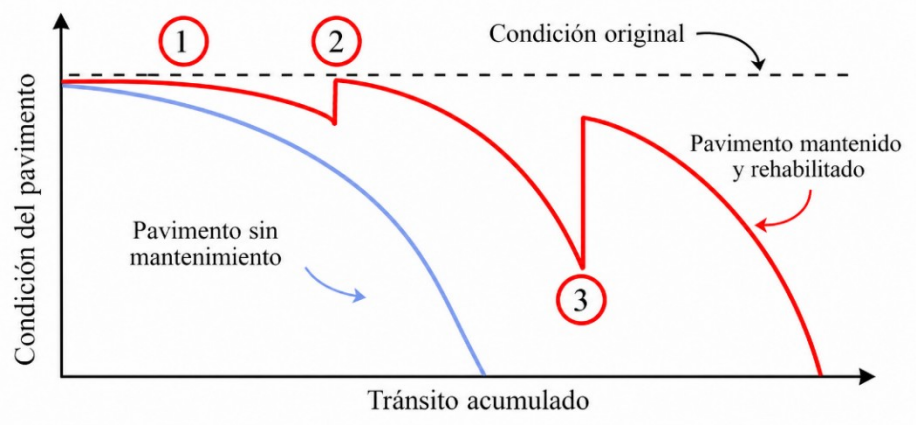
Figura N° 3.- Ciclo de vida de un pavimento



Fuente: (Evaluación de pavimento flexible por PCI – Jr. José Gálvez, pág. 14)

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo, existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el transito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento.

Figura N° 4.- Ciclo de vida de pavimentos con mantenimiento y rehabilitación



Fuente: (Evaluación de pavimento flexible por PCI – Jr. José Gálvez, pág. 15)

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento.

En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último, en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento. En el siguiente punto se desarrollará el tema de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. (Evaluación de pavimento flexible por PCI – Jr. José Gálvez, pag.13)

2.2.2 Duración de un pavimento flexible

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño debe tener una duración mínima de ocho años antes de requerir superposición. El pavimento flexible es más económico en su construcción inicial, con una vida útil de 10 a 15 años, pero requiere mantenimiento periódico para cumplir su vida útil. Cuanto mayor sea el módulo estructural de sus capas, la carga se distribuye en un área más amplia de la subbase o suelo de apoyo. (Gisela Ibhet Sivila Montes 2017, Pag.14)

2.2.3 Componentes de la evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos tiene dos componentes como ser: Evaluación superficial y Evaluación estructural.

2.3 Evaluación superficial

Existen diversos métodos para llevar a cabo una evaluación superficial, siendo el más utilizado y preciso el método del PCI (Índice de Condición del Pavimento).

2.4 Evaluación estructural

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, cometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico de vehículos y la acción de los agentes ambientales, como la temperatura, humedad, etc. Esos dos componentes se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento y verificación de la capacidad portante de la estructura. (Yefersson Zeballos, pág. 19).

2.4.1 Método de PCI (Índice de condición de pavimento)

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, se mide la condición del pavimento de manera indirecta. Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles. Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como, por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433). El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del

estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado "valor deducido", para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad). Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento. (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 33)

Tabla N° 3.- Escala de clasificación del PCI

Valor del PCI		**Evaluación**
De	**A**	
85	100	Excelente
70	85	Muy bueno
55	70	Bueno
40	55	Aceptable
25	49	Pobre
10	25	Muy Pobre
0	10	Fallado

Fuente: (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 2).

2.4.2 Aplicación del método PCI

Es un método sencillo de aplicación, solo se necesitan formatos para realizar el levantamiento, manual de daños para clasificarlos y seguir los procedimientos que exigidos los cuales se presentan más adelante. El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los "valores deducidos", como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. (Diego Alejandro Ruiz Martínez, pág. 26)

2.4.3 Evaluación de la condición del PCI

Se debe realizar un trabajo de campo donde se identifican los tipos de daños, clasificándolos de acuerdo con su severidad, clase y extensión de estos, registrándolos en el formato adecuado, clasificándolos en las unidades de muestreo según el tipo de pavimento que para este caso es un pavimento asfaltico.

Al completar el trabajo de inspección visual in situ, esa información de daños se utiliza para calcular el PCI.

Al finalizar el trabajo de campo, la recopilación de daños se utiliza para calcular el PCI; el cálculo del índice se puede realizar por medio de programas por computador o manualmente, teniendo en cuenta los valores deducidos de cada daño, la severidad y la cantidad de daños recopilados. (Diego Alejandro Ruiz Martínez, pág. 29)

2.4.4 Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

El PCI se utiliza para determinar los valores que se restan a cada daño en función de la cantidad y la gravedad proporcionada una vez que se han identificado los daños en el campo. Teniendo en cuenta las fases posteriores:

El cálculo del PCI comprende las siguientes etapas:

A. Etapa 1 Calculo de los valores deducidos (VD):

- Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra. 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.
- 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”.

B. Etapa 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

- Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4, de lo contrario se seguirán con los pasos que continúan.

- ❖ Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- ❖ Determine el "Número Máximo Admisible de Valores Deducidos" (m), utilizando la siguiente Ecuación:

$$\mathbf{m_{i=}1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)}$$

Donde:

mi: Número máximo admisible de "valores deducidos", incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i.

HDVi: 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 dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan.

C. Etapa 3. Cálculo del "Máximo Valor Deducido Corregido", CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- Determine el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.
- Determine el "Valor Deducido Total" sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- Determine el CDV con q y el "Valor Deducido Total" en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- Reduzca a 2.0 el menor de los "Valores Deducidos" individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas anteriores hasta que q sea igual a 1.
- El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

D. Etapa 4. Determine el PCI de la unidad restando el maximo "CDV" de 100, obtenido en la etapa 3.

$$\mathbf{PCI = 100 - CDV_{MAX}}$$

Donde:

PCI= Índice de condicion del pavimento.

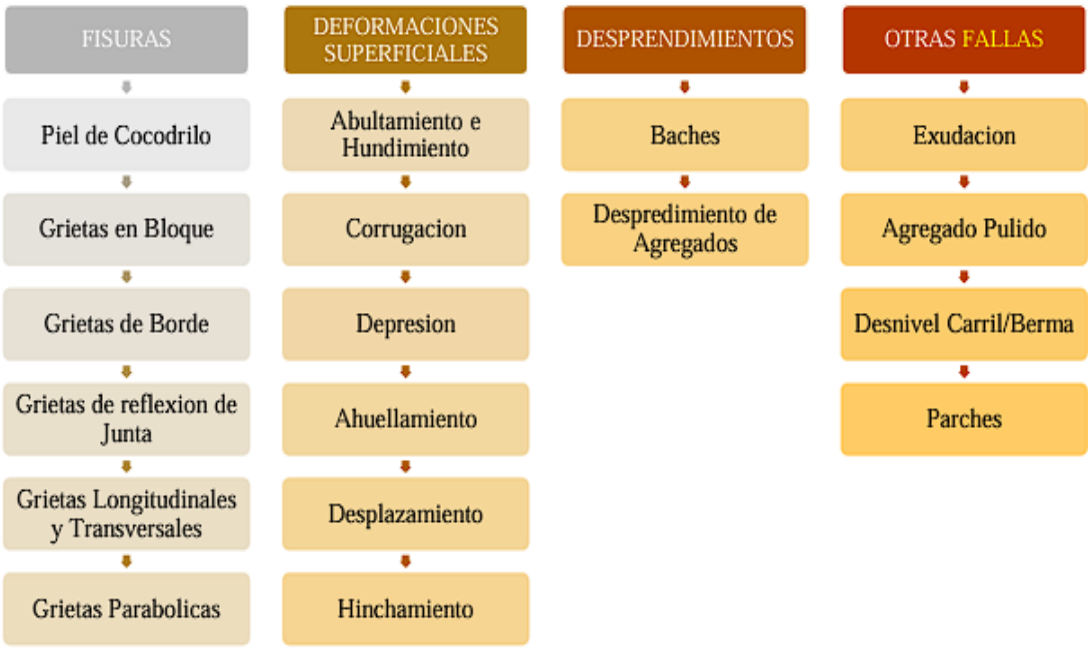
$\mathbf{CDV_{MAX}}$**=** Maximo valor deducido

2.4.5 Fallas y niveles de severidad

La técnica del "Índice de condición del pavimento (**PCI**)" tiene en cuenta un total de diecinueve (19) fallas, todas las cuales son cada vez más frecuentes a medida que se

deteriora el pavimento flexible. Las fisuras y grietas, las deformaciones de la superficie, la desintegración del pavimento, los afloramientos y otros tipos de fallas se clasifican en cuatro grupos para pavimentos flexibles. (Jhunior Felix Alonzo Lanado, pág. 36)

Figura N° 5.- Fallas en los pavimentos flexibles establecidos por PCI



Fuente: Jhunior Felix Alonzo Lanado, pág. 37

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.

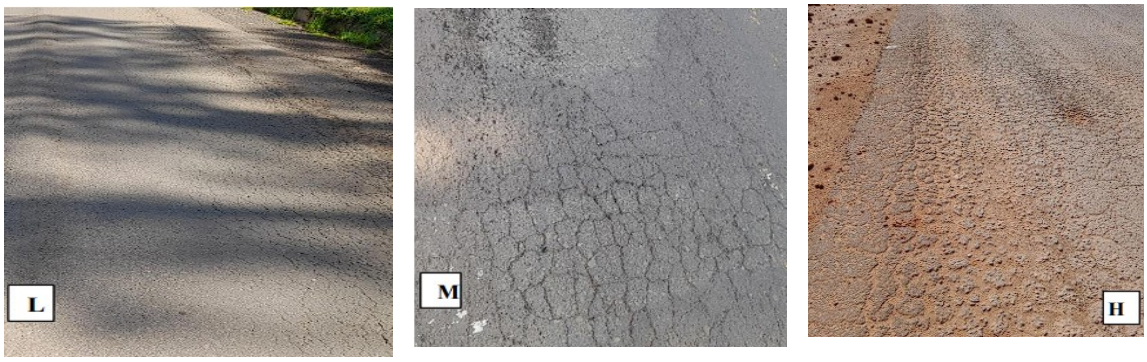
L= No se hace nada, sello superficial. Sobre carpeta.

M= Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobre carpeta. Reconstrucción.

H= Parcheo parcial o Full Depth. Sobre carpeta. Reconstrucción.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 10)

Figura N° 6.- Piel de cocodrilo.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

2. EXUDACIÓN.

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 12)

Figura N° 7.- Exudación.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.

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

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

Niveles de severidad.

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

M= Bloques definidos por grietas de severidad media.

H= Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida.

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

Opciones de reparación.

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

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

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 14)

Figura N° 8.- Agrietamiento en bloque.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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

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

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 16)

Figura N° 9.- Abultamientos y hundimientos.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

5. CORRUGACIÓN.

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 18)

Figura N° 10.- Corrugación.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

6. DEPRESIÓN.

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

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

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L= 13.0 a 25.0 mm.

M= 25.0 a 51.0 mm.

H= Más de 51.0 mm.

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo.

H= Parcheo superficial, parcial o profundo.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 20)

Figura N° 11.- Depresión.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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 cómo se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L= Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M= Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

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

M= Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H= Parcheo parcial – profundo. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 22)

Figura N° 12.- Grietas de borde.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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

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 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 éste 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.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 24)

Figura N° 13.- Grieta de reflexión de junta.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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.

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 26)

Figura N° 14.- Desnivel carril/berma.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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

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 Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

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

Niveles de severidad.

L= Existe una de las siguientes condiciones:

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

M= Existe una de las siguientes condiciones:

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

H= Existe una de las siguientes condiciones:

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

2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.

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

Medida.

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 28)

Figura N° 15.- Grietas longitudinales y transversales.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

11. PARCHEO Y ACOMETIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS.

Descripción. Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente. Un parche se considera un defecto no importa qué 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.

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas 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; aun si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación.

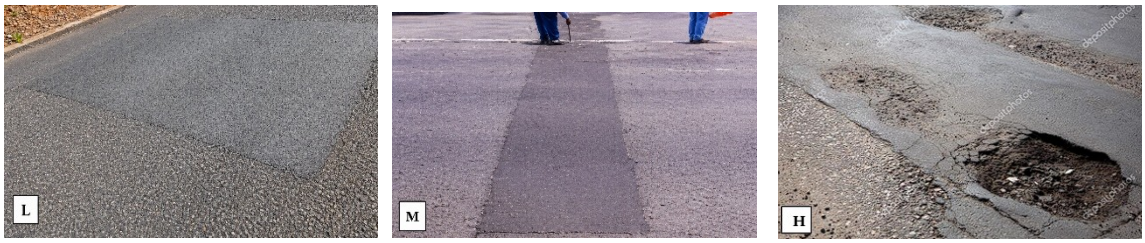
L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

H= Sustitución del parche.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 30)

Figura N° 16.- Parcheo y acometidas.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

12. PULIMENTO DE AGREGADOS.

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

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

Niveles de severidad.

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L, M, H= No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 32)

Figura N° 17.- Agregado pulido.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

13. HUECOS.

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

Niveles de severidad.

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

Tabla N° 4.- Niveles de severidad para huecos.

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

Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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.

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 33)

Figura N° 18.- Huecos.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

14. CRUCE DE VÍA FÉRREA.

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

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

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 35)

Figura N° 19.- Cruce de vía férrea de baja severidad.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

15. AHUELLAMIENTO.

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

Niveles de severidad.

Profundidad media del ahuellamiento:

L= 6.0 a 13.0 mm.

M= >13.0 mm a 25.0 mm.

H= > 25.0 mm.

Medida.

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

(Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 37)

Figura N° 20.- Ahuellamiento.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

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

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado.

M= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H= Fresado. Parcheo parcial o profundo. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 39)

Figura N° 21.- Desplazamiento o deformación por empuje.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

17. GRIETAS PARABÓLICAS (SLIPPAGE).

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

Nivel de severidad.

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

M= Existe una de las siguientes condiciones:

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

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Parcheo parcial.

M= Parcheo parcial.

H= Parcheo parcial. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 41)

Figura N° 22.- Grietas parabólicas o por desplazamientos.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

18. HINCHAMIENTO.

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

Nivel de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Reconstrucción.

H= Reconstrucción. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 43)

Figura N° 23.- Hinchamiento.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

19. METEORIZACIÓN / DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS.

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

Niveles de severidad.

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

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

H= Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores

que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Medida.

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

Opciones de reparación.

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

M= Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H= Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial. (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 41)

Figura N° 24.- Meteorización/desprendimiento de agregados.



Fuente: Luis Ricardo Vázquez Varela

2.5 Método del índice internacional de rugosidad (IRI)

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. (Badilla Vargas, pág. 10)

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. (Rodríguez, Metodología para la determinación de la Rugosidad de los pavimentos con equipos de bajo costo y gran precisión, 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.

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 lago 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.

(Manual de Evaluación de Pavimentos, pág. 31)

Figura N° 25.- Equipo de medición de la rugosidad superficial, Merlín



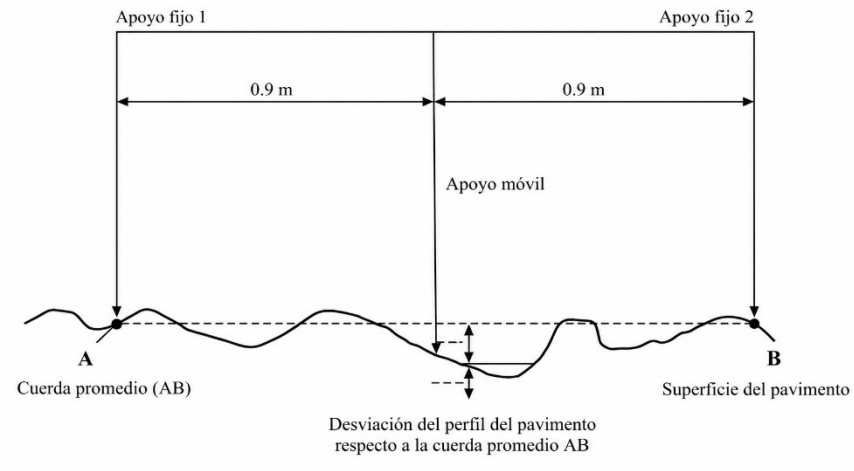
Fuente: Elaboración propia

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 N° 26.- Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio



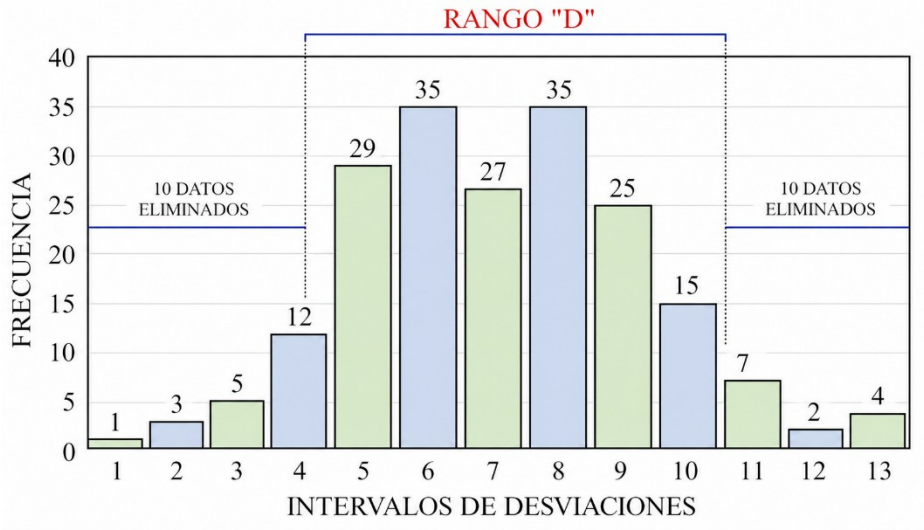
Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú.

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 con equipos de bajo costo y gran precisión, 1998)

Figura N° 27.- Histograma de distribución de frecuencias



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

Cálculo del rango "D"

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

Cálculo del factor de corrección

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

Dónde:

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<IRI<15.9, entonces IRI=0.593+0.0471D…… (1)

b) IRI<2.4, entonces 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. (Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú)

Tabla N° 5.- Clasificación del rango de rugosidad

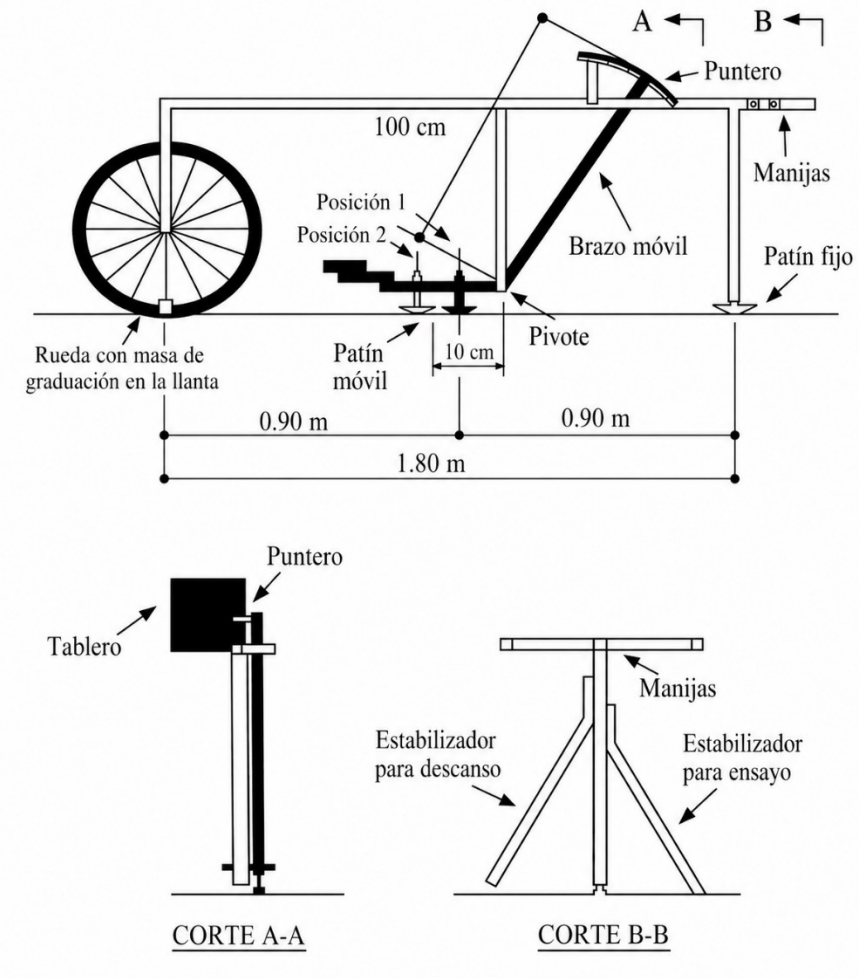
Rango de Rugosidad (m/km)	Calificación
0.0-2.0	Excelente
2.0-3.5	Bueno
3.5-5.0	Regular
>5.0	Malo

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

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 N° 28.- Esquema del rugosímetro Merlín



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

Cálculo del índice de rugosidad internacional

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

La determinación analítica de la rugosidad se ha efectuado utilizando la expresión aproximada establecida por Sayer, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. Esta correlación se desarrolló usando los datos obtenidos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, realizado en Brasil en el año de 1982.

Se tiene así la expresión: La ecuación original AASHTO para la determinación del Índice de Serviciabilidad de Pavimentos Flexibles es la siguiente para encontrar D.C.

- Cálculo de frecuencia

$$\mathbf{DC} = \frac{\mathbf{EP} * \mathbf{10}}{(\mathbf{LI} - \mathbf{LF}) * \mathbf{5}}$$

Donde:

EP= Espesor de la pastilla

LI= Posición inicial del puntero

LF=Posición final del puntero

- Cálculo del IRI

$$\mathbf{R} = \mathbf{0.593} + \mathbf{0.0471} * \mathbf{Dc}$$

Donde:

R= Rugosidad en IRI (International Rough Ness Index en m/km)

Dc= Índice de frecuencia

2.5.1 Método Índice de Serviciabilidad (PSI).

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1.

Tabla N° 6.- Índice de Serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5 – 4.25	Excelente
4.25 – 3.50	Muy Bueno
3.50 – 2.75	Bueno
2.75 – 2.00	Regular
2.00 – 1.25	Malo
1.25 – 0.50	Muy malo
0.50 – 0.00	Fallado

Fuente: Edson Mamani, pág.55.)

Relación entre PSI e IRI

Una vez obtenido el índice de regularidad internacional, los investigadores en busca de obtener un valor de Serviciabilidad (PSI) actual, decidieron correlacionar al IRI con el PSI.

El modelo empleado por el HDM III, creado en 1987 por Paterson, se dedujo en sitios como Brasil, Texas, Sudáfrica y Pennsylvania y se obtuvo la siguiente ecuación para correlacionar los valores de **IRI y PSI:**

$$\mathbf{PSI} = \frac{\mathbf{5}}{\frac{\mathbf{IRI}}{\mathbf{e^{5.5}}}}$$

Como la rugosidad es el factor que más afecta la Serviciabilidad en las ecuaciones originales de la AASHO Road Test, los investigadores Dujisin y Arroyo propusieron la siguiente ecuación:

$$\mathbf{PSI = 5.85 - (1.68 * IRI^{0.5})}$$

Investigaciones realizadas por William Paterson (1987) correlacionan el IRI Y el PSI con la siguiente ecuación:

$$\mathrm{P}\mathbf{SI} = \mathbf{4.182 - 0.455(IRI)}$$

Con estas ecuaciones se puede verificar la correcta correlación entre ambos parámetros de evaluación de carreteras. (Pavimento en Av. Abdón Calderón, pág.55.)

2.5.2 Evaluación estructural

Permite en determinar la capacidad resistente del pavimento en una estructura vial ya construida, en cualquier momento de su vida de servicio con la finalidad de establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación cuando el pavimento se acerca al final de su vida útil o la demanda de tráfico va a cambiar.

Está comprendida por la auscultación estructural, es decir la utilización de técnicas de recolección de información del pavimento mediante deflexiones, y el retro cálculo, el cual consiste en aplicar la metodología a utilizar para obtener los resultados finales de la evaluación estructural. (Leydi Laleshka Chaname Cerna, pág. 47)

2.5.3 Métodos de evaluación estructural

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 solicitación tipo y medir la respuesta de la estructura.

El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman.

Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento “in situ”, e integrar sus resultados para una interpretación global. (Leguia, Pacheco, pág. 36,37)

2.5.4 Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas

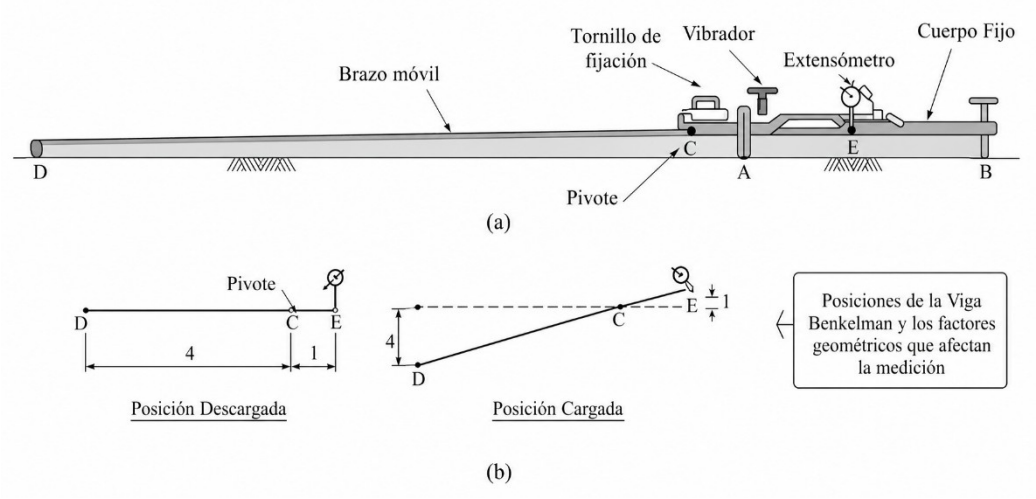
Uno de los equipos más utilizados para este tipo de mediciones es la Viga Benkelman. El Ingeniero A.C. Benkelman la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test, desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que brinda. (Leydi Laleshka Chaname Cerna, pág. 51)

2.5.5 Viga Benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura, 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 defecciono 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 N° 29.- Esquema de la viga Benkelman



Fuente: (Esther Elizabeth Cruz Alemán, pág. 89)

Equipo requerido

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

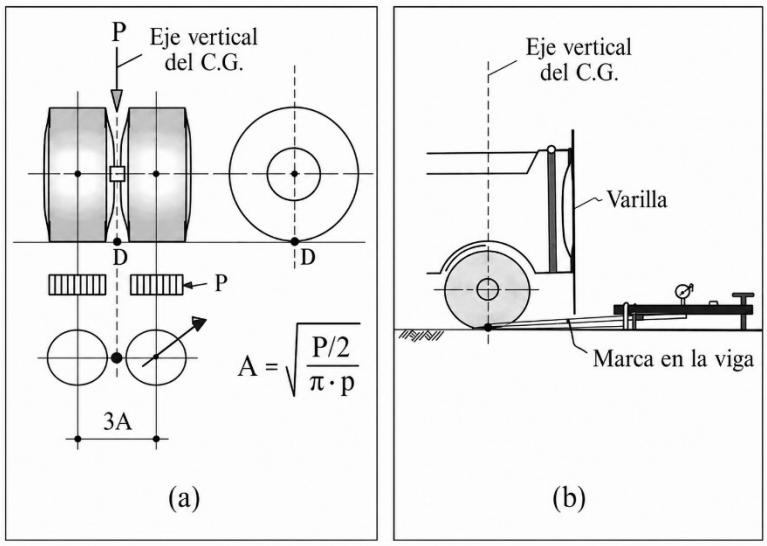
- Deflectómetro Viga Benkelman
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm
- Camión cargado, con eje trasero de 24000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 15 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, 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 marca de referencia 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 N° 30.- Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman

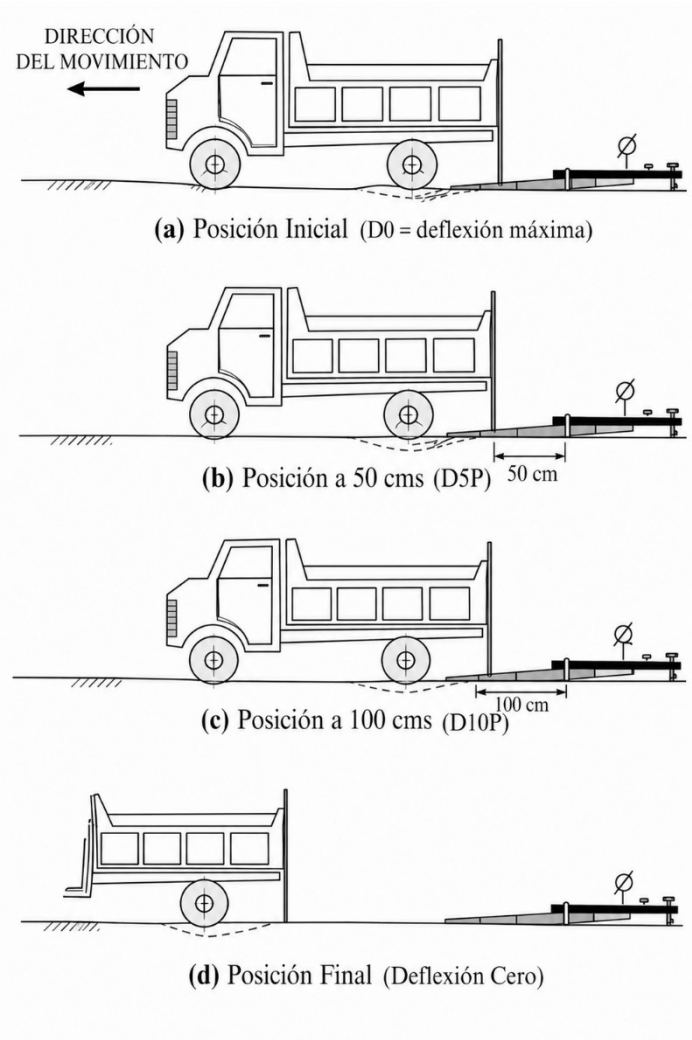


Fuente: Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila, 1985

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 la **figura 31,** 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 N° 31.- Esquema del proceso de medición de la Viga Benkelman



Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985).

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, capa freática, estado del pavimento, etc.) Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila, 1985.

Cálculo de deflexiones

Cálculo de la deflexión máxima:

$$\mathbf{D_0 = K * (L_0 - L_F)}$$

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:

$$\mathbf{D_{50} = K * (L_0 - L_{50})}$$

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.

L0= Lectura Inicial.

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:

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

Donde:

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

Dt= Deflexión a la temperatura t.

k= Coeficiente de temperatura ($1x10^{-3}$°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.

$$\mathbf{R_C} = \frac{\mathbf{6250}}{\mathbf{k} * (\mathbf{D_0} - \mathbf{D_{50}})}$$

Donde:

Rc= Radio de curvatura en (m).

Do= Deflexión máxima.

D50= Deflexión a 0.50 m.

2.5.6 Marco referencial

- Almanza, M. Diego, H. (2014). Perú

El estudio evaluó la rugosidad del pavimento usando el equipo Merlín y su relación con el IRI. Se aplicaron análisis estadísticos de las desviaciones del pavimento. Los resultados permitieron determinar el nivel de irregularidad y definir criterios de mantenimiento.

- Mario S. Hoffman & Pablo M. Del Águila (1985)

El estudio evaluó estructuralmente pavimentos mediante métodos no destructivos basados en deflexiones. Se analizaron curvas de deflexión en lugar de calicatas. Los resultados permitieron determinar la capacidad portante y necesidades de rehabilitación.

- **Rolando Armijos (2009)**

El estudio evaluó superficialmente calles de Loja mediante inspección visual. Se identificaron deterioros del pavimento. Los resultados permitieron diagnosticar el estado de las vías y proponer mantenimiento.

- Yefersson Zeballos

El estudio evaluó la condición del pavimento mediante índices como IRI y PSI. Se utilizaron datos de equipos como el Merlín. Los resultados permitieron determinar la serviciabilidad y calidad del pavimento.

- Esther Elizabeth Cruz Alemán, 2016.

El estudio tuvo como objetivo evaluar el estado del pavimento flexible del tramo El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto mediante métodos no destructivos. Se aplicó el PCI para la evaluación superficial y la viga Benkelman para la estructural, identificando fallas como grietas y baches según su severidad. Los resultados permitieron diagnosticar el estado de la vía y proponer medidas de mantenimiento para mejorar su serviciabilidad.

- Diego Alejandro Ruiz Martínez.

El estudio se centró en la aplicación del método PCI para el diagnóstico vial, detallando la identificación y clasificación de fallas según tipo y severidad, así como el cálculo del índice de condición del pavimento. Siguiendo la norma ASTM D6433, permitió cuantificar el deterioro y tomar decisiones técnicas basadas en datos objetivos.

- Jhunior Felix Alonzo Lanado.

El estudio presenta la metodología PCI para pavimentos flexibles, desde el trabajo de campo hasta la interpretación del índice. Incluye el uso de unidades de muestreo, densidad de fallas y cálculo del PCI. Su aporte permitió una recolección de datos ordenada y una evaluación uniforme del pavimento.

- Leguia, Pacheco

El estudio evaluó la seguridad vial mediante el índice de fricción, usando el círculo de arena y el péndulo británico dentro del método IFI. Esto permitió medir la adherencia del pavimento en condiciones húmedas. Su integración con el PCI aportó una evaluación más completa de la condición superficial.

-Leydi Laleshka Chaname Cerna.

Evaluación estructural de pavimentos. Chaname Cerna desarrolla el análisis estructural del pavimento mediante métodos no destructivos, principalmente la viga Benkelman. Su trabajo permite interpretar las deflexiones medidas bajo carga controlada y evaluar la capacidad resistente del pavimento. Esta técnica fue aplicada para conocer el comportamiento de las capas inferiores del tramo evaluado, determinar su estado estructural y definir si requiere refuerzo o rehabilitación total.

- Evaluación de pavimento flexible por PCI – Jr. José Gálvez

El objetivo fue evaluar el estado superficial y estructural del pavimento utilizando el método PCI y la viga Benkelman. Se identificaron fallas y se determinó la condición del pavimento, permitiendo proponer acciones de mantenimiento y rehabilitación.

2.5.7 Marco normativo

Para la presente evaluación se considerará la norma AASTHO (American Association of State Highways and Transportation Officials) para una guía de procedimiento.

- ASTM D6433 – Norma para la evaluación superficial del pavimento mediante el método PCI (Pavement Condition Index).
- ASTM E950 / ASTM-95 – Norma para la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
- ASTM D4695 – Norma para la evaluación estructural del pavimento mediante el uso de la Viga Benkelman.
- Manual de Conservación Vial, Volumen 5 – Procedimientos para evaluación, mantenimiento y conservación de pavimentos.
- Manual de Fallas en Pavimentos – República Dominicana – Guía técnica para identificación y clasificación de deterioros en pavimentos.
- Manual de Inspección Visual de Pavimentos – Bogotá D.C. – Referencia técnica para reconocimiento de fallas superficiales y estructurales.

2.5.8 Análisis y posición del investigador

Como investigador, se adopta una postura crítica y técnica ante la realidad observable del deterioro del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud, en la ciudad de Tarija. Esta posición se fundamenta en el reconocimiento de que la infraestructura vial representa un pilar esencial para el desarrollo urbano, social y económico, y que su degradación progresiva compromete la seguridad, la comodidad de los usuarios y la eficiencia del tránsito.

Para una mejor comprensión del comportamiento del pavimento, el tramo de estudio fue dividido en dos sectores, considerando las diferencias en el tiempo de construcción, condiciones de servicio y nivel de deterioro observado. El primer sector comprende desde el Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud, mientras que el segundo sector abarca desde el Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud, lo cual permitió realizar un análisis más ordenado y detallado del estado del pavimento en cada parte del tramo.

El análisis realizado se enmarca dentro de una metodología objetiva y sistemática, apoyada en normativas y procedimientos ampliamente validados, como el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), el IRI (Índice Internacional de Rugosidad) y la medición estructural mediante la Viga Benkelman. La elección de estas herramientas responde a la necesidad de obtener datos cuantificables y verificables que permitan establecer diagnósticos confiables del estado superficial y estructural del pavimento en estudio.

La investigación se orienta, por tanto, hacia una evaluación técnica que no solo caracterice las fallas existentes, sino que también sirva como base para la formulación de propuestas de mantenimiento o rehabilitación. Se asume una postura activa frente a una problemática concreta, con el compromiso de generar información técnica útil para la toma de decisiones en materia de conservación vial y planificación urbana.

CAPÍTULO III
RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 Ubicación

E l presente estudio se desarrolla en un tramo vial ubicado en la ciudad de Tarija, provincia Cercado. La sección evaluada comprende desde el Colegio Santa Ana La Nueva hasta la U.E. Yesera Sud, con una longitud aproximada de 10 km.

Para su análisis, el tramo fue dividido en dos sectores debido a sus diferencias funcionales y administrativas. El primer sector, comprendido entre el Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud, pertenece a la **Red Vial Fundamental**, mientras que el segundo sector, desde el Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud, corresponde a la **Red Vial Rural**. Esta división permitió realizar una evaluación más precisa del estado del pavimento, considerando las distintas condiciones de tránsito y servicio de cada sector.

Figura N° 32.- Mapa orográfico del departamento de Tarija



Fuente: Mapa-orográfico-de-Tarija

Figura N° 33.- Inicio del tramo del proyecto

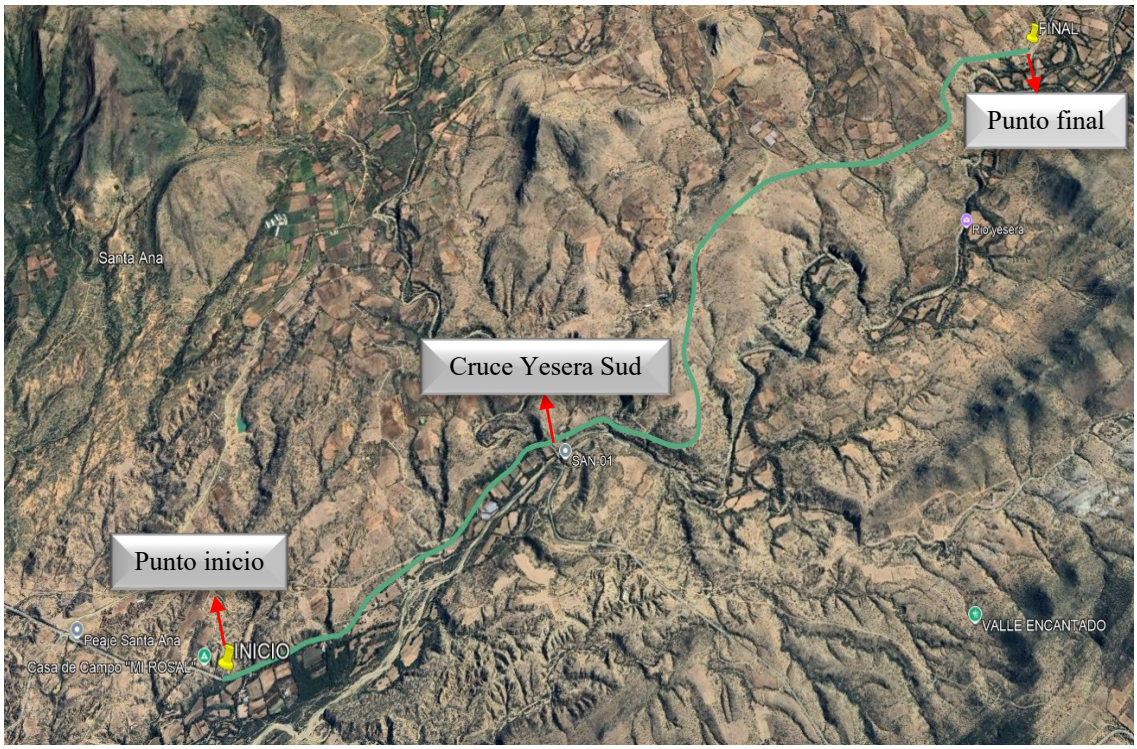


Figura N° 34.- Fin del tramo del proyecto



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Figura N° 35.- Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E Yesera Sud



Fuente: Google Earth Pro

Tabla N° 7.- Planilla De Coordenadas

PLANILLA RESUMEN DE COORDENADAS			
Tramo: Colegio Santa Ana La Nueva - U.E Yesera Sud	COORDENADAS **GEOGRÁFICAS**		**ALTITUD**
INICIO DEL TRAMO	21°34'59.5"S	64°52'23.2"W	1922
FIN DEL TRAMO	21°33'32.3"S	64°52'34.9"W	2088
Tramo: Colegio Santa Ana La Nueva - U.E Yesera Sud	COORDENADAS **UTM**		**ZONA**
INICIO DEL TRAMO	336388.00	7616850.00	20 Sur
FIN DEL TRAMO	338016.00	7625226.00	20 Sur

Fuente: Elaboracion Propia

3.2 Criterios metodológicos

3.2.1.1 Unidades de muestreo

En el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud**, el cual fue dividido en dos sectores para un mejor análisis, comprendiendo el primer sector desde el **Colegio**

Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud y el segundo sector desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, se procedió a dividir la vía en unidades de muestreo para evaluar el estado del pavimento.

Estas unidades se definieron según el tipo de capa de rodadura (asfáltica) y el ancho de la vía (menor a 7.30 m). De acuerdo con la normativa del método PCI, el área de cada unidad debía estar en el rango de **230 ± 93 m²**, asegurando que cada sección analizada sea representativa dentro de cada sector y del tramo evaluado en general.

Tabla N° 8.- Longitudes de unidades de muestreo asfaltico

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

Fuente: (Luis Ricardo Vázquez Varela, pág. 3)

Parámetros del sector Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud:

- Ancho de Calzada = 7.10 m
- Ancho de Carril = 3.55 m
- Longitud total = 2.8 km
- Tipo de Carretera = Flexible → Rango: 230 ± 93 m^2

Interpolando:

Ancho de calzada (m) Long. Unid. muestreo

$X_o = 6.5 \longrightarrow y_0 = 35.4$

$X = 7.10 \longrightarrow y = ??$

$X_1 = 7.3 \longrightarrow y_1 = 31.5$

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

$$y = 32.48 \text{ m}$$

$$L_m \cong 33\text{m}$$

Parámetros del sector Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud:

- Ancho de Calzada = 7.10 m
- Ancho de Carril = 3.55 m
- Longitud total = 7.2 km
- Tipo de Carretera = Flexible → Rango: 230 ± 93 m^2

Interpolando:

Ancho de calzada (m)	Long. Unid. muestreo
$X_o = 6.5$ →	$y_0 = 35.4$
$X = 7.10$ →	$y = ??$
$X_1 = 7.3$ →	$y_1 = 31.5$

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

$$y = 32.48 \text{ m}$$

$$L_m \cong 33m$$

Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:

Para el tramo Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud, dividido en dos sectores, desde el Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud y desde el Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud, se deben inspeccionar todas las unidades de muestreo; sin embargo, cuando no es posible, el número mínimo a evaluar se determina mediante una fórmula estadística que permite estimar el PCI con un margen de ±5 y una confiabilidad del 95%.

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

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.

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

Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección:

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

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.

Sector Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud:

- Para una carretera con carpeta asfáltica, de 7.10 metros de ancho de calzada y 2.8 kilómetros de longitud, tendremos para el número total de unidades de la sección:

$$N = \frac{2.8\ \text{km} * \left(\frac{1000\ m}{1\ \text{km}}\right)}{33\ \text{m}} = 84.85$$

$$N = 84.85 \cong \mathbf{85\ unidades}$$

- Con lo que el área de cada unidad será:

Ancho = 7.10 m

Largo = 33 m

$$A = \text{Ancho} * \text{Largo} = 7.10\text{m} * 33\text{m}$$

$$\mathbf{A = 234.30\ m^2}$$

- Reemplazando el número total de unidades de muestreo (N) en la fórmula estadística utilizada para calcular el tamaño de muestra, se obtiene el número mínimo de unidades de muestreo (n).

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4}(N-1) + \sigma^2} = \frac{85 * 10^2}{\frac{5^2}{4}(85-1) + 10^2} = 13.45$$

$$n \cong \mathbf{13\ unidades}$$

- Realizando una intersección sistemática:

N = 85

n = 13

$$i = fa = \frac{N}{n} = \frac{85}{13} = 6.54 \cong \mathbf{7}$$

En el sector **Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud** se determinaron **85 unidades de muestreo** de 33 m cada una, de las cuales se seleccionó una muestra de 13 **unidades mediante muestreo sistemático** con intervalo de 7, conforme a la norma **ASTM D6433** para el cálculo del PCI.

Además, se incluyeron observaciones en sectores desfavorables para representar con mayor precisión el estado real de la vía, mostrando en la planilla tanto las unidades sistemáticas como las adicionales para una evaluación más completa.

Sector Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud:

Para una carretera con carpeta asfáltica, de 7.10 metros de ancho de calzada y 7.2 kilómetros de longitud, tendremos para el número total de unidades de la sección:

$$N = \frac{7.2\ \text{km} * \left(\frac{1000\ m}{1\ \text{km}}\right)}{33\ \text{m}} = 218.18$$

$$N = 218.18 \cong \mathbf{218\ unidades}$$

- Con lo que el área de cada unidad será:

Ancho = 7.10 m

Largo = 33 m

$$A = \text{Ancho} * \text{Largo} = 7.10\text{m} * 33\text{m}$$

$$\mathbf{A = 234.30\ m^2}$$

- Reemplazando el número total de unidades de muestreo (N) en la fórmula estadística utilizada para calcular el tamaño de muestra, se obtiene el número mínimo de unidades de muestreo (n).

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4}(N-1) + \sigma^2} = \frac{218 * 10^2}{\frac{5^2}{4}(218-1) + 10^2} = 14.97$$

$$n \cong \mathbf{15\ unidades}$$

- Realizando una intersección sistemática:

N = 218

n = 15

$$i = fa = \frac{N}{n} = \frac{218}{15} = 14.53 \cong \mathbf{15}$$

En el sector **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud** se determinaron **218 unidades de muestreo** de 33 m cada una, de las cuales se seleccionó una muestra de **15 unidades mediante muestreo sistemático** con intervalo de 15, conforme a la norma **ASTM D6433** para el cálculo del PCI.

Además, se incluyeron observaciones en sectores desfavorables para representar con mayor precisión el estado real de la vía, mostrando en la planilla tanto las unidades sistemáticas como las adicionales para una evaluación más completa.

Tabla N° 9.- Unidades de muestra PCI

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud)		
Unidad de Muestras	**Prog. Inicial**	**Prog. Final**
U.M. 1	0+000	0+033
Adic. 1	0+066	0+099
Adic. 2	0+099	0+132
U.M. 2	0+198	0+231
Adic. 3	0+231	0+264
U.M. 3	0+429	0+462
Adic. 4	0+462	0+495
U.M. 4	0+660	0+693
U.M. 5	0+891	0+924
U.M. 6	1+122	1+155
U.M. 7	1+353	1+386
U.M. 8	1+584	1+617
U.M. 9	1+815	1+848
U.M. 10	2+046	2+079
U.M. 11	2+277	2+310
U.M. 12	2+508	2+541
U.M. 13	2+739	2+772
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)		
Unidad de Muestras	**Prog. Inicial**	**Prog. Final**
U.M. 1	2+805	2+838
U.M. 2	3+267	3+300
U.M. 3	3+762	3+795
U.M. 4	4+257	4+290
U.M. 5	4+752	4+785
U.M. 6	5+247	5+280
U.M. 7	5+742	5+775
U.M. 8	6+237	6+270
U.M. 9	6+732	6+765
U.M. 10	7+227	7+260
U.M. 11	7+722	7+755
U.M. 12	8+217	8+250
U.M. 13	8+712	8+745
U.M. 14	9+207	9+240
U.M. 15	9+702	9+735
Adic. 5	9+966	10+000

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Relevamiento de información

Para el relevamiento de información del tramo Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud, ubicado en Tarija y con una longitud aproximada de 10 km, se realizó observación directa en campo y verificación cartográfica mediante Google Earth Pro, tomando como referencia las coordenadas de inicio y fin del tramo. La vía presenta pavimento flexible

con un ancho de calzada de 7.10 m y cumple una función importante al vincular zonas residenciales, educativas y productivas. La información obtenida permitió caracterizar las condiciones del tramo y establecer datos técnicos para la evaluación del estado del pavimento y la priorización de actividades de mantenimiento.

