

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El objeto de investigación es la condición actual del pavimento flexible en el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**. Esta condición se evalúa a partir de su estado superficial y estructural, permitiendo establecer si se encuentra en situación buena, regular o crítica, considerando factores como rugosidad, deterioros visibles y capacidad portante.

Al tratarse de un estudio descriptivo, la variable de investigación es única y corresponde al estado actual del tramo analizado.

En el departamento de Tarija se han registrado problemas recurrentes en la red vial, producto del incremento del tránsito vehicular, las deficiencias en los sistemas de drenaje y las condiciones climáticas adversas. En gestiones pasadas, entidades como la Administradora Boliviana de Carreteras y autoridades municipales han identificado la necesidad de evaluaciones periódicas en distintos tramos, aunque en muchos casos estas no se han ejecutado con la rigurosidad técnica requerida. Los habitantes de la zona de Portillo y Santa Ana han manifestado su preocupación por el deterioro progresivo de la vía, lo que genera incomodidad, inseguridad y costos adicionales de transporte. Estos antecedentes justifican la necesidad de un estudio técnico integral en el tramo objeto de análisis.

La presente investigación tiene como intención evaluar de manera sistemática el deterioro superficial y estructural del pavimento flexible del Tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, empleando los métodos PCI, IRI, PSI y la Viga Benkelman. El objetivo principal es determinar la condición actual de la vía, identificar los tipos y niveles de deterioro, y establecer alternativas de mantenimiento y rehabilitación que permitan prolongar su vida útil.

Desde el punto de vista académico, este trabajo fortalece la formación en el área de infraestructura vial; en el ámbito técnico-práctico, constituye una herramienta para la toma de decisiones en conservación vial; y en lo social, busca mejorar la calidad de vida de los usuarios al garantizar un tránsito más seguro y eficiente.

1.2 Antecedentes

El estado de los pavimentos en la ciudad de Tarija ha cobrado gran importancia en los últimos años debido al aumento del tránsito y a las condiciones climáticas que aceleran el deterioro de las vías. Estas situaciones afectan la seguridad de los usuarios y generan mayores costos de transporte. En este contexto, el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana** resulta estratégico, pues conecta zonas educativas y productivas con la ruta hacia el Chaco, por lo que su conservación es fundamental para garantizar una movilidad adecuada, segura y eficiente, impulsando el desarrollo regional.

Para conocer la condición real de este tipo de infraestructuras se emplean metodologías de evaluación reconocidas, como el Índice de Condición del Pavimento (PCI), el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), que permiten medir el deterioro superficial. A nivel estructural, la Viga Benkelman constituye una herramienta de gran utilidad para determinar la capacidad de soporte del pavimento. El uso combinado de estos métodos asegura un diagnóstico confiable que sirve de base para planificar trabajos de mantenimiento y rehabilitación, lo cual es crucial para tomar decisiones informadas.

En el tramo de estudio se presentan fallas comunes de los pavimentos flexibles, como fisuración, irregularidades en la superficie y desgaste por el tránsito constante. Cuando estas fallas no se atienden oportunamente, se profundizan y acortan la vida útil de la vía, lo que obliga a realizar intervenciones más costosas en el futuro. Experiencias en otras carreteras de la región muestran que, en ausencia de evaluaciones técnicas completas, los trabajos de conservación suelen limitarse a reparaciones puntuales que no resuelven el problema de fondo, lo que incrementa el riesgo de un deterioro mayor.

Por ello, es necesario realizar una evaluación detallada del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, con el fin de identificar el nivel de deterioro y proponer alternativas de solución. Los resultados de este estudio no solo aportarán al campo de la ingeniería civil, sino que también tendrán un impacto social positivo al mejorar la seguridad, reducir costos de transporte y favorecer el desarrollo de las actividades educativas y productivas vinculadas al sector, contribuyendo así a la mejora de la calidad de vida de la comunidad local.

1.3 Justificación del proyecto

1.3.1 Justificación académica

La razón del presente trabajo es aplicar todos los conocimientos adquiridos mediante la identificación de un problema real y la formulación de una solución factible, para ello se utiliza la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) y documentos de guía como ser el “Manual de Diseño de Conservación Vial”, “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Asfaltos” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

1.3.2 Justificación técnica - práctica

Como bien se sabe, una evaluación superficial y estructural de una vía determina el estado en el que se encuentra dicho pavimento, por esta razón se identificó, cuantificó y evaluó las fallas superficiales del pavimento, su severidad y cantidad, aplicando métodos de evaluación superficial como: PCI (Índice de Condición del Pavimento), IRI (Índice de Rugosidad Internacional) y PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) Y VIGA BENKELMAN para una evaluación estructural, mediante los cuales se puede plantear una alternativa de solución al tramo, que de llegar a ser aplicada podrá responder las demandas de los usuarios en cuestión.

1.3.3 Justificación social

La evolución de la sociedad se caracteriza por mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, y este caso no es la excepción, pues el plantear una evaluación tanto superficial como estructural y seguido una alternativa de solución al tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**, como solución a las dificultades que tienen los usuarios para trasladarse libremente mejorara su calidad de vida en muchos aspectos, y por ende brinda seguridad y comodidad a los usuarios, así como también mejora el desarrollo productivo del departamento.

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Situación Problemática

La presente investigación está enfocada en un pavimento del tipo flexible, que a medida que transcurre el tiempo presenta fallas de estructura, en sus funciones y en la superficie, sea ocasionado por el desgaste, como por la fatiga.

Actualmente en el departamento de Tarija viene dándose muchos problemas en las vías pavimentadas, lo que hace necesario realizar un estudio de evaluación en el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**, para determinar la condición actual de la vía y su capacidad para soportar el tránsito de manera segura y eficiente.

Si no se lleva a cabo esta evaluación, no se podrá determinar el estado actual en el que se encuentra el tramo de estudio, lo que permitiría que los deterioros se agraven con el tiempo, y podría significarse mayor costo de mantenimiento vial.

Se plantea realizar una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible aplicando los métodos PCI, IRI, PSI y la Viga Benkelman. y así poder identificar el nivel de deterioro, rugosidad y capacidad estructural para proponer soluciones que mejoren la comodidad y seguridad del tránsito vehicular.

1.4.2 Delimitación temporal y espacial

- Delimitación temporal

Tabla N° 1.- Delimitación temporal

Fecha aproximada	Evento	¿Cómo tributa este dato?
22 de Julio 2024	Inicio de periodo lectivo	Se da inicio a la materia de Proyecto de Ingeniería Civil (I) CIV-501
14 de Agosto 2024	Presentación del título provisional	Se presenta la elaboración del Título provisional para su presentación
20 Noviembre 2024	Se da procedente el título de la propuesta.	Realizado en la junta de departamento
25 Noviembre 2024	Se da procedente el título de la propuesta.	Esto es en junta de Departamento.
16 Diciembre 2024	Se aprueba la asignatura CIV 501	Perfil aprobado en sus diseños; teórico y metodológico.
19 de Febrero 2025	Se da inicio a los trámites legales.	Se refiere a permisos institucionales con la venia de autoridades universitarias.
5 de Marzo 2025	Comienza con las mediciones correspondientes.	Se realizan mediciones estructurales (viga Benkelman), PCI, IRI e PSI, utilizando ciencias auxiliares.
20 de Abril 2025	comienza el diseño	Se consideran tres alternativas técnicas para el mejoramiento del pavimento flexible.
10 de Mayo 2025	Selección de alternativa optima	Se selecciona la mejor alternativa en función de parámetros técnicos, calidad y costo.
20 de Mayo 2025	Entrega de borrador	Borrador completo para ser revisado y aprobado por el docente
07 de Julio 2025	pre defensa	pre defensa con tribunales
14 Noviembre 2025	Defensa publica	Defensa publica con tribunales

Fuente: Elaboracion Propia

- Delimitación espacial

En la carretera principal que va al chaco se encuentra el área de operación **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**, en el cuál será el tramo de estudio para una correspondiente evaluación.

Y se tendrá como base de operación la plataforma del tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**.

1.4.3 Formulación del Problema.

¿Cómo puede determinarse el deterioro superficial y estructural del pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** mediante la aplicación de los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General.

Evaluar el deterioro superficial y estructural del pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, empleando los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**, con la finalidad de determinar su condición actual y establecer alternativas técnicas de reparación y conservación.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Identificar los tipos de deterioros superficiales y estructurales en el pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**.
- Establecer el procedimiento de la evaluación del deterioro superficial y estructural del tramo de estudio.
- Aplicar los métodos **PCI, IRI y PSI** de evaluación superficial.
- Aplicar el método de viga benkelman de evaluación estructural.
- Analizar los resultados obtenidos en cada método aplicado.
- Establecer alternativas de reparación y mejoras del pavimento flexible en el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**.

1.6 Hipótesis.

La condición actual del pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana** se encuentra por encima de la categoría funcional regular, según la evaluación superficial y estructural realizada mediante los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**.

1.7 Operacionalización de las variables.

1.7.1 Identificación y conceptualización de variables.

Variable única: Situación actual del tramo

1.7.2 Conceptualización y Operacionalización de las variables.

Tabla N° 2.- Operacionalización de la variable independiente

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Situación actual del tramo	Estado en el que se encuentra un sistema de pavimento en una estructura vial existente.	Evaluación superficial	Escala de cada Método	Mediante los métodos del PCI, IRI, PSI.
		Evaluación estructural	mm	Uso de método no destructivo (Viga Benkelman).

Fuente: Elaboracion Propia

1.8 Determinación del alcance de la investigación.

La investigación se desarrollará con un diseño no experimental y descriptivo, enfocado en evaluar el estado actual del pavimento en el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**. Se aplicarán los métodos mencionados para obtener una visión precisa de sus condiciones superficiales y estructurales. El objetivo es diagnosticar el deterioro existente y proponer alternativas de solución que contribuyan a mejorar la vía y garantizar un tránsito más seguro y eficiente. Además, los resultados servirán como referencia técnica para futuras intervenciones y como base para la planificación de obras de conservación y mantenimiento vial.



Fuente: Elaboracion Propia

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1 Pavimento

El pavimento está formado por un conjunto de capas horizontales apoyadas en una subrasante y tienen como función principal resistir y distribuir esfuerzos de las cargas repetidas originadas por el tránsito durante el periodo para el que fue diseñado. La composición de dichas capas debe ser de material granular compactado, de acuerdo a lo especificado en el Manual (Ingeniería de Pavimentos para carreteras-Alfonso motejo Fonseca, pág. 25)

Las diferentes capas de material seleccionado que conforman el paquete estructural, reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada. Es por ello que todo pavimento deberá presentar la resistencia adecuada para soportar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, así como abrasiones y punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos o la compresión de elementos que se apoyan sobre él. (Universidad Nacional De Ingeniería-Trabajo PCI - Evaluación Ci Pavimento Flexible)

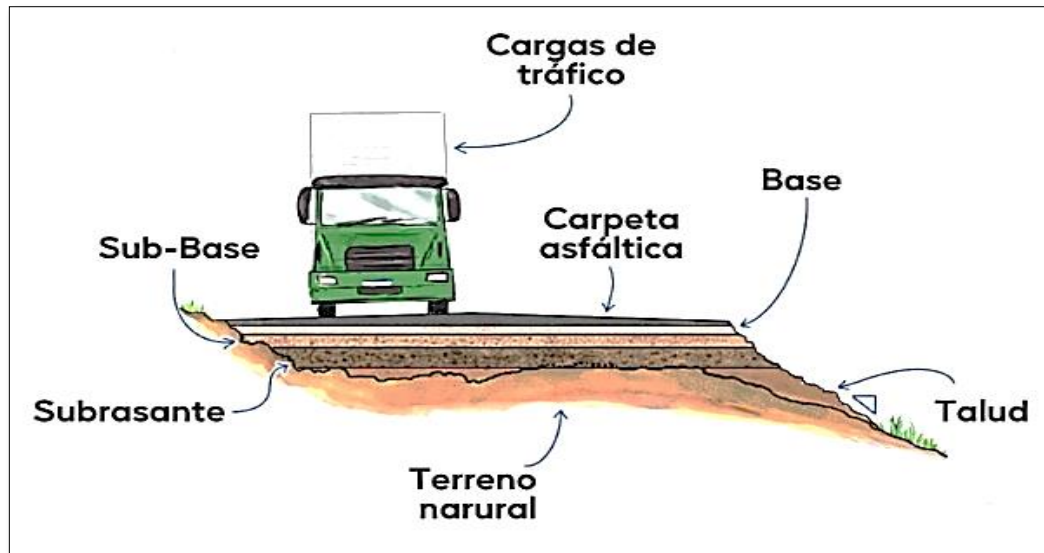
Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el transito
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable
- Debe ser económico

- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.1.1 Estructura de un pavimento

Figura N° 1.- Paquete estructural.

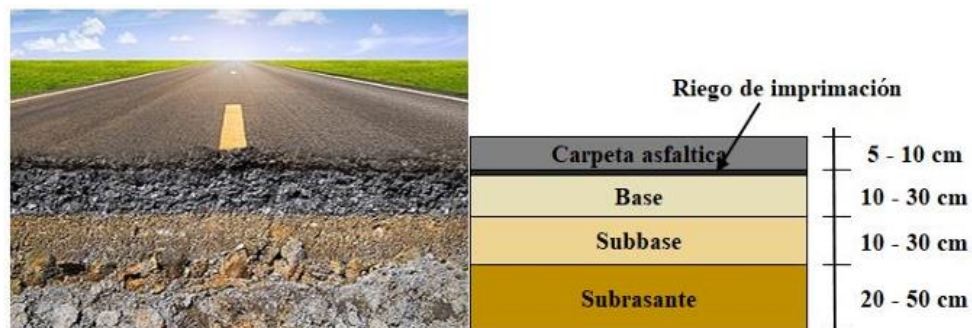


Fuente:(Expedientes técnicos de ingeniería civil-PAVIMENTO FLEXIBLE)

Pavimento Flexibles.

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Ingeniería de Pavimentos para carreteras-Alfonso motejo Fonseca, pág. 26)

Figura N° 2.- Pavimento flexible



Fuente: (RAMÍREZ, 2012)

2.2 Pavimento flexible

El trabajo de la presente tesis está referido a pavimentos flexibles, por lo que se explicará a detalle las capas que lo constituyen y su comportamiento frente a solicitudes externas. Como se vio en la clasificación de pavimentos, los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante. A continuación, se explica a detalle cada uno de estos elementos.

Se denomina Pavimento flexible a aquel cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de Pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras.(Vergara, 2015. Pag.17)

2.2.1 Características del pavimento flexible

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa , que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y subbase; sin embargo es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Con el fin de aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior.(MANAGUA, 04 DE FEBRERO DE 2019. Pag.6)

- Carpeta o capa de rodadura: Es la capa más superficial y tiene como principal función proporcionar una superficie segura, cómoda y estable en el tránsito vehicular; además de actuar como capa impermeable para impedir la infiltración de agua en la estructura del pavimento.
- Capa Base: Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa de Superficial y es la encargada de recibir los esfuerzos de la capa de rodadura y transmitirlo de forma adecuada a la subbase y a la subrasante. En general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).

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

Ciclo de vida de los pavimentos

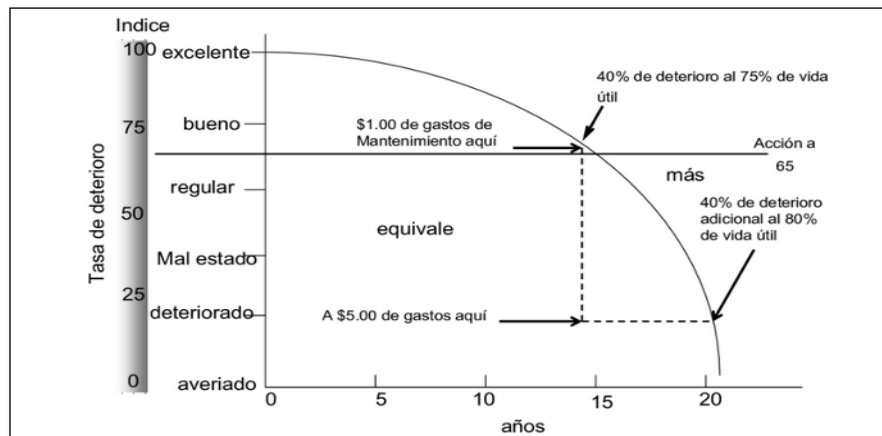
El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

- 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.
- 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.

Los pavimentos sufren deterioros 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 6 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

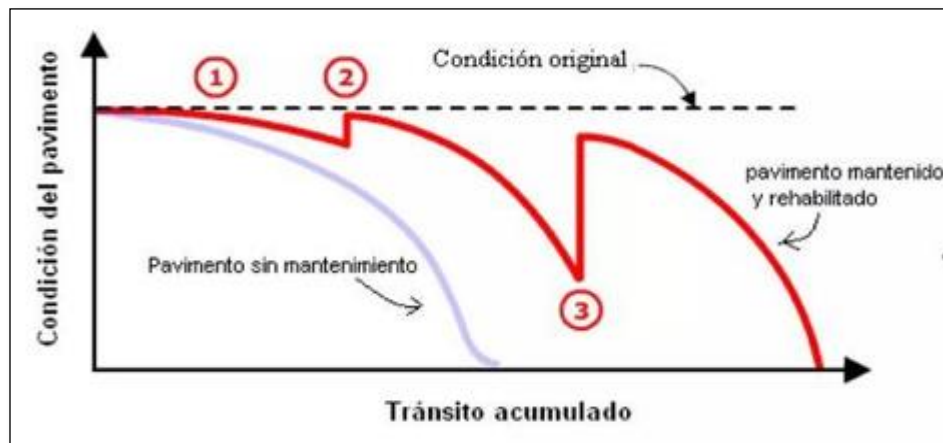
Figura N° 3.- Ciclo de vida de un pavimento



Fuente: Sánchez 2012

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviceabilidad 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 tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento.

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



Fuente: Sánchez 2012

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 superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PC I. pag.13)

2.2.2 Duración de un pavimento flexible

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 a 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil o de servicio. Cuanto mayor sea el módulo que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub- base o suelo de apoyo. (Gisela Ibhet Sivila Montes 2017. Pag.14)

2.3 Evaluación superficial

El pavimento constituye una de las partes más importantes de las carreteras, tanto desde el punto de vista técnico, como del económico, y de valoración de los usuarios, que mayoritariamente lo clasifican por el estado de esta estructura. Generalmente una vez terminado es habitual distinguir aspectos en su calidad. La calidad funcional es aquella que está directamente ligada al confort y la comodidad de los usuarios en función de las características de la superficie del pavimento, que está en contacto con los neumáticos de los vehículos. Desde un punto de vista general, la capa de rodadura debe ser, cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo a los vehículos y facilitar la evacuación rápida del agua de su superficie. (Administración Del Mantenimiento Y Conservación De Pavimentos De Carreteras-Ing. Milton Torres E. Subsecretario de Infraestructura del Transporte-Republica del Ecuador. Pag-44)

2.3.1 Método de PCI (Índice de condición de pavimento)

El PCI es un índice numérico desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste. Esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado

fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Legía, P. y Pacheco, H. (2016. Pag-7)

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: Procedimiento Estandar PCI según ASTM D 6433 – 03.

El método PCI (Índice de Condición del Pavimento) 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, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues 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 (Asociación Americana de Obras Publicas) 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 D6433-03).

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

obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (VERGARA 2015 Pag.36,37)

2.3.2 Aplicación del método PCI

Con la aplicación del Método PCI tenemos como finalidad determinar lo siguiente:

- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad). Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar solicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.

- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio. (Vergara, 2015. Pag.37,38)

2.3.3 Evaluación de la condición

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

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos

a. Equipo.

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

b. Procedimiento. Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra

la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

- c. **El equipo** de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía. (Vásquez 2002)

2.3.4 Cálculo del PCI

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas. (Vásquez 2002)

El cálculo del PCI comprende las siguientes etapas:

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

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

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

Donde:

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

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

- El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se 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 máximo “CDV” de 100, obtenido en la etapa 3.

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

Donde:

PCI=Índice de condición del pavimento.

CDV_{MAX} =Máximo valor deducido

Fallas y niveles de severidad

Las fallas son el resultado de interacciones complejas de diseño, materiales, construcción, tránsito vehicular y medio ambiente. Estos factores combinados, son la causa del deterioro

progresivo del pavimento, situación que se agrava, al no darle un mantenimiento adecuado a la vía.

Existen dos tipos de fallas: estructurales y funcionales. Las primeras, son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transpirabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario. Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías: 1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desintegración de pavimentos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas.

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



Fuente: Rodríguez Velásquez, E. (2009)

1. PIEL DE COCODRILO.

Descripción. Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 m.

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

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad,

deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

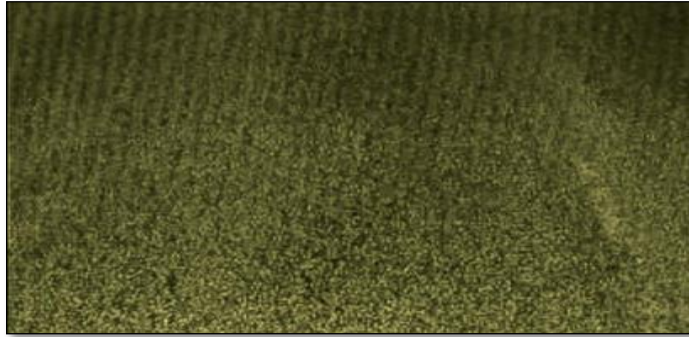
Opciones de reparación.

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

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

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

Figura N° 6.- Piel de cocodrilo de baja severidad.



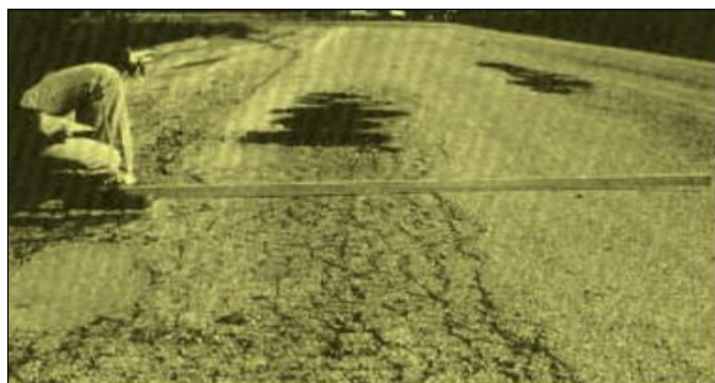
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 7.- Piel de cocodrilo de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 8.- Piel de cocodrilo de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2. EXUDACIÓN.

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

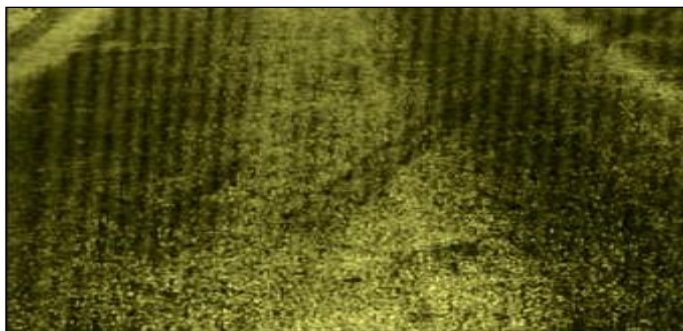
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

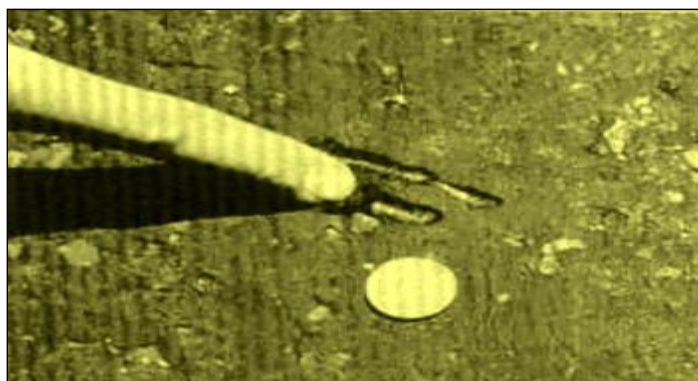
H= Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

Figura N° 9.- Exudación de baja severidad.



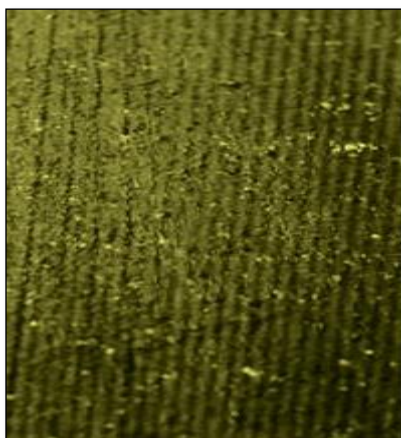
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 10.- Exudación de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 11.- Exudación de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.

Descripción. Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0,30 m x 0,3 m a 3,0 m x 3,0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

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

de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad.

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

M= Bloques definidos por grietas de severidad media.

H= Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida.

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

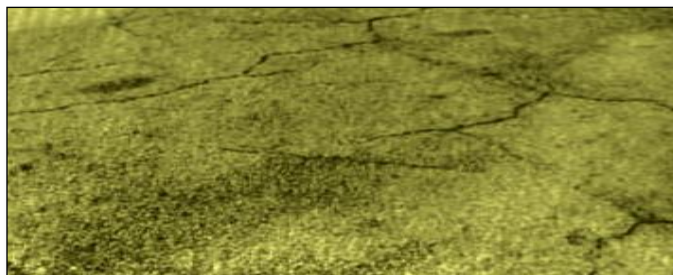
Opciones de reparación.

L= Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm. Riego de sello.

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

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

Figura N° 12.- Grietas en bloque de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 13.- Grietas en bloque de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 14.- Grietas en bloque de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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.

Figura N° 15.- Abultamientos y hundimientos de baja severidad.



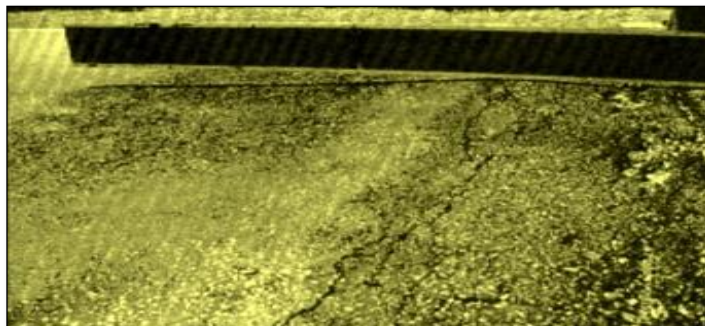
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 16.- Abultamientos y hundimientos de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 17.- Abultamientos y hundimientos de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

5. CORRUGACIÓN.

Descripción. La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3,0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3,0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

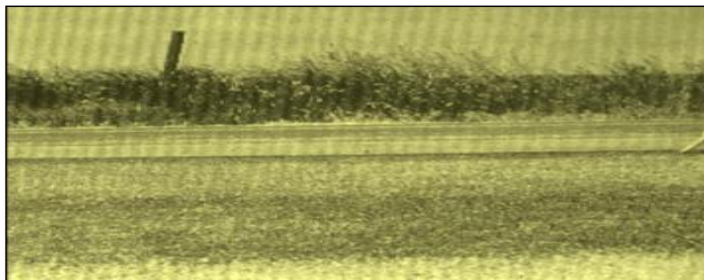
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Reconstrucción.

