

CAPITULO I

DISEÑO TEÓRICO

1. Introducción

En los últimos años en Bolivia tuvo un crecimiento significativo en lo que se refiere a infraestructura, sobre todo en la infraestructura vial, razón por la cual se hace necesario contar con estrategias para poder conservar las vías de comunicación operativas en óptimas condiciones de funcionalidad, a través de ellos se lleva acabo las interrelaciones económicas, sociales, culturales, etc. entre los pueblos. Se invierte presupuesto económico cada año en la construcción, mantenimiento y rehabilitación de vías, para la comodidad y seguridad de los usuarios.

En general los pavimentos son diseñados para soportar de manera adecuada los esfuerzos transmitidos a la superficie de rodadura, asimismo deberán soportar los diferentes cambios climatológicos y las condiciones de drenaje.

La comunidad Colon Norte - Colon Sud y comunidades aledañas, el índice de tasa de crecimiento actual de la región viene aumentando progresivamente como consecuencia obtendremos el aumento del nivel de serviciabilidad de la infraestructura vial. Independientemente del proceso de deterioro “natural” en toda estructura de pavimento, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación, con el objeto de reducir el impacto que las diferentes fallas puedan afectar a la estructura; las fisuras, deformaciones, agrietamientos, erosión, baches entre otros son problemas comunes que se presentan a lo largo del periodo de vida útil de un pavimento. Para evitar el surgimiento de fallas es importante considerar la conservación de la vía tan pronto se termina la construcción del pavimento.

En cuanto a la evaluación superficial y estructural que se realizará en dicho tramo, cabe mencionar fue puesta a disposición de los usuarios de no hace mucho tiempo; esta, a su vez, comenzó a presentar deterioros prematuros que deberían ser resueltos lo más pronto posible antes que los daños sean irreparables, tanto así que se tendría que realizar un recapado de toda la estructura.

Una de las etapas iniciales y fundamentales para establecer las condiciones actuales del pavimento es la evaluación de fallas que se efectuará sobre el tramo colon norte (Cruce San Nicolás) – colon sud. Para el presente trabajo se realizará una identificación y valoración de las fallas en dicha vía, apoyándose en la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento), la metodología el Índice de Regularidad Internacional (IRI), método del círculo de arena (Mancha de Arena), estos para una evaluación superficial; posteriormente, la evaluación estructural se basará en la metodología Viga Benkelman.

1.2 Justificación

El interés de la presente investigación, se basa en la necesidad de conocer la magnitud de las patologías que existe en el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud.

1.2.1 Técnica

Conocer las posibles causas que dieron origen a las patologías /fallas severas que posee la estructura del pavimento flexible de dicho tramo, en función de un estudio de evaluación superficial y estructural. Una de las más apremiantes en las obras públicas en el área de la construcción de carreteras se debería tomar en cuenta un buen estudio definitivo del proyecto a ejecutar y por supuesto el control de calidad antes, después de su ejecución, logrando así cumplir su función y vida útil.

1.2.2 Social

En la actualidad el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud circulan tránsito pesado como liviano, por esa razón principal se pretende diagnosticar el estado del tramo de dicho nombre con una longitud de 5.2 km de vía. Actualmente se encuentra en pleno uso, con algunas dificultades de transitabilidad debido a las patologías existentes. Por consiguiente para un mejor y placentero viaje se debería realizar estas evaluaciones de forma rutinaria.

1.2.3 Económica

El estudio nos permitirá determinar el grado de deterioro de la vía, las causas de origen para adoptar medidas adecuadas de reparación y mantenimiento económicamente viable, además esta información será útil para el municipio de uriondo, donde las autoridades correspondientes podrán intervenir y solucionar el problema que presenta.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación del problema

Es un hecho, todos los pavimentos se van deteriorando con el tiempo generando la aparición de fallas que no constituye solo un problema de aspecto visual o estético; al tener una vía con estas dificultades reducirán su calidad, al mismo tiempo de que estas fallas pueden producir accidentes de tránsito, fallas mecánicas en los vehículos, por último, generan demoras en la transitabilidad habitual de los usuarios.

En el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud del departamento de Tarija en la totalidad de su tramo, se puede observar fallas que afectan de manera directa a la circulación vehicular de la población que usa esta ruta.

Estos deterioros pueden haberse producidos por diferentes motivos provocando efectos desfavorables en la vía, por lo que su control y conservación oportuna resulta valiosa para asegurar la vida útil deseada del proyecto, de modo que mediante este se pueda implementar y planificar políticas de mantenimiento adecuadas. No basta con intervenir cuando las vías se vuelven intransitables, sino que se tiene que evaluar el comportamiento de la vía, para saber el momento adecuado en darle mantenimiento, y no tener que llegar a una reparación que por lo general su costo es mayor.

1.3.2 Problema

El problema presentado para el presente estudio nos lleva a la siguiente interrogante

¿A través evaluación superficial y estructural se podrá determinar las causas del deterioro que presenta del tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud del departamento de Tarija provincia uriondo?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar superficial y estructuralmente por los métodos no destructivos, el estado actual del tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud del departamento de Tarija, determinando las causas de su deterioro para establecer un adecuado plan de mantenimiento, que brinde información actual del tramo con finalidad de dar solución al problema y prolongar su vida útil.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Establecer sectores de evaluación en los que se ejecutan los ensayos.
2. Identificar las fallas superficiales y estructurales presentes en el pavimento.
3. Determinar los niveles de severidad de las fallas con el método PCI de dicho tramo de estudio.
4. Determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) del tramo Colon norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud utilizando el equipo Merlín.
5. Determinar la microtextura y macrotextura del pavimento Colon norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud.
6. Determinar la condición estructural del pavimento empleando la Viga Benkelman.
7. Adoptar medidas adecuadas al mantenimiento o restitución en base al resultado de la evaluación superficial y estructural.
8. Determinar el costo del pavimento restituido.

1.5 Diseño metodológico

1.5.1 Unidad de estudio

Evaluar el estado actual del pavimento flexible.

1.5.2 Población

Son todos los tipos de falla superficiales y estructurales de la carretera con una longitud 5.2 km de pavimento flexible.

1.5.3 Justificación técnica de los evaluadores por aplicar

Ante la necesidad de dicho tramo se pretende hacer un estudio de Evaluación superficial y Evaluación estructural por donde circulan tránsito pesado como liviano, por esa razón principal se pretende averiguar el estado actual del tramo

Evaluación superficial: El **PCI** (Método Pavement Condition Index) constituye el método más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, y ha sido publicado por la ASTM como el método de análisis y aplicación. Con el fin de conocer la condición del pavimento flexible existe.