3.3 Evaluación superficial del tramo

Para la evaluación superficial del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**" se adoptó la metodología del Índice de Condición de Pavimento (PCI), con la cual se identifican y cuantifican las fallas presentes en la superficie de rodamiento según su tipo, severidad y extensión. Dado que el PCI es un procedimiento minucioso y demandante en tiempo, se optó por un muestreo representativo de unidades de muestreo, dimensionado para alcanzar una confiabilidad del 95% y un error admisible del 5%, conforme a la práctica normativa. Complementariamente, se determinaron el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), a fin de disponer de indicadores funcionales que brinden una visión integral del estado superficial y del confort de operación del pavimento.

3.3.1 Aplicación del método PCI

Se describe el procedimiento utilizado para la evaluación superficial del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", conforme a los lineamientos de la norma ASTM D6433 para el método PCI (Índice de Condición de Pavimento). Este enfoque permite caracterizar el estado de la superficie a partir de la identificación de fallas por tipo, severidad y extensión. Dado que se trata de un levantamiento detallado y demandante en tiempo, la literatura recomienda trabajar con un tamaño muestral representativo de unidades de muestreo, a fin de optimizar el trabajo de campo y mantener la confiabilidad de los resultados. En este proyecto, las unidades de muestreo se definieron mediante el cálculo estadístico correspondiente y, adicionalmente, se incorporaron sectores con condiciones más desfavorables para garantizar la representatividad y cubrir posibles áreas críticas del pavimento.

3.3.1.1 Procedimiento del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Concluidas las inspecciones del tramo, se registraron en cada unidad de muestreo las fallas identificadas y su severidad correspondiente. Para fortalecer la representatividad del

diagnóstico, se incorporaron unidades adicionales en sectores con condiciones desfavorables. Esta medida permitió ampliar el nivel de detalle en zonas críticas y elevar la precisión de la evaluación de todo el tramo y conocer el estado del pavimento por el método **PCI**.

El ejemplo que se muestra corresponde a la **muestra adicional 1** del primer sector, **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud**, con progresivas de inicio **0+066** y final **0+099**. Esta unidad se seleccionó por presentar condiciones desfavorables, lo que permite una apreciación más precisa del deterioro presente en el tramo:

Tabla N° 10.-Ejemplo de relevamiento de fallas

HOJA DE REGISTRO

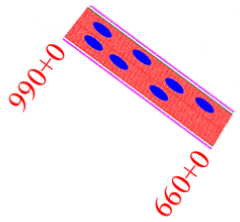
Método del PCI (Índice de condición del pavimento)

TRAMO:	**Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud**

INICIAL	**FINAL**	**Unidad Muestra:**	**FECHA:**
0+066	**0+099**	**Adicional: 1**	**3/9/2025**

EJECUTADO:	**Augusto Jesús Apaza Gallardo**

ESQUEMA:



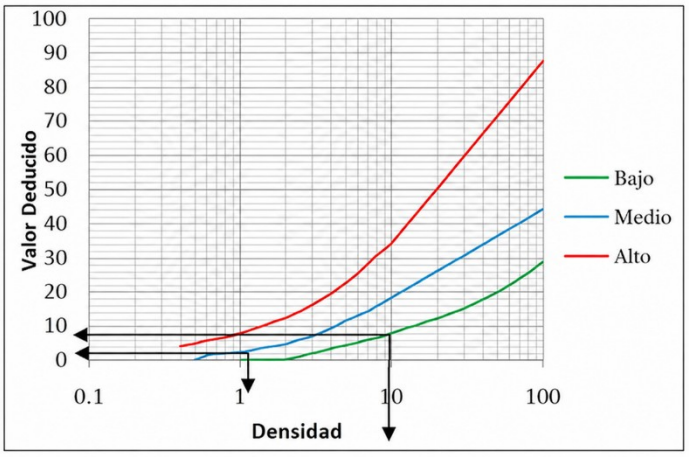
AREA DE MUESTRA:		
AREA:	234.30	**m2**

Fallas	**Unidad**	**Fallas**	**Unidad**
1. Piel de cocodrilo	m²	11. Parches	m²
2. Exudación	m²	12. Pulimento de Agregado	m²
3. Fisuras en bloque	m²	13. Huecos	#
4. Abultamientos y hundimientos	m²	14. Cruce de puentes	m²
5. Corrugación	m²	15. Ahullamiento	m²
6. Depresión	m²	16. Desplazamiento	m²
7. Fisura de borde	m	17. Fisura parabólica	m²
8. Fisura de reflexión de junta	m	18. Hinchamiento	m²
9. Desnivel carril-berma	m	19. Desprendimiento de agregados	m²
10. Fisuras longitudinales y transversales	m		

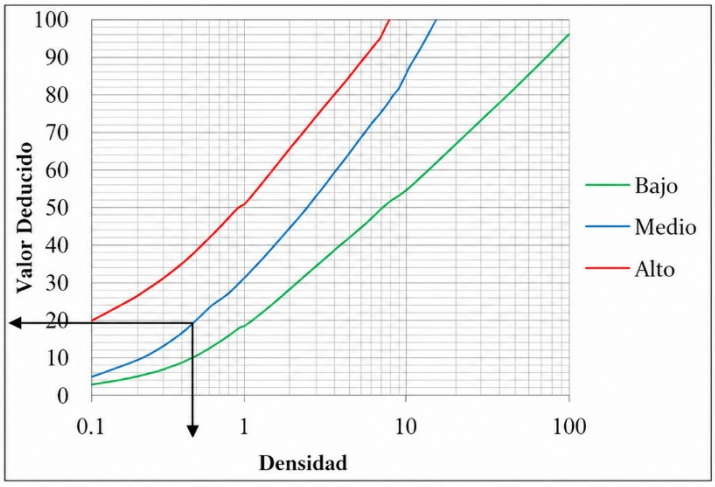
Falla	**Severidad**	**Cantidad**					**Total**	**Densidad**	**Valor deducido**
10	M	3.10					3.10	1.32	3.11
10	L	8.30	5.35	9.40			23.05	9.84	9.25
13	M	1.00					1.00	0.43	18.08
3	M	4.80	11.50				16.30	6.96	13.36

Fuente: Elaboración propia

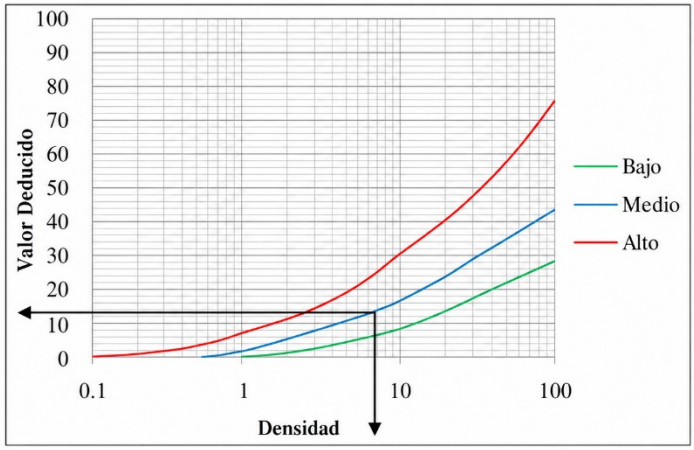
10. GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL:

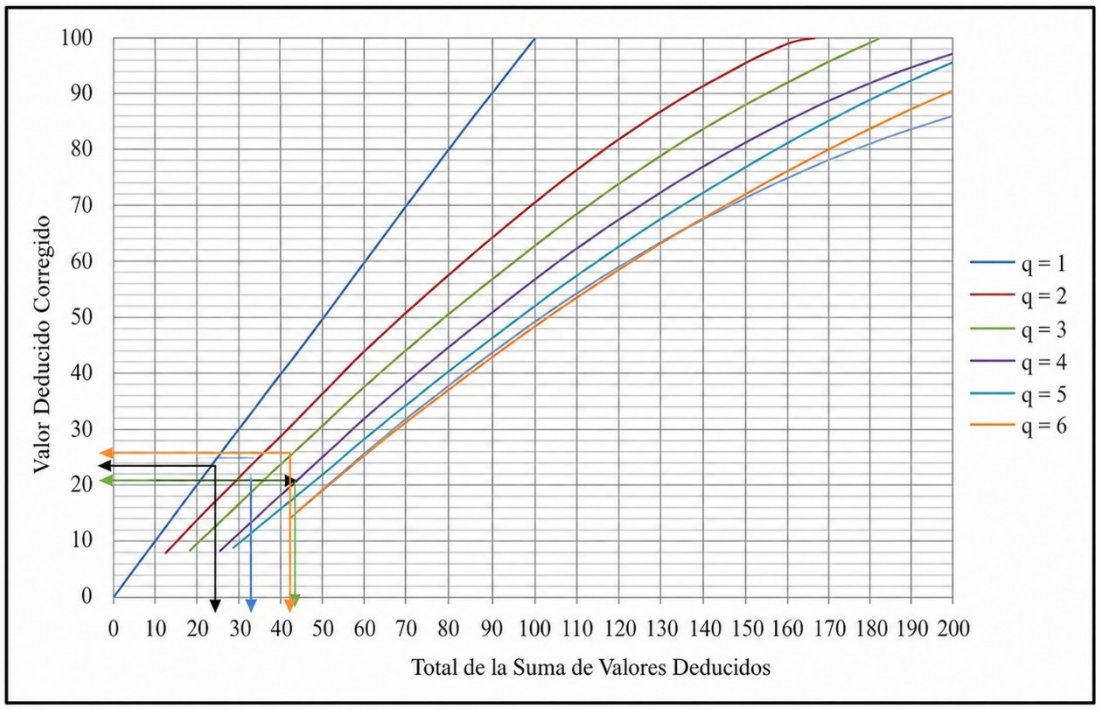


13. HUNDIMIENTOS:



3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE:





Nro.	Valor deducido					Total	q	VDC
	1	2	3	4	5			
1	18.08	13.36	9.25	3.11		43.81	4	21.67
2	18.08	13.36	9.25	2.00		42.70	3	25.89
3	18.08	13.36	2.00	2.00		35.45	2	25.45
4	18.08	2.00	2.00	2.00		24.08	1	24.08

Máximo valor deducido corregido	
CDVmax =	25.89

PCI=	100 - CDV max	**PCI=**	74.11

Condición del pavimento	Muy Bueno

Con la información de campo sistematizada, se calcularon las densidades y los valores deducidos para determinar la **calificación PCI** de cada unidad de muestreo y de cada muestra adicional de los sectores **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud**, pertenecientes al tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**". Dicho procedimiento se mostrará detalladamente en el ANEXO 1.

Tabla N° 11.- Resultados y clasificación del (PCI)

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad Muestras	**Progresiva inicial - final**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	0+000 - 0+033	68.44	Bueno
Adic. 1	0+066 - 0+099	74.11	Muy Bueno
Adic. 2	0+099 - 0+132	69.90	Bueno
U.M. 2	0+198 - 0+231	82.32	Muy Bueno
Adic. 3	0+231 - 0+264	84.62	Muy Bueno
U.M. 3	0+429 - 0+462	84.90	Muy Bueno
Adic. 4	0+462 - 0+495	83.72	Muy Bueno
U.M. 4	0+660 - 0+693	64.93	Bueno
U.M. 5	0+891 - 0+924	86.83	Excelente
U.M. 6	1+122 - 1+155	96.52	Excelente
U.M. 7	1+353 - 1+386	84.32	Muy Bueno
U.M. 8	1+584 - 1+617	81.58	Muy Bueno
U.M. 9	1+815 - 1+848	84.52	Muy Bueno
U.M. 10	2+046 - 2+079	57.24	Bueno
U.M. 11	2+277 - 2+310	100.00	Excelente
U.M. 12	2+508 - 2+541	65.10	Bueno
U.M. 13	2+739 - 2+772	89.85	Excelente
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)		**Índice de condición de pavimento**	**Condición del pavimento**
Unidad Muestras	**Progresiva inicial - final**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	2+805 - 2+838	66.08	Bueno
U.M. 2	3+267 - 3+300	67.18	Bueno
U.M. 3	3+762 - 3+795	88.38	Excelente
U.M. 4	4+257 - 4+290	77.35	Muy Bueno
U.M. 5	4+752 - 4+785	69.99	Bueno
U.M. 6	5+247 - 5+280	95.03	Excelente
U.M. 7	5+742 - 5+775	97.66	Excelente
U.M. 8	6+237 - 6+270	97.97	Excelente
U.M. 9	6+732 - 6+765	53.39	Bueno
U.M. 10	7+227 - 7+260	72.31	Muy Bueno
U.M. 11	7+722 - 7+755	100.00	Excelente
U.M. 12	8+217 - 8+250	94.02	Excelente
U.M. 13	8+712 - 8+745	67.87	Bueno
U.M. 14	9+207 - 9+240	95.14	Excelente
U.M. 15	9+702 - 9+735	96.70	Excelente
Adic. 5	9+966 - 10+000	71.52	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2 Procedimiento de imágenes de PCI (Índice de condición del pavimento)

Figura N° 36.- Progresivas para el PCI



En la imagen se observa la marcación de progresivas que delimita el área de la unidad de muestreo a inspeccionar en el tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**"

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 37.- Inspección del tramo

De acuerdo con el método PCI, es necesario marcar todas las fallas observadas en el tramo de estudio, clasificándolas por tipo y severidad.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 38.- Estudio del tramo con el método PCI



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín

3.3.2.1 Unidades de muestreo método IRI

En el tramo "Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud", la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) se estructuró en unidades de muestreo por kilómetro y por sentido, considerando los dos sectores evaluados: **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**. Para ello, se ejecutó un tramo de 400 m en cada kilómetro, tanto en ida como en vuelta. La definición de estas unidades de muestreo respondió a criterios propios del estudio, como operatividad, seguridad y consistencia espacial, de modo que cada valor de IRI representa la misma franja de 400 m por kilómetro y sentido, favoreciendo la comparabilidad y el control de calidad de las mediciones.

Las mismas unidades de muestreo se emplearon para estimar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), dado que en este estudio el PSI se obtiene a partir del IRI mediante la relación adoptada PSI = f(IRI). Mantener idéntica segmentación en los sectores **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud** asegura coherencia entre ambos indicadores y facilita la consolidación y priorización de intervenciones por kilómetro.

Tabla N° 12.- Unidades de muestreo (IRI, PSI)

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)					
N°	**Km**	**Sentido**	**Prog. Inicial**	**Prog. Final**	**Long. (m)**
1	1	**Ida**	0+000	0+400	400
2	1	**Vuelta**	0+400	0+000	400
3	2	**Ida**	1+000	1+400	400
4	2	**Vuelta**	1+400	1+000	400
5	3	**Ida**	2+000	2+400	400
6	3	**Vuelta**	2+400	2+000	400
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)					
N°	**Km**	**Sentido**	**Prog. Inicial**	**Prog. Final**	**Long. (m)**
7	4	**Ida**	3+000	3+400	400
8	4	**Vuelta**	3+400	3+000	400
9	5	**Ida**	4+000	4+400	400
10	5	**Vuelta**	4+400	4+000	400
11	6	**Ida**	5+000	5+400	400
12	6	**Vuelta**	5+400	5+000	400
13	7	**Ida**	6+000	6+400	400
14	7	**Vuelta**	6+400	6+000	400
15	8	**Ida**	7+000	7+400	400
16	8	**Vuelta**	7+400	7+000	400
17	9	**Ida**	8+000	8+400	400
18	9	**Vuelta**	8+400	8+000	400
19	10	**Ida**	9+000	9+400	400
20	10	**Vuelta**	9+400	9+000	400

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado para evaluar la rugosidad del pavimento mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en el tramo “Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud”, considerando los sectores Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud y Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud.

3.3.2.2 Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín

Inicialmente, se realizó la calibración del equipo Merlín para garantizar la precisión de las mediciones. La evaluación se efectuó a lo largo de los 10 km del tramo, en los sectores **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**, mediante ensayos de 400 m por cada kilómetro. Las mediciones se realizaron cada 2 m en ambos carriles, sobre las huellas de rodadura.

A continuación, se presenta el cálculo de una muestra en carril de ida, correspondiente a la progresiva **0+000 a 0+400**.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO: PROYECTO DE GRADO (P.E.T): "EVALUACIÓN DEL DETERIORO SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLEGIO SANTA ANA LA NUEVA-CRUCE YESERA SUD"
SOLICITANTE: AUGUSTO JESUS APAZA GALLARDO
MUESTRA: PAVIMENTO FLEXIBLE
TRAMO: COLEGIO SANTA ANA LA NUEVA - CRUCE YESERA SUD
FECHA DE REALIZACIÓN: 12 de Septiembre de 2025

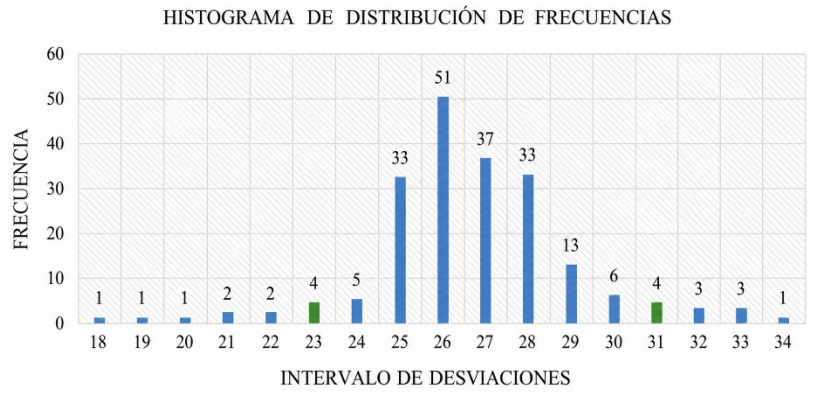
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)

Tramo: Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud
Sentido: Ida
Progresiva: 0+000 a 0+400

Datos de campo con la Rueda de Merlín

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28	29	26	30	28	26	26	24	28	25
2	28	29	22	25	28	26	28	27	28	26
3	26	25	27	25	25	29	27	27	25	25
4	26	28	27	28	25	26	27	26	21	25
5	26	27	26	28	28	24	25	25	25	23
6	27	26	27	27	26	25	27	25	25	26
7	26	26	26	27	26	28	26	26	28	26
8	29	26	19	31	25	25	27	27	27	26
9	28	25	26	26	28	26	25	30	25	27
10	25	28	27	30	26	27	31	28	24	25
11	28	26	26	28	32	27	27	27	25	28
12	28	27	25	27	26	28	25	30	26	29
13	30	29	26	27	26	29	25	29	31	34
14	28	26	32	26	27	26	23	26	28	28
15	27	27	26	29	26	27	26	28	29	33
16	27	26	27	27	28	28	25	24	25	27
17	27	18	28	23	26	28	27	29	26	24
18	26	26	25	26	29	25	26	25	26	22
19	27	30	21	28	20	28	31	33	25	29
20	23	33	27	32	28	26	26	25	27	26



Cálculos y resultados

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(4-3)}{4} + 7 + \frac{(4-3)}{4}\right) * 5\ [mm]$$

D = 37.50 mm

Cálculo factor de corrección fc:

Donde:

Ep = 6.2

Li = 25

Lf = 10

$$f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5}\right) = \left(\frac{(6.2 * 10)}{(25 - 10) * 5}\right)$$

fc = 0.83 mm

Cálculo del rango corregido Dc:

Dc = D * fc = 37.50 * 0.83

Dc= 31.00 mm

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI con las siguientes ecuaciones:

Determinación del I.R.I.:

Para pavimentos nuevos:

$I.R.I. = 0.0485 * D_c$ → (IRI<2.4)

Para pavimentos en servicio:

$I.R.I. = 0.593 + 0.0471 * D_c$ → (2.4<IRI<15.9)

Aplicando la fórmula para pavimentos en servicio:

$I.R.I. = 0.593 + 0.0471 * D_c$ → $I.R.I. = 0.593 + 0.0471 * 31.00$

I.R.I.= 2.05 m/km → Bueno

Tabla N° 13.-Rango de rugosidad

Rango de Rugosidad (m/km)	Calificación
0.00 – 2.00	Excelente
2.00 – 3.50	Bueno
3.50 – 5.00	Regular
>5.00	Malo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14.-Rango de rugosidad método IRI

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)							
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresivas**		**Long. (m)**	**IRI (m/km)**	**Calificación**
			Inicial	**final**			
1	1	**Ida**	0+000	0+400	400	2.05	Bueno
2	1	**Vuelta**	0+400	0+000	400	2.12	Bueno
3	2	**Ida**	1+000	1+400	400	2.12	Bueno
4	2	**Vuelta**	1+400	1+000	400	2.13	Bueno
5	3	**Ida**	2+000	2+400	400	2.15	Bueno
6	3	**Vuelta**	2+400	2+000	400	2.08	Bueno
Promedio						**2.11**	**Bueno**
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)							
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresivas**		**Long. (m)**	**IRI (m/km)**	**Calificación**
			Inicial	**final**			
7	4	**Ida**	3+000	3+400	400	2.16	Bueno
8	4	**Vuelta**	3+400	3+000	400	2.28	Bueno
9	5	**Ida**	4+000	4+400	400	1.77	Excelente
10	5	**Vuelta**	4+400	4+000	400	1.98	Excelente
11	6	**Ida**	5+000	5+400	400	1.63	Excelente
12	6	**Vuelta**	5+400	5+000	400	1.73	Excelente
13	7	**Ida**	6+000	6+400	400	1.80	Excelente
14	7	**Vuelta**	6+400	6+000	400	1.97	Excelente
15	8	**Ida**	7+000	7+400	400	1.90	Excelente
16	8	**Vuelta**	7+400	7+000	400	1.98	Excelente
17	9	**Ida**	8+000	8+400	400	1.57	Excelente
18	9	**Vuelta**	8+400	8+000	400	1.70	Excelente
19	10	**Ida**	9+000	9+400	400	1.88	Excelente
20	10	**Vuelta**	9+400	9+000	400	1.98	Excelente
Promedio						**1.88**	**Excelente**

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Imagines Del ensayo de IRI

Figura N° 39.- Calibración del equipo de Merlín

En la imagen se observa la calibración del equipo Merlín, realizada previamente al ensayo para asegurar la exactitud de los datos y evitar errores en la medición.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 40.- Equipo de Merlín

Una vez realizado la calibración se procede a la recolección de datos, cada 2 m en un tramo seleccionado de 400 m.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 41.- Lectura con el equipo Merlín

En cada ensayo de 400 metros recorrido, se registran los valores del equipo Merlín cada 2 m en una planilla previamente tabulada



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Aplicación del método del PSI

Se correlacionó el PSI con el IRI (Índice de Regularidad Internacional), tal como muestra en la siguiente expresión.

3.3.3.1 Procedimiento de cálculo PSI

En el tramo **"Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"**, comprendido por los sectores **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**, la serviciabilidad del pavimento se determinó a partir de los valores del **Índice Internacional de Rugosidad (IRI)** obtenidos con el equipo **Merlín**.

Las mediciones se realizaron en ambos sentidos de circulación, evaluando tramos de 400 m. Para cada tramo, el equipo Merlín proporcionó el valor del IRI y su histograma de frecuencias. Con estos resultados, se calculó el **Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI)** mediante las ecuaciones de correlación propuestas.

Conversión del IRI al PSI

Ecuación según William Paterson (1987)	$\mathbf{PSI = 5.85 - (1.68 * IRI^{0.5})}$
Ecuación según D. Dujisin y A.Arroyo (1995)	$\mathbf{PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}}}$
Ecuación según William Paterson (1987)	$\mathbf{PSI = 4.182 - 0.455(IRI)}$

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo del PSI para la progresiva **0+000 a 0+400**, en el **carril derecho (IDA)**, reemplazando el valor del IRI obtenido en las fórmulas adoptadas para el presente proyecto. Este mismo procedimiento fue aplicado en ambos sectores de estudio.