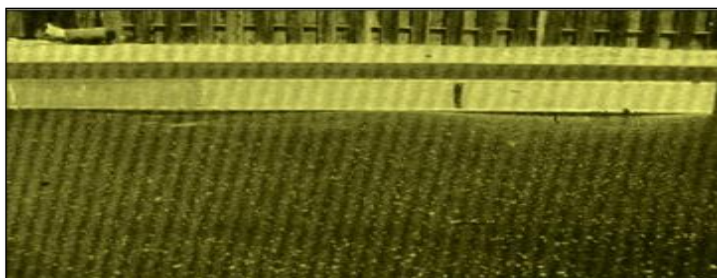
H= Reconstrucción.

Figura N° 18.- Corrugación de baja severidad.



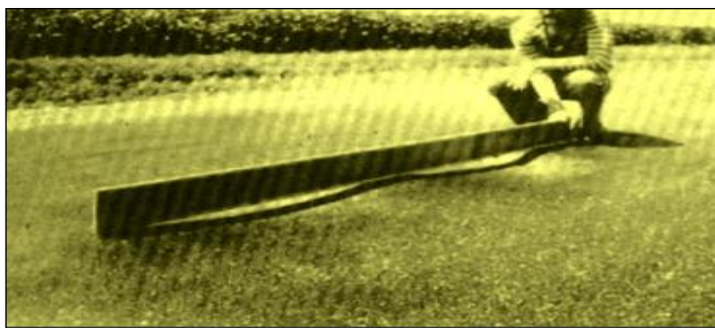
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 19.- Corrugación de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 20.- Corrugación de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

6. DEPRESIÓN.

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

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

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L= 13,0 a 25,0 mm.

M= 25,0 a 51,0 mm.

H= Más de 51,0 mm.

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo.

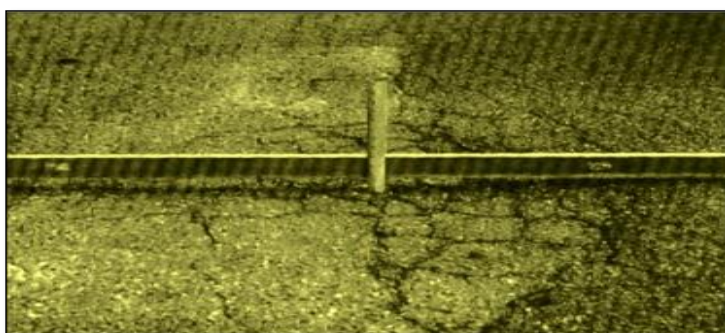
H= Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura N° 21.- Depresión de baja severidad.



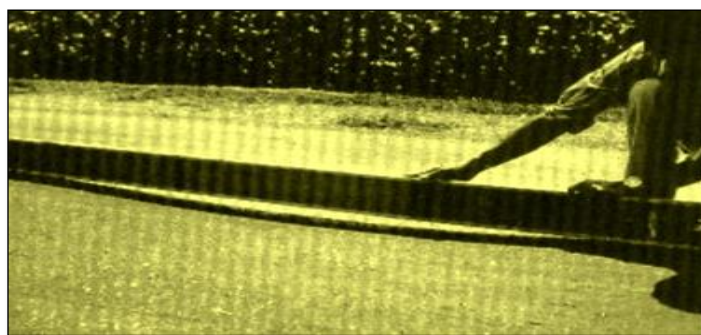
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 22.- Depresión de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 23.- Depresión de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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.

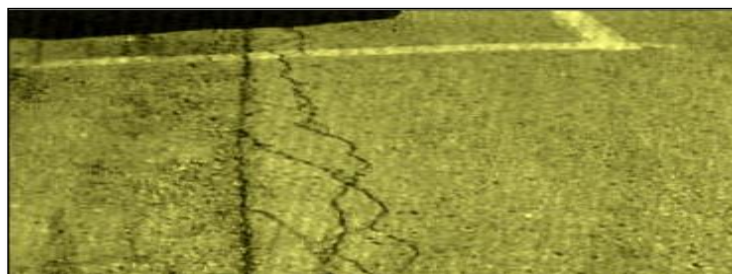
H= Parcheo parcial – profundo.

Figura N° 24.- Grieta de borde de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 25.- Grieta de borde de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 26.- Grieta de borde de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

8. GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND).

Descripción. Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica contruidos 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.

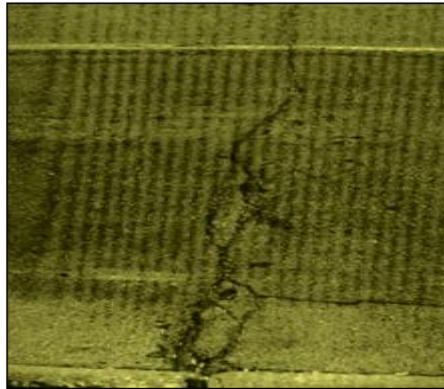
H= Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

Figura N° 27.- Grieta de reflexión de junta de baja severidad.



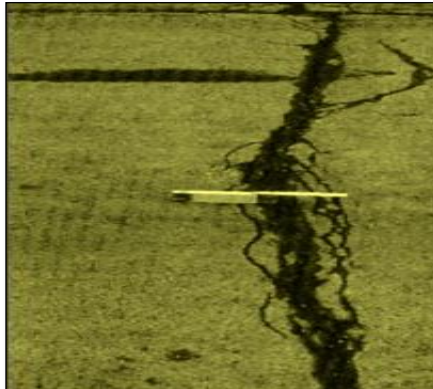
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 28.- Grieta de reflexión de junta de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 29.- Grieta de reflexión de junta de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

9. DESNIVEL CARRIL / BERMA.

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

Niveles de severidad.

L= La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25,0 y 51,0 mm.

M= La diferencia está entre 51,0 mm y 102,0 mm.

H= La diferencia en elevación es mayor que 102,00 mm.

Medida.

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

Opciones de reparación.

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

Figura N° 30.- Desnivel carril/berma de baja severidad.



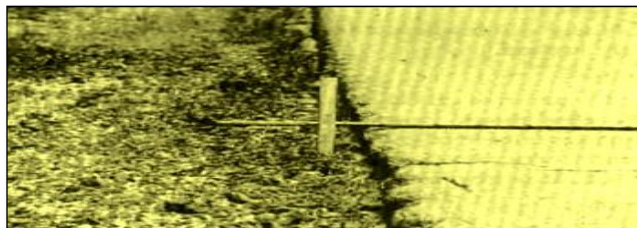
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 31.- Desnivel carril/berma de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 32.- Desnivel carril/berma de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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 registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, éstos deben registrarse.

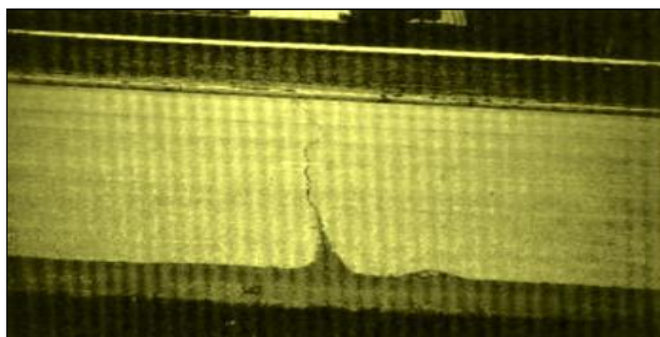
Opciones de reparación.

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.

Figura N° 33.- Grietas longitudinales y transversales de baja severidad.



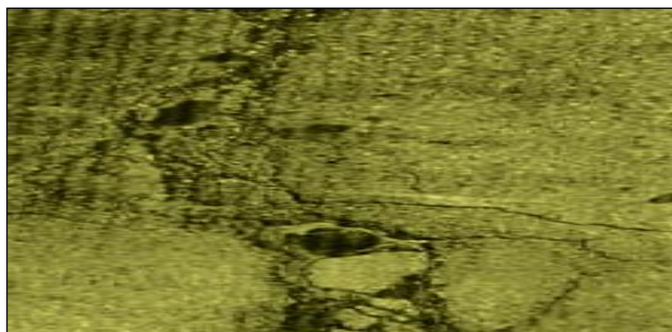
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 34.- Grietas longitudinales y transversales de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 35.- Grietas longitudinales y transversales de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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).

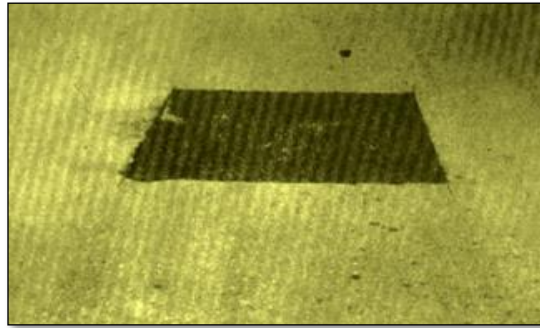
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

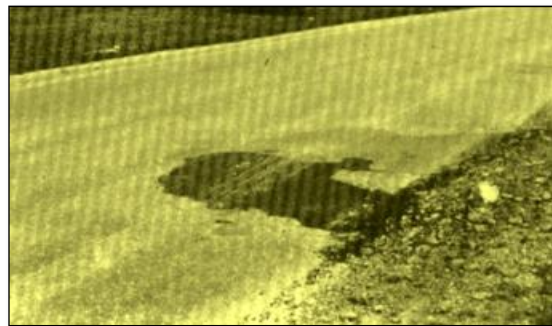
H= Sustitución del parche.

Figura N° 36.- Parcheo de servicios públicos de baja severidad.



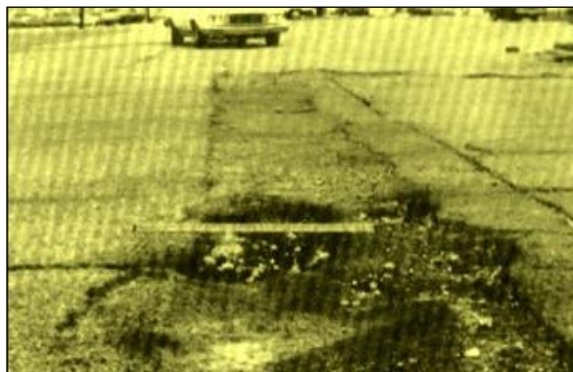
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 37.- Parcheo de servicios públicos de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 38.- Parcheo de servicios públicos de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

12. PULIMENTO DE AGREGADOS.

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

examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad.

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

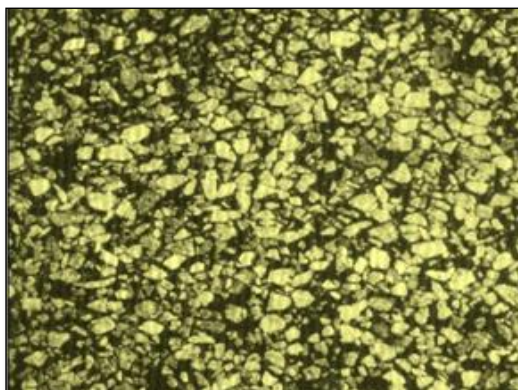
Medida.

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

Opciones de reparación.

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

Figura N° 39.- Pulimento de agregados.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Medida.

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

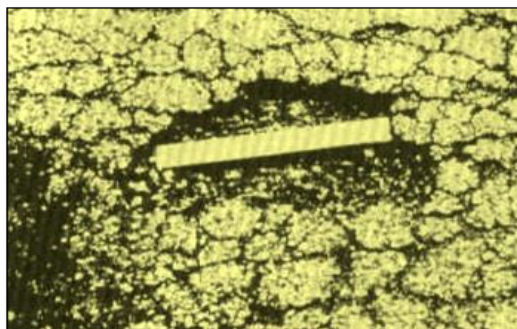
Opciones de reparación.

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

M= Parcheo parcial o profundo.

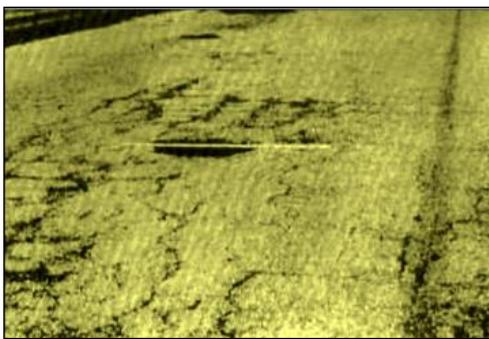
H= Parcheo profundo.

Figura N° 40.- Hueco de baja severidad.



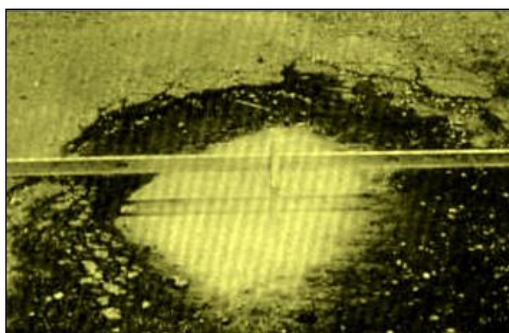
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 41.- Hueco de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 42.- Hueco de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

14. CRUCE DE VÍA FÉRREA.

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

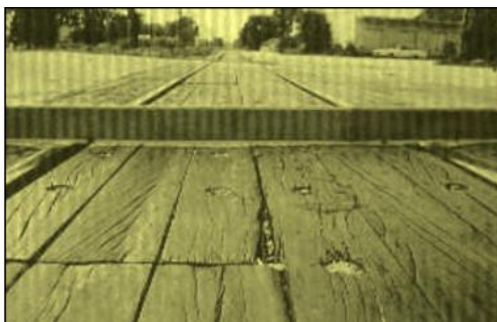
Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

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

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

Figura N° 43.- Cruce de vía férrea de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 44.- Cruce de vía férrea de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 45.- Cruce de vía férrea de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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.

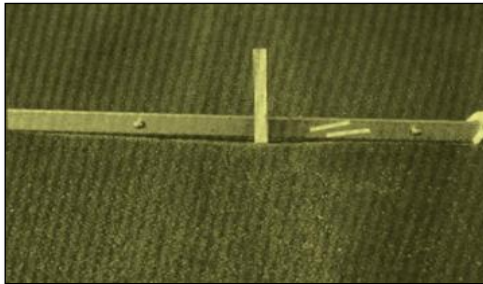
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

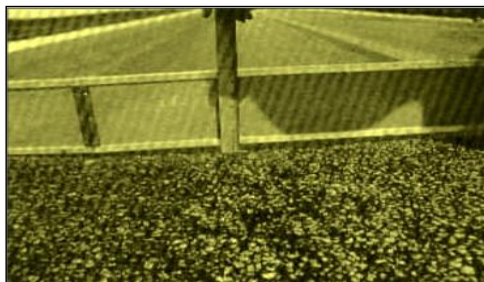
H= Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

Figura N° 46.- Ahuellamiento de baja severidad.



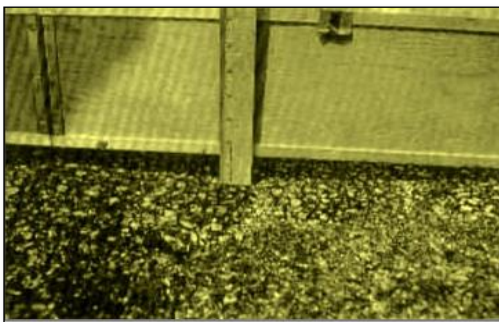
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 47.- Ahuellamiento de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 48.- Ahuellamiento de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

16. DESPLAZAMIENTO.

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

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento 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.

Figura N° 49.- Desplazamiento de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 50.- Desplazamiento de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 51.- Desplazamiento de severidad alta.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

17. GRIETAS PARABÓLICAS (SLIPPAGE).

Descripción. Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento. Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre

la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad.

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

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10,0 mm y 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38,0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida.

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

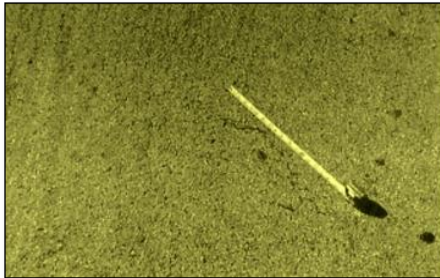
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Parcheo parcial.

M= Parcheo parcial.

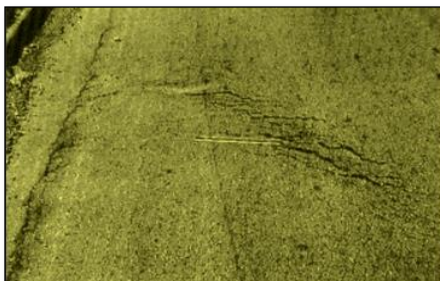
H= Parcheo parcial.

Figura N° 52.- Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.



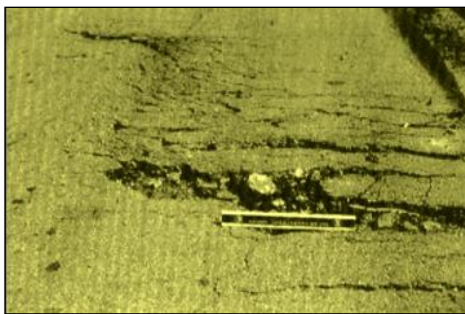
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 53.- Grieta parabólica (slippage) de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 54.- Grieta parabólica (slippage) de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

18. HINCHAMIENTO.

Descripción. El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3,0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

Figura N° 55.- Ejemplo de hinchamiento.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

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.

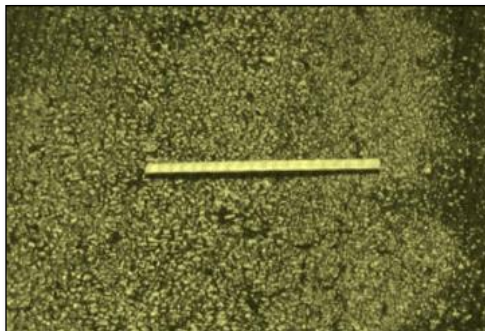
L= No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M= Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H= Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

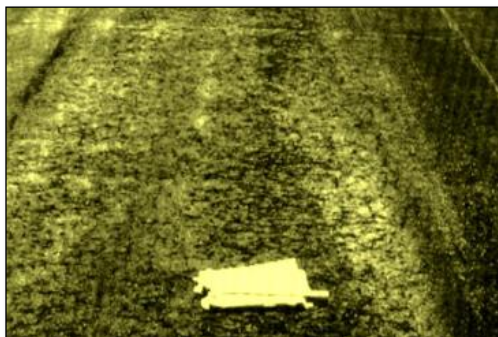
Para los niveles M y H, si el daño es localizado, por ejemplo, por derramamiento de aceite, se hace parcheo parcial.

Figura N° 56.- Desprendimiento de agregados de baja severidad.



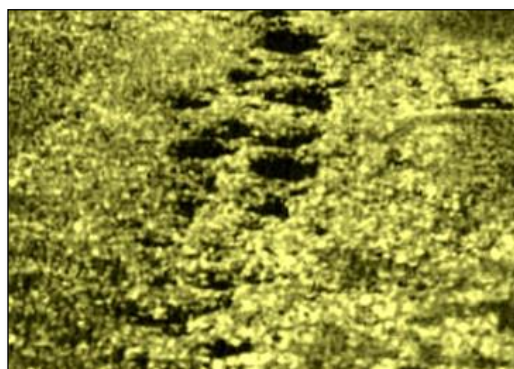
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 57.- Desprendimiento de agregados de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura N° 58.- Desprendimiento de agregados de alta severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2.4 Método del índice internacional de rugosidad (IRI)

La irregularidad o rugosidad de la superficie de una vía es una medida de su serviceabilidad, es decir, refleja el grado de comodidad del usuario. Se han desarrollado una gran variedad de equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), desarrollado como medida estándar por el Banco Mundial entre finales de los años ochenta y comienzo de los años noventa, luego de un ensayo internacional realizado en Brasil, encaminado a su determinación. Conceptualmente el IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo, divididos entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/hr. Se expresa en mm/m ó m/km. Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentados la escala se puede extender hasta un valor de 20. La Figura 1 presenta la escala de clasificación que hace el Banco Mundial de las Carreteras y Autopistas del IRI dependiendo del tipo de vía (pavimentada o no), su edad y condición superficial. (manual de herramientas para la evaluación funcional y estructural de pavimentos flexibles-mayo 2009, pág. 159)

2.4.1 Equipos para la medición del IRI

Tabla N° 5.- Equipos para la medición del IRI

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observación
Perfilógrafos	Media	Control de calidad y recepción de obras	Simple	Estos equipos no son prácticos para la evaluación de las redes viales
Tipo respuesta para medir la regularidad de las carreteras	Media	Monitoreo de red vial	Compleja	Los resultados obtenidos entre estos equipos no son comparables, ya que dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo y no son estables en el tiempo
Nivel y mira	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Simple	El uso de estos equipos para proyectos largos no es práctico y los costos son elevados
Dipstick	Muy alta	Mediciones de perfil de pavimento y calibraciones	Muy simple	Se utiliza para mediciones del perfil de pavimento en longitudes pequeñas
Perfilómetro inercial	Muy alta	Monitoreo y recepción de proyectos viales	Muy simple	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de redes viales grandes

Fuente: Adaptado de Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

2.4.2 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. (Loida Heidy subía gallardo-2021. Pag.18).

Figura N° 59.- Equipo para la medición de la rugosidad superficial con Merlín

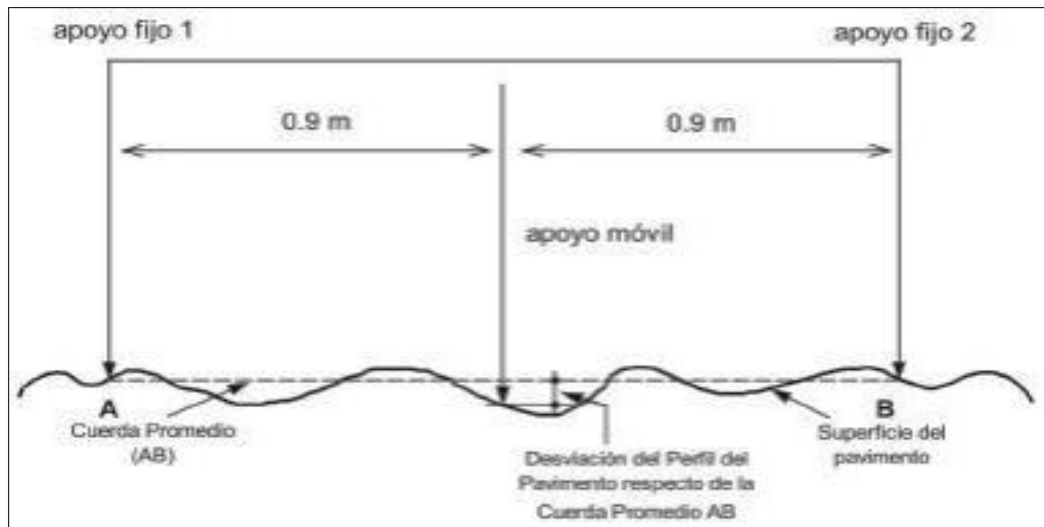


Fuente: Elaboración propia

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”.

Figura N° 60.- Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio

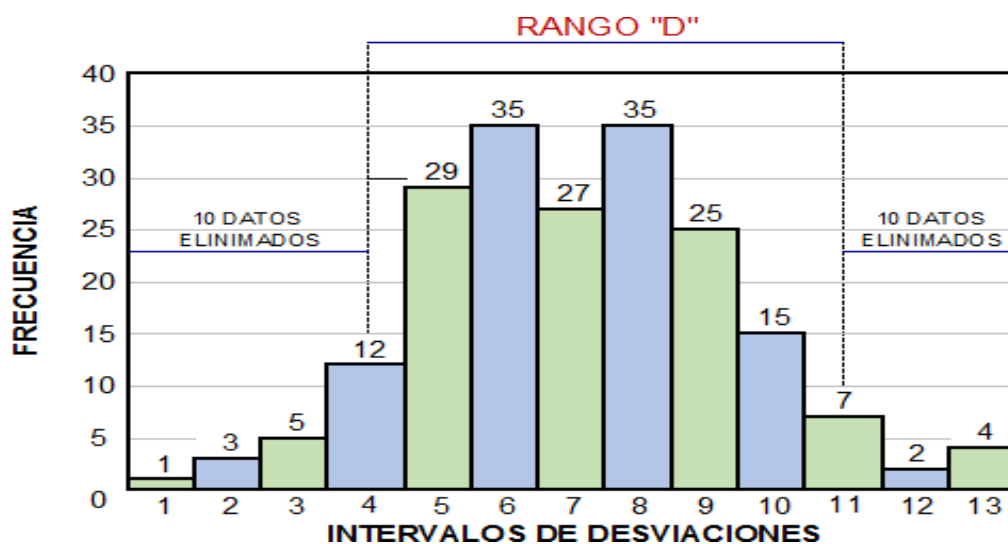


Fuente: MANUAL DEL USUARIO MERLINER

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.