Mancha de Arena: Conocido con el nombre del método del círculo de arena, sirve para determinar medidas puntuales de la macro textura. El procedimiento consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado (50 cm³) de arena fina uniforme (Arena de Otawa que pasa por el tamiz N° 60 y retenida en el N°80 según la norma ASTM E965-15), de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes

Índice Internacional de Rugosidad (IRI): Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino, que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se trató de unificar los criterios de evaluación

con los equipos de medición de rugosidad a nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera sustituyera el método de la AASHO, ahora AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

Evaluación estructural

la **Viga Benkelman**, es un método no destructivo cumple con las dificultades marcadas, dicha herramienta se encuentra en los laboratorios de suelos de la U.A.J.M.S nos ayudara a interpretar los resultados obtenidos de la evaluación estructural para luego tomar una decisión respecto a los pavimentos flexibles y así mejorarla calidad de vida de los ciudadanos.

1.5.4 Muestra

Es la zona de estudio, en nuestro caso es el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud se llevará a cabo para la evaluación superficial con el método del PCI (Índice de Condición del Pavimento) y para la Evaluación estructural el método de la Viga Benkelman.

1.5.5 Muestreo

Para la obtención de todos los datos de fallas existentes en el sitio de estudio se establecerá una división de la totalidad de la superficie del tramo en una unidad homogénea a la vez la división deberá considerar los tipos de fallas existentes. Aplicando los métodos elegidos para tener las áreas identificadas con mayor afectación de daños

1.5.6 Tipo de investigación

Los métodos empleados para la evaluación superficial y estructural es el método deductivo y descriptivo.

Método Deductivo: Es aquella que va de lo general a lo específico, es decir que parte de un enunciado general del se van desentrañando partes o elementos específicos.

Método Descriptivo: Es aquella investigación que va orientada la pregunta acerca de cómo es una determinada parte de la realidad objeto de estudio.

La evaluación superficial y estructural del dicho tramo corresponde a un porque pasa de lo general al específico “**Estudio de investigación Deductivo y Descriptiva**”, por que pasa de lo general al específico, se observa diferentes fenómenos en un contexto natural para después analizarlo, se diagnostica las patologías tanto superficial y estructural dando motivos de deterioro del pavimento caracterizando de manera cuantitativa.

1.6 Metodología de trabajo

El procesamiento de los dos métodos se realizó a través de una hoja de cálculo elaborada bajo los procedimientos de la metodología PCI y por la viga Benkelman y el análisis se presentará a través de gráficos de sectorización, histogramas, gráficos de líneas, tablas de registro y gráfico de barras (Microsoft Excel) de datos que se tomaron de la medición de las fallas levantadas en campo.

1.7 Alcance del estudio

El alcance del proyecto se encuentra en el departamento de Tarija - provincia José María Avilés – Municipio Gobierno Autónomo Municipal de Uriondo – localidad Valle de Concepción. Proyecto se refleja en el trabajo de evaluación del estado actual. Para tal efecto se dividirá la evaluación en dos partes: evaluación superficial y evaluación estructural.

Primeramente, se realizará una detallada inspección visual y un recorrido general en ambas calzadas, de este modo se logrará obtener un conocimiento general del tramo de tal manera que se distinguirán los tramos más deteriorados, los mismos serán seccionados donde se analizará cada una las fallas que se logre observar, y de este modo realizar ensayos que indiquen el estado superficial y estructural del tramo.

Para la evaluación superficial del tramo se realizarán dos metodologías, la primera establecerá la condición del pavimento PCI (Índice de Condición del Pavimento); para

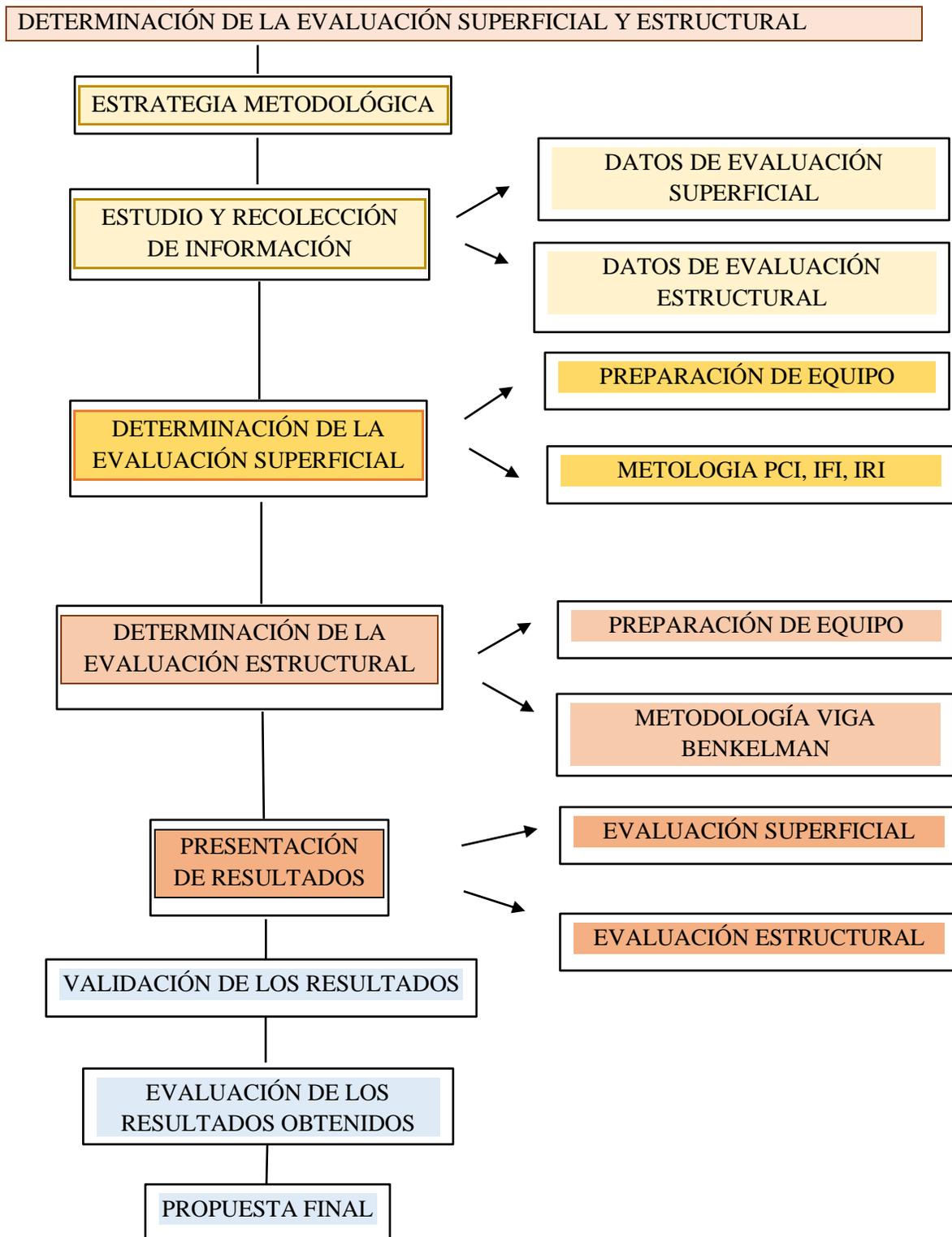
este método deberá realizarse la inspección visual en toda la superficie del pavimento, recolectando medidas que consideren y califiquen las fallas existentes.