Prog. 0+000 - 0+400 (ida)

IRI	2.05

- Ecuación según William Paterson (1987)

$$PSI_1 = 5.85 - (168 * IRI^{0.5}) = 5.85 - (1.68 * 2.05^{0.5})$$

$$PSI1 = 3.44$$

- Ecuación según D. Dujisin y A. Arroyo (1995)

$$PSI2 = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5.5}}} = \frac{5}{\frac{2.05}{e^{5.5}}}$$

$$PSI2 = 3.44$$

- Ecuación según William Paterson (1987)

$$PSI_3 = (4.182 - 0.455(IRI) = 4.182 - 0.455(2.05)$$

$$PSI3 = 3.25$$

A continuación, procedemos a obtener un PSI promedio:

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

$$PSIprom = \left(\frac{3.44+3.44+3.25}{3}\right)$$

$$PSIprom = 3.38$$

PSI=	3.38	Bueno

Rango	Calificacion
5.00-4.25	Excelente
4.25-3.50	Muy Bueno
3.50 – 2.75	Bueno
2.75 – 2.00	Regular
1.25 – 0.50	Muy malo
0.50 – 0.00	Fallado

Se obtuvo un valor promedio de **3.38** en la unidad de muestra seleccionada, clasificando la unidad de muestra como **"Bueno"**.

Tabla N° 15.- Total de datos obtenidos de resultados del PSI

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)								
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresiva**		**Long. (m)**	**IRI**	**PSI**	**Calificación de serviciabilidad**
			Inicial	**final**		**(m/km)**		
1	1	**Ida**	0+000	0+400	400	2.05	3.38	Bueno
2	1	**Vuelta**	0+400	0+000	400	2.12	3.34	Bueno
3	2	**Ida**	1+000	1+400	400	2.12	3.34	Bueno
4	2	**Vuelta**	1+400	1+000	400	2.13	3.33	Bueno
5	3	**Ida**	2+000	2+400	400	2.15	3.32	Bueno
6	3	**Vuelta**	2+400	2+000	400	2.08	3.36	Bueno
Promedio							**3.35**	**Bueno**
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)								
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresiva**		**Long. (m)**	**IRI**	**PSI**	**Calificación de serviciabilidad**
			Inicial	**final**		**(m/km)**		
7	4	**Ida**	3+000	3+400	400	2.16	3.32	Bueno
8	4	**Vuelta**	3+400	3+000	400	2.28	3.25	Bueno
9	5	**Ida**	4+000	4+400	400	1.77	3.54	Muy Bueno
10	5	**Vuelta**	4+400	4+000	400	1.98	3.42	Bueno
11	6	**Ida**	5+000	5+400	400	1.63	3.62	Muy Bueno
12	6	**Vuelta**	5+400	5+000	400	1.73	3.56	Muy Bueno
13	7	**Ida**	6+000	6+400	400	1.80	3.52	Muy Bueno
14	7	**Vuelta**	6+400	6+000	400	1.97	3.42	Bueno
15	8	**Ida**	7+000	7+400	400	1.90	3.46	Bueno
16	8	**Vuelta**	7+400	7+000	400	1.98	3.42	Bueno
17	9	**Ida**	8+000	8+400	400	1.57	3.65	Muy Bueno
18	9	**Vuelta**	8+400	8+000	400	1.70	3.58	Muy Bueno
19	10	**Ida**	9+000	9+400	400	1.88	3.48	Bueno
20	10	**Vuelta**	9+400	9+000	400	1.98	3.42	Bueno
Promedio							**3.48**	**Muy Bueno**

Fuente: Elaboración propia

3.4 Evaluación estructural

Para la evaluación estructural se realizaron **20 puntos de medición** en el lado izquierdo y lado derecho de la vía, distribuidos cada **500 metros** e intercalados con las progresivas. Esta evaluación se llevó a cabo en los dos sectores del tramo en estudio: **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**.

3.4.1 Procedimiento de medición viga Benkelman

Como primer paso, se verificó la disponibilidad de todos los materiales necesarios para la realización del ensayo. Inicialmente, se efectuó la calibración de la Viga Benkelman, considerando una constante k = 4 para el cálculo de las deflexiones.

Previo al ensayo, se midió la presión de inflado de las llantas del vehículo de carga, obteniéndose un valor de 80 psi. Posteriormente, se determinó el peso de la volqueta mediante una balanza electrónica, obteniéndose un peso de **10.79** toneladas. El vehículo contaba con eje trasero simple y llantas dobles.

Una vez verificados estos parámetros, se procedió al ensamblaje de la viga, la cual cuenta con un brazo articulado de dos módulos, los cuales fueron fijados mediante tornillos. Luego, se niveló la viga en su punto de apoyo principal utilizando una regla niveladora, asegurando que el puntero del brazo estuviera en contacto mínimo con la superficie del pavimento.

El mismo procedimiento se aplicó en los diferentes puntos de ensayo previamente definidos. En cada uno de ellos se registraron lecturas de deflexión a distancias de 0.0 m 0.50 m, 1.00 m, 1.50 m, 2.00 m y 5.00 m. desde el punto inicial.

Durante la ejecución del ensayo, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras del vehículo de carga, alineado aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta, mientras que el otro extremo permaneció fijo sobre el pavimento. Además, en cada ubicación se registró la temperatura del pavimento, repitiéndose este proceso en todos los puntos a lo largo de ambos tramos de estudio.

En la siguiente planilla se muestran los datos obtenidos mediante el ensayo de deflexiones con la Viga Benkelman, realizados en ambos carriles de la vía en estudio. Las mediciones se efectuaron siguiendo el procedimiento normativo y manuales.

Tabla N° 16.-Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (IDA)

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)										
(Nº)	PROGRESIVA	LECTURAS DEL DIAL (0,01mm)						TEMPERATURAS		Espesor
	(Km)	L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Amb	Asfalto	asfalto
								°C	°C	(cm)
1	0+000	5	2	4	2	2	0	23	27	5
2	0+500	6	2	2	1	2	0	23	27	5
3	1+000	4	2	2	2	2	0	25	29	5
4	1+500	6	1.8	2	2	2	0	25	29	5
5	2+000	4	2	2	2	2	0	27	30	5
6	2+500	4	2	2	2	2	0	28	33	5
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)										
7	3+000	5	2	2	2	2	0	28	33	5
8	3+500	8	1.8	4	2	2	0	29	35	5
9	4+000	8	2	2	2	2	0	29	36	5
10	4+500	6	2	2	2	2	0	29	37	5
11	5+000	4	1.6	2	2	2	0	31	39	5
12	5+500	6	2	4	2	2	0	32	40	5
13	6+000	8	1.6	4	2	2	0	34	41	5
14	6+500	8	1.7	2	2	2	0	34	42	5
15	7+000	6	2	4	2	2	0	34	43	5
16	7+500	4	1.7	2	2	2	0	35	45	5
17	8+000	8	2	4	2	2	0	36	47	5
18	8+500	6	2	2	2	2	0	36	48	5
19	9+000	4	1.8	2	2	2	0	37	51	5
20	9+500	6	2	4	2	2	0	38	52	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 17.-Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (VUELTA)

SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)										
(Nº)	PROGRESIVA	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						TEMPERATURAS		Espesor
	(Km)	L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Amb	Asfalto	asfalto
								°C	°C	(cm)
1	9+500	3	2	2	2	2	0	37	52	5
2	9+000	4	1.6	2	2	2	0	36	51	5
3	8+500	5	2	4	2	2	0	36	50	5
4	8+000	4	1.8	2	2	2	0	35	49	5
5	7+500	3	2	2	2	2	0	35	49	5
6	7+000	6	2	2	2	2	0	35	49	5
7	6+500	6	1.8	4	2	2	0	34	48	5
8	6+000	4	2	2	2	2	0	34	48	5
9	5+500	5	2	2	2	2	0	34	47	5
10	5+000	3	2	2	2	2	0	33	47	5
11	4+500	6	2	2	2	2	0	33	47	5
12	4+000	6	1.9	2	2	2	0	32	46	5
13	3+500	4	2	2	2	2	0	32	45	5
14	3+000	6	2	4	2	2	0	32	44	5
SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)										
15	2+500	4	2	2	2	2	0	31	44	5
16	2+000	6	1.9	2	2	2	0	31	43	5
17	1+500	8	2	4	2	2	0	31	42	5
18	1+000	6	2	2	2	2	0	34	42	5
19	0+500	5	2	4	2	2	0	34	41	5
20	0+000	6	2	2	2	2	0	32	40	5

Fuente: Elaboración propia

Se presentará un ejemplo completó de cálculo para la progresiva 0+000 ensayo IDA carril derecho, el cual servirá como referencia para replicar el mismo procedimiento de cálculo en los demás puntos evaluados.

Nota. El valor 4 usado por el cálculo de D_0 y D_{50} obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas en 2.1 es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará el factor que corresponda.

Cálculo de la deflexión máxima:

(Nº)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Amb °C	Asfalto °C	
1	0+000	5	2	4	2	2	0	23.0	27.0	5.00

$$\mathbf{Do = 4 * L_0}$$

$$\mathrm{Do} = 4 * 5$$

$$\mathrm{Do} = 20 * 10^{-2}\mathrm{mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

El valor de las deflexiones debe corregirse por temperatura según la norma, que deben ser llevadas a una temperatura de 20°C.

$$\mathbf{Dot} = \frac{\mathbf{Do}}{\mathbf{K} * (\mathbf{t - 20°C}) * \mathbf{e + 1}}$$

$$\mathrm{Dot} = \frac{20}{0.001\ \frac{°\mathrm{C}}{\mathrm{cm}} * (27 - 20°\mathrm{C}) * 5 + 1}$$

$$\mathrm{Dot} = 19.32 * 10^{-2}\mathrm{mm}$$

Deflexión a 50 cm:

$$\mathbf{D50 = 4 * (L0 - L50)}$$

$$\mathrm{D50} = 4 * (5 - 2)$$

$$\mathrm{D50} = 12.00 * 10^{-2}\mathrm{mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

$$\mathbf{D50t} = \frac{\mathbf{D50}}{\mathbf{K} * (\mathbf{t - 20°C}) * \mathbf{e + 1}}$$

$$\mathrm{D50t} = \frac{12}{0.001\ \frac{°\mathrm{C}}{\mathrm{cm}} * (27 - 20°\mathrm{C}) * 5 + 1}$$

$$\mathrm{D50t} = 11.59 * 10^{-2}\mathrm{mm}$$

Radio de curvatura

$$\mathbf{Rc} = \frac{\mathbf{6250}}{\mathbf{K} * (\mathbf{Dot - D50})}$$

$$\mathrm{Rc} = \frac{6250}{2 * (19.32 - 11.59)}$$

$$\mathrm{Rc} = 404.30\ \mathrm{m}$$

Tabla N° 18.-Resultados viga Benkelman carril derecho (ida) primer sector

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"

TRAMO: Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud **PROG.:** 0+000 a 2+800 **CARRIL:** DERECHO (IDA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"

Equipo: Viga Benkelman

(Nº)	PROGRESIVA	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor
	(Km)	L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	asfalto (cm)
1	0+000	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	19.32	11.59	404.30	23.0	27.0	5.00
2	0+500	6	2	2	1	2	0	24.00	16.00	391	23.19	15.46	404.30	23.0	27.0	5.00
3	1+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.31	7.66	408.20	25.0	29.0	5.00
4	1+500	6	1.8	2	2	2	0	24.00	16.80	434	22.97	16.08	453.56	25.0	29.0	5.00
5	2+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.24	7.62	410.16	27.0	30.0	5.00
6	2+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.02	7.51	416.02	28.0	33.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19.-Resultados viga Benkelman carril derecho (ida) segundo sector

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"
TRAMO: Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud **PROG.:** 2+800 a 10+000 **CARRIL:** DERECHO (IDA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"
Equipo: Viga Benkelman

(Nº)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
7	3+000	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	18.78	11.27	416.02	28.0	33.0	5.00
8	3+500	8	1.8	4	2	2	0	32.00	24.80	434	29.77	23.07	466.58	29.0	35.0	5.00
9	4+000	8	2	2	2	2	0	32.00	24.00	391	29.63	22.22	421.88	29.0	36.0	5.00
10	4+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	22.12	14.75	423.83	29.0	37.0	5.00
11	5+000	4	1.6	2	2	2	0	16.00	9.60	488	14.61	8.77	534.67	31.0	39.0	5.00
12	5+500	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.82	14.55	429.69	32.0	40.0	5.00
13	6+000	8	1.6	4	2	2	0	32.00	25.60	488	28.96	23.17	539.55	34.0	41.0	5.00
14	6+500	8	1.7	2	2	2	0	32.00	25.20	460	28.83	22.70	510.11	34.0	42.0	5.00
15	7+000	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.52	14.35	435.55	34.0	43.0	5.00
16	7+500	4	1.7	2	2	2	0	16.00	9.20	460	14.22	8.18	517.00	35.0	45.0	5.00
17	8+000	8	2	4	2	2	0	32.00	24.00	391	28.19	21.15	443.36	36.0	47.0	5.00
18	8+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.05	14.04	445.31	36.0	48.0	5.00
19	9+000	4	1.8	2	2	2	0	16.00	8.80	434	13.85	7.62	501.30	37.0	51.0	5.00
20	9+500	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	20.69	13.79	453.13	38.0	52.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20.- Resultados viga Benkelman carril izquierdo (vuelta) segundo sector

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"
TRAMO: U.E. Yesera Sud - Cruce Yesera Sud **PROG.:** 10+000 a 2+800 **CARRIL:** IZQUIERDO (VUELTA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"
Equipo: Viga Benkelman

(N°)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0,01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	9+500	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.34	3.45	453.13	37.0	52.0	5.00
2	9+000	4	1.6	2	2	2	0	16.00	9.60	488	13.85	8.31	563.96	36.0	51.0	5.00
3	8+500	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	17.39	10.43	449.22	36.0	50.0	5.00
4	8+000	4	1.8	2	2	2	0	16.00	8.80	434	13.97	7.69	496.96	35.0	49.0	5.00
5	7+500	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.48	3.49	447.27	35.0	49.0	5.00
6	7+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	20.96	13.97	447.27	35.0	49.0	5.00
7	6+500	6	1.8	4	2	2	0	24.00	16.80	434	21.05	14.74	494.79	34.0	48.0	5.00
8	6+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.04	7.02	445.31	34.0	48.0	5.00
9	5+500	5	2	2	2	2	0	20.00	12.00	391	17.62	10.57	443.36	34.0	47.0	5.00
10	5+000	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.57	3.52	443.36	33.0	47.0	5.00
11	4+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.15	14.10	443.36	33.0	47.0	5.00
12	4+000	6	1.9	2	2	2	0	24.00	16.40	411	21.24	14.51	464.64	32.0	46.0	5.00
13	3+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.22	7.11	439.45	32.0	45.0	5.00
14	3+000	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.43	14.29	437.50	32.0	44.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 21.- Resultados viga Benkelman carril izquierdo (vuelta) primer sector

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"

TRAMO: Cruce Yesera Sud - Colegio Santa Ana La Nueva **PROG.:** 2+800 a 0+000 **CARRIL:** IZQUIERDO (VUELTA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"

Equipo: Viga Benkelman

(Nº)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0,01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
15	2+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.29	7.14	437.50	31.0	44.0	5.00
16	2+000	6	1.9	2	2	2	0	24.00	16.40	411	21.52	14.71	458.47	31.0	43.0	5.00
17	1+500	8	2	4	2	2	0	32.00	24.00	391	28.83	21.62	433.59	31.0	42.0	5.00
18	1+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.62	14.41	433.59	34.0	42.0	5.00
19	0+500	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	18.10	10.86	431.64	34.0	41.0	5.00
20	0+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.82	14.55	429.69	32.0	40.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Imágenes del ensayo con la viga Benkelman

Figura N° 42.- Pasaje de la volqueta en la balanza electrónica





Se realizó el peso de la volqueta en una balanza eléctrica. Obteniendo un peso de (10.790) toneladas de capacidad con eje trasero simple y llantas dobles





BALANZA "MENDOZA"

N° 7513

KM 7.5 CARRETERA AL CHACO
CEL. 70218371 - 76129566
Tarija - Bolivia

Ingreso: 31/10/2025 8:32:21 AM
Salida.

BRUTO: 10.790	TARA: 0	NETO: 0	QQ.: 0,00

Vendedor: ELIAS ROMERO
Comprador: JESUS APAZA GALLARDO
Chofer: ELIAS ROMERO CI:N/S
Placa: 134 TFP VOLVO AMARILLO
Tipo Vehiculo: VOLQUETA
Material: VOLQUETA
Monto Bs: 50
Observacion:

ENCARGADO BALANZA
JARDIN MELVA

Jesus Apaza
CLIENTE

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 43.- Calibración del equipo

Se realizó la calibración de la viga Benkelman para asegurar la exactitud en la obtención de los datos del ensayo.



Fuente: Elaboración propia

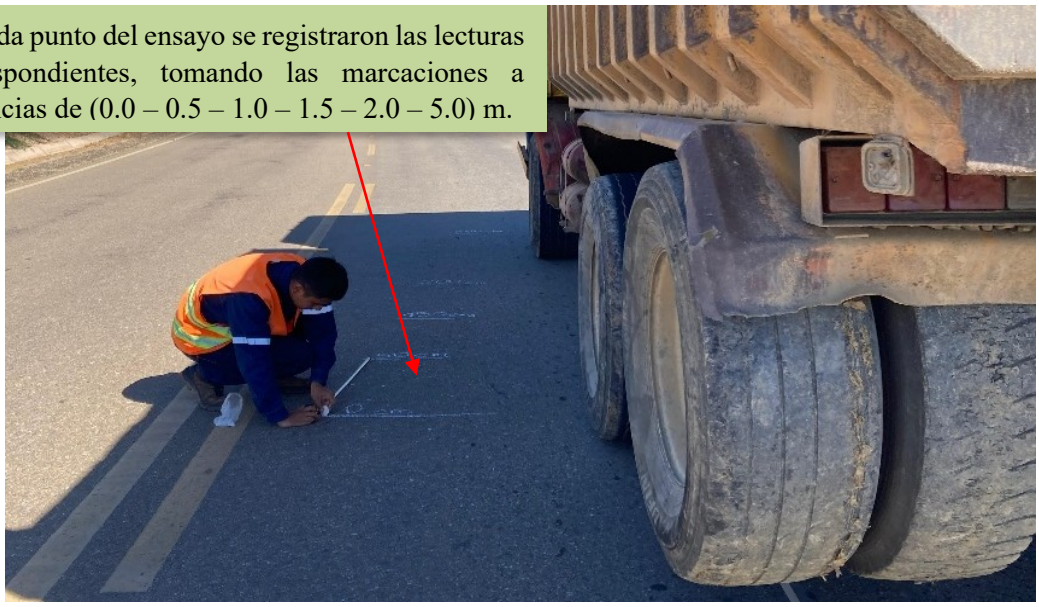
Figura N° 44.- Ensayo de la viga Benkelman

Como se puede apreciar, uno de los extremos de la viga se ubicó entre las ruedas traseras de la volqueta utilizada, de modo que coincidiera aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 45.- Marcado de distancias



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 46.- Lectura de temperatura



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados finales de la evaluación superficial y estructural

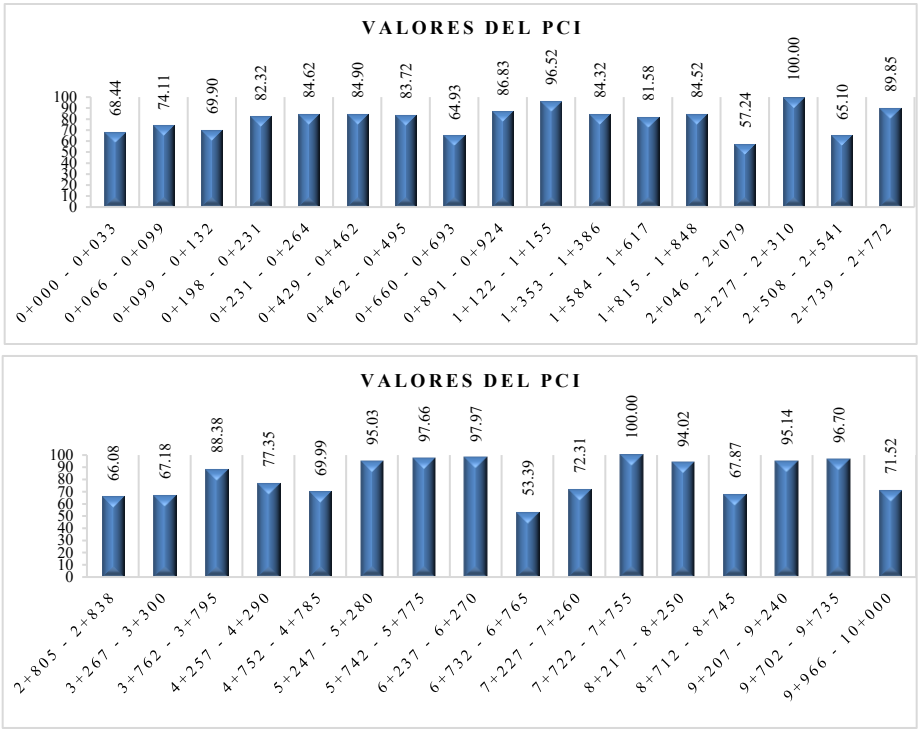
4.1.1 Análisis de resultados por el método PCI

Tabla N° 22.-Resultados de todo el tramo de PCI.

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad Muestras	**Progresiva (inicial – final)**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	0+000 - 0+033	68.44	Bueno
Adic. 1	0+066 - 0+099	74.11	Muy Bueno
Adic. 2	0+099 - 0+132	69.90	Bueno
U.M. 2	0+198 - 0+231	82.32	Muy Bueno
Adic. 3	0+231 - 0+264	84.62	Muy Bueno
U.M. 3	0+429 - 0+462	84.90	Muy Bueno
Adic. 4	0+462 - 0+495	83.72	Muy Bueno
U.M. 4	0+660 - 0+693	64.93	Bueno
U.M. 5	0+891 - 0+924	86.83	Excelente
U.M. 6	1+122 - 1+155	96.52	Excelente
U.M. 7	1+353 - 1+386	84.32	Muy Bueno
U.M. 8	1+584 - 1+617	81.58	Muy Bueno
U.M. 9	1+815 - 1+848	84.52	Muy Bueno
U.M. 10	2+046 - 2+079	57.24	Bueno
U.M. 11	2+277 - 2+310	100.00	Excelente
U.M. 12	2+508 - 2+541	65.10	Bueno
U.M. 13	2+739 - 2+772	89.85	Excelente
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)		**Índice de condición de pavimento**	**Condición del pavimento**
Unidad Muestras	**Progresiva (inicial – final)**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	2+805 - 2+838	66.08	Bueno
U.M. 2	3+267 - 3+300	67.18	Bueno
U.M. 3	3+762 - 3+795	88.38	Excelente
U.M. 4	4+257 - 4+290	77.35	Muy Bueno
U.M. 5	4+752 - 4+785	69.99	Bueno
U.M. 6	5+247 - 5+280	95.03	Excelente
U.M. 7	5+742 - 5+775	97.66	Excelente
U.M. 8	6+237 - 6+270	97.97	Excelente
U.M. 9	6+732 - 6+765	53.39	Bueno
U.M. 10	7+227 - 7+260	72.31	Muy Bueno
U.M. 11	7+722 - 7+755	100.00	Excelente
U.M. 12	8+217 - 8+250	94.02	Excelente
U.M. 13	8+712 - 8+745	67.87	Bueno
U.M. 14	9+207 - 9+240	95.14	Excelente
U.M. 15	9+702 - 9+735	96.70	Excelente
Adic. 5	9+966 - 10+000	71.52	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°1: Resultados del metodo PCI de los dos sectores



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Análisis resultados PCI para el proyecto

Para el método PCI, considerando las unidades de muestreo y las muestras adicionales, se evaluaron 33 unidades, registrándose 12 en Excelente, 11 en Muy Bueno y 10 en Bueno. Esto indica que el 100 % del tramo se encontró en condición Buena o superior (36.36 % Excelente; 33.33 % Muy Bueno; 30.30 % Bueno), sin sectores en Regular, Malo, Muy Malo o Fallado.

Sector 1: Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud.

Los resultados del PCI mostraron una condición general entre Buena y Muy Buena, con presencia de deterioros superficiales asociados al envejecimiento del pavimento. Por ello, se recomendó mantenimiento rutinario y preventivo, como sellado de grietas y tratamientos superficiales, además de seguimiento periódico.

Sector 2: Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud.