Figura N° 61.- Histograma de la distribución de frecuencias



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

Correlaciones D versus IRI

A partir de las investigaciones por encargo del banco mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI. Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlín con el índice de rugosidad internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

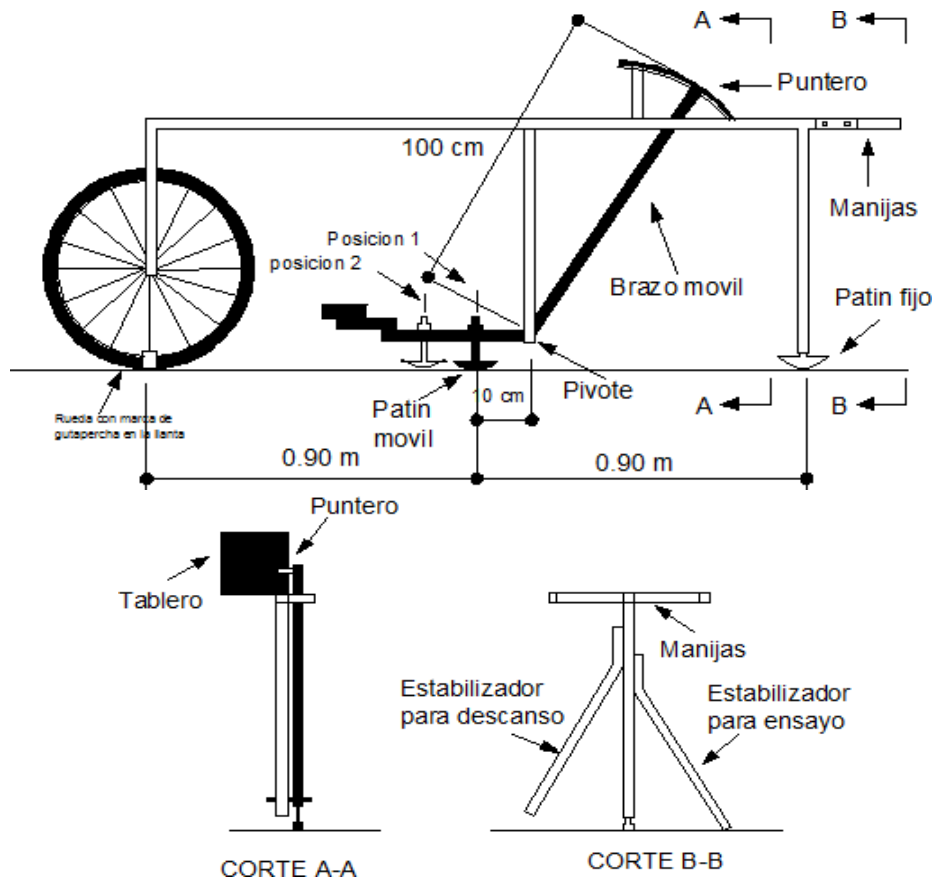
Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$ entonces $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471 D \dots\dots (1)$

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

La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del banco mundial en el año 1982; la segunda ecuación es el resultado de las investigaciones en el Perú, la cual debe ser aplicada a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.

Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín

Figura N° 62.- 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 saber, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviceabilidad. 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 Serviceabilidad de Pavimentos Flexibles es la siguiente para encontrar D.C.

- Cálculo de frecuencia

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

Donde

EP= Espesor de la pastilla

LI= Posición inicial del puntero

LF=Posición final del puntero

- Cálculo del IRI

$$R = 0,593 + 0,0471 * Dc$$

Donde

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

Dc= Índice de frecuencia

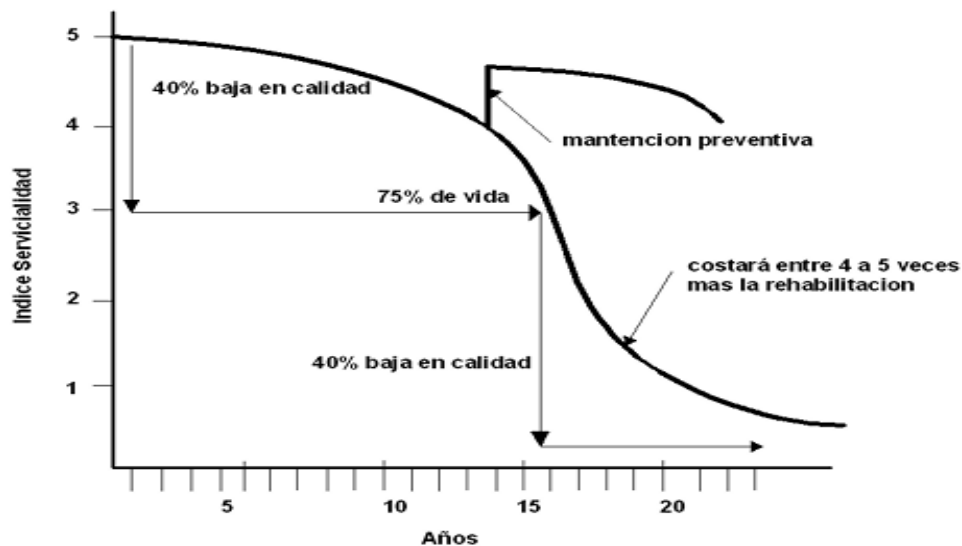
2.5 Índice de serviciabilidad presente (PSI)

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Un criterio para valorar el estado de un camino es el de la “calificación actual” o como se lo denomina serviciabilidad. Existen en la actualidad diversos indicadores, todos, tienen en común la preponderancia de las irregularidades (rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.).

La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural. En la figura se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja cómo se va deteriorando un pavimento en el tiempo.

Figura N° 63.- índice de serviciabilidad



Fuente: Carpetas de rodadura de micro-aglomerados. Fernández O. (2007)

El índice de Serviciabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene; por el contrario, si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy alta.

Tabla N° 6.- Índice de Serviciabilidad

Rango	Calificación
5,00 – 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: AASHTO, 1993

Relación entre PSI e IRI

Una vez obtenido el índice de regularidad internacional, los investigadores en busca de obtener 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:

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

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:

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

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

$$PSI = 4,182 - 0,455(IRI)$$

Con estas ecuaciones se puede verificar la correcta correlación entre ambos parámetros de evaluación de carreteras.

2.6 Evaluación estructural

La evaluación estructural de un pavimento consiste básicamente en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – sub rasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para cuantificar y establecer las necesidades de refuerzo. La estructura de un pavimento tiene cierta capacidad para absorber el trabajo de deformación como energía elástica potencial por cada carga circulante durante su vida útil, retirada la carga, dicha energía es la determinante en la recuperación elástica o casi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuan menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. (PORTILLO, 2015, pág. 79)

2.6.1 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 sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura. El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante la viga Benkelman. (Heidi subía gallardo-2021)

2.6.2 Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas

Corresponde a la primera generación, básicamente originada con el desarrollo de la viga Benkelman. Estos equipos tipo viga, proveen la medida de deflexión en un punto, bajo una carga estática o de movimiento lento.

Este equipo determina deformaciones del pavimento frente a las sollicitaciones de carga provenientes de un vehículo cargado. Las ruedas duales de un eje trasero de un vehículo que transmite una carga de 8.2 toneladas y el equipo Viga Benkelman posicionado para efectuar las mediciones de deformaciones. (Cubas De la Torre Rosa Beatriz. Cajamarca-Perú 2017. Pag.27)

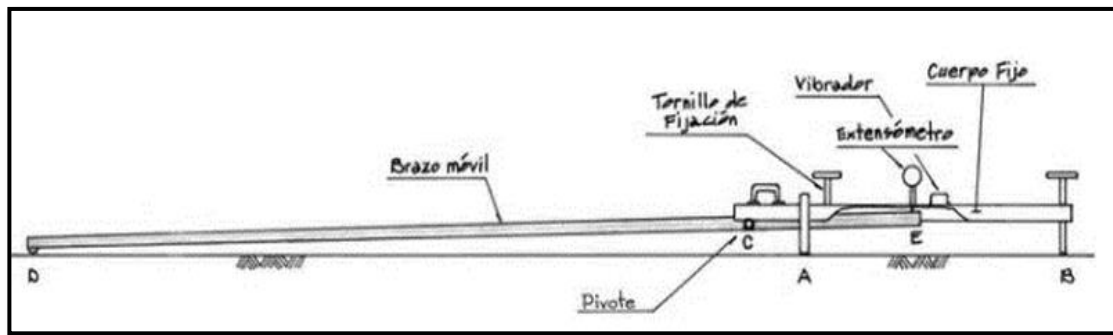
2.6.3 Viga Benkelman

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, hoy en día pueden ser determinadas haciendo uso de diversos equipos, uno de ellos es el Deflectómetro denominado “viga Benkelman” Llamado así en honor a Daniel Benkelman, quien la desarrollo en 1995 como parte del programa de ensayos viales de AASHO (AASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha venido difundiendo ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona. (Mallque, 2006, pág. 19)

Descripción del equipo.

El Deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. La viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro en 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 ó “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, determinado 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 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 deflactó 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 esta. 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 (Mallque, 2006, págs. 19-20)

Figura N° 64.- Esquema viga Benkelman



Fuente: Ing. Hoffman y Del Águila - Estudios de evaluación estructural de pavimentos

Consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que transmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador. Este equipo debe ser usado con un camión cargado, normalmente con 80 KN en un eje, con llantas duales infladas a una presión de 0,48 a 0,55 Mpa (70 a 80 Psi). Las mediciones se realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se retira. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador.

2.6.4 Ensayo viga Benkelman

2.6.4.1 Equipo requerido

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

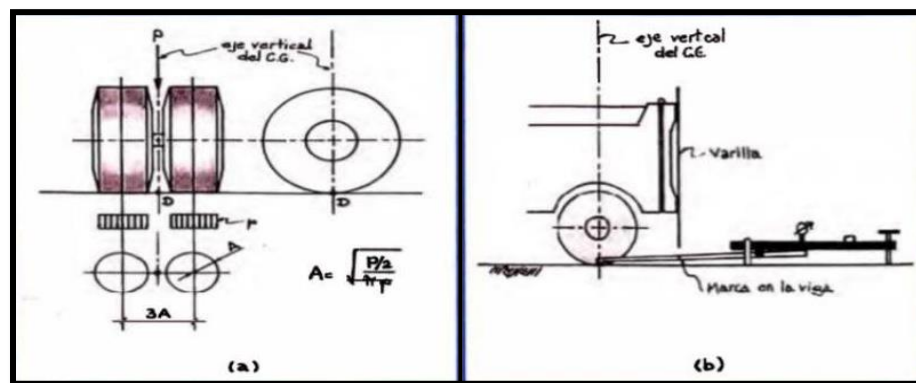
- Deflectómetro, viga Benkelman, con relación de brazos 1:2
- Camión cargado, con ejes traseros de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar, para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil, para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.)

2.6.5 Procedimiento de la medición y cálculo

- Carga y pesaje de la volqueta, debe tener un peso en el eje trasero de 8,2 ton (18000 lb) puede tener una variación en el orden de $\pm 1\%$.
- Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.

- Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.
- Centrado del extremo delantero de la viga Benkelman en la proyección vertical del centro del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio de la rueda.
- Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, esta posición se asumirá como 100 o 200.
- Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el “0” con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.
- Ordenar el avance del camión a muy baja velocidad, recomendada es de 1(cm/seg). Anotar las lecturas del dial en el estado inicial (deflexión máxima), a 0,25 m. y Cuando el pavimento este totalmente libre de deflexión (>5 m). Tomar la temperatura del pavimento para cada ensayo.
- Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo.

Figura N° 65.- Esquema y principio de operación de la viga Benkelman

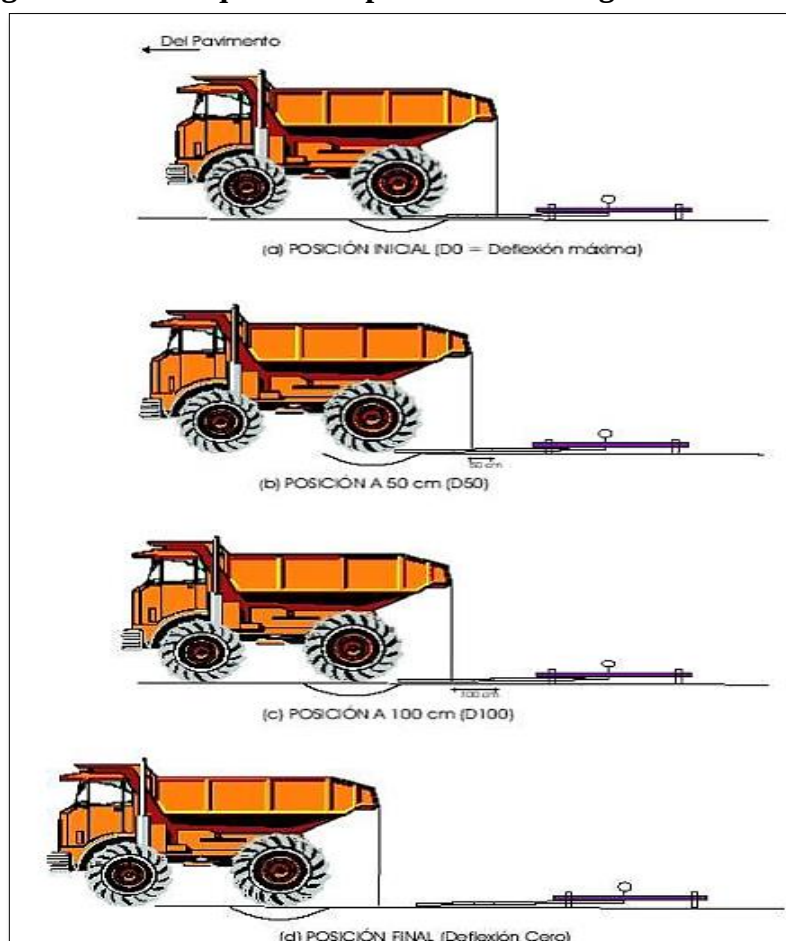


Fuente: Evaluación estructural viga benkelman (Stephanie Méndez-Jorge Amasifuen)

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm; éstas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles. En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce. Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o esté en un rango de 35 % al 65 % de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de

la primera marca adicional. Ver figura 66. Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1 km/h) se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

Figura N° 66.- Esquema de aplicación de la Viga de Benkelman



Fuente: Evaluación Estructural de Fallas del Pavimento Flexible por el Método no Destructivo en la Carretera Puno – Ilave. Portillo, Guido

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. Las mediciones deben hacerse normalmente a distancias de 50 metros, o a criterio

del proyectista; de tal manera que los registros sean representativos de las condiciones generales del pavimento.

Cálculo de la deflexión máxima

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

Donde:

D_o = Deflexión máxima.

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

L_o = Lectura inicial.

L_f = Lectura final.

Deflexión a los 50 cm:

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

Donde:

D_{50} = Deflexión a 50 cm.

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

L_{50} = Lectura a 50 cm de la posición inicial.

L_f = Lectura final.

Corrección por temperatura:

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

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

Donde:

D_{20} = Deflexión a la temperatura standard (20°C).

D_t = Deflexión a la temperatura t .

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

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.

$$R_c = \frac{6250}{K * (D_o - D_{50})}$$

Donde:

R_c= Radio de curvatura en (m).

D_o= Deflexión máxima.

D₅₀= Deflexión a 0,50 m.

El comportamiento estructural del pavimento en el tramo “**Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

- $100 < R_c < 500$
- $D_o < D_c$

I. Marco referencial

-LOIDA HEIDY SUBIA GALLARDO 2021. Evaluación superficial y estructural del estado de pavimento flexible en el tramo san mateo-sella.

Objetivo es Evaluar el estado del pavimento flexible del tramo San Mateo - Sella, usando métodos de evaluación superficial y estructural; de tal manera, se pueda determinar su condición actual.

La evaluación se realizó para conocer el estado en el que se encuentra el pavimento, si presenta fallas y deterioros que afecten las condiciones de comodidad y serviciabilidad del usuario. En este trabajo denominado “Evaluación superficial y estructural del estado del pavimento flexible en el tramo San Mateo – Sella” se realizó la evaluación superficial con los métodos PCI, IRI, IFI y la evaluación estructural con el método de la viga Benkelman, con estos métodos se pudo conocer el estado actual del pavimento flexible del tramo mencionado que cuenta con 6,412 km. El pavimento flexible está superficialmente en una condición de “Excelente” según los resultados obtenidos en la evaluación superficial con el método PCI realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03,

con un resultado final del PCI de 98,88. En todo el tramo se tiene un IRI=1,61 m/km que se encuentra dentro del rango de 0,0 – 2,0 m/km con clasificación “Excelente”.

el tramo “San Mateo – Sella” se encuentra en excelentes condiciones actualmente y el pavimento no requiere rehabilitación.

-CARRILLO ZAMBRANO DIAZ, NESTOR ALFONSO Evaluación superficial del pavimento flexible Manuel Arteaga entre la calle pascual saco y la calle los naranjos, por el método del PCI, distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, región de Lambayeque.

Se escoge un pavimento a evaluar, la cual estará divididas en unidades de muestreo, es decir por áreas. Luego se procede a realizar la recolección de datos, mediante el levantamiento de las fallas existente para proceder a un análisis de estos. Luego se evaluaron los resultados y se propondrá alternativas de solución con la propuesta de un presupuesto de rehabilitación. Se finalizará con las conclusiones respondiendo a las interrogantes planteada en el problema de investigación.

Según los resultados obtenidos de la evaluación de Índice de Condición de Pavimento en la Avenida Manuel Arteaga vemos que se obtiene en promedio un PCI de calificación bueno, pero se deberán tomar acciones de mantenimiento o rehabilitación en zonas de pavimento donde se haya obtenido un valor de PCI bajo.

Arteaga, resultado igual a 68, es decir, que el estado real del pavimento de la vía, es bueno. Esto ayudó a que el PCI tenga un estado bueno porque estas fallas no afectan al tránsito de vehículos. Las vibraciones dentro del vehículo son mínimas y no es necesario disminuir la velocidad.

-Antony Luis Vergara Vicuña 2015. "Evaluación Del Estado Funcional Y Estructural Del Pavimento Flexible Mediante La Metodología PCI Tramo Quichuay -Ingenio Del Km 0+000 AL KM 1+000 2014"

-ING. ESP. LUIS RICARDO VÁSQUEZ VARELA 2002. PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS Y DE CONCRETO EN CARRETERAS

-PAOLA BEATRIZ LEGUÍA LOARTE, HANS FERNANDO PACHECO RISCO 2016. Evaluación Superficial Del Pavimento Flexible Por El Método Pavement Condition Index (PCI) En Las Vías Arteriales: Cincuentenario, Colón Y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)

-Byron Simón Baque-Solís 2020. Evaluación Del Estado Del Pavimento Flexible Mediante El Método Del **PCI** De La Carretera Puerto-Aeropuerto (Tramo Ii), Manta. Provincia De Manabí

República Del Ecuador Subsecretaria De La Infraestructura Del Transporte 2010. Estado Actual De La Construcción De La Infraestructura Del Transporte

-Alfonso Montejo Fonseca 2001. INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS

-MANAGUA, 04 DE FEBRERO DE 2019. RECINTO UNIVERSITARIO “RUBÉN DARÍO” FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS. DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN. INGENIERÍA CIVIL IV AÑO.

-Leguía, P y Pacheco, H (2016). Evaluación Superficial del Pavimento Flexible por el Método Pavement Condition Index (PCI) en las Vías Arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau. [Trabajo de grado]. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Huacho-Huaura. Lima. Perú.

II. Marcos normativo

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

- Para una guía del procedimiento del PCI, se empleará la norma ASTM D6433-03.
- Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de rugosidad internacional), se empleará la norma ASTM-95.
- Para el procedimiento de la Viga Benkelman se tomará en cuenta la norma ASTM D-4695.

También se tomará en cuenta los manuales, “Manual De Diseño De Conservación Vial, volumen 5”, “IDENTIFICACIÓN DE FALLAS EN PAVIMENTOS Y TÉCNICAS DE REPARACIÓN, de la república dominicana” y “MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. DE BOGOTÁ D.C.”

III. Análisis del aporte teórico (por el autor)

En el presente trabajo se seleccionaron teorías y metodologías directamente relacionadas con la **evaluación del pavimento flexible**, priorizando aquellas que cuentan con respaldo normativo y aplicabilidad en la realidad boliviana. El criterio principal adoptado fue que cada teoría o método aportara de manera directa al diagnóstico de la **condición actual del tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, evitando incluir referencias generales o poco relevantes que no incidan en los objetivos planteados.

En primer lugar, se consideró el **Índice de Condición del Pavimento (PCI)** como teoría base, dado que permite cuantificar de manera objetiva las fallas superficiales. Su selección responde a que es un método normado por la **ASTM D6433** y ampliamente utilizado en evaluaciones técnicas, lo que le otorga un peso fundamental en el desarrollo de este proyecto.

Complementariamente, se incorporaron el **Índice Internacional de Rugosidad (IRI)** y el **Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)**, debido a que contribuyen a caracterizar la comodidad y la regularidad de la vía desde el punto de vista del usuario, aportando un enfoque funcional al análisis. Estos métodos fueron seleccionados porque permiten correlacionar los resultados con niveles de serviciabilidad y son utilizados como referencia en estudios de conservación vial.

En el aspecto estructural, se adoptó el método de la **Viga Benkelman** por su eficacia como ensayo no destructivo y por su aplicación práctica en la región. Este criterio responde a la necesidad de conocer la capacidad portante de la vía sin recurrir a técnicas invasivas más costosas o difíciles de implementar en campo.

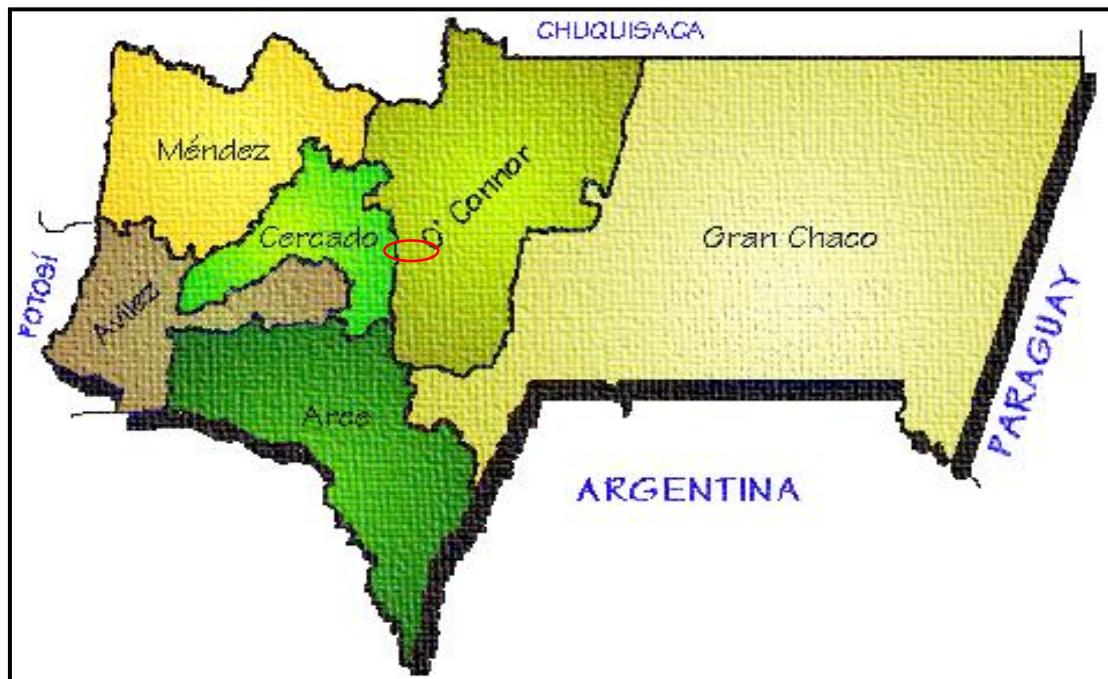
Se descartaron metodologías alternativas que, si bien aportan a la ingeniería de pavimentos, no se ajustaban al alcance del presente trabajo por requerir equipamiento especializado no disponible en la zona o por estar orientadas a evaluaciones de laboratorio más complejas.

Finalmente, el criterio personal del autor fue priorizar aquellas teorías que combinan **respaldo técnico internacional, aplicabilidad práctica en la región de Tarija y coherencia directa con los objetivos del proyecto**. De esta manera, se asegura que el marco teórico no solo cumpla un rol académico, sino que brinde soporte efectivo al análisis y a la propuesta de soluciones planteadas

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

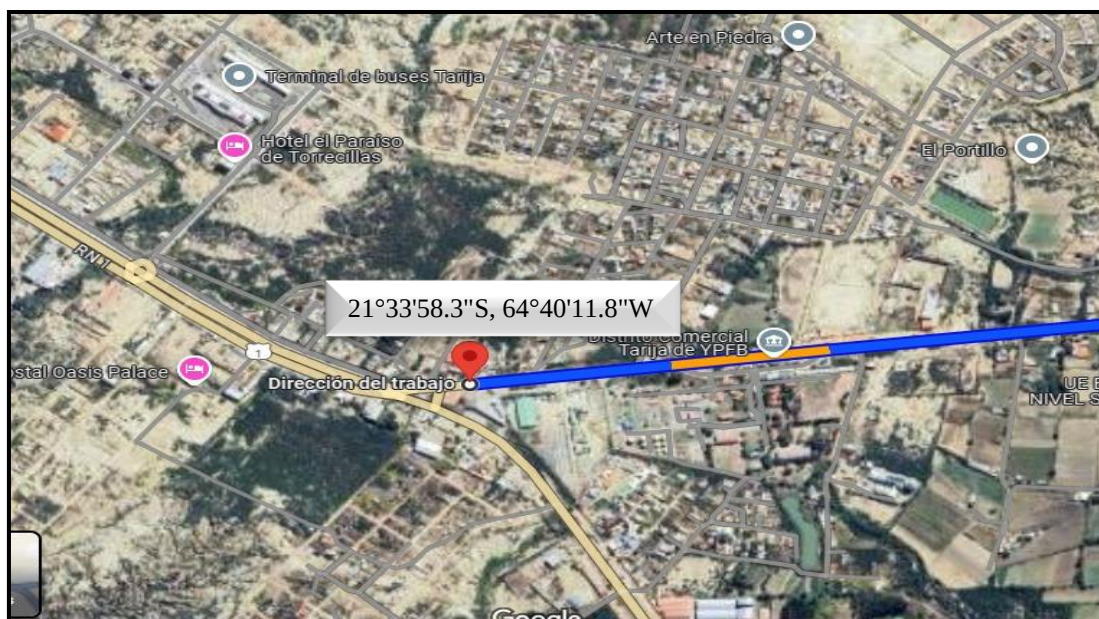
El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija referente a la provincia cercado, este tramo pertenece al distrito 11 formando parte de la ruta camino al chaco, la longitud estimada para la evaluación será de 10km.