Aplicaremos la metodología del IRI Índice Internacional de Rugosidad Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial y la mancha de arena para determinar medidas puntuales de la macro textura.

Posteriormente aplicaremos la metodología IFI (Índice de Fricción Internacional), el cual establecerá el grado de textura y fricción que contenga el pavimento.

La evaluación estructural del tramo se realizará mediante el ensayo de la Viga Benkelman, este ensayo mide la restitución de las deflexiones del pavimento, a partir de estas mediciones se obtienen valores de deflexiones máximas y radios de curvatura mediante los cuales se evaluará la condición estructural del pavimento.

Ilustración 1: Evaluación superficial – estructural



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

2.1 Pavimentos flexibles

Pavimento formado por una o varias capas asfálticas y/o materiales seleccionados o tratados, de módulos elásticos decrecientes con la profundidad. Normalmente, la capa de rodadura corresponde a una mezcla asfáltica o a una capa Asfáltica de protección y las capas profundas, a materiales granulares de tipo base o subbase. En este caso, las cargas de ruedas son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación.

Las ventajas de realizar un pavimento flexible, es que, debido a su gran cantidad de asfalto, tiene la propiedad de ser:

- A) Un pavimento impermeable, es un buen impedimento a factores adversos a ser penetrado, evitando así daños en sus bases inferiores.
- B) Posee propiedades adherentes y cohesivas que le permiten formar una única estructura. Otorgando resistencia mecánica y al desgaste.
- C) Al ser un material flexible, es elástico por lo que tiende a sufrir deformaciones y volver a su estado original, siempre que sean cargas para lo cual fue diseñado.¹

Figura 1: Composición pavimento flexible



Fuente: <https://definicion.de/pavimento/>

2.1.1 Componentes de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles están constituidos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase, y subrasante.

Carpeta asfáltica:

La carpeta asfáltica es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía. Tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha 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). Tienen las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas subbase y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

Subbase:

Se considera una capa netamente económica, debido a que el contenido de sus materiales es muy accesibles 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.

Subrasante:

El suelo compactado o subrasante mejorada, es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.¹

Figura 2: Composición pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

2.2 Evaluación de pavimentos

Existen diversos métodos de evaluación de pavimentos, que son aplicables a calles y carreteras; entre los aplicables al presente estudio están, método PCI, IRI, Mancha de Arena, Viga Benkelman.

¹ <https://www.cuevadelcivil.com/2010/06/componentes-de-un-pavimento.html>

2.2.1 Importancia de la evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

2.3.1 La evaluación de pavimento tiene dos componentes

- Evaluación superficial
- Evaluación estructural

2.3.2 Evaluación superficial

Con la evaluación superficial se busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.

Las características superficiales o funcionales de los pavimentos afectan directamente a los usuarios de la vía, ya que durante el rodaje condición. Adicionalmente, el rodaje genera un impacto ambiental por el ruido del contacto neumático – pavimento el cual afecta a usuarios y vecinos. En consecuencia, las principales características superficiales de un pavimento están dirigidas a controlar los siguientes aspectos.

2.3.3 Evaluación estructural

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico de vehículos y la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad, etc.

Estos dos componentes se complementan mutuamente, para permitir la obtención de resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento, y verificación de la capacidad de la estructura.²

² <https://www.cuevadelcivil.com/2010/06/componentes-de-un-pavimento.html>

2.3.5 Fallas en los pavimentos

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural.

La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, los vehículos no viajan de forma cómoda y la falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que este no pueden soportar las cargas a la que está sometido.

La falla estructural implica una degradación de la estructura del pavimento. Se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa, esto se denomina falla por fatiga. Por otro lado, las fallas en los pavimentos flexibles pueden identificarse de acuerdo a su origen.

2.3.6 Fallas superficiales

Son las fallas en la superficie de rodamiento, debidos a los deterioros en la capa de rodadura y que no guardan relación con la estructura de la calzada.

La corrección de estas fallas se efectúa con solo regularizar su superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

2.3.7 Fallas estructurales

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir las sollicitaciones que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos.

Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y el futuro estimado.

Las causas de las fallas en los pavimentos flexibles se deben:

A) Tráfico de diseño: Son cargas mayores a las de diseño un incremento no contemplado del tráfico.

En muchos casos se tiene un tráfico de diseño del pavimento incorrecto, las cargas son bastante mayores a las previstas. Se debe a errores en la aproximación de cargas o también al incremento en el tráfico de los años.

B) Proceso constructivo: deficiencias en los procesos de construcción empleados, mala calidad y dosificación de materiales. Se presentan estructuras de pavimento débiles, originados por espesores incorrectos de las capas, diseños de mezcla inadecuados, y muchas veces deficiencia en la distribución y compactación de las capas.

C) Deficiencias de proyecto: Diseños mal elaborados, estudio incompleto de la subrasante, entre otros.

Elaboración de proyectos inadecuados, donde no se hacen los estudios competentes y básicos para un buen diseño, así como la falta de consideraciones de futuros imprevistos en los procesos constructivos.

D) Factores ambientales: Elevación de la capa freática, inundaciones, lluvias, congelamientos y otros.