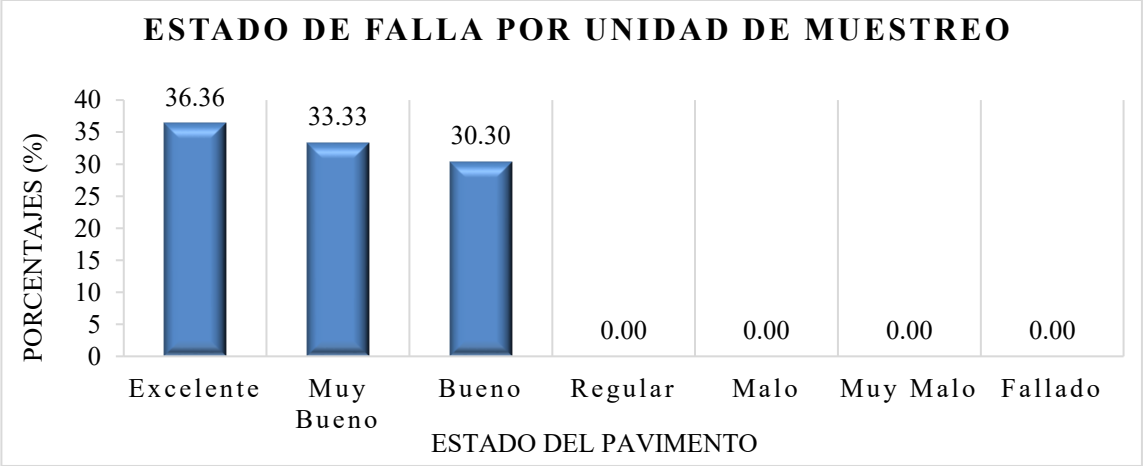
En este sector, los valores del PCI indicaron una condición entre Muy Buena y Excelente, con menor presencia de deterioros y mejor estado funcional del pavimento. En consecuencia, se recomendó mantenimiento rutinario y monitoreo periódico para conservar las condiciones actuales.

Tabla N° 23.-Estados del pavimento en porcentaje

Estado	Unidad de muestreo	%
Excelente	12	36.36
Muy Bueno	11	33.33
Bueno	10	30.30
Regular	0	0.00
Malo	0	0.00
Muy Malo	0	0.00
Fallado	0	0.00
TOTAL	**33**	**100**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°2: Estado de falla por unidad de muestreo



Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 24** presenta los valores promedio del Índice de Condición del Pavimento (PCI) obtenidos para cada sector del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", calculados a partir de las Unidades de Muestreo y muestras adicionales, conforme al procedimiento establecido en la norma ASTM D6433. Estos promedios permiten interpretar de manera diferenciada la condición superficial del pavimento en cada sector evaluado. Posteriormente, se presenta el valor promedio general del tramo completo, con el fin de establecer un diagnóstico global del estado del pavimento.

Tabla N° 24.-SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)

Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI (Promedio)	Calificación
0+000 – 2+400	79.94	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 25.-SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)

Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI (Promedio)	Calificación
2+400 – 10+000	81.91	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 26.-Resultado promedio del tramo evaluado en general

Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI (promedio)	Calificación
0+000 – 10+000	80.89	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Las **Tablas 24** y **25** presentan los valores promedio del Índice de Condición del Pavimento (PCI) obtenidos para cada uno de los sectores del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", calculados a partir de las Unidades de Muestreo y muestras adicionales conforme al procedimiento establecido en la norma ASTM D6433. Los resultados mostraron que el sector **Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud** alcanzó un PCI promedio de **79.94**, clasificándose como **Muy Bueno**, mientras que el sector **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud** obtuvo un PCI promedio de **81.91**, correspondiente a la calificación de **Excelente**. Posteriormente, la **Tabla 26** presenta el valor promedio general de todo el tramo evaluado, obteniéndose un PCI de **80.89**, con clasificación **Muy Bueno**, lo que permitió establecer que, en términos generales, el tramo vial se encontró en buenas condiciones de circulación.

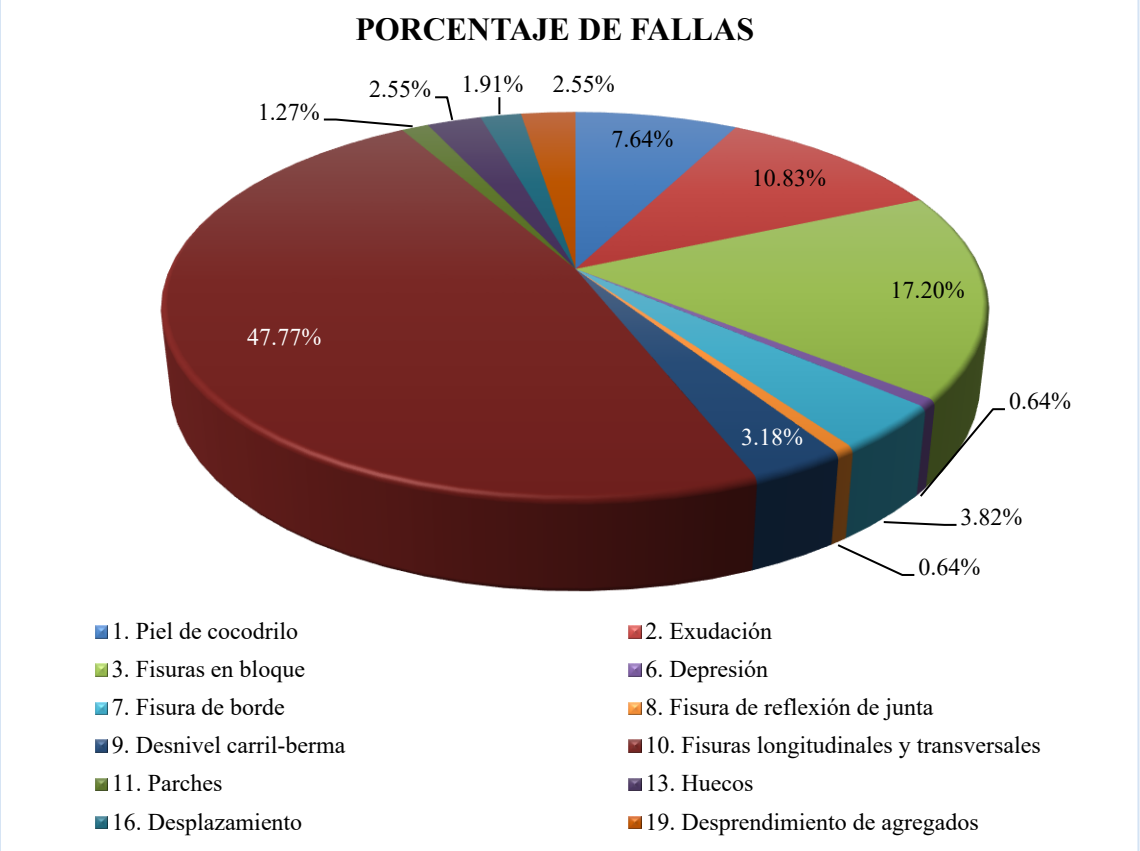
Una vez determinado el estado general del pavimento mediante el método PCI, se procedió al análisis del porcentaje de fallas presentes en todo el tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", con el propósito de identificar los deterioros más representativos y establecer criterios técnicos para la formulación del plan de mejoras de las fallas encontradas en el tramo de estudio.

Tabla N° 27.- Porcentaje de fallas más representativas en general

Tipos de Fallas	Unidad	Cantidad	Fallas (%)
1. Piel de cocodrilo	m²	12	7.64
2. Exudación	m²	17	10.83
3. Fisuras en bloque	m²	27	17.20
6. Depresión	m²	1	0.64
7. Fisura de borde	m	6	3.82
8. Fisura de reflexión de junta	m	1	0.64
9. Desnivel carril-berma	m	5	3.18
10. Fisuras longitudinales y transversales	m	75	47.77
11. Parches	m²	2	1.27
13. Huecos	#	4	2.55
16. Desplazamiento	m²	3	1.91
19. Desprendimiento de agregados	m²	4	2.55
TOTAL		**157**	**100**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°3: Panel de fallas en general



Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 27** y la **Gráfica 3** muestran cuáles son las fallas más comunes en el **Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**. La más importante son las fisuras longitudinales y transversales, con 47.77 % del total. En segundo lugar, está el agrietamiento en bloque con 17.20 %. Luego aparecen la exudación (10.83 %) y la piel de cocodrilo (7.64 %). Otras fallas tienen menor presencia: fisura de borde (3.82 %), desnivel entre carril y berma (3.18 %), huecos (2.55 %), desprendimiento de agregados (2.55 %), desplazamientos (1.91 %), parches (1.27 %), depresiones (0.64 %) y fisura por reflexión de junta (0.64 %). Con estos datos, enfoco el análisis en las dos fallas principales.

Agrietamiento en bloque (17.20 %). Suele aparecer cuando el asfalto envejece y se vuelve más rígido. Con los cambios de temperatura, la superficie se contrae y se forman cuadritos o rectángulos. También influye si no pegó bien una capa con otra o si la mezcla no fue la adecuada. Estas grietas dejan entrar agua y, con el tránsito, el daño avanza más rápido.

Fisuras longitudinales y transversales (47.77 %). A menudo se deben a juntas de carril mal ejecutadas, a la contracción por frío/calor o al endurecimiento del asfalto con el tiempo. El aumento del tráfico también las favorece. Si no se sellan, el agua penetra por las fisuras y acelera el deterioro de la carpeta de rodadura. En buena parte del tramo, este tipo de fisuras se explica por el desgaste progresivo de la superficie

4.2 Evaluación superficial con el método IRI

Se realizó la medición ida-vuelta del **IRI** con el rugosímetro MERLIN debidamente calibrado y se validaron los registros obtenidos. A partir de ello, se determinó el valor de IRI del tramo y su clasificación según rangos de condición (**Excelente**, **Bueno**, **Regular** y **Deficiente**). Para un mejor análisis, el tramo fue dividido en dos sectores: el **Sector 1**, comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud**, y el **Sector 2**, desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**. En esta sección se presentan los resultados obtenidos para ambos sectores y para el tramo en general**.**

4.2.1 Resultados parciales del método IRI

Se presenta un resumen de los resultados obtenidos mediante el método IRI en los recorridos de ida y vuelta, considerando los dos sectores del tramo evaluado. Se muestran los valores de **IRI de ida, IRI de vuelta e IRI promedio** para cada sector, además del

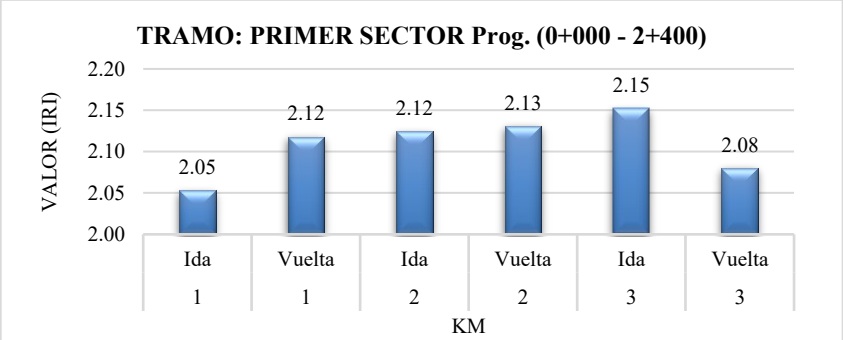
promedio general del tramo completo, junto con su respectiva categoría de clasificación. Los resultados se presentan en las siguientes planillas y gráficas**.**

Tabla N° 28.-Resultados del primer sector IRI (Ida y Vuelta)

TRAMO: PRIMER SECTOR Prog. (0+000 - 2+400)							
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresivas**		**Long. (m)**	**IRI (m/km)**	**Calificación**
			Inicial	**final**			
1	1	**Ida**	0+000	0+400	400	2.05	Bueno
2	1	**Vuelta**	0+400	0+000	400	2.12	Bueno
3	2	**Ida**	1+000	1+400	400	2.12	Bueno
4	2	**Vuelta**	1+400	1+000	400	2.13	Bueno
5	3	**Ida**	2+000	2+400	400	2.15	Bueno
6	3	**Vuelta**	2+400	2+000	400	2.08	Bueno
Promedio						**2.11**	**Bueno**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°4: Resultados en gráfica del primer sector metodo IRI



Fuente: Elaboración propia

Carril de ida (derecho) del primer sector. El IRI registrado varió entre **2.05 y 2.15 m/km**, con el valor máximo en el subtramo **2+000 – 2+400** y el mínimo en **0+000 – 0+400**. De acuerdo con la clasificación obtenida, los valores se ubican en la categoría **"Bueno"**, lo que indica que este carril presenta una regularidad superficial adecuada. No obstante, se recomienda mantenimiento rutinario y seguimiento en los subtramos con mayor valor de IRI.

Carril de vuelta (izquierdo) del primer sector. El IRI obtenido se encuentra entre **2.08 y 2.13 m/km**, registrándose el valor máximo en el subtramo **1+400 – 1+000** y el mínimo en **2+400 – 2+000**. Según la clasificación correspondiente, todos los resultados se sitúan en la categoría **"Bueno"**, evidenciando una condición superficial aceptable del pavimento.

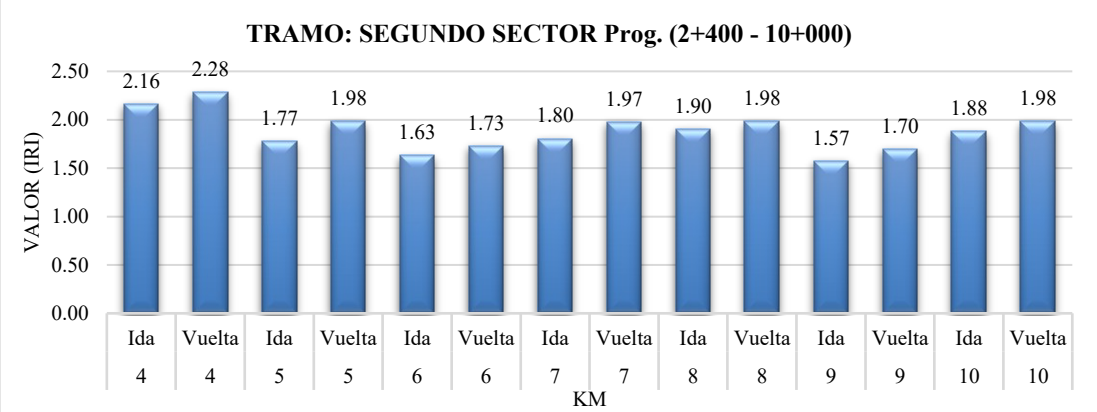
En consecuencia, corresponde realizar mantenimiento rutinario para preservar su estado actual

Tabla N° 29.-Resultados del segundo sector IRI (Ida y Vuelta)

TRAMO: SEGUNDO SECTOR Prog. (2+400 - 10+000)							
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresivas**		**Long. (m)**	**IRI (m/km)**	**Calificación**
			Inicial	**final**			
7	4	**Ida**	3+000	3+400	400	2.16	Bueno
8	4	**Vuelta**	3+400	3+000	400	2.28	Bueno
9	5	**Ida**	4+000	4+400	400	1.77	Excelente
10	5	**Vuelta**	4+400	4+000	400	1.98	Excelente
11	6	**Ida**	5+000	5+400	400	1.63	Excelente
12	6	**Vuelta**	5+400	5+000	400	1.73	Excelente
13	7	**Ida**	6+000	6+400	400	1.80	Excelente
14	7	**Vuelta**	6+400	6+000	400	1.97	Excelente
15	8	**Ida**	7+000	7+400	400	1.90	Excelente
16	8	**Vuelta**	7+400	7+000	400	1.98	Excelente
17	9	**Ida**	8+000	8+400	400	1.57	Excelente
18	9	**Vuelta**	8+400	8+000	400	1.70	Excelente
19	10	**Ida**	9+000	9+400	400	1.88	Excelente
20	10	**Vuelta**	9+400	9+000	400	1.98	Excelente
Promedio						**1.88**	**Excelente**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°1: Resultados en gráfica del segundo sector metodo IRI



Fuente: Elaboración propia

Carril de ida (derecho) del segundo sector. El IRI registrado varió entre **1.57 y 2.16 m/km**, con el valor máximo en el subtramo **3+000 – 3+400** y el mínimo en **8+000 – 8+400**. De acuerdo con la clasificación obtenida, predominan los valores en categoría **"Excelente"**, con algunos subtramos en **"Bueno"**, lo que refleja una buena regularidad

superficial del pavimento en este carril. Se recomienda mantenimiento rutinario y seguimiento de los subtramos que presentan los valores más altos.

Carril de vuelta (izquierdo) del segundo sector. El IRI obtenido se encuentra entre **1.70 y 2.28 m/km**, registrándose el valor máximo en el subtramo **3+400 – 3+000** y el mínimo en **8+400 – 8+000**. Según la clasificación correspondiente, los resultados se ubican entre las categorías **"Excelente"** y **"Bueno"**, sin presentar niveles inferiores, por lo que este carril muestra una condición superficial favorable. En ese sentido, corresponde efectuar mantenimiento rutinario y control periódico en los subtramos con mayor IRI

En la siguiente tabla se presenta el resultado promedio general del tramo evaluado, calculado a partir de los dos sectores analizados: Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud y Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud, junto con su respectiva calificación según el método IRI.

Tabla N° 30.- Resultado del tramo evaluado en general

Progresiva		IRI (Promedio) (m/km)	Calificación
Inicial	final		
0+000	10+000	1.996	Excelente

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Análisis de los resultados del método IRI.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el método IRI, el **primer sector (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)** presenta una regularidad superficial clasificada como **Bueno**, con un IRI promedio de **2.11 m/km**, lo que indica que el pavimento se encuentra en condiciones aceptables de servicio, requiriéndose únicamente mantenimiento rutinario para conservar su estado actual.

Por su parte, el **segundo sector (Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud)** presenta una regularidad superficial clasificada como **Excelente**, con un IRI promedio de **1.88 m/km**, evidenciando muy buenas condiciones de rodadura y requiriendo únicamente mantenimiento rutinario para preservar su desempeño.

Considerando ambos sectores evaluados, el tramo total **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera** Sud presenta un IRI promedio de 1.996 m/km, clasificado como Excelente, reflejando muy buenas condiciones de transitabilidad y confort. Se recomienda mantenimiento rutinario y monitoreo periódico para conservar su nivel de servicio.

4.3 Evaluación superficial con el método PSI

Se calcula el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) a partir de la correlación con el IRI, utilizando la ecuación adoptada para pavimentos asfálticos. Para un mejor análisis, el tramo fue dividido en dos sectores: el **Sector 1**, comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y el Cruce Yesera Sud**, y el **Sector 2**, desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**. En esta sección se presentan los resultados del PSI en ida y vuelta, junto con su clasificación correspondiente para ambos sectores y para el tramo en general. Los resultados se mostrarán en las siguientes planillas y gráficas.

4.3.1 Resultados parciales del método PSI

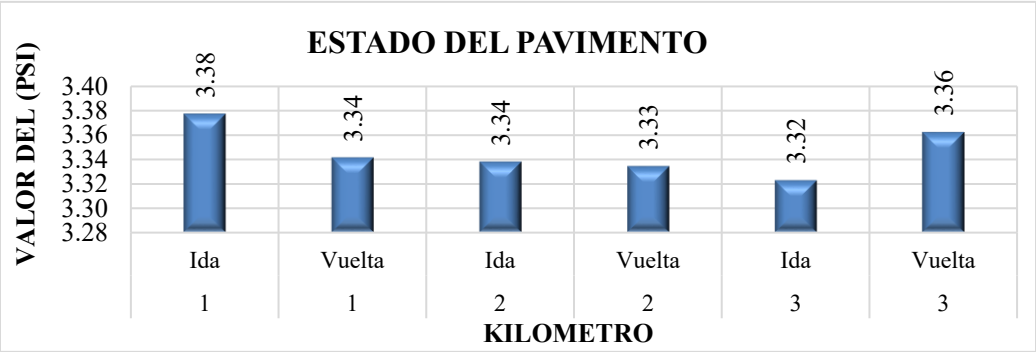
En este método se presenta un resumen de los resultados evaluados por cada muestra del tramo en los recorridos de **ida y vuelta**, cuya obtención se realizó mediante su correlación con el método IRI. Los resultados se analizan de manera diferenciada para el **Sector 1: Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud** y el **Sector 2: Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud**, permitiendo establecer la condición de serviciabilidad del pavimento en cada sector evaluado.

Tabla N° 31.- Resultados primer sector método PSI (IDA Y VUELTA)

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)								
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresiva**		**Long. (m)**	**IRI**	**PSI**	**Calificación de serviciabilidad**
			Inicial	**final**		**(m/km)**		
1	1	**Ida**	0+000	0+400	400	2.05	3.38	Bueno
2	1	**Vuelta**	0+400	0+000	400	2.12	3.34	Bueno
3	2	**Ida**	1+000	1+400	400	2.12	3.34	Bueno
4	2	**Vuelta**	1+400	1+000	400	2.13	3.33	Bueno
5	3	**Ida**	2+000	2+400	400	2.15	3.32	Bueno
6	3	**Vuelta**	2+400	2+000	400	2.08	3.36	Bueno
Promedio							**3.35**	**Bueno**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°2: Resultados en gráfico primer sector método PSI



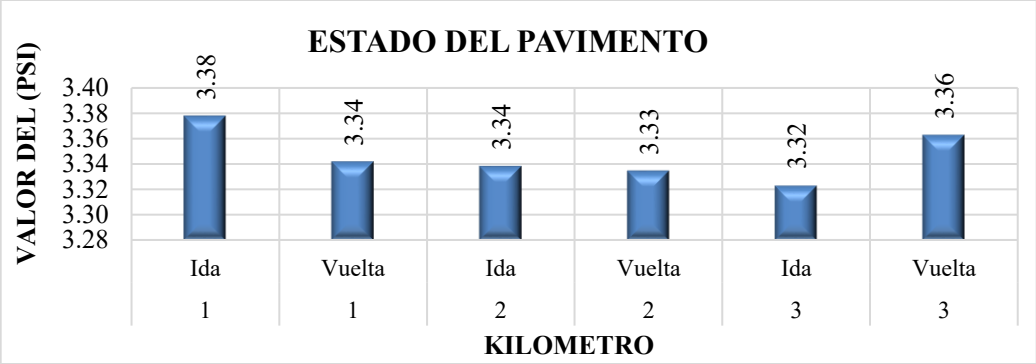
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 32.-Resultados segundo sector método PSI (IDA Y VUELTA)

SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)								
Nº	**Km**	**Sentido**	**Progresiva**		**Long. (m)**	**IRI**	**PSI**	**Calificación de serviciabilidad**
			Inicial	**final**		**(m/km)**		
7	4	**Ida**	3+000	3+400	400	2.16	3.32	Bueno
8	4	**Vuelta**	3+400	3+000	400	2.28	3.25	Bueno
9	5	**Ida**	4+000	4+400	400	1.77	3.54	Muy Bueno
10	5	**Vuelta**	4+400	4+000	400	1.98	3.42	Bueno
11	6	**Ida**	5+000	5+400	400	1.63	3.62	Muy Bueno
12	6	**Vuelta**	5+400	5+000	400	1.73	3.56	Muy Bueno
13	7	**Ida**	6+000	6+400	400	1.80	3.52	Muy Bueno
14	7	**Vuelta**	6+400	6+000	400	1.97	3.42	Bueno
15	8	**Ida**	7+000	7+400	400	1.90	3.46	Bueno
16	8	**Vuelta**	7+400	7+000	400	1.98	3.42	Bueno
17	9	**Ida**	8+000	8+400	400	1.57	3.65	Muy Bueno
18	9	**Vuelta**	8+400	8+000	400	1.70	3.58	Muy Bueno
19	10	**Ida**	9+000	9+400	400	1.88	3.48	Bueno
20	10	**Vuelta**	9+400	9+000	400	1.98	3.42	Bueno
Promedio							**3.48**	**Bueno**

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°3: Resultados en gráfico segundo sector método PSI



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 33.- Resultado promedio del tramo evaluado en general

Progresiva		PSI (Promedio)	Calificación de serviciabilidad
Inicial	final		
0+000	10+000	3.41	Bueno

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Análisis de resultados del método PSI

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el método PSI, el **primer sector (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)** presenta una serviciabilidad clasificada como **Bueno**, con un **PSI promedio de 3.35**, lo que indica que el pavimento ofrece condiciones adecuadas de comodidad y transitabilidad para los usuarios. Los valores obtenidos muestran un comportamiento homogéneo en ambos sentidos de circulación, sin variaciones significativas entre los subtramos evaluados, por lo que se recomienda la aplicación de mantenimiento rutinario para conservar el nivel de servicio actual.