Figura N° 67.- Mapa político del departamento de Tarija



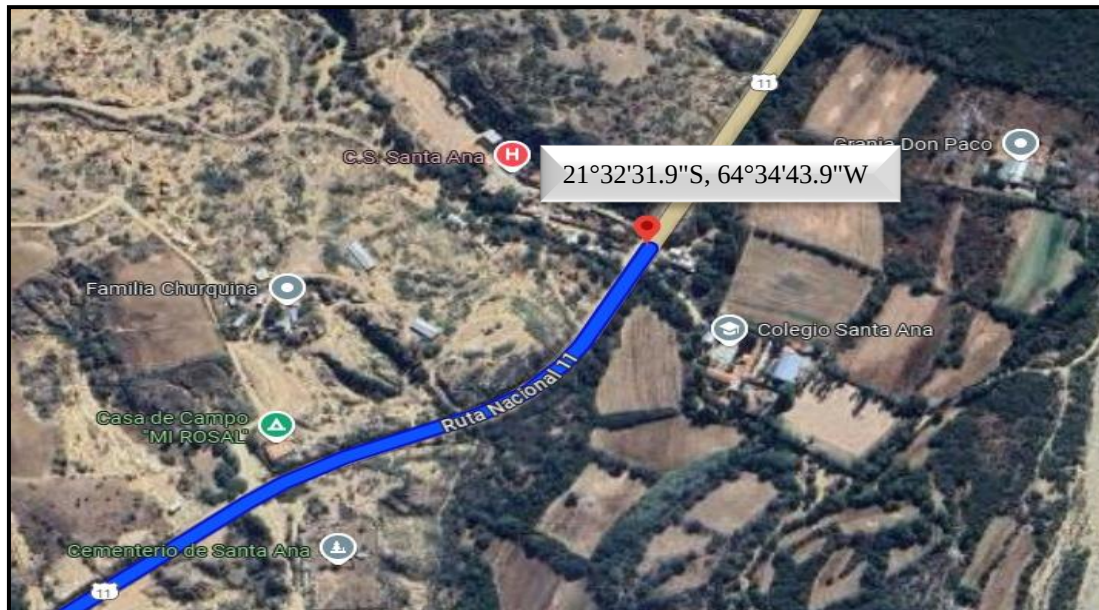
Fuente: <https://bo.reyqui.com/2017/09/provincia-jose-maria-aviles.html>

Figura N° 68.- Inicio del tramo del proyecto



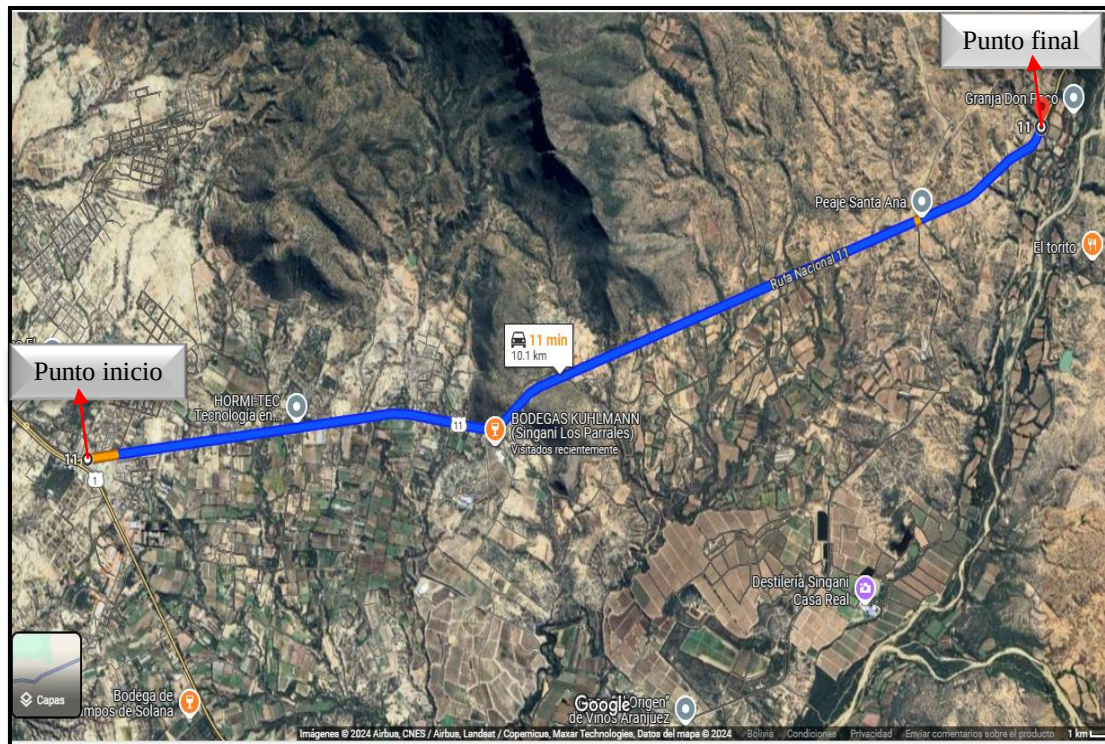
Fuente: Foto satelital Google Earth.

Figura N° 69.- Fin del tramo del proyecto



Fuente: Foto satelital Google Earth.

Figura N° 70.- Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana



Fuente: Foto satelital Google Earth (<https://maps.app.goo.gl/jbLLPeXgdqCuPDM5b7>)

Tabla N° 7.- Planilla De Coordenadas

PLANILLA RESUMEN DE COORDENADAS			
Tramo: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD
INICIO DEL TRAMO	21°33'58.3"S	64°40'11.8"W	1863
FIN DEL TRAMO	21°32'31.9"S	64°34'43.9"W	1918
Tramo: Estación De Servicio El Portillo-Colegio Santa Ana	COORDENADAS UTM		ZONA
INICIO DEL TRAMO	327090.078	7614260.955	20 Sur
FIN DEL TRAMO	336496.6496	7617018.566	20 Sur

Fuente: Elaboracion Propia

3.2 Criterios metodológicos

3.2.1.1 Unidades de muestreo

Se dividió la vía en secciones “unidades de muestreo”, las dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura. Carreteras con capa de rodadura asfáltica como el del tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**, y ancho menor que 7,30 m, el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango de $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como se observa en la siguiente tabla que presenta relaciones de longitud – ancho de calzada pavimentada.

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

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (máximo)	31,5

Fuente: Manual de diseño de la Evaluación de la Condición de pavimentos

Parámetros del Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana:

- Ancho de Calzada = 7 m
- Ancho de Carril = 3.5 m
- Longitud total = 10 km
- Tipo de Carretera = Flexible → Rango: $230 \pm 93 \text{ m}^2$

Interpolando:

Ancho de calzada (m) Long. Unid. muestreo

$$X_0 = 6.5 \longrightarrow y_0 = 35.4$$

$$¿X = 7 \longrightarrow y = ??$$

$$X_1 = 7.3 \longrightarrow y_1 = 31.5$$

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

$$y = 32.96 \text{ m}$$

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

Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:

Para conocer las unidades de muestra que serán evaluadas se siguió el procedimiento que establece la norma ASTM D6433 – 03, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con la confiabilidad del 95%. utilizando la fórmula de número de unidades de muestreo que se muestra a continuación:

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

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 = Para pavimentos flexibles, se asume una desviación estándar de **10**, que indica la variabilidad del PCI dentro de una sección

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.

- Para una carretera con carpeta asfáltica, de 7 metros de ancho de calzada y 10 kilómetros de longitud, tendremos para el número total de unidades de la sección:

$$N = \frac{10\text{km} * \left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}}\right)}{33 \text{ m}} = 303.03$$

$$N \cong \mathbf{304 \text{ unidades}}$$

- Con lo que el área de cada unidad será:

$$\text{Ancho} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 33 \text{ m}$$

$$A = \text{Ancho} * \text{Largo} = 7\text{m} * 33\text{m}$$

$$A = \mathbf{231 \text{ m}^2}$$

- Por lo tanto, el número de unidades de muestra que se tendrá para la evaluación es el siguiente:

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} (N - 1) + \sigma^2} = \frac{304 * 10^2}{\frac{5^2}{4} (304 - 1) + 10^2} = 15.25$$

$$n \cong \mathbf{16 \text{ unidades}}$$

Para las presente secciones se calcula el intervalo de muestreo como se muestra a continuación:

$$N = 304$$

$$n = 16$$

$$i = fa = \frac{N}{n} = \frac{304}{16} = 19.10 \cong 20$$

Para el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** se determinó un total de **304 unidades** de muestreo, cada una con una longitud de **33 metros**. De estas, se seleccionaron **16 unidades** mediante un muestreo sistemático, con intervalos cada **20 unidades** a lo largo del tramo. Asimismo, se tomaron en cuenta **muestras adicionales** en sectores considerados más desfavorables, con el fin de obtener una representación más precisa de las condiciones reales de la vía y garantizar que los resultados reflejen los puntos críticos del tramo.

En la siguiente planilla se mostrarán las unidades de muestreo que se determinaron mediante la ecuación establecida en la norma ASTM D6433, así como las muestras adicionales tomadas en sectores desfavorables observados en algunas unidades de muestreo, lo que permitió obtener una evaluación más detallada y representativa de las zonas de mayor deterioro.

Tabla N° 9.- Unidades de Muestras y Muestras Adicionales

TRAMO GENERAL Prog. (0+000 a 10+000)		
Unidad de Muestra	Prog. Inicial	Prog. Final
U.M 1	0+000	0+033
Adic. 1	0+198	0+231
Adic. 2	0+396	0+429
Adic. 3	0+594	0+627
U.M 2	0+660	0+693
Adic. 4	1+188	1+221
U.M 3	1+320	1+353
Adic. 5	1+782	1+815
U.M 4	1+980	2+013
Adic. 6	2+376	2+409
U.M 5	2+640	2+673
Adic. 7	2+772	2+805
Adic. 8	2+970	3+003
U.M 6	3+330	3+333
U.M 7	3+960	3+993
Adic. 9	4+158	4+191
U.M 8	4+620	4+653
Adic. 10	5+148	5+181
U.M 9	5+280	5+313
U.M 10	5+940	5+973
Adic. 11	6+534	6+567
U.M 11	6+600	6+633
Adic. 12	6+930	6+963
U.M 12	7+260	7+293
U.M 13	7+920	7+953
Adic. 13	8+118	8+151
Adic. 14	8+316	8+349
Adic. 15	8+514	8+547
U.M 14	8+580	8+613
U.M 15	9+240	9+273
U.M 16	9+900	9+933
Adic. 16	9+966	10+000

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Población

Métodos de evaluación superficial y estructural.

Tabla N° 10.- 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)	- CBR
- IRI (índice de condición de rugosidad)	- Viga Benkelman
- PSI (Índice de serviceabilidad de pavimento)	

Muestra

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 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.

3.2.4 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.

3.2.5 Métodos y técnicas empleadas

Métodos

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

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 9.210 toneladas de carga, Viga Benkelman)

3.2.6 Relevamiento de información

El tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** se encuentra en la ruta principal que conecta la zona de Portillo con Santa Ana, dentro de la red vial departamental de Tarija. Según información proporcionada por el **Servicio Departamental de Caminos (SEDECA)**, este tramo tiene una longitud de aproximadamente 10 km y es de gran importancia, ya que conecta áreas residenciales, educativas y productivas con la ruta hacia el Chaco.

Paquete estructural del tramo

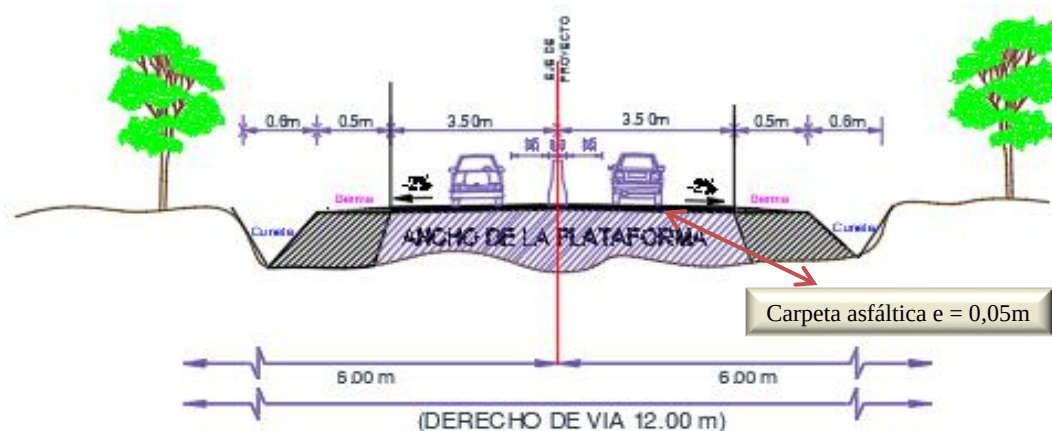
En la siguiente tabla se muestra el paquete estructural que presenta el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**.

Tabla N° 11.- Paquete estructural del tramo evaluado

Progresiva	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa sub base	Espesor de la sub rasante
3+614	5 cm	15 cm	20 cm	20 cm
7+458	5 cm	15 cm	20 cm	25 cm

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 71.- Sección transversal del tramo evaluado.

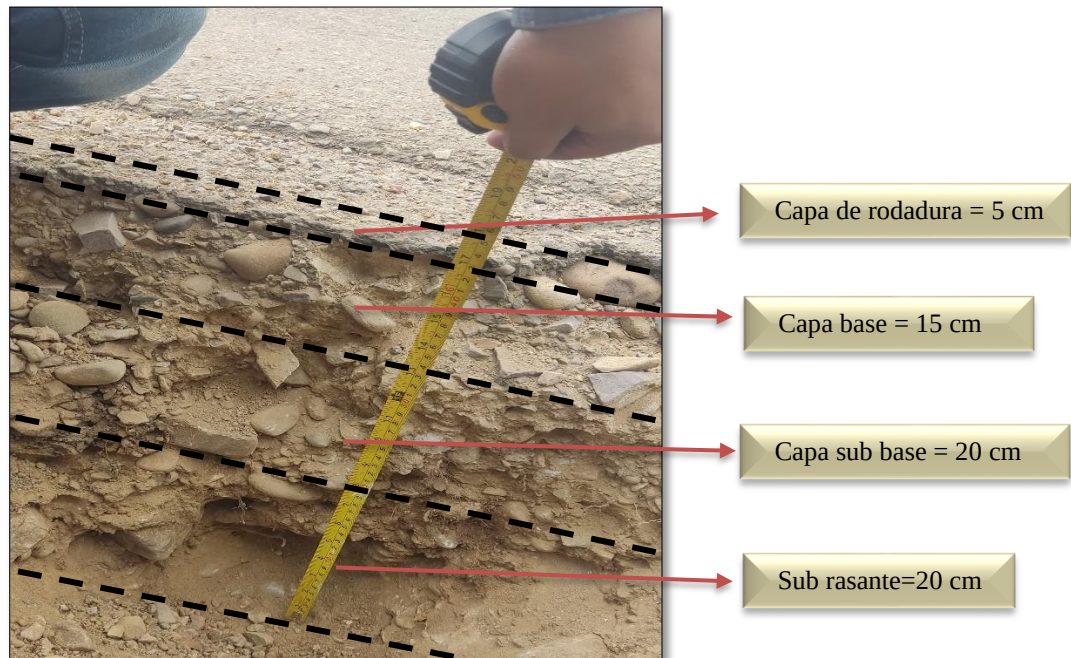


Fuente: Elaboración propia

Para verificar el paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en las progresiva 3+614 y

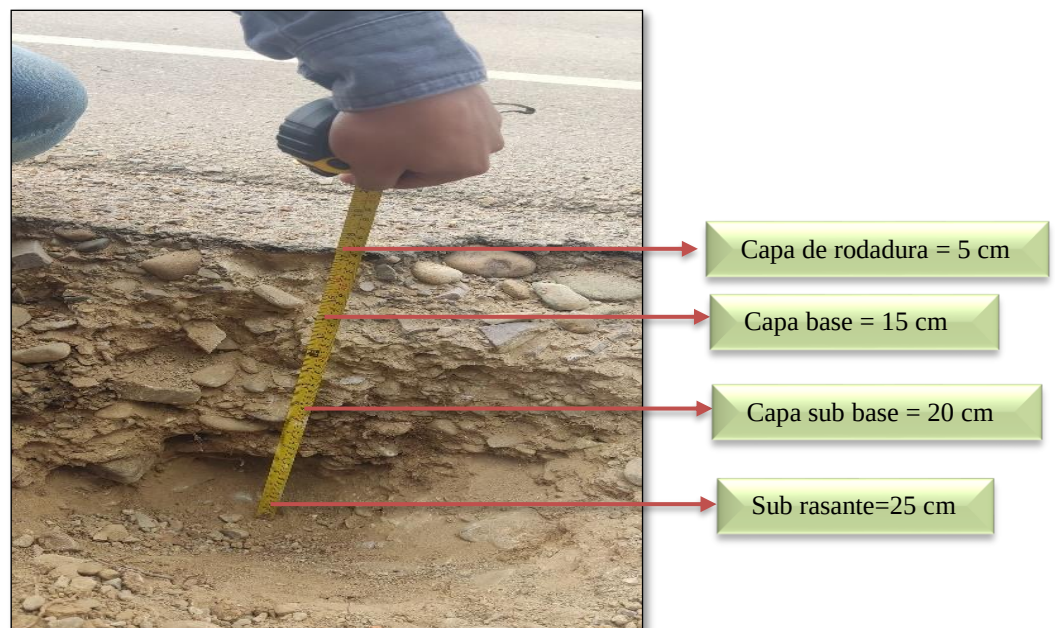
7+458 a lo largo de todo el tramo **Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**, con lo cual se pudo observar las profundidades de cada capa estructural.

Figura N° 72.- Espesores paquete estructural de la progresiva 3+614



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 73.- Espesores paquete estructural de la progresiva 7+458



Fuente: Elaboración propia

3.3 Evaluación superficial del tramo

Para la evaluación superficial del tramo “**Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**” se utilizó la metodología del PCI (Índice de Condición de Pavimento), este método nos permite conocer las fallas que presenta la superficie del tramo. Al ser un método detallado y que requiere mucho tiempo para realizar, como la norma indica, se puede realizar un tamaño de muestra seleccionando una cierta cantidad de unidades de muestreo con una confiabilidad del 95% y un margen de error admisible de 5%. Además, se aplicaron los métodos IRI (Índice Internacional de Rugosidad) y PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) para obtener una visión completa del estado superficial del pavimento.

3.3.1 Aplicación del método PCI

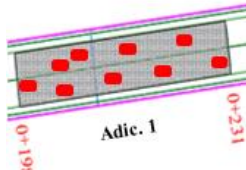
Se detallará el método aplicado para la evaluación superficial del tramo “**Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**”, siguiendo los lineamientos definidos por la norma ASTM-D6433 del método PCI, procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento. Este método permite conocer el estado de la superficie del tramo; sin embargo, es moroso y requiere mucho tiempo para realizarlo. En la bibliografía se menciona que se debe seleccionar una cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo, lo que minimiza el trabajo y asegura resultados confiables. La unidad de muestreo determinada para este proyecto fue seleccionada según el cálculo previo de unidades de muestreo, y se incluyeron algunos muestreos más desfavorables para asegurar que la evaluación sea representativa y cubra posibles áreas críticas del pavimento.

3.3.1.1 Procedimiento del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Una vez finalizadas las inspecciones en el tramo evaluado, se procedió a registrar la información correspondiente a las fallas presentes en cada una de las unidades de muestreo, incluyendo sus respectivos niveles de severidad. Además, con el fin de obtener una evaluación más completa y representativa del estado del pavimento, se incorporaron **muestras adicionales** en sectores desfavorables, lo que permitió obtener resultados más precisos. Esta consideración posibilitó cubrir áreas más detalladamente y asegurar una evaluación más completa del estado del pavimento, especialmente en zonas que mostraban signos de mayor deterioro.

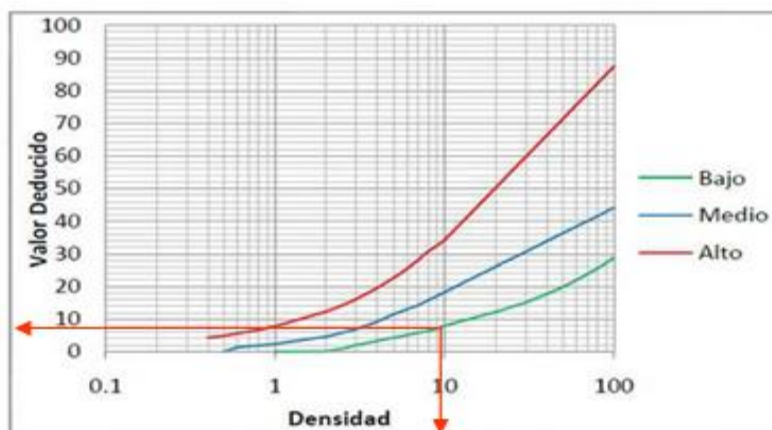
El ejemplo que se muestra corresponde a la **muestra adicional 1**, con las progresivas de inicio 0+198 y final 0+231. Esta unidad fue seleccionada por presentar condiciones desfavorables, lo que permite obtener una apreciación más precisa del deterioro existente en el tramo:

Tabla N° 12.- Ejemplo de relevamiento de fallas

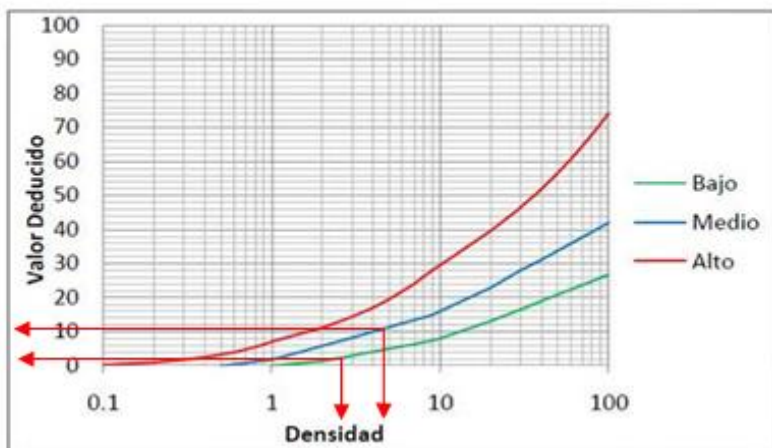
Método del PCI (Índice de condición del pavimento)							Esquema: 		
NOMBRE DEL TRAMO				Unidad Muestra					
E°S° El Portillo - Colegio Santa Ana				Adic. 1					
SEC. INICIAL		SEC. FINAL		AREA (m²)					
0+198		0+231		231					
INSPECCIONADO POR:				FECHA					
ADRIAN CHINURI CAMARGO				2-abr-25					
Fallas				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. Ahuellamiento		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	L	12.25	4.80	3.35	2.10		22.50	9.74	7.74
3	L	3.60	2.38				5.98	2.59	2.24
3	M	5.40	4.88				10.28	4.45	10.58
1	L	30.45					30.45	13.18	35.48

Fuente: Elaboración propia

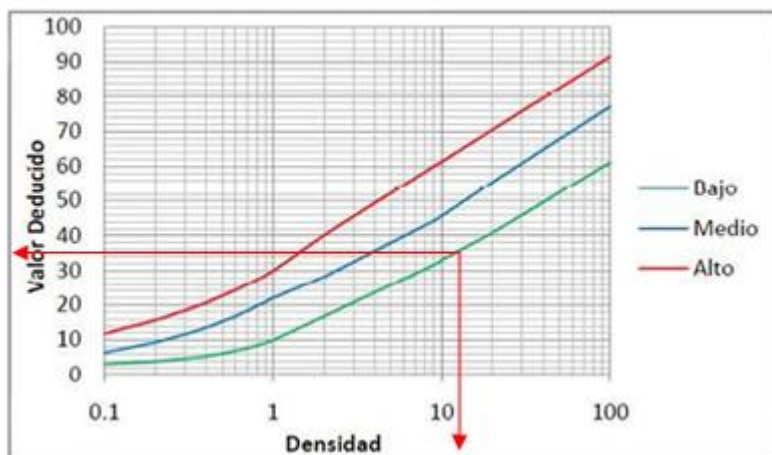
10. GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL:

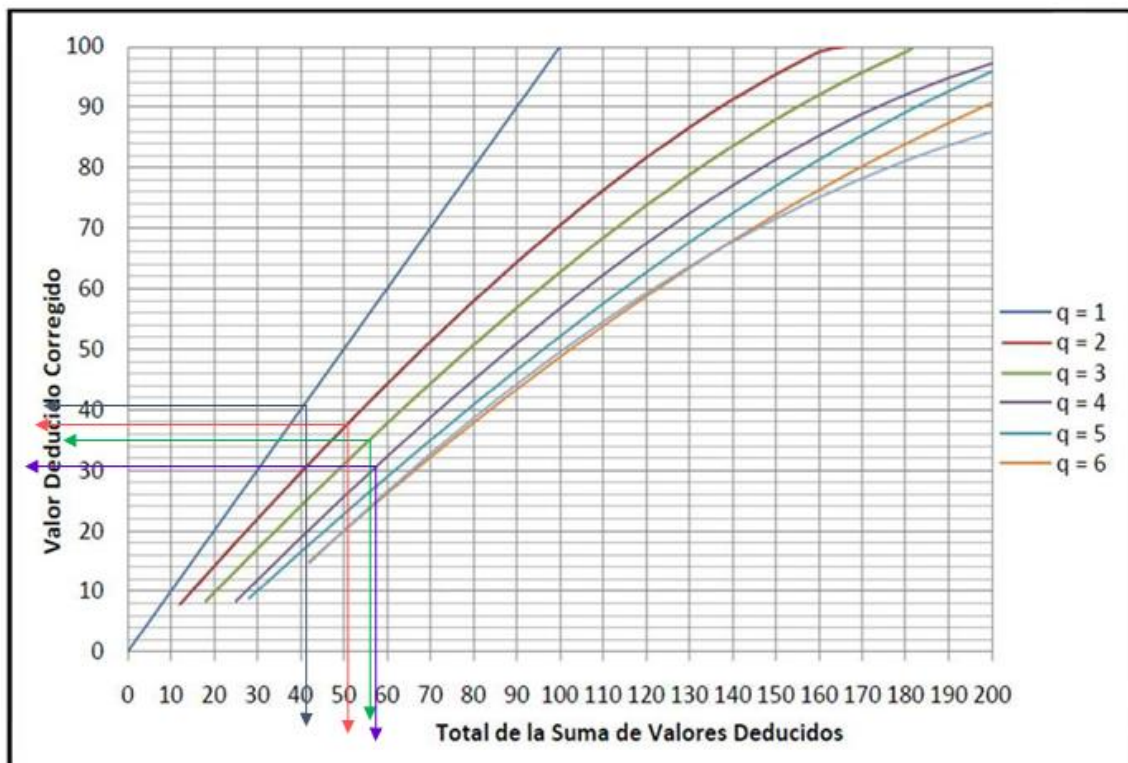


3. AGRIETAMIENTO EN BLOQUE:



1. PIEL DE COCODRILO:





Nro.	Valor deducido					Total	q	VDC
	1	2	3	4	5			
1	35.48	10.58	7.74	2.24		56.05	4.00	30.23
2	35.48	10.58	7.74	2.00		55.80	3.00	35.06
3	35.48	10.58	2.00	2.00		50.06	2.00	37.05
4	35.48	2.00	2.00	2.00		41.48	1.00	41.48

Máximo valor deducido corregido		PCI=	100 - CDV max	PCI=	58.52
CDVmax =	41.48				

Condición del pavimento	Bueno
-------------------------	-------

Una vez registrada la información levantada, se procede a calcular las densidades y los valores deducidos para luego poder obtener el valor de la calificación del PCI que presenta cada muestra, dicho procedimiento se mostrará detalladamente en el ANEXO 1.