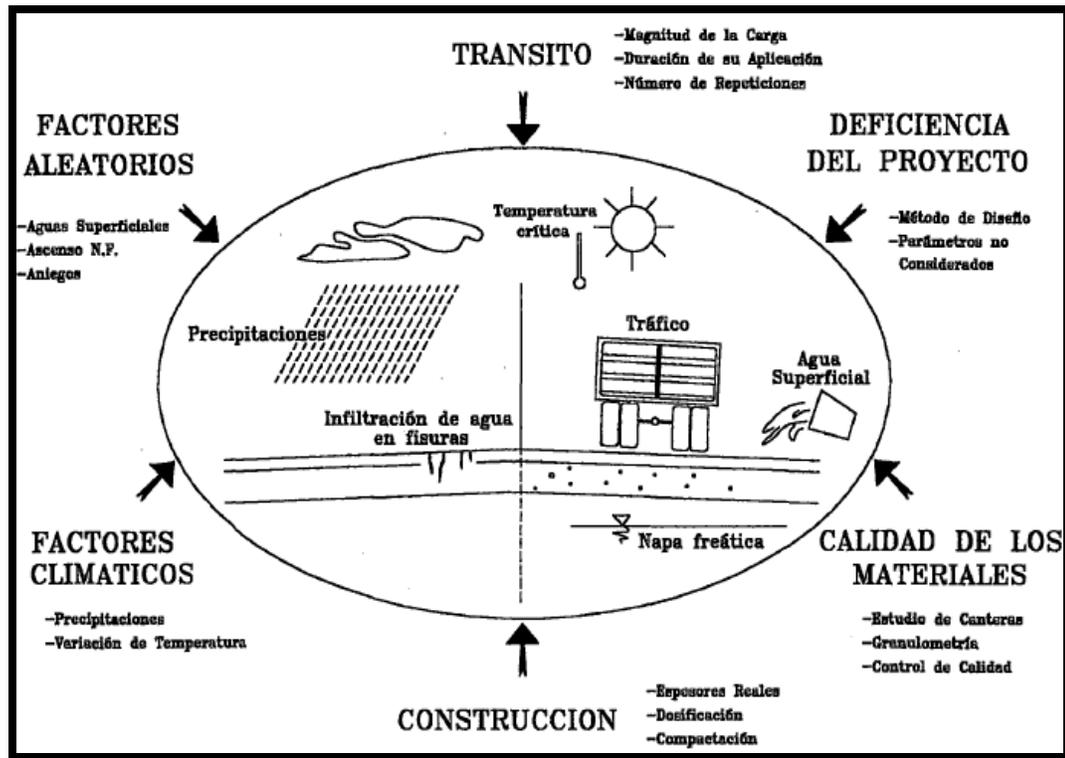
E) Conservación deficiente: Técnicas inadecuadas del mantenimiento y muchas veces ausencia del mismo. Se observa que muchas vías de diferente tipo de importancia no reciben un mantenimiento rutinario ni periódico.

Diseños mal elaborados, estudio incompleto de la subrasante, entre otros.

Elaboración de proyectos inadecuados, donde no se hacen los estudios competentes y básicos para un buen diseño, así como la falta de consideraciones de futuros imprevistos en los procesos constructivos.³

³ <https://www.cuevadecivil.com/2010/06/componentes-de-un-pavimento.html>

Figura 3: Principales factores que causan las fallas en los pavimentos flexibles



Fuente: VALERIANO INOCENTE JUAN - *Degradaciones En Los Pavimentos*

2.4 Serviciabilidad.

El concepto de serviciabilidad, debe ser definida en relación al propósito de un pavimento construido, esto es, proveer un viaje confortable, seguro y suave a los usuarios. Durante este ciclo el pavimento inicia su vida en una condición perfecta hasta alcanzar una condición mala. La disminución de su condición o “serviciabilidad” a lo largo del tiempo es conocido como desempeño.

El término evaluación funcional fue introducido para representar los procesos de identificación y caracterización de diversos aspectos relacionados a las condiciones de superficie de rodadura, incluyendo cuestiones relacionadas al confort y seguridad del tráfico, en las condiciones operacionales de la vía en un momento determinado de su vida de servicio.

Se consideran tres indicadores para medir la serviciabilidad de un pavimento:

2.4.1 Rango de serviciabilidad presente (IRI)

Se determina a partir del promedio de las evaluaciones de los usuarios, este promedio da origen al PSR, el cual, por naturaleza, tiene carácter subjetivo.

2.4.2 Índice de serviciabilidad presente (IRI)

Son las características físicas del pavimento que pueden medirse objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas. El cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento.

2.4.3 Condición superficial del pavimento

A través de ensayos realizados en la AASHO Road Test en 1962, se mostraron que la gran mayoría de informaciones sobre serviciabilidad del pavimento era atribuida a la irregularidad que existía a lo largo de todo el tramo de la vía, y las medidas de irregularidad buscaban estimar la serviciabilidad del pavimento existente.

En la siguiente tabla se presenta la escala de serviciabilidad que está entre 0 a 5.

Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.⁴

⁴ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Imagen 1: Escala de calificación de serviciabilidad según AASHO

CALIFICACIÓN		DESCRIPCIÓN
NUMÉRICA	VERBAL	
5.0 – 4.0	Muy buena	Solo los pavimentos nuevos (o casi nuevos) son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en sus categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4.0 – 3.0	Buena	Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los "Muy Buenos", entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un nivel de deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.
3.0 – 2.0	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos en este grupo pueden presentar fallas en las juntas, agrietamientos, escalonamiento y pumping.
2.0 – 1.0	Mala	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad del tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos; y ocurre en un 50% o más de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo.
1.0 – 0.0	Muy mala	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas. El deterioro ocurre en un 75 % o más de la superficie.

Fuente: ING. CORREDOR GUSTAVO - *Experimento Vial de la AASHO*

2.5 Evaluación superficial de un pavimento flexible

2.5.1 Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventa visual de la condición del pavimento en el cual se establece CLASE, SEVERIDAD Y CANTIDAD de cada daño que existe.

2.5.2 Rango de calificación del PCI

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de una encuesta visual de la condición de pavimento en el cual se establecen su tipo, severidad y cantidad que presenta cada daño.⁵

Tabla 1: Rango de calificación del PCI

Rango		Calificación
100	85	Excelente
85	70	Muy Bueno
70	55	Bueno
55	40	Regular
40	25	Malo
25	10	Muy Malo
10	0	Fallado

Fuente: RODRÍGUEZ VELÁSQUEZ - *Cálculo Del Índice De Condición Del Pavimento Flexible En La Av. Luis*

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de una encuesta visual de la condición de pavimento en el cual se establecen su tipo, severidad y cantidad que presenta cada daño.