Por su parte, el **segundo sector (Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud)** presenta una condición de serviciabilidad entre **Bueno y Muy Bueno**, con un **PSI promedio de 3.48**, evidenciando mejores condiciones superficiales respecto al primer sector. En este tramo predominan valores clasificados como **Muy Bueno**, con algunos subtramos en categoría **Bueno**, lo que indica un adecuado confort de rodadura y una superficie en buenas condiciones funcionales. En consecuencia, corresponde realizar mantenimiento rutinario y monitoreo periódico para preservar el estado del pavimento.

Considerando ambos sectores evaluados, el **tramo total Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** presenta un **PSI promedio general de 3.41**, el cual se clasifica como

Bueno, indicando que el pavimento proporciona adecuadas condiciones de serviciabilidad y comodidad de circulación a lo largo del tramo analizado. En función de estos resultados, se recomienda la ejecución de mantenimiento rutinario y seguimiento periódico para conservar el nivel de servicio actual.

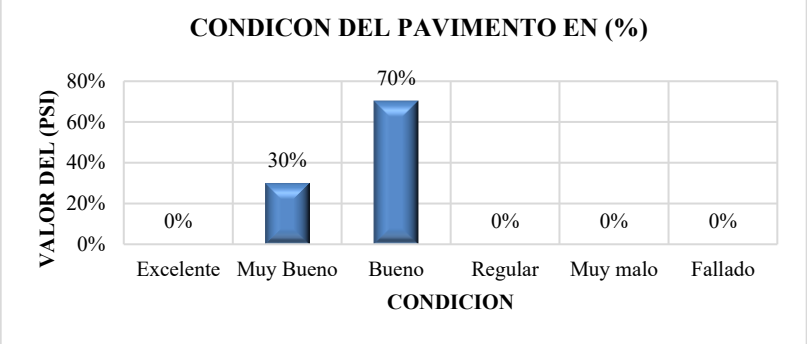
En la **Tabla 34** y la **Gráfica 4**, se muestra la distribución porcentual de los estados de serviciabilidad para este método.

Tabla N° 34.-Estados de serviciabilidad en porcentaje

Estado de pavimento	Secciones de muestreo	%
Excelente	0	0
Muy Bueno	6	30
Bueno	14	70
Regular	0	0
Muy malo	0	0
Fallado	0	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°4: Estado del pavimento por unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Diagnóstico general superficial del estado del pavimento

Una vez procesados y evaluados los resultados obtenidos mediante los métodos aplicados (PCI, IRI y PSI), y realizada la clasificación del estado del pavimento según cada criterio, se presenta a continuación el cuadro resumen con los valores correspondientes al tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud**. El consolidado considera el tramo general y las muestras adicionales definidas en zonas representativas; en el caso del IRI, se trabajó con mediciones ida-vuelta y control de calidad del equipo, y para el PSI se aplicó la correlación adoptada a partir del IRI. Esta integración permite contrastar la lectura superficial del pavimento, la regularidad longitudinal y la serviciabilidad

percibida, aportando una visión más completa y coherente del desempeño funcional del tramo.

Tabla N° 35.- Resultados del PCI, IRI, PSI

Método	Rango	Clasificación
PCI	80.89	Muy Bueno
IRI	1.996	Excelente
PSI	3.41	Bueno

Fuente: Elaboración propia

A partir del cuadro comparativo de los índices PCI, IRI y PSI, se evidencia que el pavimento presenta una condición general favorable. El método PCI clasifica el tramo como **Muy Bueno**, mientras que el IRI lo ubica en la categoría **Excelente** y el PSI en la categoría **Bueno**. En conjunto, estos resultados muestran que, desde el punto de vista superficial, funcional y de serviciabilidad, la vía mantiene condiciones adecuadas para la circulación vehicular. En función de ello, se recomienda la ejecución de mantenimiento rutinario, como sellado de fisuras puntuales, bacheo localizado, limpieza de drenajes y bermas, y control de vegetación, con el fin de conservar el nivel de servicio actual y prevenir un deterioro progresivo del pavimento. Esta condición es coherente con lo observado durante las inspecciones visuales realizadas en campo, lo cual se respalda en el **Anexo N° V**, donde se presenta el registro fotográfico de las principales fallas superficiales.

Tratamiento estadístico: Índice de Condición de Pavimento (PCI)

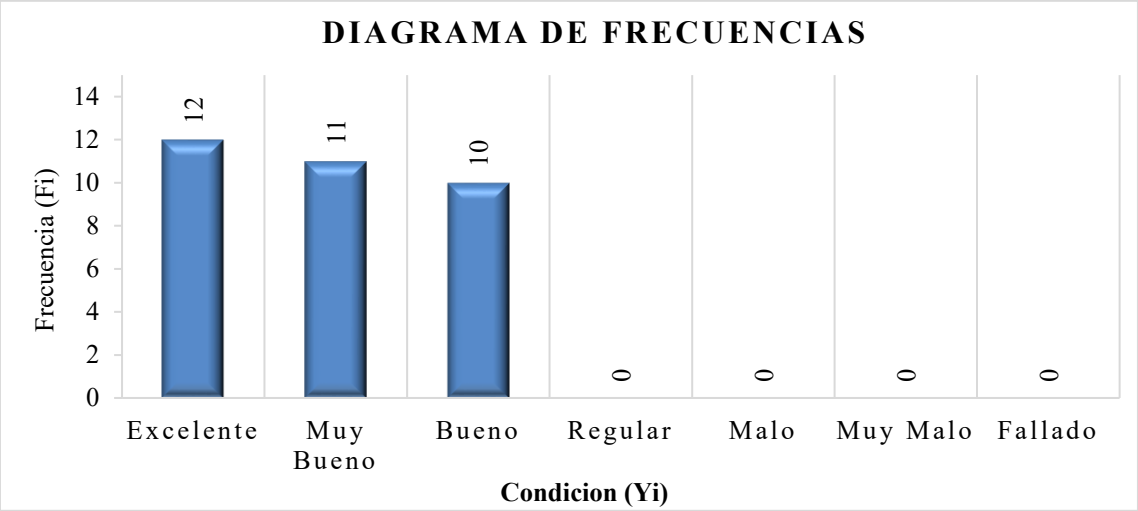
Estadística descriptiva

Tabla N° 36.- Tratamiento estadístico del PCI.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	12	12/33	0.36	36
2	Muy Bueno	11	11/33	0.34	34
3	Bueno	10	10/33	0.30	30
4	Regular	0	0/33	0.00	0
5	Malo	0	0/33	0.00	0
6	Muy Malo	0	0/33	0.00	0
7	Fallado	0	0/33	0.00	0
	Σ	**33**	**1**	**1.00**	**100**

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica N°5: Diagrama de frecuencias del PCI



Fuente: Elaboración Propia.

A partir del tratamiento estadístico realizado, se observa que la totalidad de las muestras evaluadas se concentra en las categorías **Excelente**, **Muy Bueno** y **Bueno**, con frecuencias relativas de **36 %**, **34 %** y **30 %**, respectivamente. Esto evidencia que, según el método PCI, el tramo en estudio presenta un estado superficial favorable, con condiciones adecuadas para la circulación vehicular y un nivel de deterioro que no compromete de manera significativa la funcionalidad del pavimento.

4.4 Hipótesis con distribución chi cuadrado método PCI

Se realiza un análisis estadístico mediante la prueba de hipótesis con distribución **chi cuadrado**, con el propósito de verificar la validez de la hipótesis planteada en la investigación en relación con los resultados obtenidos por el método **PCI**. Esta prueba permite comparar las frecuencias observadas con las frecuencias esperadas, a fin de determinar si las diferencias existentes son estadísticamente significativas o si pueden atribuirse al azar.

En el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud**, la prueba se aplica a los resultados de la **evaluación superficial del pavimento** obtenidos mediante el método PCI, permitiendo analizar la distribución de las unidades de muestreo según su clasificación de condición. De esta manera, se busca comprobar la representatividad de las muestras evaluadas y respaldar la confiabilidad de los resultados obtenidos en el diagnóstico del estado superficial del pavimento.

Tabla N° 37.-Resultados de evaluación superficial por el método PCI

SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud)		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad Muestras	**Progresiva (inicial – final)**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	0+000 - 0+033	68.44	Bueno
Adic. 1	0+066 - 0+099	74.11	Muy Bueno
Adic. 2	0+099 - 0+132	69.90	Bueno
U.M. 2	0+198 - 0+231	82.32	Muy Bueno
Adic. 3	0+231 - 0+264	84.62	Muy Bueno
U.M. 3	0+429 - 0+462	84.90	Muy Bueno
Adic. 4	0+462 - 0+495	83.72	Muy Bueno
U.M. 4	0+660 - 0+693	64.93	Bueno
U.M. 5	0+891 - 0+924	86.83	Excelente
U.M. 6	1+122 - 1+155	96.52	Excelente
U.M. 7	1+353 - 1+386	84.32	Muy Bueno
U.M. 8	1+584 - 1+617	81.58	Muy Bueno
U.M. 9	1+815 - 1+848	84.52	Muy Bueno
U.M. 10	2+046 - 2+079	57.24	Bueno
U.M. 11	2+277 - 2+310	100.00	Excelente
U.M. 12	2+508 - 2+541	65.10	Bueno
U.M. 13	2+739 - 2+772	89.85	Excelente
SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud)		**Índice de condición de pavimento**	**Condición del pavimento**
Unidad Muestras	**Progresiva (inicial – final)**	**Valor del PCI**	**Calificación**
U.M. 1	2+805 - 2+838	66.08	Bueno
U.M. 2	3+267 - 3+300	67.18	Bueno
U.M. 3	3+762 - 3+795	88.38	Excelente
U.M. 4	4+257 - 4+290	77.35	Muy Bueno
U.M. 5	4+752 - 4+785	69.99	Bueno
U.M. 6	5+247 - 5+280	95.03	Excelente
U.M. 7	5+742 - 5+775	97.66	Excelente
U.M. 8	6+237 - 6+270	97.97	Excelente
U.M. 9	6+732 - 6+765	53.39	Bueno
U.M. 10	7+227 - 7+260	72.31	Muy Bueno
U.M. 11	7+722 - 7+755	100.00	Excelente
U.M. 12	8+217 - 8+250	94.02	Excelente
U.M. 13	8+712 - 8+745	67.87	Bueno
U.M. 14	9+207 - 9+240	95.14	Excelente
U.M. 15	9+702 - 9+735	96.70	Excelente
Adic. 5	9+966 - 10+000	71.52	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis de la investigación

Si, al evaluar la condición superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva y la U.E. Yesera Sud**, que incluye el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud** y desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, se determina que el pavimento presenta una condición buena o superior.

Interpretación de las hipótesis

H_0: Si, la condición superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva** y la **U.E. Yesera Sud**, que incluye el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud** y desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, es **buena o superior.**

H_1: Si, la condición superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo comprendido entre el **Colegio Santa Ana La Nueva** y la **U.E. Yesera Sud**, que incluye el sector desde el **Colegio Santa Ana La Nueva hasta el Cruce Yesera Sud** y desde el **Cruce Yesera Sud hasta la U.E. Yesera Sud**, es **inferior a buena**.

Valores de frecuencia observada (fo)

SECCIONES	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado	TOTAL
0+000 - 2+000	2	8	4	0	0	0	0	**14**
2+000 - 4+00	3	0	3	0	0	0	0	**6**
4+000 - 6+000	1	1	1	0	0	0	0	**3**
6+000 - 8+000	3	1	1	0	0	0	0	**5**
8+000 - 10+000	3	1	1	0	0	0	0	**5**
TOTAL	**12**	**11**	**10**	**0**	**0**	**0**	**0**	**33**

Cálculo de la frecuencia esperada (fe)

$$fe = \frac{Total\ de\ columna\ x\ Total\ de\ fila}{Suma\ total}$$

SECCIONES	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado
0+000 - 2+000	5.09	4.67	4.24	0	0	0	0
2+000 - 4+00	2.18	2.00	1.82	0	0	0	0
4+000 - 6+000	1.09	1.00	0.91	0	0	0	0
6+000 - 8+000	1.82	1.67	1.52	0	0	0	0
8+000 - 10+000	1.82	1.67	1.52	0	0	0	0

Determinación del X^2 calculado

$$X_c^2 = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

SECCIONES	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado
0+000 - 2+000	1.88	2.38	0.01	0	0	0	0
2+000 - 4+00	0.31	2.00	0.77	0	0	0	0
4+000 - 6+000	0.01	0.00	0.01	0	0	0	0
6+000 - 8+000	0.77	0.27	0.18	0	0	0	0
8+000 - 10+000	0.77	0.27	0.18	0	0	0	0

Sumando todos los valores se obtiene

$$\boldsymbol{X^2 calc = 9.78}$$

Determinación del X^2 crítico

$n_{fil} = 5 \qquad n_{col} = 3$

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

$$\mathbf{n} = (5-1)(3-1) = 8$$

Mediante tabla de distribución chi cuadrado con grado de libertad n = 8

nivel de confianza de la investigación: NC = 95 %

Nivel se significancia propuesto: α = 5 % **α = 0.05**

$$\mathbf{X^2 crit = 15.507}$$

Comparación de valores

$\mathbf{X^2 calc} > \mathbf{X^2 crit}$ ⟶ Ho cae en la zona de rechazo

$9.78 > 15.507$ FALSO ⟶ Ho cae en la zona de aceptacion

Conclusión sobre la hipótesis

La hipótesis nula es aceptada; por lo tanto, se establece que la hipótesis de investigación, al estar emparejada con ésta, se confirma que, pese a la presencia de algunas fallas localizadas, todavía existe una buena condición en todo el tramo en general.

las mejoras de refacción deben ser puntuales, orientadas únicamente a sectores específicos, **y no así en toda la plataforma vial**, que mantiene un desempeño funcional.

4.5 Evaluación estructural con el método viga Benkelman

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

Tabla N° 38.- Resultados de la viga Benkelman primer sector (ida)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"

TRAMO: Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud **PROG.:** 0+000 a 2+800 **CARRIL:** DERECHO (IDA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

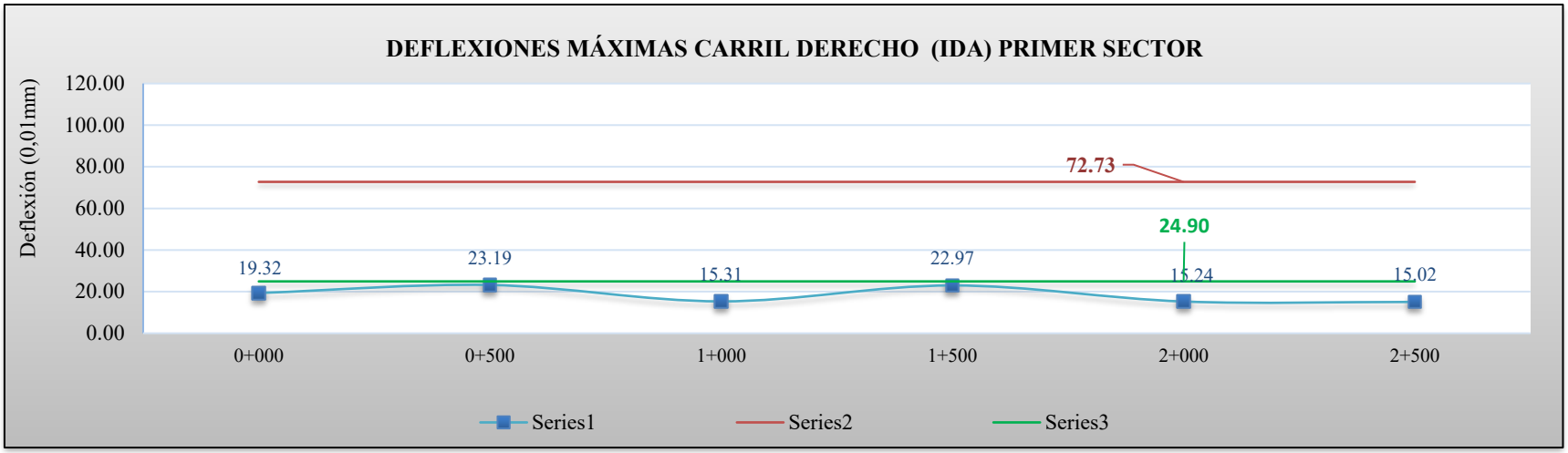
"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"

Equipo: Viga Benkelman

(N°)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	0+000	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	19.32	11.59	404.30	23.0	27.0	5.00
2	0+500	6	2	2	1	2	0	24.00	16.00	391	23.19	15.46	404.30	23.0	27.0	5.00
3	1+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.31	7.66	408.20	25.0	29.0	5.00
4	1+500	6	1.8	2	2	2	0	24.00	16.80	434	22.97	16.08	453.56	25.0	29.0	5.00
5	2+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.24	7.62	410.16	27.0	30.0	5.00
6	2+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	15.02	7.51	416.02	28.0	33.0	5.00

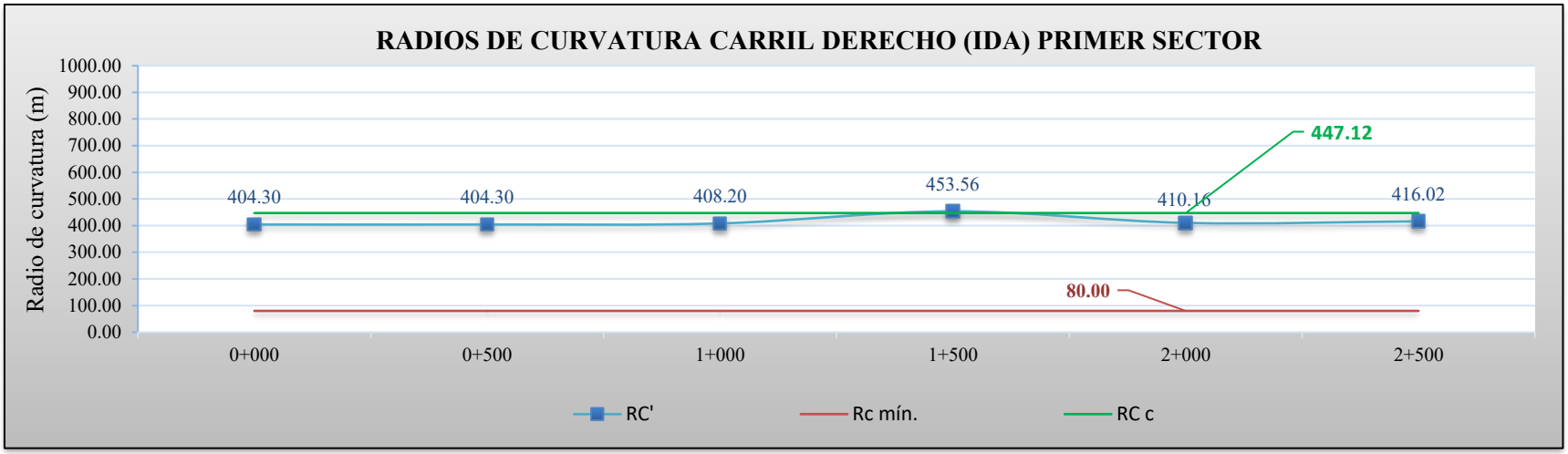
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°6: Deflexiones máximas (ida) primer sector



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°7: Radios de curvatura (ida) primer sector



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	6	6	6
SUMATORIA	111.05	65.92	2496.53
PROMEDIO	18.51	10.99	416.09
DEFLEXIÓN MINIMA	15.02	7.51	404.30
DEFLEXIÓN MAXIMA	23.19	16.08	453.56
DESVIACION ESTÁNDAR	3.89	4.02	18.87
VARIANZA	15.10	16.16	356
COEFICIENTE DE VAR.	21.00	36.59	4.53
VALOR CARACTERISTICO	24.90	17.60	447.12

RC mín = 80 m
RCc (m)= 447.12

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 18.51

Ds = Desviación standard = 3.89

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 18.51 + 1.645 * 3.89$$

$$Dc = 24.90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 39.-Resultados de la viga Benkelman segundo sector (ida)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

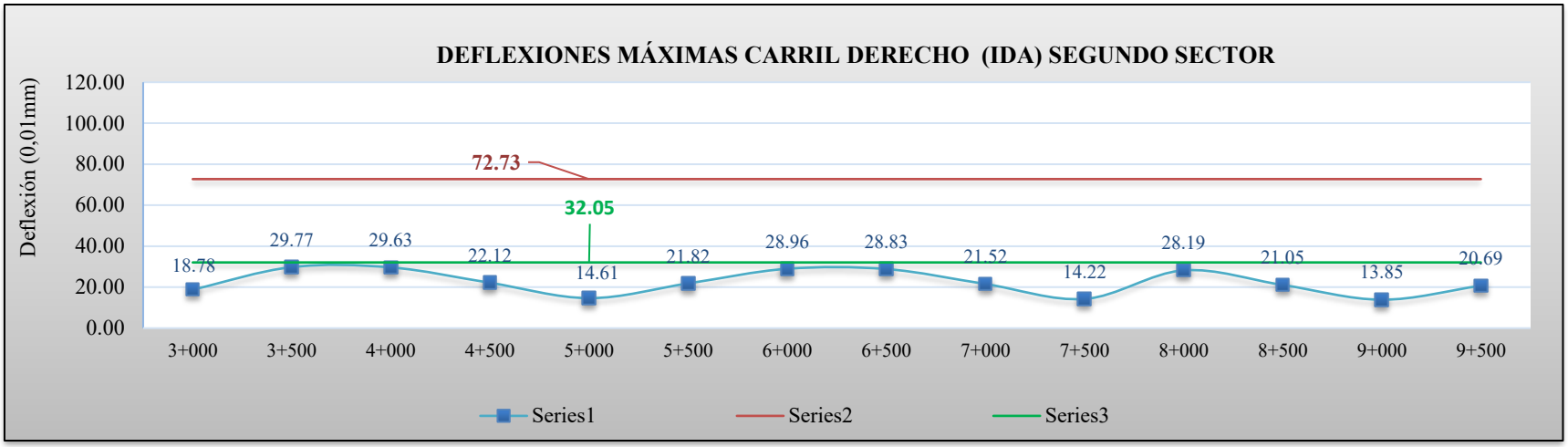
PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"
TRAMO: Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud **PROG.:** 2+800 a 10+000 **CARRIL:** DERECHO (IDA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"
Equipo: Viga Benkelman

(Nº)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
7	3+000	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	18.78	11.27	416.02	28.0	33.0	5.00
8	3+500	8	1.8	4	2	2	0	32.00	24.80	434	29.77	23.07	466.58	29.0	35.0	5.00
9	4+000	8	2	2	2	2	0	32.00	24.00	391	29.63	22.22	421.88	29.0	36.0	5.00
10	4+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	22.12	14.75	423.83	29.0	37.0	5.00
11	5+000	4	1.6	2	2	2	0	16.00	9.60	488	14.61	8.77	534.67	31.0	39.0	5.00
12	5+500	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.82	14.55	429.69	32.0	40.0	5.00
13	6+000	8	1.6	4	2	2	0	32.00	25.60	488	28.96	23.17	539.55	34.0	41.0	5.00
14	6+500	8	1.7	2	2	2	0	32.00	25.20	460	28.83	22.70	510.11	34.0	42.0	5.00
15	7+000	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.52	14.35	435.55	34.0	43.0	5.00
16	7+500	4	1.7	2	2	2	0	16.00	9.20	460	14.22	8.18	517.00	35.0	45.0	5.00
17	8+000	8	2	4	2	2	0	32.00	24.00	391	28.19	21.15	443.36	36.0	47.0	5.00
18	8+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.05	14.04	445.31	36.0	48.0	5.00
19	9+000	4	1.8	2	2	2	0	16.00	8.80	434	13.85	7.62	501.30	37.0	51.0	5.00
20	9+500	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	20.69	13.79	453.13	38.0	52.0	5.00