Tabla N° 13.- Resultados y clasificación del (PCI) GENERAL

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad Muestra	Progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
U.M 1	0+000 – 0+033	86.55	Excelente
Adic. 1	0+198 – 0+231	58.52	Bueno
Adic. 2	0+396 – 0+429	74.91	Muy Bueno
Adic. 3	0+594 – 0+627	81.55	Muy Bueno
U.M 2	0+660 – 0+693	66.66	Bueno
Adic. 4	1+188 – 1+221	68.28	Bueno
U.M 3	1+320 – 1+353	92.28	Excelente
Adic. 5	1+782 – 1+815	66.58	Bueno
U.M 4	1+980 – 2+013	93.05	Excelente
Adic. 6	2+376 – 2+409	85.34	Excelente
U.M 5	2+640 – 2+673	82.11	Muy Bueno
Adic. 7	2+772 – 2+805	76.86	Muy Bueno
Adic. 8	2+970 – 3+003	60.54	Bueno
U.M 6	3+330 – 3+333	70.75	Muy Bueno
U.M 7	3+960 – 3+993	96.09	Excelente
Adic. 9	4+158 – 4+191	83.46	Muy Bueno
U.M 8	4+620 – 4+653	90.63	Excelente
Adic. 10	5+148 – 5+181	70.75	Muy Bueno
U.M 9	5+280 – 5+313	88.92	Excelente
U.M 10	5+940 – 5+973	86.50	Excelente
Adic. 11	6+534 – 6+567	81.71	Muy Bueno
U.M 11	6+600 – 6+633	79.71	Muy Bueno
Adic. 12	6+930 – 6+963	84.44	Muy Bueno
U.M 12	7+260 – 7+293	80.34	Muy Bueno
U.M 13	7+920 – 7+953	100.00	Excelente
Adic. 13	8+118 – 8+151	89.10	Excelente
Adic. 14	8+316 – 8+349	87.96	Excelente
Adic. 15	8+514 – 8+547	66.89	Bueno
U.M 14	8+580 – 8+613	87.54	Excelente
U.M 15	9+240 – 9+273	55.19	Bueno
U.M 16	9+900 – 9+933	58.79	Bueno
Adic. 16	9+966 – 10+000	64.41	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

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

Figura N° 74.- Progresivas para el PCI



En la imagen se puede observar la marcación de las progresivas para el área de la unidad de muestra determinada a inspeccionar.

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 75.- Inspección del tramo

Se debe marcar cada tipo falla existente en el tramo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 76.- Estudio del tramo con el método PCI



Una vez identificadas las fallas existentes, se procede a medir y registrar las fallas según el tipo de daño en el que se encuentren.

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín

3.3.2.1 Unidades de muestreo método IRI

Para la medición del **Índice de Regularidad Internacional (IRI)** en el tramo evaluado, se definieron **unidades de muestreo (UM)** por **cada kilómetro** y por **cada sentido de circulación**, realizando **un ensayo de 400 m en cada kilómetro, tanto en ida como en vuelta**. Este criterio asumido para unidad de muestreo hace que cada valor de IRI corresponda al **mismo tramo de 400 m por kilómetro y sentido**, lo que **facilita la comparabilidad**, el **control de calidad** de las mediciones.

Las **mismas unidades de muestreo** se emplean 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 (400 m por kilómetro**

y por sentido) asegura **coherencia** entre ambos indicadores y facilita la **consolidación** y **priorización** de intervenciones por kilómetro.

Tabla N° 14.- Unidades de muestreo (IRI, PSI)

TRAMO GENERAL Prog. (0+000 - 10+000)					
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
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 detallará el procedimiento utilizado para evaluar la rugosidad del pavimento mediante el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

3.3.2.2 Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín

Inicialmente, se procedió con la calibración del equipo Merlín, a fin de garantizar la precisión de las mediciones. La evaluación se llevó a cabo a lo largo del tramo total de 10 kilómetros, realizando en cada kilómetro un ensayo de 400 metros para proceder a la recolección de las desviaciones del tramo. Las mediciones se efectuaron a intervalos de 2 metros a lo largo de los 400 metros en ambos carriles, específicamente sobre las dos huellas de rodadura correspondientes al paso de los vehículos.

A continuación, se detallará el proceso de cálculo de un tramo.



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 DEL TRAMO ESTACIÓN DE SERVICIO EL PORTILLO - COLEGIO SANTA ANA"

SOLICITANTE: ADRIAN CHINURI CAMARGO

MUESTRA: PAVIMENTO FLEXIBLE

TRAMO: ESTACIÓN DE SERVICIO EL PORTILLO - COLEGIO SANTA ANA

FECHA DE REALIZACIÓN: 23 de abril de 2025

**EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)**

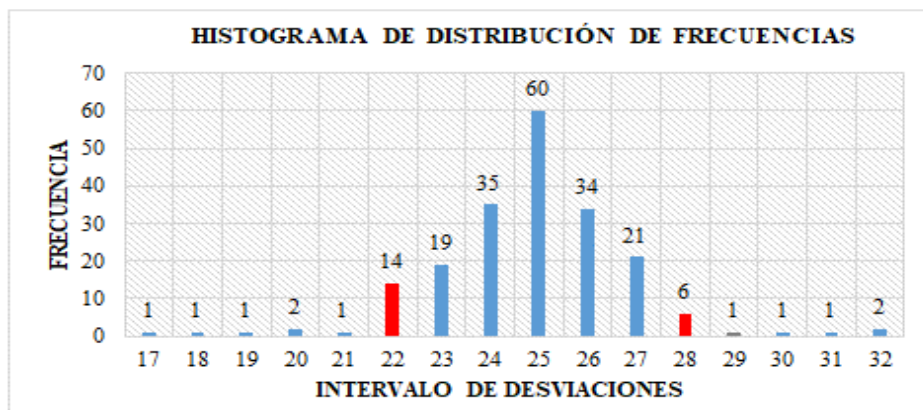
Tramo: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana

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



Cálculos y resultados

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(14-4)}{14} + 5 + \frac{(6-5)}{6} \right) * 5 \text{ [mm]}$$
$$D = 29.40 \text{ mm}$$

Cálculo factor de corrección f_c :

Donde:

$$\begin{array}{lcl} E_p = & 6.2 & \\ L_i = & 25 & \\ L_f = & 10 & \end{array} \quad f_c = \left(\frac{(E_p * 10)}{(L_i - L_f) * 5} \right) = \left(\frac{(6.2 * 10)}{(25 - 10) * 5} \right)$$

$$f_c = 0.83 \text{ mm}$$

Cálculo del rango corregido D_c :

$$D_c = D * f_c = 29.40 * 0.83$$

$$D_c = 24.31 \text{ mm}$$

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

Determinación del I.R.I.:

Para pavimentos nuevos:

$$\text{I. R. I.} = 0,0485 * D_c \longrightarrow (\text{IRI} < 2.4)$$

Para pavimentos en servicio:

$$\text{I. R. I.} = 0,593 + 0,0471 * D_c \longrightarrow (2.4 < \text{IRI} < 15.9)$$

Aplicando la fórmula para pavimentos en servicio:

$$\text{I. R. I.} = 0,593 + 0,0471 * D_c \longrightarrow \text{I. R. I.} = 0,593 + 0,0471 * 24.31$$

$$\text{I.R.I.} = 1.74 \text{ m/km} \longrightarrow \text{Excelente}$$

Tabla N° 15.- 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° 16.- Rango de rugosidad

Resultados del IRI de todo el tramo (ida).

N°	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	0+000	0+400	1.74	Excelente
2	1+000	1+400	1.67	Excelente
3	2+000	2+400	1.61	Excelente
4	3+000	3+400	1.89	Excelente
5	4+000	4+400	1.76	Excelente
6	5+000	5+400	1.75	Excelente
7	6+000	6+400	1.66	Excelente
8	7+000	7+400	1.72	Excelente
9	8+000	8+400	1.78	Excelente
10	9+000	9+400	1.82	Excelente
Promedio			1.74	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 17.- Rango de rugosidad

Resultados del IRI de todo el tramo (Vuelta).

N°	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	9+000	9+400	1.88	Excelente
2	8+000	8+400	1.72	Excelente
3	7+000	7+400	1.76	Excelente
4	6+000	6+400	1.86	Excelente
5	5+000	5+400	1.69	Excelente
6	4+000	4+400	1.79	Excelente
7	3+000	3+400	1.87	Excelente
8	2+000	2+400	1.73	Excelente
9	1+000	1+400	1.65	Excelente
10	0+000	0+400	1.76	Excelente
Promedio			1.77	Excelente

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3 Imágenes Del ensayo de IRI

Figura N° 77.- 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° 78.- 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° 79.- Lectura con el equipo Merlín



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

Para determinar la serviciabilidad del pavimento, se realizaron mediciones del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) utilizando el equipo Merlín. La recolección de datos se efectuó en ambos sentidos de circulación a lo largo de la vía. El rugosímetro Merlín proporciona, por cada tramo de 400 metros, el valor del IRI y su correspondiente histograma de frecuencias. A partir de los valores obtenidos del IRI, se calcula el Índice de Serviciabilidad del Pavimento (PSI) empleando las ecuaciones correspondientes.

Conversión del IRI al PSI

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

A continuación, se muestra un ejemplo del cálculo del PSI con las progresivas de inicio 0+000, progresiva final 0+400:

Con el resultado obtenido mediante el método del IRI en la misma progresivas se procede a reemplazar en las fórmulas propuestas para el presente proyecto para la obtención del PSI.

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

IRI	1.74
-----	------

- Ecuación según William Paterson (1987)

$$PSI_1 = 5.85 - (168 * IRI^{0.5}) = 5.85 - (1.68 * 1.74^{0.5})$$

$$PSI_1 = 3.64$$

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

$$PSI_2 = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5.5}}} = \frac{5}{\frac{1.74}{e^{5.5}}}$$

$$PSI_2 = 3.65$$

- Ecuación según William Paterson (1987)

$$PSI_3 = (4.182 - 0.455(IRI)) = 4.182 - 0.455(1.74)$$

$$PSI_3 = 3.39$$

A continuación, procedemos a obtener un PSI promedio:

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

$$PSI_{prom} = \left(\frac{3.64 + 3.65 + 3.39}{3} \right)$$

$$PSI_{prom} = 3.56$$

Rango	Calificación
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

PSI=	3.56	Muy Bueno
------	------	-----------

Se obtuvo un valor promedio de 3.56 para el tramo de la vía, calificándola como una vía Muy Bueno.

Tabla N° 18.- Total de datos obtenidos de resultados del PSI

N°	Progresiva		Carril y lado	IRI (m/km)	PSI	Calificación de serviciabilidad
	Inicial	final				
1	0+000	0+400	Derecho (ida)	1.74	3.56	Muy Bueno
2	1+000	1+400	Derecho (ida)	1.67	3.60	Muy Bueno
3	2+000	2+400	Derecho (ida)	1.61	3.63	Muy Bueno
4	3+000	3+400	Derecho (ida)	1.89	3.47	Bueno
5	4+000	4+400	Derecho (ida)	1.76	3.55	Muy Bueno
6	5+000	5+400	Derecho (ida)	1.75	3.55	Muy Bueno
7	6+000	6+400	Derecho (ida)	1.66	3.60	Muy Bueno
8	7+000	7+400	Derecho (ida)	1.72	3.57	Muy Bueno
9	8+000	8+400	Derecho (ida)	1.78	3.53	Muy Bueno
10	9+000	9+400	Derecho (ida)	1.82	3.51	Muy Bueno
11	9+000	9+400	Izquierdo (vuelta)	1.88	3.47	Bueno
12	8+000	8+400	Izquierdo (vuelta)	1.72	3.57	Muy Bueno
13	7+000	7+400	Izquierdo (vuelta)	1.76	3.55	Muy Bueno
14	6+000	6+400	Izquierdo (vuelta)	1.86	3.49	Bueno
15	5+000	5+400	Izquierdo (vuelta)	1.69	3.59	Muy Bueno
16	4+000	4+400	Izquierdo (vuelta)	1.79	3.52	Muy Bueno
17	3+000	3+400	Izquierdo (vuelta)	1.87	3.48	Bueno
18	2+000	2+400	Izquierdo (vuelta)	1.73	3.56	Muy Bueno
19	1+000	1+400	Izquierdo (vuelta)	1.65	3.61	Muy Bueno
20	0+000	0+400	Izquierdo (vuelta)	1.76	3.54	Muy Bueno
Promedio					3.55	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

3.4 Evaluación estructural

Para la evaluación estructural se realizó, 20 puntos en el lado izquierdo y lado derecho. Separados cada 500 metros intercalando con las progresivas.

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 9,210 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° 19.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (IDA)

(N°)	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	4	4	2	2	0	23.0	27.0	5.00
2	0+500	6	2	2	1	2	0	23.0	27.0	5.00
3	1+000	4	1	2	2	2	0	25.0	29.0	5.00
4	1+500	6	2	2	2	2	0	25.0	29.0	5.00
5	2+000	4	2	2	2	2	0	27.0	30.0	5.00
6	2+500	4	3	2	2	2	0	28.0	33.0	5.00
7	3+000	3	2	2	2	2	0	28.0	33.0	5.00
8	3+500	8	6	4	2	2	0	29.0	35.0	5.00
9	4+000	10	6	2	2	2	0	29.0	36.0	5.00
10	4+500	6	4	2	2	2	0	29.0	37.0	5.00
11	5+000	4	4	2	2	2	0	31.0	39.0	5.00
12	5+500	6	4	4	2	2	0	32.0	40.0	5.00
13	6+000	8	6	4	2	2	0	34.0	41.0	5.00
14	6+500	8	6	2	2	2	0	34.0	42.0	5.00
15	7+000	6	4	4	2	2	0	34.0	43.0	5.00
16	7+500	4	4	2	2	2	0	35.0	45.0	5.00
17	8+000	8	6	4	2	2	0	36.0	47.0	5.00
18	8+500	6	4	2	2	2	0	36.0	48.0	5.00
19	9+000	4	2	2	2	2	0	37.0	51.0	5.00
20	9+500	6	4	4	2	2	0	38.0	52.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (VUELTA)

(N°)	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	9+500	3	2	2	2	2	0	37.0	52.0	5.00
2	9+000	4	2	2	2	2	0	36.0	51.0	5.00
3	8+500	5	4	4	2	2	0	36.0	50.0	5.00
4	8+000	4	2	2	2	2	0	35.0	49.0	5.00
5	7+500	3	2	2	2	2	0	35.0	49.0	5.00
6	7+000	6	4	2	2	2	0	35.0	49.0	5.00
7	6+500	6	4	4	2	2	0	34.0	48.0	5.00
8	6+000	4	2	2	2	2	0	34.0	48.0	5.00
9	5+500	5	4	2	2	2	0	34.0	47.0	5.00
10	5+000	3	2	2	2	2	0	33.0	47.0	5.00
11	4+500	6	4	2	2	2	0	33.0	47.0	5.00
12	4+000	6	4	2	2	2	0	32.0	46.0	5.00
13	3+500	4	2	2	2	2	0	32.0	45.0	5.00
14	3+000	6	4	4	2	2	0	32.0	44.0	5.00
15	2+500	4	2	2	2	2	0	31.0	44.0	5.00
16	2+000	6	4	2	2	2	0	31.0	43.0	5.00
17	1+500	8	6	4	2	2	0	31.0	42.0	5.00
18	1+000	6	4	2	2	2	0	34.0	42.0	5.00
19	0+500	5	4	4	2	2	0	34.0	41.0	5.00
20	0+000	6	2	2	2	2	0	32.0	40.0	5.00

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:

(N°)	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	4	4	2	2	0	23.0	27.0	5.00

$$D_0 = 4 * L_0$$

$$D_0 = 4 * 5$$

$$D_0 = 20 * 10^{-2} \text{mm}$$

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.

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

$$\text{Dot} = \frac{20}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (27 - 20^{\circ}\text{C}) * 5 + 1}$$

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

Deflexión a 50 cm:

$$\text{D50} = 4 * (\text{Lf} - \text{L50})$$

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

$$\text{D50} = 4.00 * 10^{-2}\text{mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

$$\text{D50t} = \frac{\text{D50}}{\text{K} * (\text{t} - 20^{\circ}\text{C}) * \text{e} + 1}$$

$$\text{D50t} = \frac{4}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (27 - 20^{\circ}\text{C}) * 5 + 1}$$

$$\text{D50t} = 3.86 * 10^{-2}\text{mm}$$

Radio de curvatura

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

$$\text{Rc} = \frac{6250}{2 * (19.32 - 3.86)}$$

$$\text{Rc} = 202.15 \text{ m}$$

Tabla N° 21.- Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
"LABORATORIO DE ASFALTOS"



PROYECTO: "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible Del Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana"

TRAMO: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana

PROG.: 0+000 a 10+000

CARRIL: DERECHO (IDA)

FECHA: 17 de mayo 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	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	19.32	3.86	202.15	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	1	2	2	2	0	16.00	12.00	781	15.31	11.48	816.41	25.0	29.0	5.00
4	1+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	22.97	15.31	408.20	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	3	2	2	2	0	16.00	4.00	260	15.02	3.76	277.34	28.0	33.0	5.00
7	3+000	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	11.27	3.76	416.02	28.0	33.0	5.00
8	3+500	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	29.77	7.44	139.97	29.0	35.0	5.00
9	4+000	10	6	2	2	2	0	40.00	16.00	130	37.04	14.81	140.63	29.0	36.0	5.00
10	4+500	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	22.12	7.37	211.91	29.0	37.0	5.00
11	5+000	4	4	2	2	2	0	16.00	0.00	195	14.61	0.00	213.87	31.0	39.0	5.00
12	5+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.82	7.27	214.84	32.0	40.0	5.00
13	6+000	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.96	7.24	143.88	34.0	41.0	5.00
14	6+500	8	6	2	2	2	0	32.00	8.00	130	28.83	7.21	144.53	34.0	42.0	5.00
15	7+000	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.52	7.17	217.77	34.0	43.0	5.00
16	7+500	4	4	2	2	2	0	16.00	0.00	195	14.22	0.00	219.73	35.0	45.0	5.00
17	8+000	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.19	7.05	147.79	36.0	47.0	5.00
18	8+500	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.05	7.02	222.66	36.0	48.0	5.00
19	9+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.85	6.93	451.17	37.0	51.0	5.00
20	9+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	20.69	6.90	226.56	38.0	52.0	5.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22.- Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
"LABORATORIO DE ASFALTOS"



PROYECTO: "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible Del Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana"			
TRAMO: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana	PROG.: 0+000 a 10+000	CARRIL: IZQUIERDO (VUELTA)	FECHA: 17 de mayo 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	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.85	6.93	451.17	36.0	51.0	5.00
3	8+500	5	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	17.39	3.48	224.61	36.0	50.0	5.00
4	8+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.97	6.99	447.27	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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	20.96	6.99	223.63	35.0	49.0	5.00
7	6+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.05	7.02	222.66	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	4	2	2	2	0	20.00	4.00	195	17.62	3.52	221.68	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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.15	7.05	221.68	33.0	47.0	5.00
12	4+000	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.24	7.08	220.70	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	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.43	7.14	218.75	32.0	44.0	5.00
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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.52	7.17	217.77	31.0	43.0	5.00
17	1+500	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.83	7.21	144.53	31.0	42.0	5.00
18	1+000	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.62	7.21	216.80	34.0	42.0	5.00
19	0+500	5	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	18.10	3.62	215.82	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° 80.- Pesaje de la volqueta en la balanza electrónica



BALANZA "MENDOZA" N° 7513
KM 7.5 CARRETERA AL CHACO
CEL. 70218371 - 75128566 Ingreso: 15/5/2025 8:48:58 AM
Tarija - Bolivia Salida:

BRUTO: 9.210	TARA: 0	NETO: 0	QQ.: 0,00
--------------	---------	---------	-----------

Vendedor: ELIAS ROMERO
Comprador: ADRIAN CHINURI CAMARGO
Chofer: ELIAS ROMERO C.I.N.S
Placa: 134 TFP VOLVO AMARILLO
Tipo Vehiculo: VOLQUETA
Material: VOLQUETA
Monto Bs: 50
Observacion:

ENCARGADO BALANZA
JALDIN MELVA

CLIENTE

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 81.- Calibración del equipo

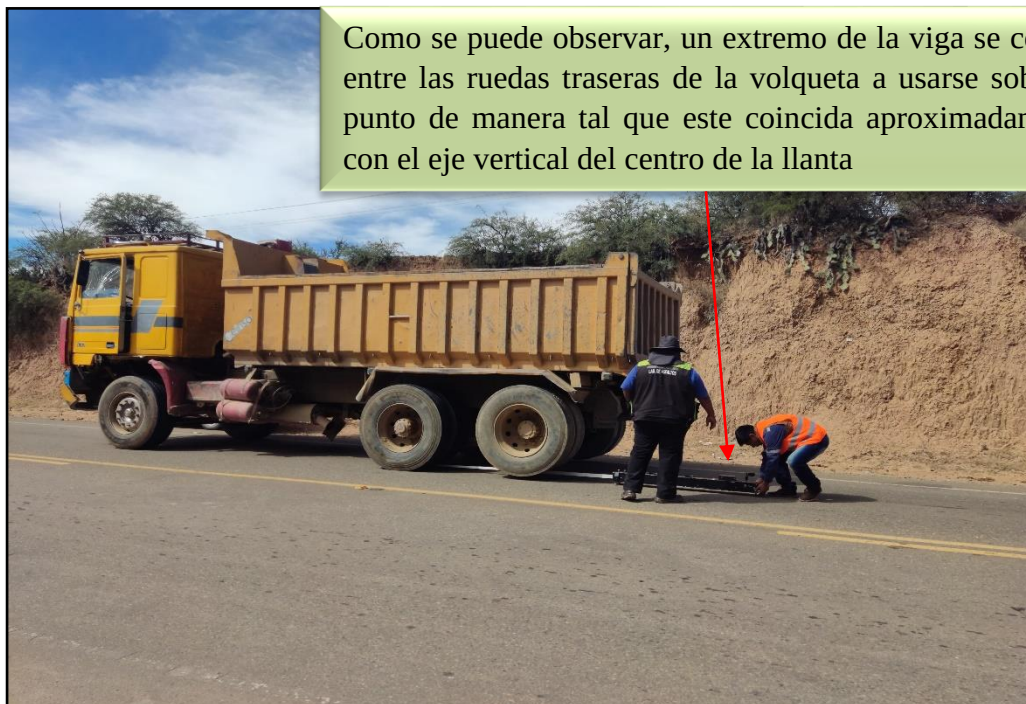
Se realizó la calibración de la viga Benkelman para garantizar la precisión de la toma de datos del ensayo.



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 82.- Ensayo de la viga Benkelman

Como se puede observar, un extremo de la viga se colocó entre las ruedas traseras de la volqueta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de la llanta



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 83.- Marcado de distancias

En cada punto de ensayo se registraron lecturas las marcaciones están a distancias de (0.0 – 0.5 – 1.0 – 1.5 – 2.0 – 5.0) m



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 84.- Lectura de temperatura

En cada punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las operaciones descritas a lo largo de ambos carriles tanto de ida y vuelta.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados evaluación superficial

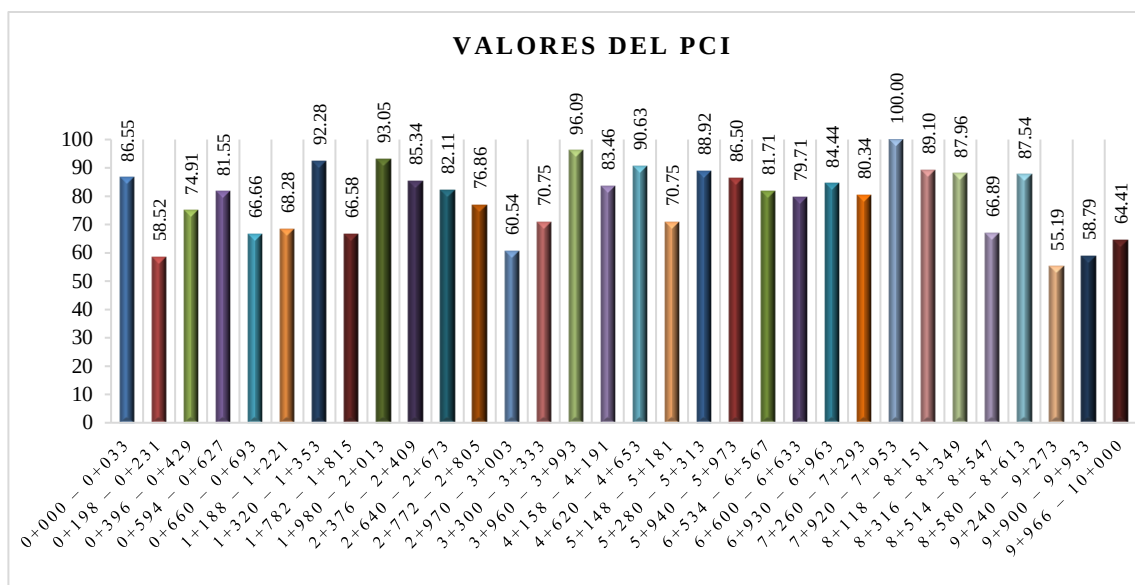
4.1.1 Resultados método PCI.

Tabla N° 23.- Resultados de todo el tramo de PCI.