⁵ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

2.5.3 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende: una etapa de trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de cada uno de ellos y una segunda fase que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, **la clase**, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, entre otros.

La severidad, representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, o sea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:

Bajo (L):

Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Los abultamientos y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero no provoca incomodidad.

Medio (M):

Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad.

Alto (H):

Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.⁶

⁶ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

2.5.4 División de pavimento en unidades de muestra

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura: a. Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En el Cuadro 1 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

No todas las unidades de muestra requieren tener el mismo tamaño de muestra, pero deben tener similares patrones para asegurar la exactitud en cálculo del PCI.

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

2.5.5 Evaluación de un pavimento

El muestreo se lleva a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación.

- Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.
- Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
- Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
- Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
- Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando un número de unidades de muestra que nos garantice un nivel de

confiabilidad del 95 % o considerando un número menor de unidades de muestra.

- Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.
- El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95 % de confiabilidad), es calculado empleando la siguiente ecuación y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades a evaluar.

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

e = Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = +/- 5%)

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos (rangos PCI de 25) y para pavimentos de concreto de 15 (rango PCI de 35). En inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

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

2.5.6 Selección de las unidades de muestras para la inspección

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

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

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

Donde:

N = Número total de unidades de muestro disponibles.

n = Número mínimo de unidades para evaluar

i = Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior

2.5.7 selección de las unidades de muestreo adicionales

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

Las unidades de muestra adicionales deben ser inspeccionadas solo cuando se observan fallas no representativas, estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

2.5.8 Materiales e instrumento para determinar el PCI

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

Equipo:

Huinchas de 50 m, para medir las longitudes y las áreas de los daños regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

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

Procedimiento:

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad guiándose con el manual de daños en los pavimentos flexibles y rígidos y se registra la información en el formato o tabla emplazando progresiva, unidad de muestreo, tipo de falla, severidad de cada unidad del muestro. Se debe conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de la medida de los daños. Teniendo como apoyo una hoja de datos de campo acompañado de un plano donde se esquematiza la red de vía que será evaluada, donde se registra el daño, su extensión y su nivel de severidad.

Seguridad:

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

2.5.9 Metodología de calcula del PCI de una sección de pavimento

Luego de culminar la inspección de campo, la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo del PCI está basado en los “valores deducidos” de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas.

El cálculo del PCI, puede realizarse en forma manual o computarizada

Con la finalidad de facilitar el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

Etapa 1. Determinación de los valores deducidos (Vd.).

- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna de “total”. El daño puede medirse en área, longitud o por su número según sea el tipo.
- Divida la “cantidad total” de cada tipo de daño, en cada nivel de severidad, entre el “área muestra” de la unidad de muestreo y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de falla (tipo de severidad)}}{\text{Área de unidad de muestreo}} * 100$$

- Determine el “valor deducido” para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas o tablas denominadas “valor deducido del daño”, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Fisuras longitudinales y transversales			
Densidad	Valor deducido		
	L	M	H
0.10			
0.20			
0.30			
0.40			4.30
0.50			4.90
0.60		1.40	5.60
0.70		1.70	6.20
0.80		1.90	6.70
0.90		2.10	7.30
1.00		2.40	7.80
2.00	0.10	4.60	12.30

Etapa 2. Determinación del número máximo admisible de valores deducidos.

- Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (cdv).
- Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.

Etapa 3. Determinación del máximo valor deducido corregido (cdv).

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

- Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.
- Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- Determine el cdv con el q y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.
- Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas a. hasta c. Este proceso se repite hasta que se cumpla la condición que “q” sea igual a 1.
- El “máximo cdv” es el mayor valor de los cdv obtenidos en el proceso de iteración indicado.

Etapa 4. Calcule el PCI, restando el “máximo cdv” de 100.

$$PCI = 100 - \text{Máx. CDV}$$

Donde:

PCI = Índice de Condición Presente

Máx. CDV= Máximo valor corregido deducido

2.5.10 Criterios de inspección

Criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

Sin embargo, si los diferentes niveles de severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.

Se dice que una falla esta desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

Si el agrietamiento piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurre en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.

Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.

El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.

Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parcheada, esta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche⁷

2.5.11 Fallas en pavimentos

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

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

2.5.12 Fisuras y grietas por fatigación

Son una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente ubicadas en zonas donde hay repeticiones de carga. La figuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de cargas, en donde desarrollan un parecido con la piel de cocodrilo. Este tipo de daño no es común en carpetas asfálticas colocadas sobre pavimentos de hormigón.

⁷ Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos, traducido por el ing. Luis Ricardo Vásquez, 2006

Imagen 2: Deterioro por fatigación de un pavimento flexible

Fuente: BLOGGER - <http://www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com>

Posibles causas:

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente
- Deformaciones de la subrasante.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.

Nivel de severidad bajo: (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.

Nivel de severidad medio: (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.

Nivel de severidad alto: (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.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Colocación de sello o lechada asfáltica en las zonas afectadas.
- Solución para deterioro medio: Colocación de sello o lechada asfáltica en todo el pavimento.
- Solución para deterioro alto: Rehacer las capas de pavimentos que se encuentran con este tipo de deterioro. ⁸

2.5.13 Fisuras y grietas en bloque

En este tipo de falla la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma más o menos rectangular. Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que este aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, se pueden encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo Debido al tránsito.⁶

⁸ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Imagen 3: Deterioro por bloques de un pavimento



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

Posibles Causas

Es causada principalmente por la contracción del pavimento asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo que se produce en ciclos de esfuerzo – deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona.

- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones
- baja capacidad de soporte de la subrasante.

Nivel de severidad bajo: (L)

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.

Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

Nivel de severidad medio: (M)

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Nivel de severidad alto: (H)

Existe una de las siguientes condiciones:

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

Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.

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

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: La solución se da por medio de un sello o lechada asfáltica en toda la superficie.
- Solución para deterioro medio: Para el deterioro medio, se realiza el mismo procedimiento que en un deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Recarpeteo, realizar la carpeta asfáltica de nuevo, realizando un sello previo en las grietas existentes.