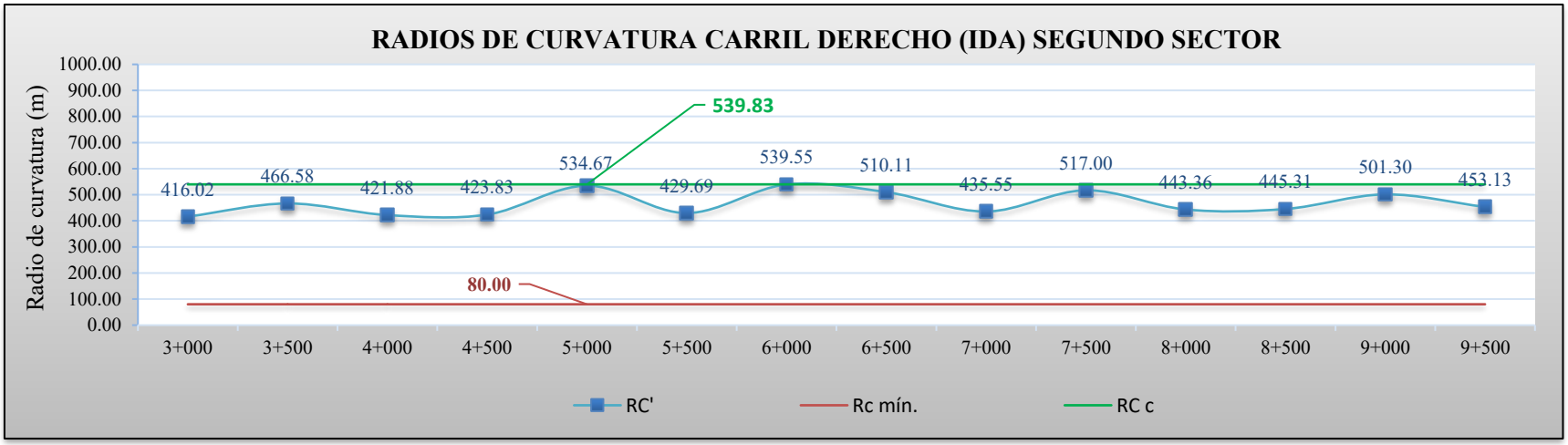
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°8: Deflexiones máximas (ida) segundo sector



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°9: Radios de curvatura (ida) segundo sector



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	14	14	14
SUMATORIA	314.05	219.61	6537.96
PROMEDIO	22.43	15.69	467.00
DEFLEXIÓN MINIMA	13.85	7.62	416.02
DEFLEXIÓN MAXIMA	29.77	23.17	539.55
DESVIACION ESTÁNDAR	5.84	5.76	44.27
VARIANZA	34.16	33.18	1960
COEFICIENTE DE VAR.	26.05	36.72	9.48
VALOR CARACTERISTICO	32.05	25.16	539.83

RC mín =	80 m
RCc (m)=	539.83

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 22.43

Ds = Desviación standard = 5.84

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 22.43 + 1.645 * 5.84$$

$$Dc = 32.05 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 40.-Resultados de la viga Benkelman segundo sector (vuelta)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

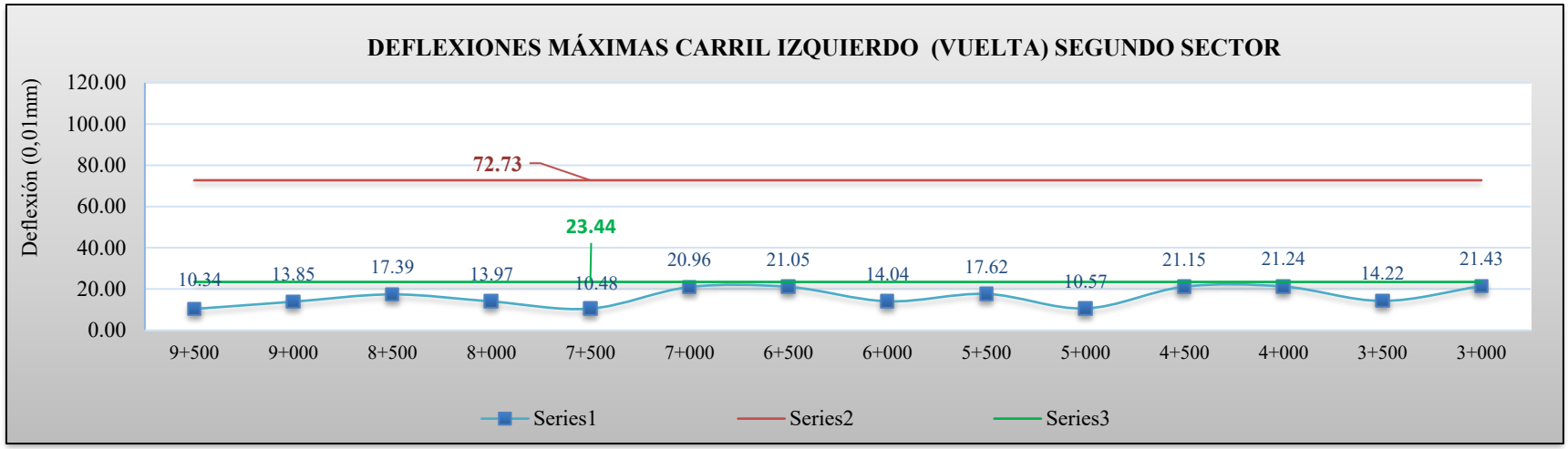
PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"
TRAMO: U.E. Yesera Sud - Cruce Yesera Sud **PROG.:** 2+800 a 10+000 **CARRIL:** IZQUIERDO (VUELTA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"
Equipo: Viga Benkelman

(N°)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
1	9+500	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.34	3.45	453.13	37.0	52.0	5.00
2	9+000	4	1.6	2	2	2	0	16.00	9.60	488	13.85	8.31	563.96	36.0	51.0	5.00
3	8+500	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	17.39	10.43	449.22	36.0	50.0	5.00
4	8+000	4	1.8	2	2	2	0	16.00	8.80	434	13.97	7.69	496.96	35.0	49.0	5.00
5	7+500	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.48	3.49	447.27	35.0	49.0	5.00
6	7+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	20.96	13.97	447.27	35.0	49.0	5.00
7	6+500	6	1.8	4	2	2	0	24.00	16.80	434	21.05	14.74	494.79	34.0	48.0	5.00
8	6+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.04	7.02	445.31	34.0	48.0	5.00
9	5+500	5	2	2	2	2	0	20.00	12.00	391	17.62	10.57	443.36	34.0	47.0	5.00
10	5+000	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	10.57	3.52	443.36	33.0	47.0	5.00
11	4+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.15	14.10	443.36	33.0	47.0	5.00
12	4+000	6	1.9	2	2	2	0	24.00	16.40	411	21.24	14.51	464.64	32.0	46.0	5.00
13	3+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.22	7.11	439.45	32.0	45.0	5.00
14	3+000	6	2	4	2	2	0	24.00	16.00	391	21.43	14.29	437.50	32.0	44.0	5.00

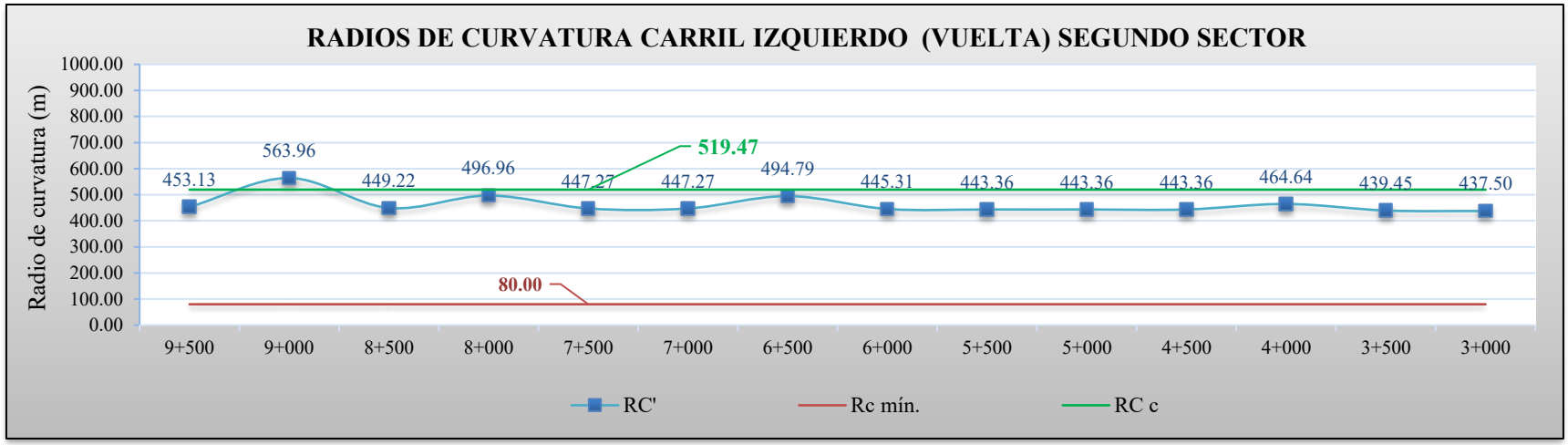
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°10: Deflexiones máximas (vuelta) segundo sector



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°11: Radios de curvatura (vuelta) segundo sector



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	14	14	14
SUMATORIA	228.32	133.21	6469.58
PROMEDIO	16.31	9.51	462.11
DEFLEXIÓN MINIMA	10.34	3.45	437.50
DEFLEXIÓN MAXIMA	21.43	14.74	563.96
DESVIACION ESTÁNDAR	4.34	4.33	34.87
VARIANZA	18.80	18.74	1216
COEFICIENTE DE VAR.	26.59	45.50	7.55
VALOR CARACTERISTICO	23.44	16.64	519.47

RC mín =	80 m
RCc (m)=	519.47

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 16.31

Ds = Desviación standard = 4.34

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 16.31 + 1.645 * 4.34$$

$$Dc = 23.44 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 41.-Resultados de la viga Benkelman primer sector (vuelta)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"LABORATORIO DE ASFALTOS"

PROYECTO : "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible En El Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud"

TRAMO: Cruce Yesera Sud - Colegio Santa Ana La Nueva **PROG.:** 0+000 a 2+800 **CARRIL:** IZQUIERDO (VUELTA) **FECHA:** 31 de Octubre de 2025

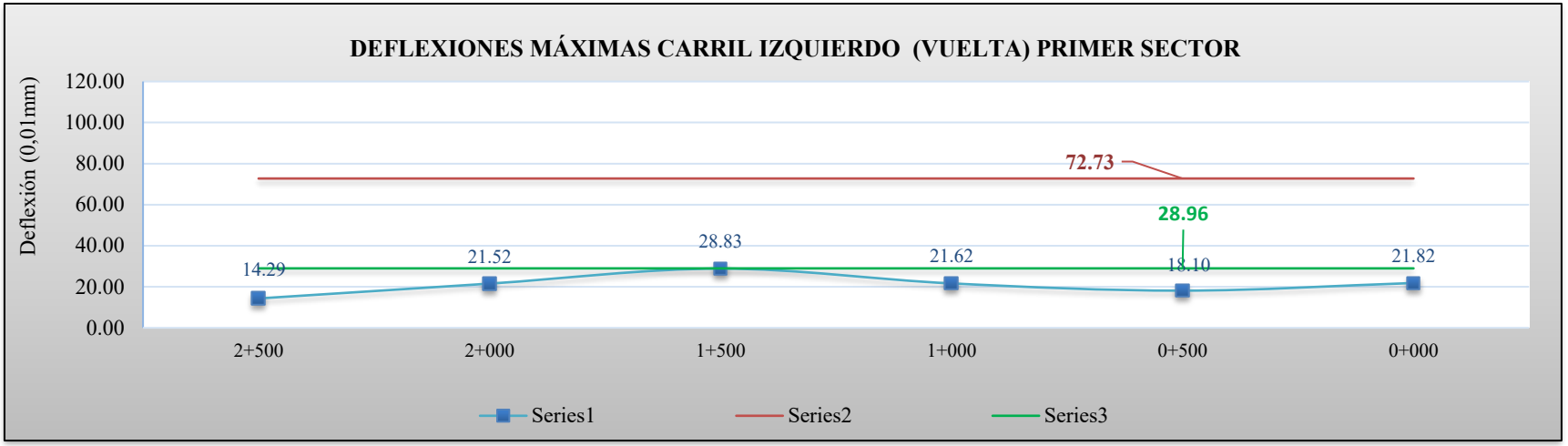
"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"

Equipo: Viga Benkelman

(Nº)	PROGRESIVA (Km)	LECTURAS DEL DIAL (0.01mm)						PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)
		L-0cm	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L-500cm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	RC (m)	Do' (0.01 mm)	D50' (0.01 mm)	RC' (m)	Amb °C	Asfalto °C	
15	2+500	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	14.29	7.14	437.50	31.0	44.0	5.00
16	2+000	6	1.9	2	2	2	0	24.00	16.40	411	21.52	14.71	458.47	31.0	43.0	5.00
17	1+500	8	2	4	2	2	0	32.00	24.00	391	28.83	21.62	433.59	31.0	42.0	5.00
18	1+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.62	14.41	433.59	34.0	42.0	5.00
19	0+500	5	2	4	2	2	0	20.00	12.00	391	18.10	10.86	431.64	34.0	41.0	5.00
20	0+000	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	21.82	14.55	429.69	32.0	40.0	5.00

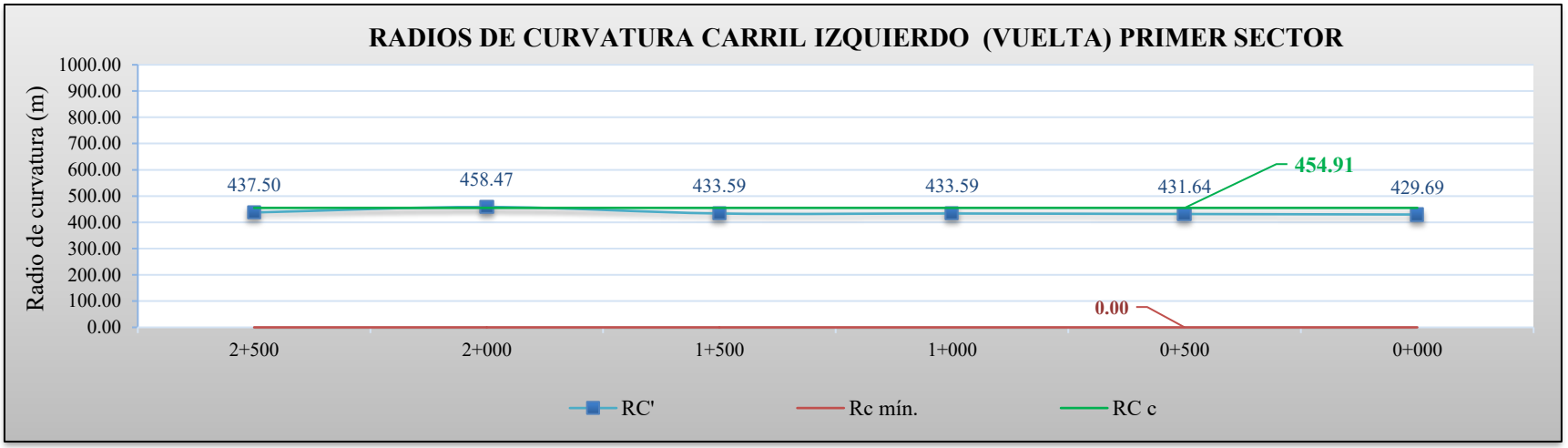
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°12: Deflexiones máximas (vuelta) primer sector



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°13: Radios de curvatura (vuelta) primer sector



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	6	6	6
SUMATORIA	126.18	83.29	2624.49
PROMEDIO	21.03	13.88	437.41
DEFLEXIÓN MINIMA	14.29	7.14	429.69
DEFLEXIÓN MAXIMA	28.83	21.62	458.47
DESVIACION ESTÁNDAR	4.82	4.81	10.64
VARIANZA	23.22	23.17	113
COEFICIENTE DE VAR.	22.91	34.68	2.43
VALOR CARACTERISTICO	28.96	21.80	454.91

RC mín =	80 m
RCc (m)=	454.91

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$Dc = D + t * Ds$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 21.03

Ds = Desviación standard = 4.82

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$Dc = 21.03 + 1.645 * 4.82$$

$$Dc = 28.96 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

4.5.1 Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman

Luego de procesar y tabular los valores de deflexión obtenidos en el **Tramo Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud**, se procedió al análisis individual de ambos carriles y ambos sectores:

- Calificación de Los Resultados Obtenidos Por El Método De La Viga Benkelman

Para clasificar el pavimento estructuralmente, se utilizan los valores de deflexión máxima y el radio de curvatura **Manual de Evaluación de Pavimentos**

Tabla N° 42.-Tabla de clasificación viga benkelman

Estado estructural	Deflexión central (D_0)	Radio de curvatura (RoC)
Excelente	$D_0 < 1$ mm	RoC > 500 m
Bueno	1 mm $\leq D_0 \leq$ 2 mm	100 < RoC $\leq$ 500 m
Regular	2 mm < $D_0 \leq$ 3 mm	50 < RoC $\leq$ 100 m
Pobre	$D_0 > 3$ mm	RoC < 50 m

Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

En el **sector Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud**, los resultados obtenidos muestran que en el **carril derecho (ida)** la deflexión característica es de **24.90 × 10^{-2} mm** y el radio de curvatura característico es de **447.12 m**, mientras que en el **carril izquierdo (vuelta)** la deflexión característica alcanza **28.96 × 10^{-2} mm** y el radio de curvatura característico es de **454.91 m**. Estos valores indican que ambos carriles presentan deflexiones bajas, es decir, menores a **1.0 mm**, lo que refleja una adecuada capacidad de soporte estructural; sin embargo, los radios de curvatura característicos se ubican por debajo de **500 m**, por lo que, de acuerdo con el **Manual de Evaluación de Pavimentos**, este sector se clasifica estructuralmente como **Bueno**. La diferencia de deflexión entre ambos carriles es de **4.06 × 10^{-2} mm**, valor reducido que no evidencia una variación estructural significativa dentro de este sector.

En el **sector Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud**, los resultados muestran que en el **carril derecho (ida)** la deflexión característica es de **32.05 × 10^{-2} mm** y el radio de curvatura característico es de **539.83 m**, mientras que en el **carril izquierdo (vuelta)** la deflexión característica es de **23.44 × 10^{-2} mm** y el radio de curvatura característico alcanza **519.47 m**. En este caso, además de mantenerse las deflexiones por debajo de **1.0 mm**, los radios de curvatura son superiores a **500 m** en ambos carriles, lo que permite clasificar estructuralmente este sector como **Excelente** según el **Manual de Evaluación de Pavimentos**. La diferencia entre carriles es de **8.61 × 10^{-2} mm**, la cual tampoco compromete el comportamiento estructural del sector.

De manera general, el análisis por sectores evidencia que el **primer sector presenta una condición estructural Buena**, mientras que el **segundo sector presenta una condición estructural Excelente**. Esto confirma que el tramo más reciente, correspondiente al sector **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud**, posee una mejor respuesta estructural frente a las cargas vehiculares, mientras que el sector **Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud**, aunque conserva una adecuada capacidad portante, muestra una rigidez ligeramente menor. Por tanto, en el primer sector se recomienda **mantenimiento rutinario con seguimiento periódico**, y en el segundo sector **mantenimiento rutinario para conservar su condición actual**.

4.6 Análisis para el tipo de mantenimiento

El objetivo principal del mantenimiento es evitar que el pavimento alcance condiciones críticas de deterioro, garantizando a los usuarios una circulación continua, segura, eficiente y confortable. Para lograr este propósito, es necesario ejecutar oportunamente acciones de conservación que permitan preservar la condición funcional y estructural de la vía.

El comportamiento del pavimento frente al deterioro varía con el tiempo, en función de diversos factores como el tránsito vehicular, las condiciones climáticas, la antigüedad de la vía, el drenaje y las características estructurales de sus capas. Por ello, la selección del tipo de intervención depende directamente del nivel de deterioro presente en la calzada, el cual fue evaluado mediante el método PCI

Tabla N° 43.- Intervención en base a rango PCI

Rango PCI		Tipo de Mantenimiento
100.00	85.00	Mantenimiento rutinario
85.00	70.00	
70.00	55.00	Mantenimiento periódico
55.00	40.00	
40.00	25.00	Rehabilitación
25.00	10.00	Construcción
10.00	0.00	

Fuente: **ASTM D6433-07.**

En presente proyecto, los resultados obtenidos muestran que el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** presenta, en general, una condición **Muy Buena**, con un **PCI promedio de 80.89**. De manera particular, el sector **Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud** obtuvo un PCI promedio de **79.94**, clasificado como **Muy Bueno**, mientras que el sector **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud** alcanzó un PCI promedio de **81.91**, con una condición entre **Muy Buena y Excelente**. Asimismo, en la evaluación de las 33 unidades consideradas, se registraron valores comprendidos principalmente entre las categorías **Bueno, Muy Bueno y Excelente**, sin presencia de sectores en condición regular, mala o fallada.

De acuerdo con estos resultados, se establece que en el tramo evaluado corresponde aplicar principalmente **mantenimiento rutinario**, ya que los deterioros identificados son superficiales y localizados, por lo que pueden ser atendidos mediante intervenciones

preventivas y correctivas menores. En este caso, no se considera necesaria la aplicación de mantenimiento periódico ni de rehabilitación estructural, debido a que el pavimento todavía conserva una condición favorable de servicio. Esta decisión también se sustenta en los resultados de la evaluación estructural con la Viga Benkelman, donde las deflexiones características se mantuvieron dentro de valores admisibles, confirmando una condición estructural buena o superior.

Dentro de este **mantenimiento rutinario** se deben incluir, además de las acciones sobre la superficie de rodadura, labores complementarias como la limpieza y conservación de las obras de drenaje, con el propósito de evitar el ingreso de agua a las capas del pavimento y prevenir el avance progresivo del deterioro. En consecuencia, se concluye que el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** requiere principalmente acciones de mantenimiento rutinario, orientadas a conservar su condición actual y prolongar su vida útil.

- **Alternativas de solución**

De acuerdo con los resultados obtenidos, el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** presenta una condición **Muy Buena**, por lo que se recomienda intervenir oportunamente para evitar que las fallas existentes aumenten su severidad y generen mayores costos de mantenimiento. La solución más adecuada es aplicar **mantenimiento rutinario y correctivo localizado**, principalmente en los sectores donde se identificaron fallas de severidad media y alta.

- **Mantenimiento rutinario**

Las fallas de **severidad baja** no requieren una intervención inmediata, ya que todavía no afectan de manera importante la comodidad y seguridad de los usuarios; sin embargo, deben ser controladas periódicamente. Para las fallas de **severidad media y alta**, se propone realizar **bacheo o parcheo localizado** en sectores con agrietamientos, hundimientos, exudación y desprendimiento de agregados. El procedimiento consiste en limpiar el área afectada, aplicar riego asfáltico, extender la mezcla y compactarla, con el fin de conservar la condición actual del pavimento y prolongar su vida útil.

En la tabla siguiente se muestran los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de la vía según el tipo de falla y nivel de severidad presentes.

Tabla N° 44.-Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.

Falla	Severidad	Sellado de fisuras (m)	Corte de carpeta asfáltica (m²)	Trazado y replanteo (m²)	Limpieza y retiro de material (m³)	Imprimación (m²)	Carpeta asfáltica en caliente (m²)
1. Piel de cocodrilo	L	X					
	M		X	X	X	X	
	H		X	X	X	X	X
2. Exudación	L						
	M		X		X		
	H		X		X		
3. Fisuras en bloque	L	X					
	M	X					
	H		X	X	X	X	X
6. Depresión	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
7. Fisura de borde	L	X					
	M	X					
	H		X	X	X	X	X
8. Fisura de reflexión de junta	L	X					
	M	X					
	H	X					
9. Desnivel carril-berma	L						
	M		X		X	X	X
	H		X		X	X	X
10. Fisuras longitudinales y transversales	L	X					
	M	X					
	H	X					
11. Parches	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
13. Huecos	L		X		X	X	X
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
16. Desplazamiento	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X
19. Desprendimiento de agregados	L						
	M		X	X	X	X	X
	H		X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración Propia

Plan de mejoras de las fallas encontradas en el tramo vial

El tramo de estudio "**Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud**" se encuentra en buenas condiciones, aun existiendo fallas de severidad media y baja. Mediante el método del PCI y tablas analizadas anteriormente, tenemos nueve fallas significantes encontradas

a lo largo del tramo, en la siguiente tabla se mostrará la cantidad total de cada una de las fallas de acuerdo a su nivel de severidad.