Tramo de evaluación		Índice de condición de pavimento	Condición del pavimento
Unidad Muestra	Progresiva inicial - final	Valor del PCI	Calificación
U.M 1	0+000 – 0+033	86.55	Excelente
Adic. 1	0+198 – 0+231	58.52	Bueno
Adic. 2	0+396 – 0+429	74.91	Muy Bueno
Adic. 3	0+594 – 0+627	81.55	Muy Bueno
U.M 2	0+660 – 0+693	66.66	Bueno
Adic. 4	1+188 – 1+221	68.28	Bueno
U.M 3	1+320 – 1+353	92.28	Excelente
Adic. 5	1+782 – 1+815	66.58	Bueno
U.M 4	1+980 – 2+013	93.05	Excelente
Adic. 6	2+376 – 2+409	85.34	Excelente
U.M 5	2+640 – 2+673	82.11	Muy Bueno
Adic. 7	2+772 – 2+805	76.86	Muy Bueno
Adic. 8	2+970 – 3+003	60.54	Bueno
U.M 6	3+330 – 3+333	70.75	Muy Bueno
U.M 7	3+960 – 3+993	96.09	Excelente
Adic. 9	4+158 – 4+191	83.46	Muy Bueno
U.M 8	4+620 – 4+653	90.63	Excelente
Adic. 10	5+148 – 5+181	70.75	Muy Bueno
U.M 9	5+280 – 5+313	88.92	Excelente
U.M 10	5+940 – 5+973	86.50	Excelente
Adic. 11	6+534 – 6+567	81.71	Muy Bueno
U.M 11	6+600 – 6+633	79.71	Muy Bueno
Adic. 12	6+930 – 6+963	84.44	Muy Bueno
U.M 12	7+260 – 7+293	80.34	Muy Bueno
U.M 13	7+920 – 7+953	100.00	Excelente
Adic. 13	8+118 – 8+151	89.10	Excelente
Adic. 14	8+316 – 8+349	87.96	Excelente
Adic. 15	8+514 – 8+547	66.89	Bueno
U.M 14	8+580 – 8+613	87.54	Excelente
U.M 15	9+240 – 9+273	55.19	Bueno
U.M 16	9+900 – 9+933	58.79	Bueno
Adic. 16	9+966 – 10+000	64.41	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°2: Resultados de todo el tramo general



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Análisis resultados PCI para el proyecto

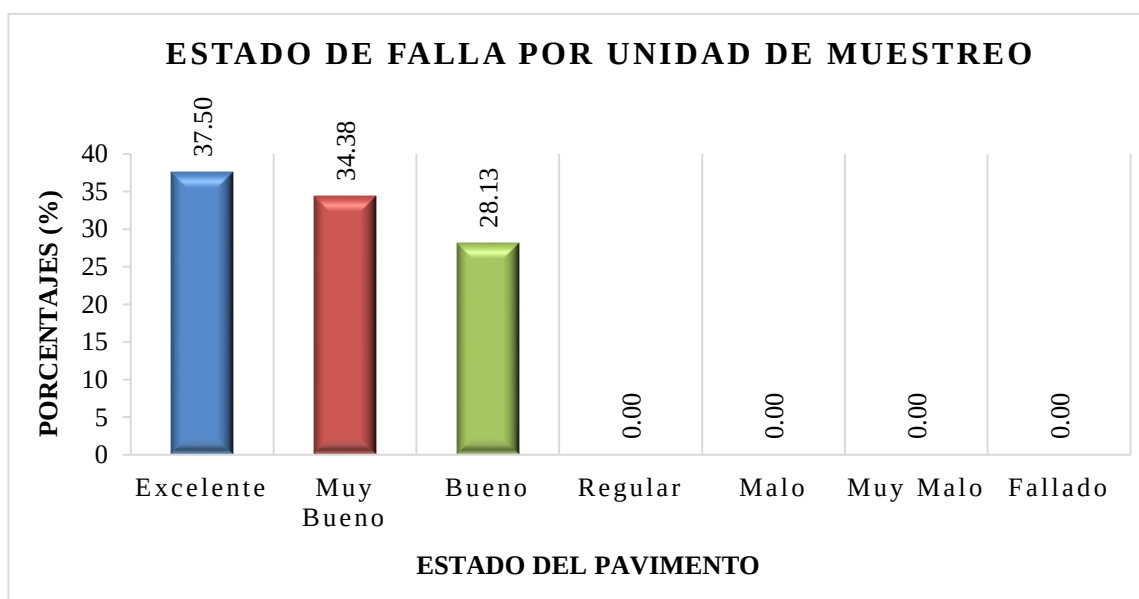
Considerando las unidades de muestreo y las muestras adicionales, se registraron 12 sectores en estado Excelente, 11 en Muy Bueno y 9 en Bueno, sumando 32 unidades evaluadas. Esto implica que el 100 % del tramo se encuentra en condición Buena o superior (37,5 % Excelente, 34,38 % Muy Bueno y 28,13 % Bueno), sin sectores Malo, Muy Malo ni Fallado. En consecuencia, la vía presenta un buen estado general y requiere principalmente acciones de mantenimiento rutinario (sellado de grietas y tratamientos superficiales).

Tabla N° 24.- Estados del pavimento en porcentaje

Estado	Unidad de muestreo	%
Excelente	12	37.50
Muy Bueno	11	34.38
Bueno	9	28.13
Regular	0	0.00
Malo	0	0.00
Muy Malo	0	0.00
Fallado	0	0.00
TOTAL	32	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°3: Estado de falla por unidad de muestreo



Fuente: Elaboración propia

La presente tabla nos muestra el índice de condición de pavimento para todo el tramo de estudio “**Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**”

Tabla N° 25.- Resultado promedio del tramo evaluado en general

Progresivas Inicial-Final	Valor de PCI (promedio)	Calificación
0+000 – 10+000	78.64	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final de todo el proyecto se encuentra en “muy bueno”, con un PCI= 78.64 de todo el tramo estudiado, dejando en claro que el estudio realizado del tramo vial se encuentra en buenas condiciones de circulación.

Análisis de resultados según el porcentaje de cada tipo de falla de todo el tramo

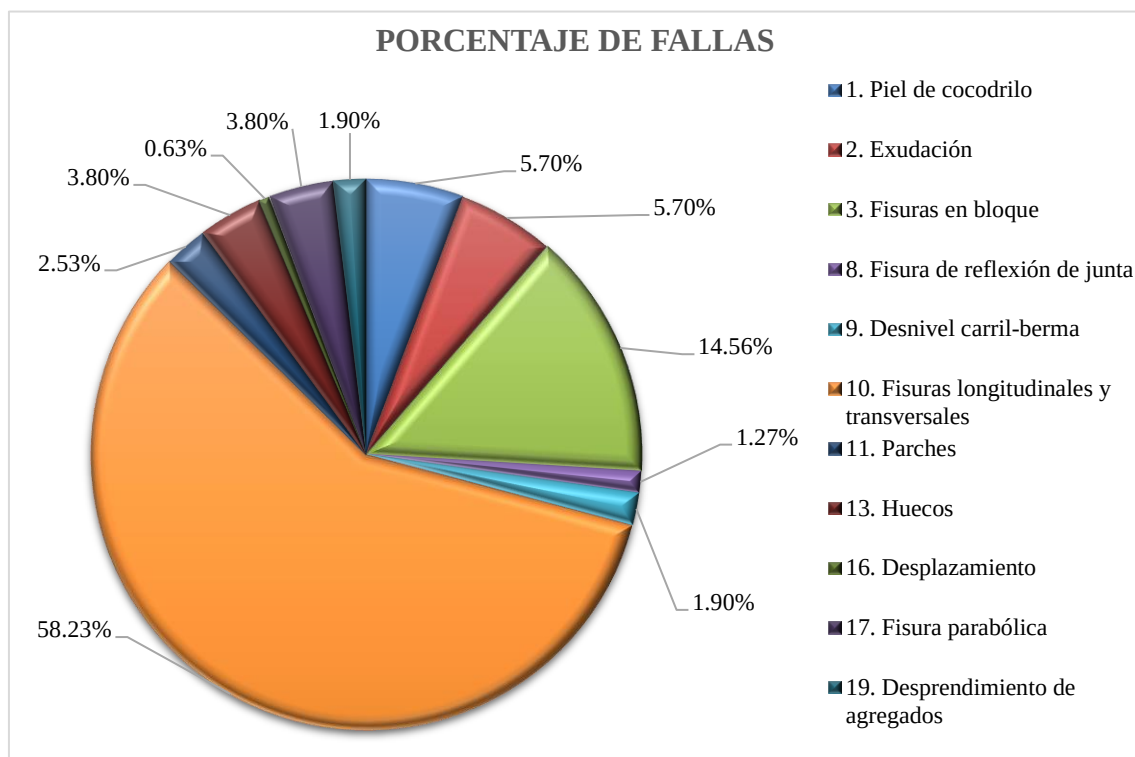
Después del análisis de resultado del método PCI se procede a analizar el porcentaje de fallas de todo el tramo “**Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**” para su posible determinación de un plan de mejoras de cada falla encontrada en el tramo de estudio.

Tabla N° 26.- Porcentaje de fallas más representativas en general

Tipos de Fallas	Unidad	Unidad de muestras afectadas	% de Fallas
1. Piel de cocodrilo	m ²	9	5.70%
2. Exudación	m ²	9	5.70%
3. Fisuras en bloque	m ²	23	14.56%
8. Fisura de reflexión de junta	m	2	1.27%
9. Desnivel carril-berma	m	3	1.90%
10. Fisuras longitudinales y transversales	m	92	58.23%
11. Parches	m ²	4	2.53%
13. Huecos	#	6	3.80%
16. Desplazamiento	m ²	1	0.63%
17. Fisura parabólica	m ²	6	3.80%
19. Desprendimiento de agregados	m ²	3	1.90%
TOTAL		158	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°4: Panel de fallas en general



Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 26** y la **Gráfica 4** presentan las fallas predominantes en el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, destacando las **fisuras longitudinales y transversales** como las más representativas, con un **58,23 %** del total. Otra falla

considerable es el **agrietamiento en bloque**, que representa un **14,56 %**. El resto de los deterioros, como la **piel de cocodrilo**, **exudación**, **hundimientos**, **parches**, **desprendimiento de agregados**, entre otros, tienen porcentajes significativamente menores, oscilando entre el **0,63 %** y el **5,70 %**. Debido a su baja incidencia, el análisis se centrará en las dos fallas más relevantes identificadas en el tramo.

Agrietamiento en bloque: Este tipo de falla está asociado principalmente al envejecimiento de la carpeta asfáltica. La pérdida de flexibilidad por la oxidación del asfalto, junto con la contracción térmica, provoca la división de la superficie en bloques de forma rectangular. También puede ser resultado de una deficiente adherencia entre capas o de mezclas asfálticas mal diseñadas. Su aparición es indicativa de un proceso avanzado de deterioro que se ve agravado por la acción del agua y las cargas repetidas del tránsito, lo que acelera el daño.

Fisuras longitudinales y transversales: Con un **58,23 %** de incidencia, estas fisuras representan la patología más significativa del tramo evaluado. Generalmente, se originan por juntas de carril mal ejecutadas, contracción térmica de la superficie o endurecimiento del asfalto con el tiempo. También están influenciadas por el incremento del tránsito vehicular. Al no recibir mantenimiento oportuno, estas fisuras permiten la entrada de agua, lo que acelera el deterioro de la carpeta asfáltica. En gran parte del tramo, se observó que este tipo de fallas es consecuencia del desgaste progresivo de la superficie de rodadura.

4.2 Evaluación superficial con el método IRI

Con base en el análisis de los datos recolectados y considerando el valor del IRI obtenido para el tramo en estudio, se destaca lo siguiente:

4.2.1 Resultados parciales del método IRI

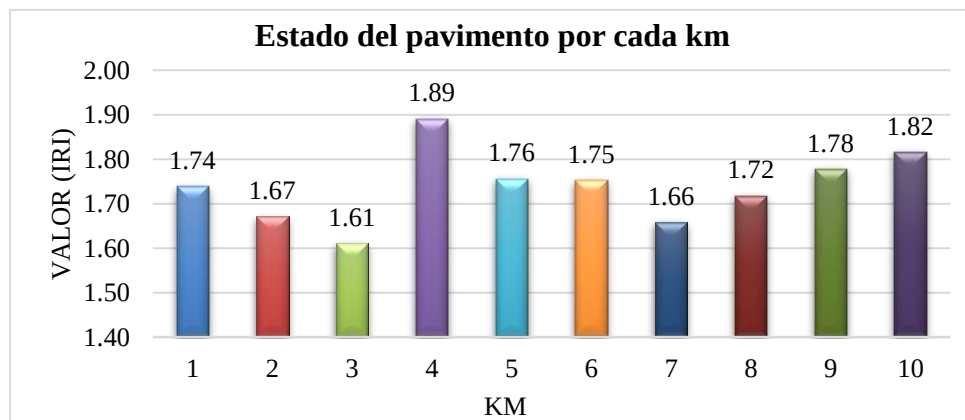
Se presenta un resumen de los resultados obtenidos mediante la metodología del **IRI** para el tramo de **ida y vuelta**. Los valores obtenidos para ambos carriles fueron evaluados y clasificados, proporcionando una visión del estado del pavimento de todo el tramo.

Tabla N° 27.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (Ida)

KM	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	0+000	0+400	1.74	Excelente
2	1+000	1+400	1.67	Excelente
3	2+000	2+400	1.61	Excelente
4	3+000	3+400	1.89	Excelente
5	4+000	4+400	1.76	Excelente
6	5+000	5+400	1.75	Excelente
7	6+000	6+400	1.66	Excelente
8	7+000	7+400	1.72	Excelente
9	8+000	8+400	1.78	Excelente
10	9+000	9+400	1.82	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°5: Estado del pavimento por kilómetro evaluado



Fuente: Elaboración propia

Carril de ida (derecho). El IRI se mantuvo entre **1,61 y 1,89 m/km**, con el **máximo en 3+000–3+400 (1,89 m/km)** y el **mínimo en 2+000–2+400 (1,61 m/km)**. Todos los segmentos quedaron **por debajo de 2,0 m/km**, por lo que la rugosidad del carril de ida se clasifica como **Excelente**, recomendándose solo conservación rutinaria y seguimiento del subtramo con el valor más alto.

Carril de vuelta (izquierdo). El IRI se mantuvo entre 1,60 y 1,90 m/km, con un **máximo puntual por debajo de 1,90 m/km** y un **mínimo cercano a 1,60 m/km**. En ningún caso se superó **2,0 m/km**, por lo que la rugosidad del carril de vuelta se clasifica como **Excelente**; se recomienda **conservación rutinaria** y **seguimiento** del subtramo con el valor más alto en este sentido.

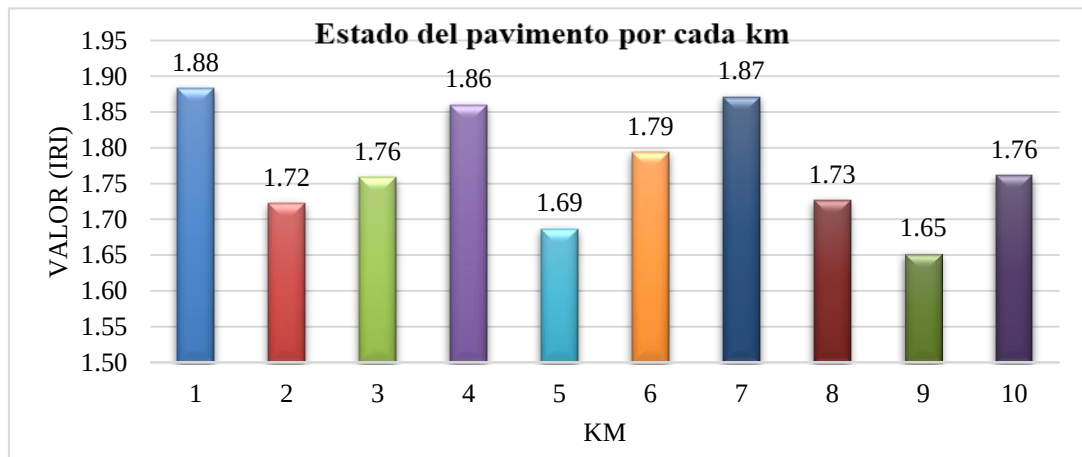
En la siguiente tabla se muestra los resultados y la gráfica del **Carril de vuelta (izquierdo)**.

Tabla N° 28.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (Vuelta)

KM	Progresiva		IRI (m/km)	Calificación
	Inicial	final		
1	9+000	9+400	1.88	Excelente
2	8+000	8+400	1.72	Excelente
3	7+000	7+400	1.76	Excelente
4	6+000	6+400	1.86	Excelente
5	5+000	5+400	1.69	Excelente
6	4+000	4+400	1.79	Excelente
7	3+000	3+400	1.87	Excelente
8	2+000	2+400	1.73	Excelente
9	1+000	1+400	1.65	Excelente
10	0+000	0+400	1.76	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°6: Estado del pavimento por kilómetro evaluado



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 29.- Resultado del tramo evaluado en general

Progresiva		IRI (Promedio) (m/km)	Calificación
Inicial	final		
0+000	10+000	1.76	Excelente

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Análisis de los resultados del método IRI.

El valor promedio del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para la totalidad del tramo evaluado es de **1.76 m/km**, ubicándose dentro del rango de **0.0-2.0 m/km**, correspondiente a una **calificación de "Excelente"**. Este resultado indica que las condiciones de rodadura del pavimento son óptimas, garantizando un adecuado nivel de confort y seguridad.

4.3 Evaluación superficial con el método PSI

A partir de la correlación establecida entre el Índice Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice Serviciabilidad de Pavimento (PSI), se destacan los siguientes resultados del tramo.

4.3.1 Resultados parciales del método PSI

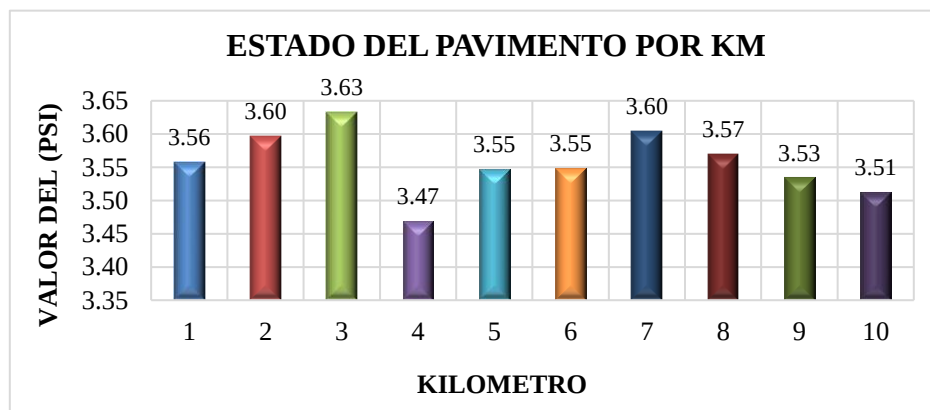
En este método se presenta un resumen de los resultados evaluados por cada kilómetro del tramo tanto de IDA y VUELTA, que se correlaciona con el método IRI para su obtención.

Tabla N° 30.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (IDA)

N°	Progresiva		Carril y lado	PSI	Calificación
	Inicial	final			
1	0+000	0+400	Derecho (ida)	3.56	Muy Bueno
2	1+000	1+400	Derecho (ida)	3.60	Muy Bueno
3	2+000	2+400	Derecho (ida)	3.63	Muy Bueno
4	3+000	3+400	Derecho (ida)	3.47	Bueno
5	4+000	4+400	Derecho (ida)	3.55	Muy Bueno
6	5+000	5+400	Derecho (ida)	3.55	Muy Bueno
7	6+000	6+400	Derecho (ida)	3.60	Muy Bueno
8	7+000	7+400	Derecho (ida)	3.57	Muy Bueno
9	8+000	8+400	Derecho (ida)	3.53	Muy Bueno
10	9+000	9+400	Derecho (ida)	3.51	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°7: Resultados del tramo por kilómetro (IDA)



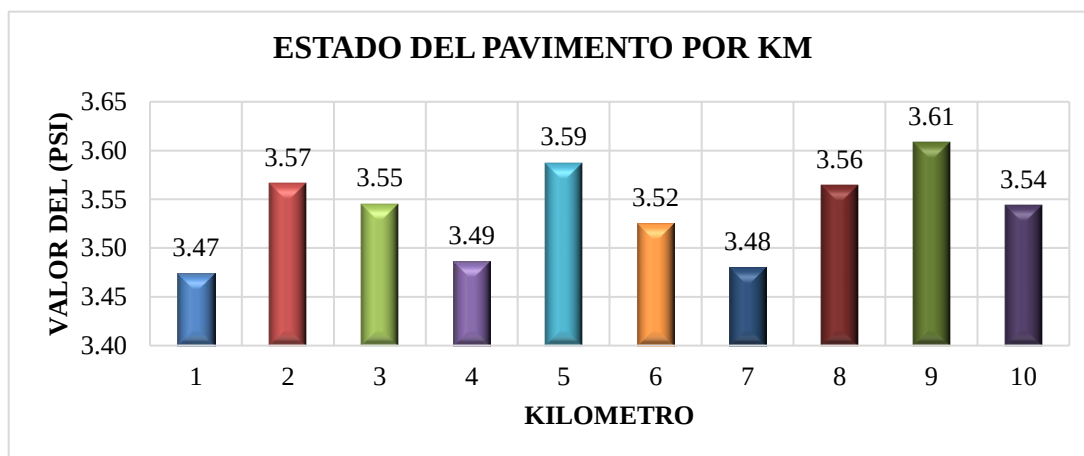
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (VUELTA)

N°	Progresiva		Carril y lado	PSI	Calificación
	Inicial	final			
11	9+000	9+400	Izquierdo (vuelta)	3.47	Bueno
12	8+000	8+400	Izquierdo (vuelta)	3.57	Muy Bueno
13	7+000	7+400	Izquierdo (vuelta)	3.55	Muy Bueno
14	6+000	6+400	Izquierdo (vuelta)	3.49	Bueno
15	5+000	5+400	Izquierdo (vuelta)	3.59	Muy Bueno
16	4+000	4+400	Izquierdo (vuelta)	3.52	Muy Bueno
17	3+000	3+400	Izquierdo (vuelta)	3.48	Bueno
18	2+000	2+400	Izquierdo (vuelta)	3.56	Muy Bueno
19	1+000	1+400	Izquierdo (vuelta)	3.61	Muy Bueno
20	0+000	0+400	Izquierdo (vuelta)	3.54	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°8: Resultados del tramo por kilómetro (VUELTA)



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 32.- Resultado promedio del tramo evaluado en general

Progresiva		PSI (Promedio)	Calificación de serviciabilidad
Inicial	final		
0+000	10+000	3.55	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Análisis de resultados del método PSI

La **tabla 30 y 31** muestra los resultados obtenidos por cada kilómetro evaluado a lo largo del tramo, en la **tabla 32** muestra el resultado general evaluado de ambos carriles con un valor promedio de **3.55** que, según la clasificación, el pavimento en general, se encuentra en un estado de **MUY BUENO**, es decir el tramo a pesar de las fallas que presenta, tiene una condición Muy buena.

Según las **Gráficas 7 y 8**, y de acuerdo con los parámetros de calificación, el sub tramo más crítico se encuentra en el **kilómetro 4** para el carril de **ida** y en el **kilómetro 1** para el carril de **vuelta**. Las mejoras, ya sea de refacción o reparación, deben ser puntuales y enfocarse en las secciones más deterioradas, sin necesidad de intervenir toda la plataforma.

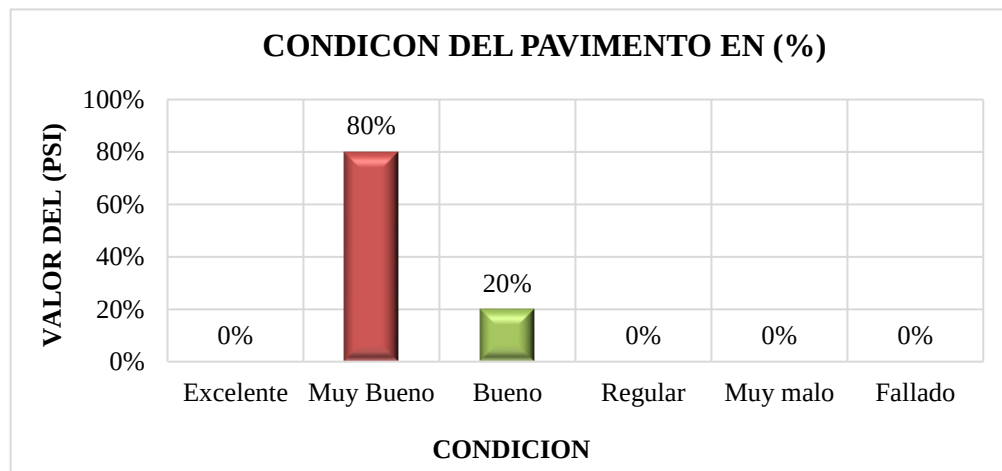
En la **Tabla 33** y la **Gráfica 9**, se muestra la distribución porcentual de los estados de serviciabilidad para este método. Se destaca que el estado **Muy Bueno** es el más frecuente en el tramo, representando un **80%** de la evaluación.

Tabla N° 33.- Estados de serviciabilidad en porcentaje

Estado de pavimento	Secciones de muestreo	%
Excelente	0	0
Muy Bueno	16	80
Bueno	4	20
Regular	0	0
Muy malo	0	0
Fallado	0	0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°9: Estado del pavimento por unidad de muestra



Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de la relación PCI, IRI y PSI

Después de haber realizado los cálculos y llegar a los resultados de los índices que indicarán el estado del pavimento, los mismos están relacionados de acuerdo a sus valores, en el cuadro siguiente mostramos los rangos de comparación de los tres métodos planteados al inicio de este trabajo. Este cuadro es planteado por las normas ASHTO, para poder comparar los resultados obtenidos.

Los rangos que relacionan estos índices van desde un pavimento muy bueno hasta uno que está fallado.

Tabla N° 34.- Rango de relación IRI, PCI, PSI.

IRI (m/km)	PCI	Clasificación	PSI	Descripción
0 – 1,60	90 – 100	Muy bueno, excelente	3,00 – 5,00	El pavimento es nuevo.
1,60 – 2,80	60 – 90	Muy Bueno, Bueno	2,50 – 3,00	El pavimento de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones.
2,80 – 5,20	40 – 60	Regular	1,00 – 2,50	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.
2,80 – 5,20	20 – 40	Muy pobre	1,00 – 2,50	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones 20-40 mm cada 5 m 10-20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
5,20 – 8,80	0 – 20	Fallado	0,40 – 1,00	Pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales ($\geq 20\text{mm}/3\text{m}$) baches frecuentes (15 – 20 baches cada 50m, 15% de baches).

Fuente: Norma ASTHO

Para la evaluación del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** se utilizaron como base los parámetros IRI y PCI, lo que permitió obtener una visión más precisa del estado actual del pavimento.

A partir de los métodos aplicados, se obtuvo un valor promedio de PCI de **78.64**, el cual, conforme a la normativa, clasifica al tramo como **MUY BUENO**. Por otro lado, el valor

promedio del IRI fue de 1.76, lo que igualmente indica que el pavimento se encuentra en **estado EXCELENTE**. Además, aplicando las ecuaciones de correlación entre IRI y PSI, se estimó un valor de PSI de 3.55, lo que refleja que la **serviciabilidad del pavimento es MUY BUENA**.

4.4.1 Diagnóstico general superficial del estado del pavimento

Una vez procesados y evaluados los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas, y realizada la respectiva clasificación del estado del pavimento según cada criterio de evaluación, se presenta a continuación un cuadro resumen con dichos resultados. Asimismo, se establece una valoración global del estado del pavimento correspondiente al tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**.