2.5.14 Grietas de borde

Son grietas ubicadas cerca del borde de la calzada, se presentan generalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel de la berma y la calzada. Generalmente se ubican dentro de una franja paralela al borde, con ancho hasta 0,60 m².⁶

Imagen 4: Deterioro de Bordes de un pavimento flexible



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

Posibles Causas:

La principal la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,30 m a 0,60 m del borde de la calzada.⁶

Nivel de severidad bajo: (L)

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad medio: (M)

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad alto: (H)

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

Medición:

Se mide en metros lineales (m). Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Realizar sellado de grietas con el material según corresponda. Mezcla asfáltica.
- Solución para deterioro medio: Realizar mismo procedimiento que deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Realizar mismo procedimiento que deterioro bajo y medio.⁷

2.5.15 Fisuras y grietas longitudinales y transversales

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. Se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.⁹

Imagen 5: Deterioro longitudinales de un pavimento flexible

Fuente: ING. PATIÑO L. GUSTAVO / OVALLES C. FIDEL - *Manual para inspecciones visual de Pavimentos flexibles*

⁹ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Imagen 6: Deterioro transversales de un pavimento flexible



Fuente: ING. PATIÑO L. GUSTAVO / OVALLES C. FIDEL - *Manual para inspecciones visual de Pavimentos flexibles*

Posibles causas:

- Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

2.5.16 Causa para la conformación de fisuras longitudinales

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Nivel de severidad medio: (M)

Existe una de las siguientes condiciones:

Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.

Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Nivel de severidad alto: (H)

Existe una de las siguientes condiciones:

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

Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.

Una grieta de cualquier ancho; el pavimento alrededor de la misma está severamente fracturado.

Medición:

Se mide en metros lineales (m). 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.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: La reparación se realiza bajo un proceso de sellado con lechada asfáltica.
- Solución para deterioro medio: Se realiza por el mismo método de solución de deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Recarpetear con espesor adecuado.

2.5.17 Fisuras y grietas reflejadas

Este tipo de daño ocurre cuando existe una capa de pavimento asfáltico sobre placas de pavimento rígido; estas fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas en dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando hay grietas en el pavimento rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie

presentando un patrón irregular.¹⁰

Imagen 7: Deterioro reflejadas de un pavimento flexible



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

Posibles Causas:

Son generadas por los movimientos de las juntas entre placas de pavimento rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar figuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.

Nivel de severidad bajo: (L)

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 25,0 y 51,0mm.

Nivel de severidad medio: (M)

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 51,0 y 102,0 mm.

Nivel de severidad alto: (H)

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo es mayor de 102,0 mm.

¹⁰ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Medición:

Se mide en metros lineales (m).

Solución:

- Solución para deterioro bajo: La reparación se realiza bajo un proceso de sellado con lechada asfáltica.
- Solución para deterioro medio: Se ocupa la misma reparación que un deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Se debe colocar un o más capas de espesores adecuados para que retarden la aparición de las grietas reflejadas, previamente se deben sellar todas las juntas y grietas del pavimento inferior y en las zonas de mayor deterioro se debe reparar el pavimento.⁷

2.5.18 Deterioro superficial y parches deteriorados

Son áreas de pavimentos que ya habían sido reparadas por medio de parches, siendo estos parches los deteriorados.

Posibles Causas:

Principalmente razón puede ser que el parche no era lo suficientemente resistente para el nivel de sollicitación requerido o finalmente por una mala construcción del parche, con una base compactada de manera insuficiente o una mezcla mal diseñada.

Imagen 8: Deterioro en parches de un pavimento flexible

Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Recubrimiento del área con un sello
- Solución para deterioro medio: Recubrimiento del área con un sello, al igual que un deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Reparación, se debe extraer el parche y las capas inferiores hasta donde sea necesario.

2.5.19 Baches en carpetas asfálticas

Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica. Para Considerarla como bache al menos una de sus dimensiones un mínimo debe tener de 150 mm.

2.5.20 Tratamientos superficiales**Posibles Causas:**

Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante. Drenaje inadecuado o insuficiente.

Defecto de construcción y Derrame de solventes (bencina, aceite, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

Imagen 9: Baches de un pavimento flexible

Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*

Edición 2014

Nivel 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 siguiente:

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 203 mm	203 a 457 mm	457 a 752 mm
12,70 a 25,40 mm	L	L	M
>25,40 a 50,80 mm	L	M	H
>50,80 mm	M	M	H

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm. Debe medirse el área total del hueco en metros cuadrados y dividirla entre (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 de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm. La severidad se considera como alta.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Remover el área dañada hasta la profundidad que sea necesaria y rellenar con la mezcla asfáltica en frío o en caliente.
- Solución para deterioro medio: Se realiza del mismo método que el deterioro bajo.
- Solución para deterioro alto: Se realiza del mismo método que el deterioro bajo y medio.

5.2.21 Ahuellamiento

Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes de la zona deprimida y de fisuración.¹¹

Posibles Causas

El Ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de

¹¹ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o agregados redondeados.

Imagen 10: Ahuellamiento de un pavimento flexible



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

Niveles de severidad:

Dependen de la profundidad promedio del ahuellamiento:

L: 6,0 a 13,0 mm.

M: >13,0 mm a 25,0 mm.

H: > 25,0 mm.

La profundidad promedio del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad y usando las medidas tomadas a lo largo de aquel para calcular su profundidad promedio.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella.

Solución:

Bajo: Relleno de la huella con mezcla asfáltica, Slurry Seal (Lechada asfáltica) con tamaño máximo ½” hasta nivelarlo con la cota de la rasante.

- Solución para deterioro medio: Relleno de la huella con mezcla asfáltica y luego cubrir toda la calzada con una capa asfáltica de un mínimo de 50 milímetros. ⁷

2.5.22 Deformación transversal

Las fisuras de desplazamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse por la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas.

Posibles Causas:

- Estructura insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.
- Drenaje inadecuado o insuficiente.
- Defecto de construcción.

Imagen 11: Deformación transversal de un pavimento flexible

Fuente: ING. PATIÑO L. GUSTAVO / OVALLES C. FIDEL - *Manual para inspecciones visual de Pavimentos flexibles*

Nivel de severidad bajo: (L)

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad medio: (M)

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad alto: (H)

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

Medición:

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada. Si el acceso no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Relleno con Cape-Seal a la huella hasta el punto de nivelar con la superficie.
- Solución para deterioro medio: Reparar el área dañada, reemplazando la o las capas asfálticas deterioradas.