Tabla N° 45.- Determinación de cantidad total por tipo de falla y severidad

Falla	Severidad	Unidad	Cantidad Total	Actividad de mantenimiento recomendada
1. Piel de cocodrilo	L	m²	76.40	Limpieza del área y sello superficial con material bituminoso.
	M	m²	4.20	Corte de carpeta, limpieza, imprimación y reposición con mezcla asfáltica en caliente.
	H	m²	0.00	Reposición estructural completa del área afectada.
2. Exudación	L	m²	60.76	Limpieza superficial y control de drenaje.
	M	m²	8.16	Raspado superficial y aplicación de tratamiento superficial o microcarpeta.
	H	m²	0.00	Corte localizado y colocación de capa de refuerzo.
3. Fisuras en bloque	L	m²	169.10	Sellado de fisuras con material bituminoso.
	M	m²	76.87	Limpieza, apertura y sellado reforzado de fisuras.
	H	m²	0.00	Parcheo parcial con mezcla asfáltica en caliente.
6. Depresión	L	m²	0.00	Limpieza y nivelación superficial.
	M	m²	0.00	Corte, relleno y compactación del área afectada.
	H	m²	6.48	Reposición estructural localizada de la zona hundida.
7. Fisura de borde	L	m	29.80	Limpieza y sellado lineal del borde.
	M	m	7.20	Corte y sellado reforzado del sector afectado.
	H	m	0.00	Reconstrucción del borde del pavimento.
8. Fisura de reflexión de junta	L	m	0.00	Sellado lineal con sellante asfáltico.
	M	m	10.20	Corte, limpieza y relleno con mástic asfáltico.
	H	m	0.00	Corte y sellado reforzado con tratamiento superficial.
9. Desnivel carril-berma	L	m²	12.00	Limpieza y nivelación superficial de la berma.
	M	m²	9.70	Corte, regularización, limpieza e imprimación.
	H	m²	5.60	Reposición estructural del borde comprometido.
10. Fisuras longitudinales y transversales	L	m	205.85	Limpieza y sellado lineal de fisuras.
	M	m	94.35	Sellado reforzado con material elastomérico.
	H	m	7.20	Corte y reposición parcial con mezcla asfáltica.
11. Parches	L	m²	9.03	Limpieza y delimitación del parche.
	M	m²	19.80	Corte, limpieza, imprimación y reposición con mezcla asfáltica.
	H	m²	0.00	Sustitución total del área parchada.
13. Huecos	L	m²	0.00	Corrección menor o sellado superficial.
	M	m²	2.00	Corte, retiro de material, imprimación y relleno con mezcla asfáltica.
	H	m²	1.00	Parcheo estructural profundo.
16. Desplazamiento	L	m²	65.16	Limpieza y nivelación superficial.
	M	m²	23.10	Corte, retiro de material y compactación.
	H	m²	0.00	Reposición total de la capa afectada.
19. Desprendimiento de agregados	L	m²	1.80	Limpieza y aplicación de lechada asfáltica.
	M	m²	3.36	Limpieza, imprimación y reposición superficial.
	H	m²	0.00	Reposición total con mezcla asfáltica en caliente.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 46.-Plan de mejor1as de las fallas encontradas en el tramo vial

Ítem Nº	Descripción	Fallas incluidas	Unidad	Cantidad total	Descripción técnica
1	Señalización Preventiva	Área de intervención	Glb	1.00	Colocación de señalización temporal para ejecución segura de los trabajos de mantenimiento.
2	Limpieza de calzadas y bermas	Limpieza general previa y complementaria	m²	450.00	Limpieza manual y/o mecánica de la calzada y bermas, con retiro de material suelto antes y después de los trabajos de conservación.
3	Sellado de fisuras y grietas en calzada	Fisura de borde (L, M, H) Fisura de reflexión de junta (L, M, H) Fisuras longitudinales y transversales (L, M, H)	m	354.60	Limpieza, soplado y sellado de fisuras y grietas con material bituminoso o elastomérico para impedir la infiltración de agua y retardar el deterioro del pavimento.
4	Parchado superficial en calzada	Piel de cocodrilo (L, M, H) Exudación (L, M, H) Fisuras en bloque (L, M, H) Depresión (L, M, H) Desnivel carril-berma (L, M, H) Parches (L, M, H); Huecos (L, M, H) Desplazamiento (L, M, H) Desprendimiento de agregados (L, M, H)	m²	554.52	Intervención superficial localizada mediante corte, retiro de material deteriorado, limpieza, imprimación y reposición con mezcla asfáltica en caliente o tratamiento superficial, según corresponda.
5	Señalización vertical	Señales verticales dañadas o faltantes	Pza	16.00	Reposición o mantenimiento de señales verticales según inventario y verificación en campo.
6	Señalización horizontal	Pintado de marcas y señales sobre calzada	m²	357.00	Repintado de señalización horizontal con pintura reflectiva, según medición específica en obra.
7	Mantenimiento de reductores de velocidad	Reductores deteriorados	m²	145.00	Reparación, nivelación y repintado de reductores de velocidad existentes, según cantidad verificada en campo.

Fuente: Elaboración propia

4.6.1 Especificaciones Técnicas

Las actividades propuestas para el mantenimiento del tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** fueron definidas en función de la condición superficial, funcional y estructural del pavimento, considerando los deterioros identificados durante la inspección visual y la evaluación realizada mediante los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**. Estos resultados permitieron determinar el tipo de intervención más conveniente, priorizando trabajos de conservación rutinaria y correctiva localizada, orientados a preservar la condición actual de la vía y prolongar su vida útil.

Las cantidades incluidas en el presupuesto corresponden al cómputo de áreas, longitudes y unidades necesarias para ejecutar las intervenciones planteadas en el tramo en estudio. Dichas cantidades fueron obtenidas a partir del inventario de fallas, mediciones directas en campo, levantamiento de longitudes afectadas, superficies deterioradas y elementos complementarios de seguridad vial, constituyendo la base técnica para la elaboración del análisis de precios unitarios y presupuesto referencial.

Asimismo, las presentes especificaciones técnicas establecen las condiciones mínimas de **materiales, mano de obra, equipos, procedimientos constructivos, control de calidad, medición y forma de pago** para la correcta ejecución de cada actividad de mantenimiento. Estas disposiciones se sustentan en los lineamientos establecidos por el **Manual de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)**, complementadas con normas técnicas aplicables a la conservación de pavimentos flexibles. Su aplicación permitirá garantizar trabajos ejecutados bajo criterios técnicos adecuados, asegurando la **durabilidad, funcionalidad, seguridad vial y adecuada serviciabilidad** del tramo intervenido.

Las actividades deberán ejecutarse respetando las normas de seguridad ocupacional, señalización temporal de obra, protección ambiental y control del tránsito vehicular durante la intervención, minimizando molestias a los usuarios y evitando riesgos al personal y a terceros. Todo material empleado deberá cumplir condiciones de calidad verificables, y los trabajos concluidos deberán presentar acabado uniforme, correcta compactación y óptimo funcionamiento.

Ítem N.º 1 – Señalización Preventiva

Unidad: Glb

Cantidad: 1.00

Descripción

Este ítem comprende la provisión, transporte, colocación, mantenimiento y retiro de la señalización preventiva temporal necesaria durante la ejecución de los trabajos de mantenimiento del pavimento. Su finalidad es advertir oportunamente a los usuarios de la vía sobre la presencia de personal, maquinaria, materiales y sectores intervenidos, reduciendo el riesgo de accidentes y garantizando condiciones adecuadas de seguridad vial durante el desarrollo de la obra.

Materiales

Se utilizarán conos viales de 90 cm de altura, letreros preventivos de "Hombres trabajando" de 80 x 60 cm y otros elementos auxiliares necesarios para la correcta señalización del frente de trabajo, de acuerdo con las condiciones del tránsito y la magnitud de la intervención.

Equipo

Se empleará camioneta para el transporte e instalación de los dispositivos de señalización, además de herramientas menores necesarias para su colocación y retiro.

Forma de ejecución

Antes de iniciar cualquier actividad, el contratista deberá colocar la señalización preventiva en ambos sentidos de circulación, en posiciones visibles y a distancias adecuadas del área intervenida. Durante el tiempo que duren los trabajos, la señalización deberá mantenerse en correcto estado de funcionamiento, orientación y visibilidad. Una vez concluidas las actividades, toda la señalización temporal deberá ser retirada.

Medición

La medición se efectuará en forma global, considerando la instalación, mantenimiento y retiro completo de la señalización preventiva.

Forma de pago

El pago se realizará por global ejecutado y aprobado por la supervisión, incluyendo provisión de materiales, transporte, colocación, mantenimiento, retiro, mano de obra, herramientas y equipo necesario.

Ítem N.º 2 – Limpieza de calzadas y bermas

Unidad: m²

Cantidad: 450.00

Descripción

Este ítem comprende la limpieza general de la calzada y las bermas laterales del tramo en estudio, incluyendo el retiro de tierra, polvo, materiales sueltos, residuos, vegetación y cualquier elemento extraño que afecte la circulación vehicular, el drenaje superficial o la seguridad de los usuarios. Esta actividad constituye una labor básica de conservación vial, previa y complementaria a la ejecución de otros trabajos de mantenimiento.

Materiales, herramientas y equipo

Para la ejecución se emplearán herramientas menores, mano de obra, y volqueta para el carguío, retiro y disposición final del material extraído.

Forma de ejecución

La limpieza deberá realizarse en toda el área prevista, retirando el material acumulado sobre la calzada y bermas. El material resultante deberá ser cargado, transportado y dispuesto en lugares autorizados por la supervisión, evitando obstrucciones en cunetas, alcantarillas o accesos.

Medición

La medición se realizará por metro cuadrado de superficie efectivamente limpiada y aceptada por la supervisión.

Forma de pago

El pago se realizará por metro cuadrado ejecutado y aprobado, incluyendo mano de obra, herramientas, equipo, carguío, transporte y disposición final del material retirado.

Ítem N.º 3 – Sellado de fisuras y grietas en calzada

Unidad: m

Cantidad: 354.60

Descripción

Este trabajo consiste en el tratamiento de fisuras y grietas superficiales presentes en la calzada, mediante labores de limpieza y sellado, con el propósito de impedir la infiltración de agua hacia las capas inferiores del pavimento y retardar el avance del deterioro. Esta actividad se aplicará principalmente en fisuras longitudinales, transversales, de borde y de reflexión de junta que no comprometan gravemente la estructura del pavimento.

Materiales

Se empleará **asfalto diluido** como material de sellado y **arena zarandeada** como material complementario de acabado o protección superficial, de acuerdo con el procedimiento constructivo adoptado en obra.

Equipo

Se utilizará **compresora** para la limpieza de las fisuras, además de herramientas menores necesarias para la preparación y aplicación del material sellante.

Forma de ejecución

Previamente al sellado, las fisuras deberán limpiarse cuidadosamente, eliminando polvo, humedad, vegetación o partículas sueltas mediante aire a presión u otros medios manuales. Una vez limpia la abertura, se aplicará el asfalto diluido a lo largo de toda la fisura, asegurando un llenado uniforme y continuo. Posteriormente, se podrá colocar arena zarandeada como acabado superficial cuando corresponda, para evitar adherencia del material y mejorar el comportamiento inicial del tratamiento. Esta actividad será aplicada en fisuras que, por su tipo y severidad, admitan tratamiento preventivo o correctivo menor.

Medición

La medición se realizará por metro lineal de fisura o grieta efectivamente tratada y aprobada por la supervisión.

Forma de pago

El pago se efectuará por metro lineal ejecutado y aceptado, incluyendo limpieza, suministro y aplicación de asfalto diluido, colocación de arena zarandeada cuando corresponda, uso de compresora, herramientas menores, mano de obra y todo material necesario para completar el trabajo.

Ítem N.º 4 – Parchado superficial en calzada

Unidad: m²

Cantidad: 554.52

Descripción

Este ítem comprende la reparación localizada de áreas deterioradas del pavimento flexible mediante corte, remoción del material afectado, limpieza, aplicación de ligante y reposición con mezcla asfáltica, con el fin de restituir la superficie de rodadura y mejorar las condiciones de circulación. Este tratamiento se aplicará en sectores con fallas localizadas como piel de cocodrilo, fisuras en bloque severas, depresiones, huecos, parches deteriorados, desplazamientos y desprendimiento de agregados, donde exista pérdida de material o deterioro concentrado de la capa superficial.

Materiales

Se utilizarán **asfalto diluido** como material de imprimación o adherencia y **mezcla asfáltica** como material de reposición de la superficie intervenida.

Equipo

Para la ejecución de este trabajo se emplearán **martillo neumático rompe asfalto**, **volqueta de 5 m³**, **compactadora manual**, **compactadora manual de rodillo liso** y herramientas menores, de acuerdo con el procedimiento previsto en el análisis de precios unitarios.

Forma de ejecución

Inicialmente se delimitará el área afectada y se procederá al corte o remoción del material deteriorado mediante el equipo correspondiente. Posteriormente, se retirará el material extraído y se efectuará la limpieza del área intervenida. Una vez preparada la superficie, se aplicará asfalto diluido como material de adherencia y luego se colocará la mezcla asfáltica de reposición en el espesor requerido. Finalmente, se realizará la compactación

con equipo manual y rodillo liso hasta obtener una superficie uniforme, estable y bien integrada al pavimento existente.

Medición

La medición se realizará por metro cuadrado de superficie efectivamente reparada y aprobada por la supervisión.

Forma de pago

El pago se efectuará por metro cuadrado ejecutado y aceptado, incluyendo corte o demolición, retiro del material deteriorado, limpieza, aplicación de asfalto diluido, suministro y colocación de mezcla asfáltica, compactación, transporte, mano de obra, herramientas, maquinaria y equipo necesario para la correcta ejecución del ítem.

Ítem N.º 5 – Señalización vertical

Unidad: Pza

Cantidad: 16.00

Descripción

Este ítem comprende la provisión e instalación de señales verticales reglamentarias, preventivas e informativas, incluyendo poste de soporte, placa, elementos de fijación y fundación, con el objetivo de mejorar la orientación, regulación y seguridad del tránsito en el tramo intervenido.

Materiales

Se utilizarán **cemento Portland**, **arena común**, **grava**, **poste metálico de 3" y 3 m de longitud**, y **señal de 0,60 x 0,60 m**, además de los accesorios necesarios para su correcta instalación.

Equipo

Se emplearán herramientas manuales y equipo menor necesario para excavación, preparación del hormigón e instalación del conjunto.

Forma de ejecución

Las señales se colocarán en los sitios definidos por la supervisión, respetando su ubicación, altura, alineación, orientación y visibilidad. Los postes deberán quedar

firmemente empotrados en fundaciones de hormigón simple, asegurando estabilidad y correcto funcionamiento.

Medición

La medición se realizará por pieza instalada, terminada y aprobada.

Forma de pago

El pago se efectuará por pieza ejecutada y aceptada, incluyendo provisión de materiales, excavación, hormigonado, colocación, mano de obra, herramientas y todos los insumos necesarios.

Ítem N.º 6 – Señalización horizontal

Unidad: m²

Cantidad: 357.00

Descripción

Este ítem consiste en la ejecución de señalización horizontal sobre la calzada, mediante el pintado o repintado de líneas, símbolos y marcas reglamentarias, con el propósito de mejorar el ordenamiento del tránsito y reforzar la seguridad vial en el tramo intervenido

Materiales

Se utilizará **pintura para demarcación horizontal**, **microesferas de vidrio** y **thinner acrílico**, en cantidades adecuadas para garantizar visibilidad, adherencia y durabilidad del trabajo ejecutado.

Equipo

Se empleará **máquina de demarcación**, **sopladora**, **carro autopropulsor** y herramientas auxiliares de replanteo y control.

Forma de ejecución

La superficie deberá encontrarse limpia, seca y libre de polvo, grasa o materiales sueltos antes de la aplicación. Se realizará el replanteo previo de las marcas y luego se aplicará la pintura en espesor uniforme, incorporando microesferas de vidrio para otorgar reflectividad. El área pintada deberá protegerse del tránsito hasta su secado total.

Medición

La medición se efectuará por metro cuadrado de superficie pintada, terminada y aprobada.

Forma de pago

El pago se realizará por metro cuadrado ejecutado y aceptado, incluyendo provisión de pintura, thinner, microesferas de vidrio, replanteo, aplicación, equipo, mano de obra y herramientas necesarias.

Ítem N.º 7 – Mantenimiento de reductores de velocidad

Unidad: m²

Cantidad: 145.00

Descripción

Este trabajo consiste en la conservación de reductores de velocidad existentes mediante limpieza, reparación localizada y pintado de su superficie, con el fin de restituir su funcionalidad, mejorar su visibilidad y reforzar la seguridad vial en el tramo intervenido.

Materiales

Se emplearán **pintura acrílica elastomérica** y **asfalto diluido**, además de los materiales complementarios que resulten necesarios para la correcta reparación superficial del reductor.

Equipo

Se utilizarán **máquina de demarcación**, **sopladora**, **carro autopropulsor** y herramientas menores.

Forma de ejecución

Se iniciará con la limpieza total de la superficie del reductor, eliminando polvo, grasa y residuos adheridos. Posteriormente, en los sectores que presenten deterioro superficial, se aplicará asfalto diluido como tratamiento de reparación localizada. Finalmente, se procederá al pintado con pintura acrílica elastomérica, logrando un acabado uniforme y visible para los usuarios de la vía.

Medición

La medición se realizará por metro cuadrado de superficie intervenida y aprobada por la supervisión.

Forma de pago

El pago se efectuará por metro cuadrado ejecutado y aceptado, incluyendo limpieza, aplicación de asfalto diluido, pintado, materiales, herramientas, equipo y mano de obra necesaria para la correcta ejecución del trabajo.

4.6.2 Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación

Para el determinado estudio y mediante la identificación de fallas se prosigue a una evaluación económica de presupuesto para su mantenimiento y rehabilitación del pavimento flexible en las áreas localizada del tramo de estudio, dando por conocer que el tramo se encuentra en condicione buenas de circulación. Por el cual se obtiene la siguiente tabla de un presupuesto general de mantenimiento rutinario para el tramo vial.

Tabla N° 47.-Cómputos métricos de mantenimiento

Ítem N.º	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Señalización Preventiva	Glb	1.00
2	Limpieza de calzadas y bermas	m²	450.00
3	Sellado de fisuras y grietas en calzada	m	354.60
4	Parchado superficial en calzada	m²	554.52
5	Señalización vertical	Pza	16.00
6	Señalización horizontal	m²	357.00
7	Mantenimiento de reductores de velocidad	m²	145.00

Fuente: Elaboración propia.

4.6.3 Costo de la obra

Tabla N° 48.- Presupuesto general

Ítem	Descripción	Unid.	Cantid.	P.U.	Costo Ítems
1	Señalización Preventiva	Glb	1	3071.27	**3071.27**
2	Limpieza de calzadas y bermas	m²	450.00	56.85	**25582.06**
3	Sellado de fisuras y grietas en calzada	m	354.60	40.04	**14199.87**
4	Parchado superficial en calzada	m²	554.52	104.07	**57709.38**
5	Señalización vertical	Pza	16	1010.97	**16175.53**
6	Señalización horizontal	m²	357	135.77	**48471.60**
7	Mantenimiento de reductores de velocidad	m²	145.00	146.93	**21305.31**
COSTO = 186,515.01		**Ciento ochenta y seis mil quinientos quince con un centavo bolivianos.**			

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un presupuesto total de mantenimiento de **186,515.01** bolivianos para su rehabilitación de las fallas encontradas en el tramo vial.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Tras evaluar los resultados de los indicadores del estado superficial y estructural del tramo "**Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**", aplicando los métodos normalizados de evaluación y considerando los parámetros técnicos establecidos en normas internacionales, se concluye lo siguiente:

- Se cumplió plenamente el objetivo general de la investigación al evaluar integralmente la condición superficial y estructural del pavimento flexible del tramo **Colegio Santa Ana La Nueva - U.E. Yesera Sud**, utilizando los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**, y considerando el análisis de los dos sectores del estudio: **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** y **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud**.
- Los objetivos específicos fueron alcanzados satisfactoriamente, ya que la aplicación conjunta de los métodos permitió analizar con precisión los aspectos funcionales y estructurales del pavimento en ambos sectores, obteniendo resultados confiables y coherentes.
- El sustento teórico y normativo utilizado fue fundamental para garantizar la validez técnica del estudio, permitiendo obtener resultados consistentes, comparables y técnicamente confiables.
- Durante la fase experimental se controlaron factores externos como temperatura del pavimento, humedad superficial, condiciones climáticas y ubicación de los puntos de ensayo, lo que permitió obtener resultados representativos de la condición real del tramo.
- El nivel de confianza estadístico se cumplió satisfactoriamente, permitiendo validar la hipótesis de que el pavimento del tramo evaluado presenta una condición **buena o superior**.
- El empleo conjunto de los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman** permitió obtener una visión integral del comportamiento del pavimento. Los resultados generales muestran un **PCI promedio de 80.89 %**, clasificado como **Muy Bueno**;

un **IRI promedio general de 1.996 m/km**, clasificado como **Excelente**; un **PSI** en condición **Muy Buena**; y deflexiones por debajo del límite admisible de **1.0 mm**, confirmando una condición estructural buena o superior.

- El análisis por secciones permitió identificar diferencias dentro del tramo. En el sector **Colegio Santa Ana La Nueva - Cruce Yesera Sud** se obtuvo un **PCI promedio de 79.94**, un **IRI promedio de 2.11 m/km** y un **PSI promedio de 3.35**, lo que evidencia una condición adecuada, aunque con mayores deterioros respecto al segundo sector.
- En el sector **Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud** se obtuvo un **PCI promedio de 81.91**, un **IRI promedio de 1.88 m/km** y un **PSI promedio de 3.48**, reflejando un mejor comportamiento superficial y funcional del pavimento por su construcción más reciente.
- En la evaluación estructural, el primer sector presentó una condición **Buena**, mientras que el segundo sector presentó una condición **Excelente**. Además, en el segundo sector se registró una deflexión característica de **32.05×10^{-2} mm** en el carril derecho y **23.44×10^{-2} mm** en el carril izquierdo, ambas dentro del rango permisible.
- El pavimento flexible presenta una regularidad superficial uniforme y una estructura capaz de distribuir adecuadamente las cargas del tránsito, garantizando confort y estabilidad, aunque el primer sector requiere mayor atención por su mayor antigüedad y deterioro.
- Para el mantenimiento del tramo se elaboró un presupuesto referencial con análisis de precios unitarios y costos de reparación. El monto total estimado asciende a **Bs 186,515.01**, contemplando actividades de señalización, limpieza, sellado de fisuras y mantenimiento de reductores de velocidad.
- En conclusión, el tramo **Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud** presenta una condición general **muy buena**; sin embargo, el sector **Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud** requiere mayor atención con mantenimiento rutinario y correctivo localizado, mientras que el sector **Cruce Yesera Sud – U.E. Yesera Sud** necesita principalmente conservación rutinaria y monitoreo periódico.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda ejecutar **mantenimientos rutinarios y preventivos** en el Tramo Colegio Santa Ana La Nueva – U.E. Yesera Sud, ya que, si bien actualmente presenta un estado estructural y superficial favorable, se observaron deterioros puntuales de baja severidad. La atención oportuna de estas zonas evitará la propagación del daño y reducirá los costos futuros de intervención.
- Durante la ejecución de ensayos o trabajos en campo, se recomienda aplicar **todas las medidas de seguridad vial** necesarias, especialmente en sectores con alto flujo vehicular. Esto incluye señalización preventiva (hombres trabajando, conos, triángulos, banderas) y el uso obligatorio de **equipos de protección personal**.
- Mantener **limpieza continua** a lo largo del tramo evaluado, eliminando residuos, polvo o materiales sueltos que puedan obstaculizar la circulación o generar riesgos al tránsito.
- Realizar **mantenimiento y limpieza periódica de cunetas y alcantarillas**, asegurando una adecuada evacuación de aguas pluviales y evitando filtraciones hacia las capas estructurales durante la temporada de lluvias.
- Ejecutar de forma periódica **mantenimientos preventivos localizados** en los sectores donde se detecten grietas, fisuras o depresiones, priorizando las zonas de mayor tránsito vehicular.
- En el caso de las grietas, se recomienda aplicar **selladores asfálticos** (en caliente o en frío, según las condiciones ambientales) para prevenir la infiltración de humedad y preservar la integridad estructural del pavimento.
- Finalmente, se sugiere que el presente estudio sirva como **referencia técnica** para proyectos futuros de evaluación y mantenimiento de vías urbanas con características similares, promoviendo una **gestión vial eficiente y sostenible**, basada en evidencia técnica y optimización de recursos públicos.