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

Método	Rango	Clasificación
PCI	78.64	Muy Bueno
IRI	1.76	Excelente
PSI	3.55	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia

A partir del cuadro comparativo que relaciona los tres índices (PCI, IRI y PSI), se puede evidenciar que los resultados obtenidos mediante estas metodologías coinciden en la misma categoría de clasificación del estado del pavimento, calificándolo como **Muy Bueno**. se propone ejecutar mantenimiento rutinario - sellado de fisuras puntuales, bacheo localizado, limpieza de drenajes y bermas, y control de vegetación, suficiente para conservar la serviciabilidad del tramo sin requerir rehabilitación mayor. 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 incluye un registro fotográfico que muestra las principales fallas y deterioros superficiales presentes a lo largo del tramo evaluado.

Tratamiento estadístico: Índice de Condición de Pavimento (PCI)

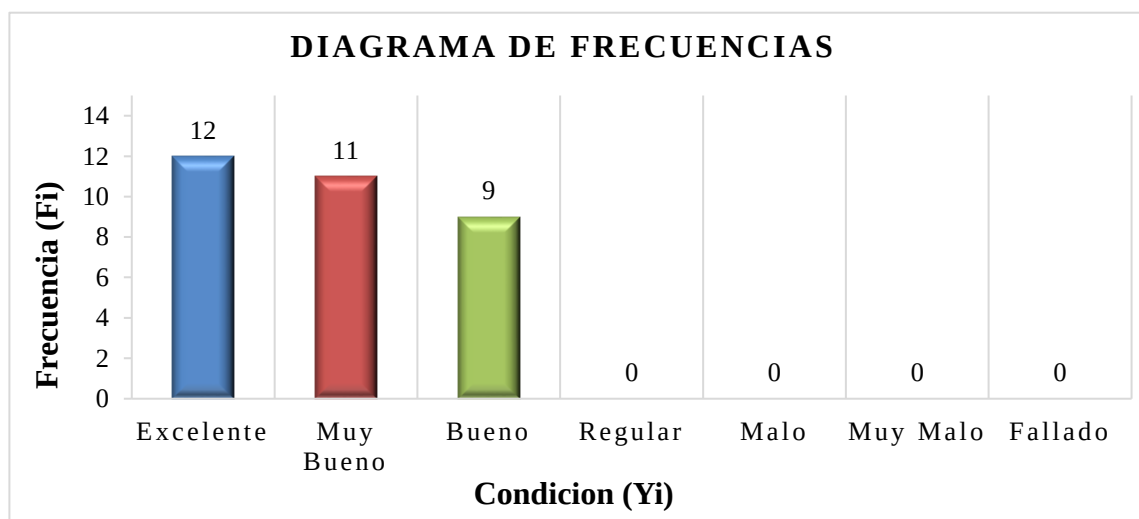
Estadística descriptiva

Tabla N° 36.- Tratamiento estadístico del PCI.

n	Condición (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	Excelente	12	12/32	0.38	38
2	Muy Bueno	11	11/32	0.34	34
3	Bueno	9	9/32	0.28	28
4	Regular	0	0/32	0.00	0
5	Malo	0	0/32	0.00	0
6	Muy Malo	0	0/32	0.00	0
7	Fallado	0	0/32	0.00	0
	Σ	32	1	1.00	100

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfica N°10: Diagrama de frecuencias del PCI



Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que gracias al tratamiento estadístico que la mayoría de la cantidad de muestras se encuentra en una condición **excelente, muy bueno y bueno**. lo cual nos indica que según el método PCI la vía se encuentra en condiciones aptas para los usuarios.

4.5 Hipótesis con distribución chi cuadrado método PCI

Se realiza un análisis estadístico utilizando la prueba de hipótesis con distribución chi cuadrado, con el fin de confirmar o descartar la hipótesis planteada en la investigación. Esta prueba compara los datos observados con los esperados para determinar si las

diferencias son significativas o atribuibles al azar. En el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, se aplica a los resultados de la evaluación superficial y estructural del pavimento, validando la representatividad de las unidades de muestreo y asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

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

TRAMO GENERAL Prog. (0+000 a 10+000)				
Unidad de Muestra	Prog. Inicial	Prog. Final	PCI	Calificación
U.M 1	0+000	0+033	86.55	Excelente
Adic. 1	0+198	0+231	58.52	Bueno
Adic. 2	0+396	0+429	74.91	Muy Bueno
Adic. 3	0+594	0+627	81.55	Muy Bueno
U.M 2	0+660	0+693	66.66	Bueno
Adic. 4	1+188	1+221	68.28	Bueno
U.M 3	1+320	1+353	92.28	Excelente
Adic. 5	1+782	1+815	66.58	Bueno
U.M 4	1+980	2+013	93.05	Excelente
Adic. 6	2+376	2+409	85.34	Excelente
U.M 5	2+640	2+673	82.11	Muy Bueno
Adic. 7	2+772	2+805	76.86	Muy Bueno
Adic. 8	2+970	3+003	60.54	Bueno
U.M 6	3+330	3+333	70.75	Muy Bueno
U.M 7	3+960	3+993	96.09	Excelente
Adic. 9	4+158	4+191	83.46	Muy Bueno
U.M 8	4+620	4+653	90.63	Excelente
Adic. 10	5+148	5+181	70.75	Muy Bueno
U.M 9	5+280	5+313	88.92	Excelente
U.M 10	5+940	5+973	86.50	Excelente
Adic. 11	6+534	6+567	81.71	Muy Bueno
U.M 11	6+600	6+633	79.71	Muy Bueno
Adic. 12	6+930	6+963	84.44	Muy Bueno
U.M 12	7+260	7+293	80.34	Muy Bueno
U.M 13	7+920	7+953	100.00	Excelente
Adic. 13	8+118	8+151	89.10	Excelente
Adic. 14	8+316	8+349	87.96	Excelente
Adic. 15	8+514	8+547	66.89	Bueno
U.M 14	8+580	8+613	87.54	Excelente
U.M 15	9+240	9+273	55.19	Bueno
U.M 16	9+900	9+933	58.79	Bueno
Adic. 16	9+966	10+000	64.41	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis de la investigación

La condición actual del pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** se encuentra por encima de la categoría funcional regular, según la evaluación superficial y estructural realizada mediante los métodos PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman.

Interpretación de las hipótesis

H₀: La condición actual del pavimento flexible del tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana se encuentra **igual o por debajo** de la categoría funcional regular.

H₁: La condición actual del pavimento flexible del tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana se encuentra **por encima** de la categoría funcional regular.

Valores de frecuencia observada (fo)

	Condición BUENA	Condición MEDIA	Condición MALA				
SECCIONES	Excelente y Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado	TOTAL
0+000 - 2+000	5	4	0	0	0	0	9
2+000 - 4+00	6	1	0	0	0	0	7
4+000 - 6+000	5	0	0	0	0	0	5
6+000 - 8+000	5	0	0	0	0	0	5
8+000 - 10+000	2	4	0	0	0	0	6
TOTAL	23	9	0	0	0	0	32

Cálculo de la frecuencia esperada (fe)

$$f_e = \frac{\text{Total de columna} \times \text{Total de fila}}{\text{Suma total}}$$

	Condición BUENA	Condición MEDIA	Condición MALA				
SECCIONES	Excelente y Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado	
0+000 - 2+000	6.47	2.53	0	0	0	0	
2+000 - 4+00	5.03	1.97	0	0	0	0	
4+000 - 6+000	3.59	1.41	0	0	0	0	
6+000 - 8+000	3.59	1.41	0	0	0	0	
8+000 - 10+000	4.31	1.69	0	0	0	0	

Determinación del X² calculado

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

	Condición BUENA	Condición MEDIA	Condición MALA				
SECCIONES	Excelente y Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	Fallado	
0+000 - 2+000	0.33	0.85	0	0	0	0	
2+000 - 4+00	0.19	0.48	0	0	0	0	
4+000 - 6+000	0.55	1.41	0	0	0	0	
6+000 - 8+000	0.55	1.41	0	0	0	0	
8+000 - 10+000	1.24	3.17	0	0	0	0	

Sumando todos los valores se obtiene

$$X^2_{calc} = 10.17$$

Determinación del X^2 crítico

$$n_{fil} = 5$$

$n_{col} = 2$ Se toman dos columnas (Condición Buena y Condición Media) porque las demás tienen frecuencias nulas que sería la Condición Mala.

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

$$n = (5 - 1)(2 - 1) = 4$$

Mediante tabla de distribución chi cuadrado con grado de libertad $n = 4$

nivel de confianza de la investigación: NC = 95 %

Nivel de significancia propuesto: $\alpha = 5 \%$

$$\alpha = 0.05$$

$$X^2_{crit} = 9.488$$

Comparación de valores

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

$10.17 > 9.488$ VERDADERO $\rightarrow$ *Ho cae en la zona de rechazo*

Conclusión sobre la hipótesis

La **hipótesis nula (H_0) es rechazada**; por lo tanto, se establece que la **hipótesis de investigación**, al estar emparejada con la **hipótesis alternativa (H_1)**, se **confirma**, demostrando que la **condición actual del pavimento flexible del tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** se encuentra **por encima de la categoría funcional regular**.

Se determina que el tramo presenta una **condición superficial favorable**, predominando los estados **Excelente, Muy Bueno y Bueno**. Las **mejoras de refacción deben ser puntuales y localizadas**, y no así de toda la plataforma, dado que el pavimento muestra una **condición significativamente buena**, conforme a los resultados obtenidos mediante el **método PCI (Chi-cuadrado)**.

4.6 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 en el carril derecho (ida)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
"LABORATORIO DE ASFALTOS"



PROYECTO: "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible Del Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana"
TRAMO: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana **PROG.:** 0+000 a 10+000 **CARRIL:** DERECHO (IDA) **FECHA:** 17 de mayo de 2025

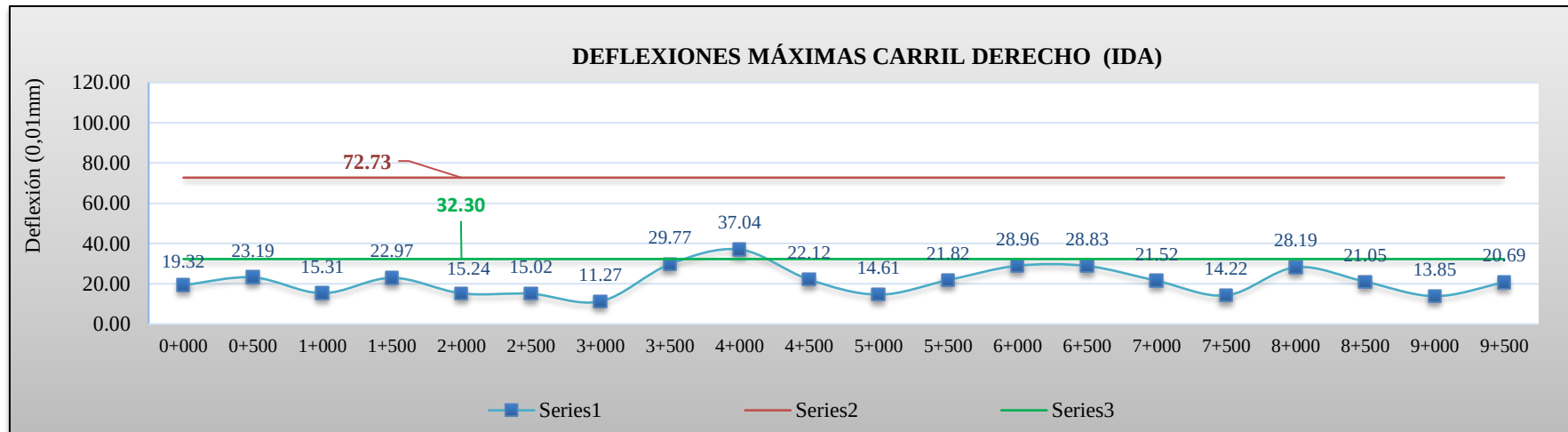
"EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO"

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	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	19.32	3.86	202.15	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	1	2	2	2	0	16.00	12.00	781	15.31	11.48	816.41	25.0	29.0	5.00
4	1+500	6	2	2	2	2	0	24.00	16.00	391	22.97	15.31	408.20	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	3	2	2	2	0	16.00	4.00	260	15.02	3.76	277.34	28.0	33.0	5.00
7	3+000	3	2	2	2	2	0	12.00	4.00	391	11.27	3.76	416.02	28.0	33.0	5.00
8	3+500	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	29.77	7.44	139.97	29.0	35.0	5.00
9	4+000	10	6	2	2	2	0	40.00	16.00	130	37.04	14.81	140.63	29.0	36.0	5.00
10	4+500	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	22.12	7.37	211.91	29.0	37.0	5.00
11	5+000	4	4	2	2	2	0	16.00	0.00	195	14.61	0.00	213.87	31.0	39.0	5.00
12	5+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.82	7.27	214.84	32.0	40.0	5.00
13	6+000	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.96	7.24	143.88	34.0	41.0	5.00
14	6+500	8	6	2	2	2	0	32.00	8.00	130	28.83	7.21	144.53	34.0	42.0	5.00
15	7+000	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.52	7.17	217.77	34.0	43.0	5.00
16	7+500	4	4	2	2	2	0	16.00	0.00	195	14.22	0.00	219.73	35.0	45.0	5.00
17	8+000	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.19	7.05	147.79	36.0	47.0	5.00
18	8+500	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.05	7.02	222.66	36.0	48.0	5.00
19	9+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.85	6.93	451.17	37.0	51.0	5.00
20	9+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	20.69	6.90	226.56	38.0	52.0	5.00

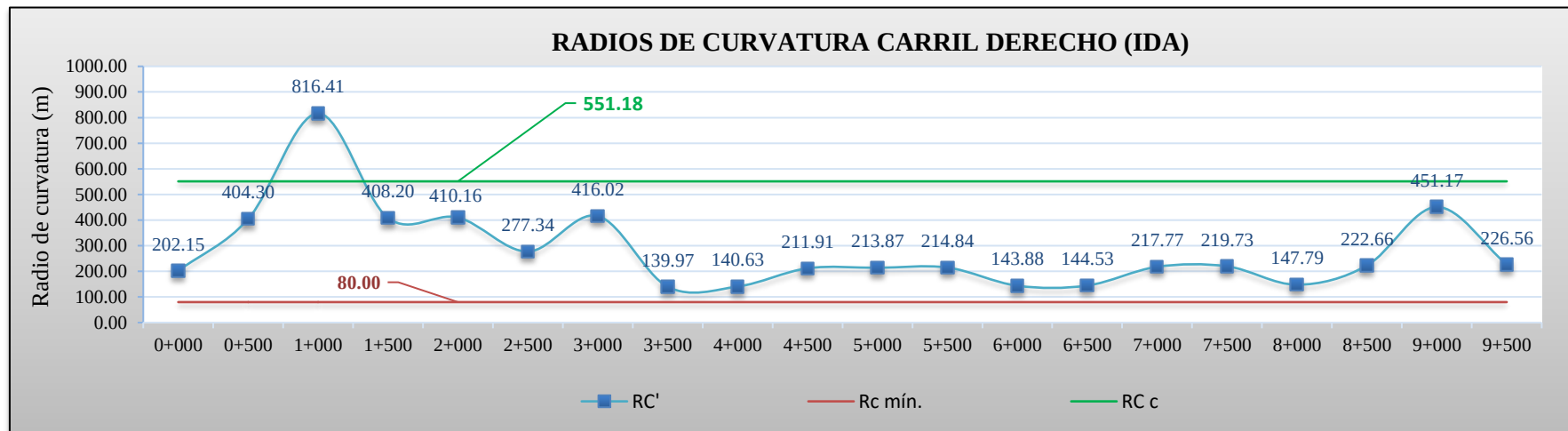
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°11: Deflexiones máximas (ida)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°12: Radios de curvatura (ida)



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	20	20	20
SUMATORIA	425.00	147.66	5629.88
PROMEDIO	21.25	7.38	281.49
DEFLEXIÓN MINIMA	11.27	0.00	139.97
DEFLEXIÓN MAXIMA	37.04	15.46	816.41
DESVIACION ESTÁNDAR	6.72	4.28	163.94
VARIANZA	45.09	18.35	26878
COEFICIENTE DE VAR.	31.60	58.02	58.24
VALOR CARACTERISTICO	32.30	14.43	551.18

RC mín =	80 m
RCc (m)=	551.18

**CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):**

$$D_c = D + t * D_s$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 21.25

Ds = Desviación standard = 6.72

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$D_c = 21.25 + 1.645 * 6.72$$

$$D_c = 32.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 39.- Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
"LABORATORIO DE ASFALTOS"



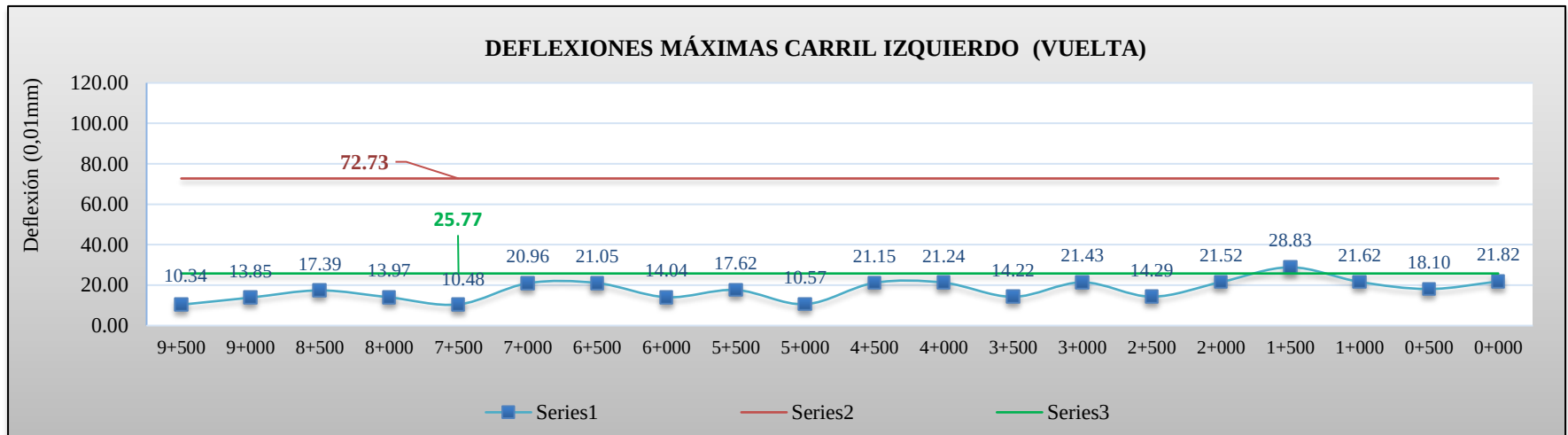
PROYECTO: "Evaluación Del Deterioro Superficial Y Estructural Del Pavimento Flexible Del Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana"
TRAMO: Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana **PROG.:** 0+000 a 10+000 **CARRIL:** IZQUIERDO (VUELTA) **FECHA:** 17 de mayo de 2025

"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	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.85	6.93	451.17	36.0	51.0	5.00
3	8+500	5	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	17.39	3.48	224.61	36.0	50.0	5.00
4	8+000	4	2	2	2	2	0	16.00	8.00	391	13.97	6.99	447.27	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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	20.96	6.99	223.63	35.0	49.0	5.00
7	6+500	6	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.05	7.02	222.66	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	4	2	2	2	0	20.00	4.00	195	17.62	3.52	221.68	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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.15	7.05	221.68	33.0	47.0	5.00
12	4+000	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.24	7.08	220.70	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	4	4	2	2	0	24.00	8.00	195	21.43	7.14	218.75	32.0	44.0	5.00
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	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.52	7.17	217.77	31.0	43.0	5.00
17	1+500	8	6	4	2	2	0	32.00	8.00	130	28.83	7.21	144.53	31.0	42.0	5.00
18	1+000	6	4	2	2	2	0	24.00	8.00	195	21.62	7.21	216.80	34.0	42.0	5.00
19	0+500	5	4	4	2	2	0	20.00	4.00	195	18.10	3.62	215.82	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

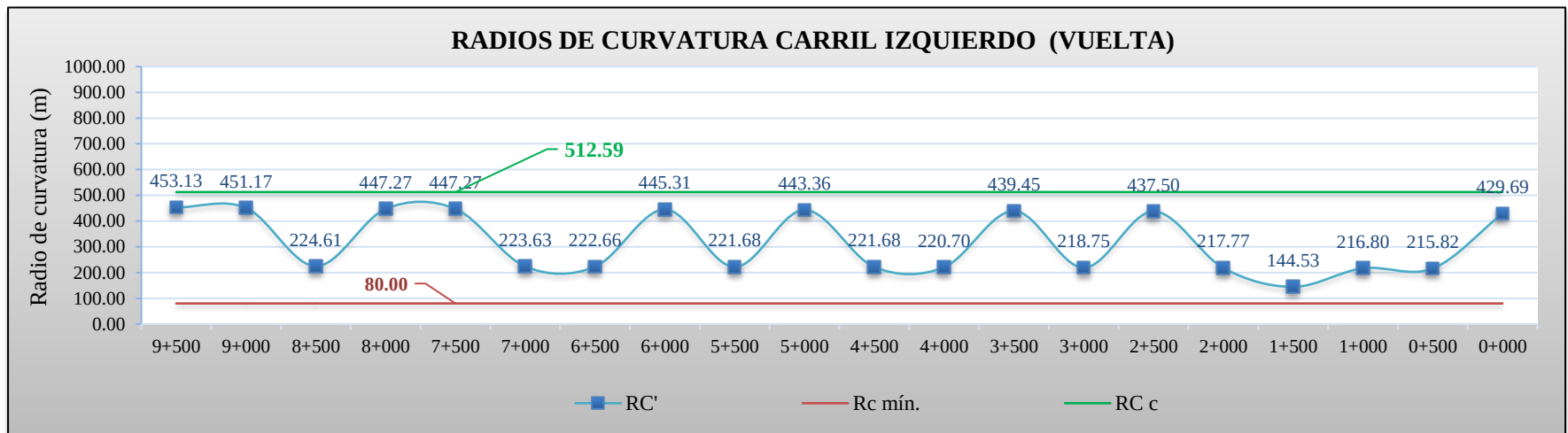
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°13: Deflexiones máximas (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°14: Radios de curvatura (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

Cálculos deflexión característica (Dc):

NÚMERO DE MUESTRAS	20	20	20
SUMATORIA	354.50	127.68	6342.77
PROMEDIO	17.72	6.38	317.14
DEFLEXIÓN MINIMA	10.34	3.45	144.53
DEFLEXIÓN MAXIMA	28.83	14.55	453.13
DESVIACION ESTÁNDAR	4.89	2.54	118.82
VARIANZA	23.90	6.44	14118
COEFICIENTE DE VAR.	27.58	39.76	37.47
VALOR CARACTERISTICO	25.77	10.56	512.59

RC mín =	80 m
RCc (m)=	512.59

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Dónde:

D = Deflexión recuperable promedio = 17.72

Ds = Desviación standard = 4.89

t = Constante de probabilidad al 95% = 1.645

$$D_c = 17.72 + 1.645 * 4.89$$

$$D_c = 25.77 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

4.6.1 Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman

Luego de procesar y tabular los valores de deflexión obtenidos en el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, se procedió al análisis individual de ambos carriles:

Carril derecho:

Se registró una deflexión máxima de 37.04×10^{-2} mm en la progresiva 4+000, valor que supera la deflexión característica calculada para el carril, es de 32.30×10^{-2} mm.

Carril izquierdo:

Se registró una deflexión máxima de 28.83×10^{-2} mm en la progresiva 1+500, valor que supera la deflexión característica calculada para el carril, es de 25.77×10^{-2} mm.

- **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 INV E-795-13 del INVIAS (Colombia)

Tabla N° 40.- Tabla de clasificación viga benkelman

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

Fuente: Manual INV E-795-13 del INVIAS (Colombia)

Carril Derecho: Con una deflexión máxima de 37.04×10^{-2} mm y un radio de curvatura de 551.18 m, el pavimento se clasifica como **Excelente**.

Carril Izquierdo: Con una deflexión máxima de 28.83×10^{-2} mm y un radio de curvatura de 512.59 m, el pavimento también se clasifica como **Excelente**.

Tratamiento estadístico: Carril derecho (ida)

Estadística descriptiva

n = 20

Mínimo = 11.27×10^{-2} mm **Máximo** = 37.04×10^{-2} mm

$R = 37.04 - 11.27 = 25.77 \times 10^{-2}$ mm

$NC = 1 + 3,332 \cdot \log(20) = 5$ clases

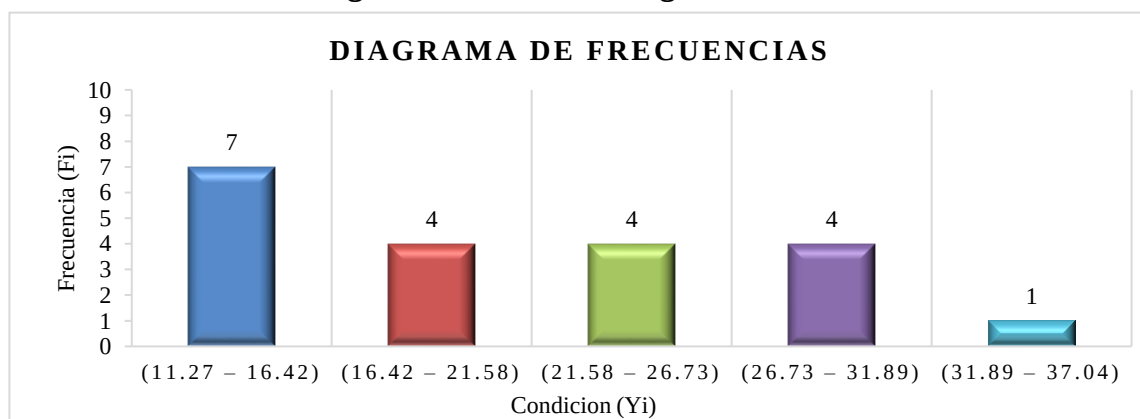
$$a = \frac{R}{NC} = \frac{25.77}{5} = 5.154 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 41.- Frecuencias viga Benkelman carril Derecho

n	Intervalo de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	(11.27 – 16.42)	7	7/20	0.35	35%
2	(16.42 – 21.58)	4	4/20	0.20	20%
3	(21.58 – 26.73)	4	4/20	0.20	20%
4	(26.73 – 31.89)	4	4/20	0.20	20%
5	(31.89 – 37.04)	1	1/20	0.05	5%
	Σ	20	1	1.00	100%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N°15: Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril Derecho



Fuente: Elaboración Propia

El análisis del carril derecho muestra que la mayoría de las deflexiones se concentra en los intervalos bajos e intermedios, indicando un comportamiento homogéneo del pavimento. Los valores extremos son pocos y no afectan la capacidad portante. La media de 21.25×10^{-2} mm y el rango de 25.77×10^{-2} mm reflejan estabilidad y uniformidad estructural. En general, el carril derecho se encuentra en condiciones aptas para el tránsito vehicular.