- Solución para deterioro alto: Reparar el área dañada, reemplazando la o las capas asfálticas deterioradas y la base subyacente.⁷

2.5.23 Exudaciones

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Posibles Causas:

La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de mezcla sea bajo.⁶

Imagen 12: Exudaciones de un pavimento flexible



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

Nivel de severidad bajo: (L)

La mancha ha ocurrido solamente en un grado muy ligero, siendo apreciable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los neumáticos de los vehículos.

Nivel de severidad medio: (M)

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

Nivel de severidad alto: (H)

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

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada. Si se contabiliza la mancha no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Sellar la superficie.
- Solución para deterioro medio: Fresar en frío de 10 a 15 milímetros la capa asfáltica y reemplazarlos por una nueva carpeta
- Solución para deterioro alto: Mismo procedimiento que un deterioro medio.

2.5.24 Desgaste

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por la acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida del ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.

Posibles Causas:

El desgaste superficial generalmente es un deterioro natural del pavimento, aunque si se presenta con severidades medias o altas a edades tempranas puede estar asociado a un endurecimiento significativo del asfalto.

- Falta de adherencia del asfalto con los agregados.
- Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.
- acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.¹²

¹² Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Imagen 13: Desgaste de un pavimento flexible



Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

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.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada. Si se contabiliza mancha del pavimento (exudación), no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Solución:

La solución recubrir la superficie con una carpeta de rodaduras no menor a 50 milímetros de espesor, ocupando áridos adecuadas.

Pérdida de áridos: Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial

2.5.25 Pérdida de áridos de un pavimento flexible

La capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado

Posibles Causas:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

Imagen 14: Pérdida de áridos de un pavimento flexible

Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*
Edición 2014

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.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada. Si se contabiliza mancha del pavimento (exudación), no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Solución:

- Solución para deterioro bajo: Colocar un sello o lechada asfáltica para detener el proceso.
- Solución para deterioro medio: Colocar una nueva carpeta asfáltica de rodadura no menor a 50 milímetros.
- Solución para deterioro alto: Mismo procedimiento que el deterioro medio.

2.5.26 Ondulaciones

Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores a 1,0 m.

Posibles causas:

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos pueden presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso afecta toda la zona de la estructura del pavimento. Además, también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.⁶

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- Falta de curado de las mezclas en la vía.
- Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.

Imagen 15: Ondulaciones de un pavimento flexible

Fuente: ING. ALVARES ROBERTO - *Manual de Carretera Volumen 7*

Nivel de severidad bajo: (L)

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad medio: (M)

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad alto: (H)

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada. Las deformaciones que ocurren en baches se consideran para el inventario de daños como baches.

Solución:

Si el IRI es menor a 3,5 no será necesaria la intervención, por lo contrario, si este supera los 3,5 será necesario realizar un reemplazo de las áreas afectadas, capas asfálticas, bases. Aumento de la capacidad estructural del pavimento.⁷

5.2.27 Fisuración incipiente

La fisuración incipiente corresponde a una serie de fisuras continuas y cerradas, que generalmente no se intercepta. Suele afectar el concreto asfáltico de manera superficial. Por ser daños muy leves no poseen niveles de severidad asociados.

Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos.

Posibles causas:

- Diferencia de temperaturas entre la mezcla y el medio ambiente en el momento de la colocación (temperatura ambiente baja).
- Lluvia durante la colocación del concreto.

Imagen 16: Fisuración incipiente



Fuente: ING. PATIÑO L. GUSTAVO - ING. OVALLES C. FIDEL - *Manual para inspecciones visual de Pavimentos flexibles*

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.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m^2) de área afectada. Si se contabiliza mancha del pavimento (exudación), no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Solución:

- No se hace nada .
- sello superficial .
- tratamiento superficial.

5.2.28 Descascaramiento

Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la carpeta asfáltica superficial sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos.

Posibles causas:

- Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales.
- espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica.
- mezcla asfáltica muy permanente.¹³

Imagen 17: Descascamiento



Fuente: ING. PATIÑO L. GUSTAVO - ING. OVALLES C. FIDEL - *Manual para inspecciones visual de Pavimentos flexibles*

¹³ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Nivel de severidad bajo: (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.

Nivel de severidad medio: (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.

Nivel de severidad alto: (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.

Medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Solución:

- Sello superficial
- tratamiento superficial. ¹⁴

2.6 característica de la fricción

La fricción suele ser suficiente cuando la superficie está seca.

En un pavimento húmedo, el agua actúa como lubricante que reduce el contacto directo neumático – superficie.

¹⁴ Apéndice C (Manual de diseño de la evaluación de la condición de pavimentos)

Si la película de agua llega a ser muy espesa o la velocidad del vehículo muy alta, los neumáticos pueden perder contacto con la superficie, creándose el fenómeno conocido como hidro planeo.

2.6.1 Factor que afectan la fricción neumática – pavimento

La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes según la influencia de factores tales como:

La película de agua sobre la superficie del pavimento:

Actúa como lubricante y disminuye el contacto neumático – pavimento

Los neumáticos:

Influye significativamente la presión de inflado, el material, el dibujo y la profundidad de la banda de rodadura. Esta última contribuye en la pronta eliminación de la película de agua.

La velocidad de circulación:

A mayor velocidad menor adherencia neumático – pavimento en presencia de agua.

Época del año:

Además de los cambios de humedad estacional (verano – invierno) que condicionan la presencia de agua en la calzada o superficie del pavimento, se tiene que la variación de la temperatura ambiente puede modificar las características del material del neumático. Adicionalmente, la característica termoplástica del ligante asfáltico (cemento asfáltico) condiciona su viscosidad o grado de fluidez en función a la temperatura, haciéndolo menos fluido (aumentando su rigidez) a bajas temperatura y haciéndolo más fluido a medida que aumenta la temperatura. Estas circunstancias afectan la adherencia neumática-pavimento.

La textura de la superficie del pavimento:

Es el único factor que puede ser controlado por el ingeniero de pavimento, ya que el mismo está relacionado con el origen mineralógico de la fuente de agregados

(préstamos) y con la composición porcentual de los diferentes agregados seleccionados para la producción de las mezclas a ser empleadas en la carpeta de rodamiento. La textura se sub divide en dos elementos. La macro textura y la micro textura.