Prueba De Hipótesis Viga Benkelman

Deflexiones máximas Carril Derecho (IDA)

N° de ensayo	Progresivas	Do' (0.01mm)
1	0+000	19.32
2	0+500	23.19
3	1+000	15.31
4	1+500	22.97
5	2+000	15.24
6	2+500	15.02
7	3+000	11.27
8	3+500	29.77
9	4+000	37.04
10	4+500	22.12
11	5+000	14.61
12	5+500	21.82
13	6+000	28.96
14	6+500	28.83
15	7+000	21.52
16	7+500	14.22
17	8+000	28.19
18	8+500	21.05
19	9+000	13.85
20	9+500	20.69

$$\bar{X} = 21.25 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad \text{Media muestral}$$

$$\sigma = 6.72 \times 10^{-2} \quad \text{Desviación estándar muestral}$$

$$n = 20 \quad \text{Muestras}$$

$$\text{Dadm} = 72.73 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\mu = \text{Dc} = 32.30 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Interpretación de las hipótesis.

H₀: La deflexión promedio es alta o igual, indicando que la condición estructural del pavimento es **regular o deficiente**. $\mu_D \geq D_{perm}$

H₁: La deflexión promedio es menor, indicando que la condición estructural del pavimento es **mejor que la categoría regular**. $\mu_D < D_{perm}$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Evidencia muestral

$$\text{Prom} = 21.25 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 6.72$$

Aplicación de la distribución normal

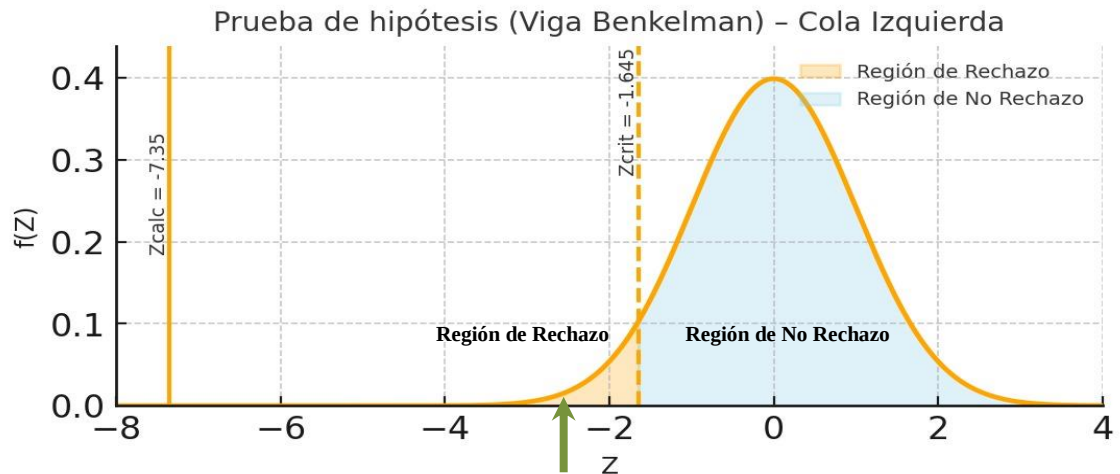
$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{21.25 - 32.30}{\frac{6.72}{\sqrt{20}}} = -7.35$$

Valores de Z para pruebas de hipótesis de una cola a la izquierda.

Nivel de significancia (α)	Z
0.01	-2.33
0.05	-1.645
0.1	-1.28

Para un nivel de significancia de 0.05 $Z = -1.645$

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



$Z_{calc} = -7.35$ → El valor de Z calculado se encuentra en la zona de no rechazo

Tratamiento estadístico: Carril Izquierdo (Vuelta)

Estadística descriptiva

n = 20

Mínimo = 10.34×10^{-2} mm **Máximo** = 28.83×10^{-2} mm

$R = 28.83 - 10.34 = 18.49 \times 10^{-2}$ mm

$NC = 1 + 3,332 \cdot \log(20) = 5$ **clases**

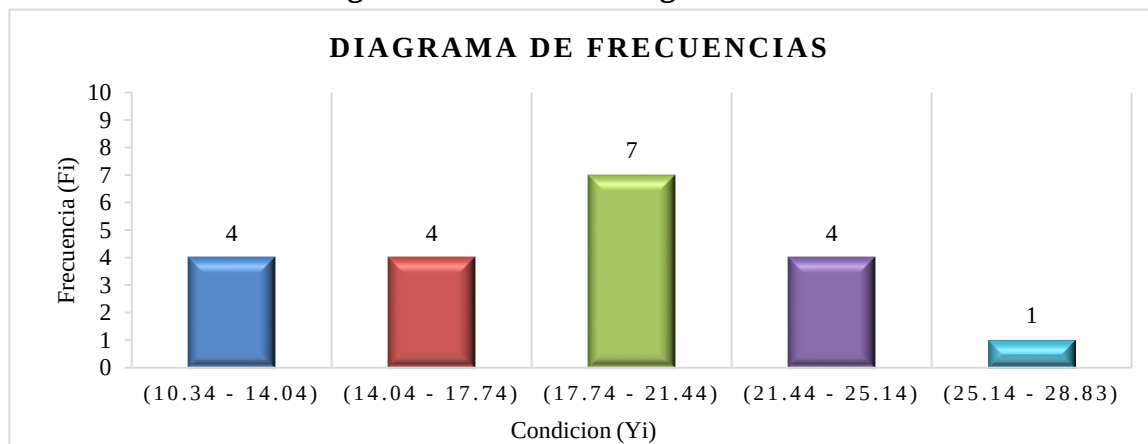
$$a = \frac{R}{NC} = \frac{18.49}{5} = 3.70 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Tabla N° 42.- Frecuencias viga Benkelman carril Izquierdo

n	Intervalo de deflexiones (yi)	Frecuencia (fi)	Frecuencia relativa (hi)		
			Fracción	Decimal	Porcentual (%)
1	(10.34 - 14.04)	4	4/20	0.20	20%
2	(14.04 - 17.74)	4	4/20	0.20	20%
3	(17.74 - 21.44)	7	7/20	0.35	35%
4	(21.44 - 25.14)	4	4/20	0.20	20%
5	(25.14 - 28.83)	1	1/20	0.05	5%
	Σ	20	1	1.00	100%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N°16: Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril Derecho



Fuente: Elaboración Propia

La mayoría de las deflexiones (35%) se concentra en los intervalos medios de **(17,74 – 21,44 × 10⁻² mm)**, mostrando un comportamiento estructural homogéneo. Los valores extremos representan solo un 20% del total y no comprometen la capacidad portante. La media de **17,72 × 10⁻² mm** y el rango de **18,49 × 10⁻² mm** reflejan mayor variabilidad que el carril derecho, pero la vía se encuentra en condiciones aptas para el tránsito vehicular.

Deflexiones máximas Carril Izquierdo (VUELTA)

Nº de ensayo	Progresivas	Do' (0.01mm)
1	9+500	10.34
2	9+000	13.85
3	8+500	17.39
4	8+000	13.97
5	7+500	10.48
6	7+000	20.96
7	6+500	21.05
8	6+000	14.04
9	5+500	17.62
10	5+000	10.57
11	4+500	21.15
12	4+000	21.24
13	3+500	14.22
14	3+000	21.43
15	2+500	14.29
16	2+000	21.52
17	1+500	28.83
18	1+000	21.62
19	0+500	18.10
20	0+000	21.82

$$\bar{X} = 17.72 \times 10^{-2} \text{ mm} \quad \text{Media muestral}$$

$$\sigma = 4.89 \quad \text{Desviación estándar muestral}$$

$$n = 20 \quad \text{Muestras}$$

$$D_{adm} = 72.73 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\mu = D_c = 25.77 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Interpretación de las hipótesis.

H₀: La deflexión promedio es alta o igual, indicando que la condición estructural del pavimento es **regular o deficiente**. $\mu_D \geq D_{perm}$

H₁: La deflexión promedio es menor, indicando que la condición estructural del pavimento es **mejor que la categoría regular**. $\mu_D < D_{perm}$

Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

Evidencia muestral

$$Prom = 17.72 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 4.89$$

Aplicación de la distribución normal

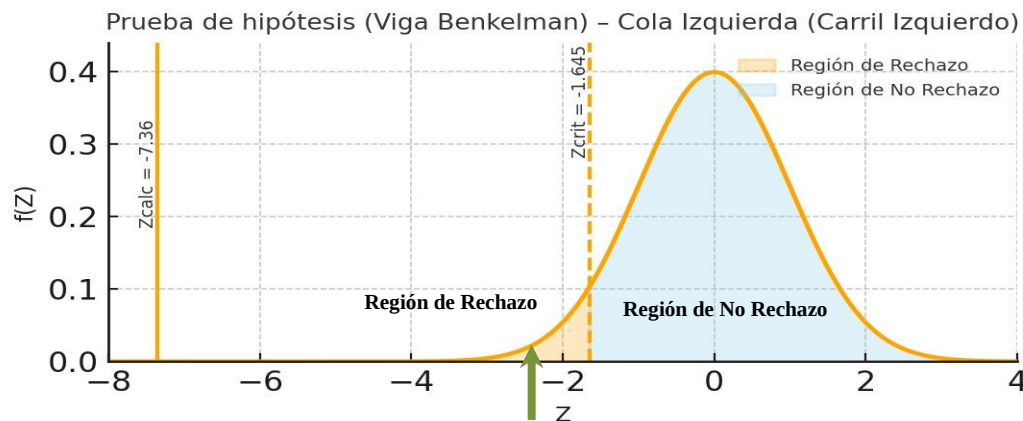
$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} = \frac{17.72 - 25.77}{\frac{4.89}{\sqrt{20}}} = -7.36$$

Valores de Z para pruebas de hipótesis de una cola.

Nivel de significancia (α)	Z
0.01	-2.33
0.05	-1.645
0.1	-1.28

Para un nivel de significancia de 0.05 $Z = -1.645$

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



$Z_{\text{calc}} = -7.36$ → El valor de Z calculado se encuentra en la zona de no rechazo

Comparación del valor calculado de Z con el valor crítico de Z:

- Si $Z_{\text{calc}} \geq -1.645$, **no se rechaza H_0** , lo que indicaría que el pavimento presenta **deflexiones dentro de los límites permisibles**, conservando su capacidad estructural.
- Si $Z_{\text{calc}} < -1.645$, **se rechaza H_0** , lo que confirma que las deflexiones promedio son **menores al valor límite permisible**, indicando una **mejor condición estructural**

Tipo de prueba: Cola izquierda $\rightarrow Z_{\text{calc}} < Z_{\text{crit}} \rightarrow$ Se rechaza H_0 y se acepta H_1

Conclusión de la prueba

Dado que el valor de Z_{calc} obtenido en ambos carriles (**derecho e izquierdo**) es menor que el valor crítico de -1.645, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Esto demuestra que las deflexiones promedio son significativamente menores al límite permisible, confirmando que el pavimento flexible mantiene una buena condición estructural.

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

4.7 Análisis para el tipo de mantenimiento

El objetivo es evitar condiciones críticas de deterioro del pavimento y garantizar una circulación continua, segura, eficiente y confiable, con el menor impacto ambiental posible. Para lograrlo, se ejecutan acciones de conservación en el momento oportuno. El deterioro del pavimento varía con el tiempo por la interacción de diversos factores. La intervención se selecciona según el nivel de deterioro de la calzada, 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, (2007).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se propone que en las zonas donde el pavimento presenta un estado Bueno y Muy Bueno, se implemente un **Mantenimiento Rutinario (MR)**, el cual contempla acciones como el parchado superficial y el sellado de grietas.

Es importante destacar que, tras la evaluación realizada, no se identificaron sectores clasificados en estado Regular ni Muy Malo, por lo tanto, no se considera necesaria la aplicación de **Mantenimiento Periódico (MP)** ni de rehabilitación en el tramo analizado. Dentro de este mantenimiento rutinario también se deben considerar labores complementarias, como la limpieza y conservación de las obras de drenaje, con el objetivo de prevenir el deterioro progresivo del pavimento.

Con base en los resultados obtenidos y en las intervenciones propuestas, se concluye que el **tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana** requiere principalmente acciones de mantenimiento rutinario, debido a la presencia de deterioros superficiales localizados que deben ser atendidos oportunamente para prolongar la vida útil de la vía.

- **Alternativas de solución**

El estado del pavimento flexible del tramo aún se encuentra en una condición Muy buena en el cual las fallas de mayor porcentaje obtienen una severidad baja, por lo tanto, es un buen momento para intervenir el tramo así evitar mayor severidad y mayores fallas y por lo tanto mayor costo de mantenimiento.

- **Mantenimiento rutinario**

Las fallas con severidad baja no requieren ningún tipo de mantenimiento debido a que aún es posible permitir su presencia en la vía, ya que no afectan de manera significativa en la comodidad de los usuarios. Las fallas de severidad media y alta se han optado por realizar un bacheo en áreas localizadas que presenten agrietamientos, hundimientos exudación y disgregación. El procedimiento consiste en limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla.

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.

Mantenimiento y rehabilitación tramo " Estación De Servicio El Portillo-Colegio Santa Ana"							
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
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 long. y transv.	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
17. Fisura parabólica	L						
	M		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 “**Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana**” 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	m ²	107.03	Limpieza y sellado superficial con material bituminoso modificado.
	M	m ²	31.17	Corte de carpeta, limpieza, imprimación y reposición con mezcla asfáltica en caliente.
	H	m ²	5.78	Reposición estructural completa de carpeta asfáltica.
2. Exudación	L	m ²	53.56	Limpieza superficial y control de drenaje.
	M	m ²	0.00	Raspado superficial, imprimación y microcarpeta asfáltica.
	H	m ²	0.00	Corte localizado y aplicación de capa de refuerzo.
3. Fisuras en bloque	L	m ²	147.91	Sellado de fisuras con mástic bituminoso caliente.
	M	m ²	42.57	Sellado con soplete y material elastomérico.
	H	m ²	5.32	Parcheo parcial y microcarpeta superficial.
8. Fisura de reflexión de junta	L	m	6.60	Sellado lineal con sellante asfáltico modificado.
	M	m	0.00	Corte y relleno con mástic de alta adherencia.
	H	m	0.00	Corte, sellado reforzado y microcarpeta superficial.
9. Desnivel carril-berma	L	m ²	0.00	Limpieza y nivelación superficial.
	M	m ²	14.70	Corte, nivelación e imprimación.
	H	m ²	0.00	Reposición estructural con mezcla en caliente.
Fisuras longitudinales y transversales	L	m	413.94	Sellado lineal de fisuras longitudinales y transversales.
	M	m	38.02	Sellado doble con material elastomérico.
	H	m	0.00	Corte y reposición parcial.
11. Parches	L	m ²	0.00	Limpieza y delimitación del área.
	M	m ²	22.40	Corte, limpieza, imprimación y reposición con mezcla asfáltica caliente.
	H	m ²	6.00	Sustitución total de la capa asfáltica.
13. Huecos	L	m ²	0.00	Corte y sellado superficial.
	M = 6huc.	m ²	9.00	1.5 m ² cada hueco-Corte, retiro de material, imprimación y mezcla asfáltica en caliente.
	H	m ²	0.00	Parcheo estructural profundo.
16. Desplazamiento	L	m ²	9.73	Limpieza y nivelación.
	M	m ²	0.00	Corte, relleno y compactación.
	H	m ²	0.00	Corte y reposición total de la capa.
17. Fisura parabólica	L	m	37.29	Sellado simple con material bituminoso.
	M	m	0.00	Corte y sellado doble.
	H	m	0.00	Corte, relleno y microcarpeta superficial.
19. Desprendimiento de agregados	L	m ²	0.00	Limpieza y aplicación de lechada asfáltica.
	M	m ²	81.30	Limpieza, imprimación y reposición superficial.
	H	m ²	0.00	Reposición total con mezcla asfáltica en caliente.

Fuente: Elaboración Propia

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

ITEMS (P.U)	Actividad / Tipo de Intervención	Fallas Incluidas	Unidad	Cantidad Total	Descripción técnica
PU-01	Señalización preventiva	Ninguno	Glb	1	Instalación de señales preventivas y reglamentarias con lámina reflectiva grado ingeniería sobre postes galvanizados, incluyendo cimentación simple y limpieza del área intervenida.
PU-02	Sellado de fisuras lineales (simple o doble)	Fisuras en bloque (L, M, H) Fisura de reflexión de junta (L) Fisuras longitudinales y transversales (L, M) Fisura parabólica (L)	m	691.66	Sellado de fisuras longitudinales y transversales mediante aplicación de mástic elastomérico modificado, previa limpieza, soplado y control de adherencia. Mantenimiento preventivo del pavimento flexible.
PU-03	Limpieza e imprimación superficial	Exudación (L) Desplazamiento (L) Desprendimiento de agregados (L, M)	m²	144.59	Limpieza mecánica de superficie, riego de imprimación y lechada asfáltica. Mantenimiento rutinario preventivo.
PU-04	Corte y reposición parcial de carpeta asfáltica	Piel de cocodrilo (M) Fisuras en bloque (H) Parches (M), Huecos (M) Deslizamiento (M)	m²	67.89	Corte perimetral, retiro del material dañado, limpieza, imprimación con asfalto líquido y reposición con mezcla asfáltica en caliente. Incluye compactación, terminación y control de nivelación.
PU-05	Microcarpeta o recarpeteo superficial preventivo	Exudación (M) Desprendimiento de agregados (M)	m²	81.30	Aplicación de capa delgada (≤ 2.5 cm) de mezcla asfáltica en caliente para restaurar textura, impermeabilidad y hermeticidad.
PU-06	Parcheo profundo o estructural	Parches (H) Huecos (H) Deslizamiento (H)	m²	6.00	Corte profundo, retiro de base deteriorada, compactación y reposición total de capa asfáltica.
PU-07	Sellado + microcarpeta combinada (fisuras severas)	Piel de cocodrilo (H)	m²	5.78	Sellado y aplicación de microcarpeta bituminosa para reforzar zonas de fisuración avanzada.
PU-08	Limpieza de calzada y bermas	Limpieza general	m²	650	Limpieza manual y mecánica de superficie y bermas laterales. Incluye retiro y disposición final del material.
PU-09	Señalización vertical	Letreros metálicos y de hormigón dañados	Pza	12	Reposición de señales verticales metálicas y de hormigón con pintura protectora anticorrosiva.
PU-10	Señalización horizontal	Pintado de señales borradas	m²	450	Repintado con pintura termoplástica o acrílica; incluye microesferas reflectivas.
PU-11	Mantenimiento de reductores de velocidad	Reductores plásticos y rompe muelles deteriorados	m²	345	Reparación y repintado de reductores de velocidad plásticos y de concreto, con limpieza, nivelación y aplicación de pintura reflectiva amarilla.

Fuente: Elaboración propia

4.7.1 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 y obteniendo fallas de severidad baja y media, por el cual para es un buen momento de intervenir y realizar el mantenimiento de las fallas localizadas y así evitar gastos mayores, porque con el pasar del tiempo y su uso del tramo vial. Las fallas Irán subiendo su severidad y mayores fallas en el tramo vial. Por el cual se obtiene la siguiente tabla de un presupuesto general de mantenimiento periódico para el tramo vial.

Tabla N° 47.- Cómputos métricos de mantenimiento

Ítem N.º	Descripción	Unidad	Cantidad
PU-01	Señalización preventiva	Glb	1.00
PU-02	Sellado de fisuras lineales (simple o doble)	m	691.66
PU-03	Limpieza e imprimación superficial de calzada	m ²	144.59
PU-04	Corte y reposición parcial de carpeta asfáltica	m ²	67.89
PU-05	Microcarpeta o recarpeteo superficial preventivo	m ²	81.30
PU-06	Parcheo profundo o estructural	m ²	6.00
PU-07	Sellado + microcarpeta combinada (fisuras severas)	m ²	5.78
PU-08	Limpieza de calzada y bermas	m ²	650.00
PU-09	Señalización vertical	Pza	12.00
PU-10	Señalización horizontal	m ²	450.00
PU-11	Mantenimiento de reductores de velocidad	m ²	345

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2 Costo de la obra

Tabla N° 48.- Presupuesto general

Ítems	Descripción	Unid.	Cantid.	P.U.	Costo Ítems
PU-01	Señalización preventiva	Glb	1.00	832.00	832.00
PU-02	Sellado de fisuras lineales (simple o doble)	m	691.66	19.22	13291.43
PU-03	Limpieza e imprimación superficial de calzada	m ²	144.59	37.64	5442.05
PU-04	Corte y reposición parcial de carpeta asfáltica	m ²	67.89	85.84	5827.95
PU-05	Microcarpeta o recarpeteo superficial preventivo	m ²	81.30	79.83	6490.06
PU-06	Parcheo profundo o estructural	m ²	6.00	111.72	670.31
PU-07	Sellado + microcarpeta combinada (fisuras severas)	m ²	5.78	77.90	450.23
PU-08	Limpieza de calzada y bermas	m ²	650.00	26.39	17152.90
PU-09	Señalización vertical	Pza	12.00	618.98	7427.80
PU-10	Señalización horizontal	m ²	450.00	54.32	24442.88
PU-11	Mantenimiento de reductores de velocidad	m ²	345.00	252.69	87178.17
COSTO = 169,236.98 Bs		Ciento sesenta y nueve mil doscientos treinta y seis con noventa y ocho centavos bolivianos.			

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene un presupuesto total de mantenimiento de **169,236.98** 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 “Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana”, se concluye lo siguiente:

- Se **cumplió plenamente el objetivo general** del estudio al evaluar integralmente la condición superficial y estructural del pavimento flexible del tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, utilizando los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman**, bajo normas y manuales.
- Los **objetivos específicos fueron alcanzados** satisfactoriamente, ya que la aplicación de los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman** permitió analizar con precisión los distintos aspectos **funcionales y estructurales** del pavimento flexible. Los resultados obtenidos reflejan una **adecuada regularidad superficial, buena serviciabilidad y suficiente capacidad estructural**, confirmando la **coherencia entre los métodos empleados** y la **fiabilidad de los datos obtenidos** durante la evaluación del tramo.
- El **sustento teórico y normativo** aplicado fue esencial para garantizar la **validez técnica** del estudio. Se emplearon las normas **ASTM D6433-03 (PCI)**, **ASTM E1926-08 (IRI)**, **AASHTO (PSI)** y **ASTM D4695 (Viga Benkelman)**, reconocidas internacionalmente por su **precisión y confiabilidad**. Su aplicación permitió obtener **resultados objetivos y consistentes**, consolidando la **coherencia del método** utilizado en la investigación.
- Durante la fase experimental se **controlaron factores externos** que pudieran afectar la exactitud de las mediciones, tales como las condiciones climáticas, la humedad superficial, la temperatura del pavimento, el flujo vehicular y la ubicación precisa de los puntos de medición. Este control permitió **obtener resultados representativos y coherentes con la realidad del tramo**.
- El **nivel de confianza del trabajo ($\alpha = 0.05$)** se cumplió satisfactoriamente: la prueba χ^2 (**PCI**) y la **prueba Z (Viga Benkelman)** demostraron resultados consistentes y coherentes, validando las hipótesis estadísticas planteadas. Esto respalda la confiabilidad del estudio con un 95 % de certeza.

- El empleo combinado de los métodos **PCI, IRI, PSI y Viga Benkelman** permitió obtener una **visión integral** del estado del pavimento, tanto superficial como estructural, obteniendo los siguientes resultados:

PCI promedio: 78.64 %, clasificando el tramo en estado “**Muy Bueno**”.

IRI promedio: 1.76 m/km, correspondiente a la categoría “**Excelente**”.

PSI promedio: 3.55, equivalente a un estado “**Muy Bueno**”.

Las **deflexiones medidas** se mantuvieron dentro de los valores admisibles según la **norma ASTM D4695**, confirmando que el pavimento presenta una **adecuada capacidad estructural**.

- El pavimento flexible en el tramo presenta una **regularidad superficial uniforme** y una **estructura que distribuye adecuadamente las cargas**, garantizando **buen confort al usuario y mínima afectación al tránsito vehicular**. No se evidenciaron fallas que comprometan su estabilidad a corto plazo.
- Para realizar el **mantenimiento adecuado del tramo Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, se elaboró un **presupuesto referencial**, un **análisis de precios unitarios y costos de reparación**. El monto total estimado para el tramo asciende a **Bs 169,236.98**, contemplando actividades como **señalización, limpieza, sellado de fisuras y mantenimiento de reductores de velocidad**.
- La investigación demuestra que el pavimento evaluado **mantiene un desempeño funcional y estructural adecuado**, cumpliendo los **estándares técnicos y los objetivos del proyecto**. Por lo tanto, solo requiere **mantenimientos rutinarios y correctivos puntuales** para conservar su **vida útil y nivel de servicio**.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda **ejecutar trabajos de mantenimiento rutinario y preventivo** en el tramo **Estación De Servicio El Portillo – Colegio Santa Ana**, ya que, si bien actualmente presenta un **estado estructural y superficial favorable**, se identificaron **fallas localizadas de baja severidad**. Atender estas zonas de forma oportuna evitará la propagación del deterioro y reducirá futuros costos de intervención.
- Durante la ejecución de los **ensayos en campo**, se recomienda **implementar todas las medidas de seguridad vial necesarias**, especialmente en sectores con **alto flujo vehicular**. Esto incluye la **colocación de señalización preventiva** (hombres trabajando, conos, triángulos y banderas de control), así como el **uso obligatorio de equipo de protección personal** (chalecos reflectivos, cascos, guantes, entre otros).
- Se recomienda **mantener una limpieza continua a lo largo del tramo evaluado**, eliminando residuos o escombros que puedan interferir con la circulación vehicular o representar riesgos en la vía.
- Realizar **limpieza y desobstrucción de cunetas y alcantarillas** en la avenida colindante, con el fin de **garantizar una adecuada evacuación de aguas pluviales** y prevenir daños por infiltración durante la temporada de lluvias.
- Ejecutar de forma periódica **mantenimientos preventivos en los sectores donde se detectaron deterioros** como hundimientos, depresiones, baches o grietas longitudinales, transversales y de borde, priorizando las áreas de mayor tránsito.
- En el caso de las **grietas**, se recomienda **aplicar resellado con selladores asfálticos** (en caliente o en frío según las condiciones climáticas), evitando la **infiltración de humedad hacia las capas inferiores** del pavimento y preservando su integridad estructural.
- Finalmente, se sugiere que el presente estudio sirva como **referencia técnica** para futuros proyectos viales en la región, promoviendo una **gestión vial basada en evidencia técnica** y la **optimización de los recursos públicos** destinados al mantenimiento de la red carretera.