2.6.2 Caracterización de la superficie

La textura tiene un rol muy importante en la evacuación del agua en el sistema neumático – pavimento y afecta directamente a la adherencia entre los neumáticos del vehículo y la capa de rodadura, estos aspectos de la textura son determinantes en la seguridad de circulación, puesto que son los que mantienen al vehículo en la vía al momento de frenado en una curva aun cuando esta se encuentre bajo los efectos de la lluvia. Esta textura se ve disminuida en el tiempo por que disminuyen la adherencia entre el vehículo y el pavimento. La textura también influye directamente en los niveles de sonoridad que percibe tanto el usuario al interior de su vehículo, como también el ruido que produce en el exterior que afecta la calidad de vida de las áreas pobladas que son adyacentes a la carretera. En el aspecto económico afecta en el consumo de combustible, el desgaste de los vehículos y principalmente en el desgaste de los neumáticos.

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones micro textura y macro textura.

2.6.3 Micro textura

La micro textura es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie perfectamente plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,50 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, es tan pequeña que no puede verse a simple vista. Corresponde a la textura superficial de los agregados pétreos, las cuáles pueden presentar características del tipo áspero o pulido.

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

2.6.4 Macro textura

La macro textura de un pavimento es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,50 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que las de los dibujos de los neumáticos. La macro textura proviene del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Las propiedades de la macro textura están determinadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie.

La macro textura es la que se encarga de la capacidad de drenar del pavimento. Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento que presenta un pavimento, será en general el resultado de la combinación micro textura - macro textura que presente la superficie.

2.6.5 Importancia de la macro textura en las vías

La macro textura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a velocidad media y elevada (más de 60 Km/h), además la macro textura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustible al aumentar la resistencia al rodamiento, pero puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. ¹⁵

2.7 IFI (Índice de Fricción del Pavimento)

2.7.1 Definición del IFI (Índice de Fricción Internacional)

El índice de fricción internacional, designado como IFI, es el segundo de una probablemente larga serie de indicadores internacionales que definen el estado de una carretera. El desarrollo de indicadores internacionales comenzó con el IRI (Índice de Rugosidad Internacional). El uso de este índice presenta la gran ventaja de permitir la

¹⁵ Pablo M. Del Águila, B.SC. Lagesa Ingenieros Consultores

comparación entre los pavimentos empleados en cualquier país del mundo y por lo tanto el intercambio de información entre los profesionales y las administraciones. Así, hablar de un pavimento IFI (0,35; 120) significa que el pavimento esté donde esté, presentará las mismas características de adherencia y textura, con independencia del tipo de pavimento que sea y del equipo de medida que se haya empleado.

Estudios realizados han demostrado que, para interpretar mejor los fenómenos que suceden en el contacto neumático – pavimento asociado a situaciones de riesgo durante las operaciones de frenado en pavimentos mojados, se realiza la presente metodología.

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación de agua en los “huecos” del neumático y del pavimento se pueden razonablemente asegurar con pavimentos que tengan determinados valores de micro textura y de macro textura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, impidiendo o dificultando los fenómenos de hidroplaneo, lo que también ayuda a mejorar la fricción.

Generalmente se ha venido caracterizando el pavimento por el valor de un coeficiente de rozamiento, determinado mediante equipos y ensayos más o menos modernos, y mejor o peor adaptados a las condiciones actuales de la circulación y de los pavimentos.

La materialización de representar en un solo índice las características relacionadas con la seguridad vial en condiciones de frenado se ha conseguido realizando el experimento internacional. Las conclusiones del experimento han probado la necesidad de representar ese índice, el IFI, por dos números procedentes de dos medidas, una de fricción y otra de macro textura.

Por tanto, el IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por punto y coma, el primero representa la fricción y el segundo la macro textura. El primero es un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (km/h).

El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno de adherencia. No es posible, por el momento describir con una relación sencilla como la anterior, el segundo número que compone el IFI.

Calculo altura de la altura textura media

$$T_x = \frac{4 * V}{\pi * D_p^2}$$

El experimento de fricción internacional es una escala de referencia basada en el modelo aipcr (que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento), modelo que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad (Sp)

Calculo determinación de velocidad Sp

$$S_p = a + b * T_x$$

La de fricción a 60 km/h (F60) de un pavimento. El par de valores (F60 y Sp) expresan el IFI de un pavimento y permiten calcular el valor de fricción, F(S), a cualquier velocidad de deslizamiento “s” mediante la siguiente ecuación:

Calculo determinación de velocidad F60.

$$FR_{60} = FRS * e^{\frac{(S-60)}{S_p}}$$

Para obtener el IFI se precisa en primer lugar realizar (con cualquier equipo o técnica, homologa u homologable a partir de los criterios establecidos en el experimento internacional), dos tipos de medidas sobre el pavimento una de fricción y otra de textura. Una vez obtenidas las medidas de los equipos se expresan en formato IFI de acuerdo con lo que sigue:

El índice de fricción internacional (IFI) se basa en el modelo que relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo sobre él. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante (FR60) referida a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h. La ecuación queda de la siguiente forma:

La ecuación anterior permite convertir la medida de fricción, FRS, realizada a cualquier velocidad a la medida de fricción a 60 km/h, FR60.¹⁶

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

Donde:

FR60 = Valor de fricción ajustado

FRS = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento (S)

S = Velocidad de deslizamiento seleccionado por el dispositivo, (km/h)

Sp = Gradiente de velocidad (km/h)

7.2.2 Medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento

Para la medición de la resistencia al deslizamiento del pavimento se utilizará el péndulo británico ASTM E 1960 y para medir la macro textura se utilizará el ensayo del círculo de arena ASTM E 965.

2.7.3 Péndulo Británico

Este ensayo simula la acción de frenado de un vehículo que se desplaza a 10 km/h, consiste en un brazo pendular con un patín de caucho en extremo que se deja caer para que resbale sobre la superficie a medir. La medida de la resistencia al deslizamiento se basa en la pérdida de energía del patín de caucho al pasar por la superficie. Los resultados que entrega esta medición se expresan en BPN (Britich Pendular Nombre).¹⁷

¹⁶ Pablo M. Del Águila, B.SC. Lagesa Ingenieros Consultores

¹⁷ <http://es.slideshare.net/FALM1971/resistencia-al-deslizamiento>

Imagen 18: Péndulo Británico



Fuente: ING. FABRICIO LEIVA - *Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento superficial de los pavimentos*

2.7.4 procedimiento de Péndulo Británico

- La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiará con un chorro de agua a presión.
- Se debe registrar la temperatura en cada ensayo, las condiciones de temperatura deben encontrarse en un rango de 5 °C a 40 °C.
- Con el péndulo colgando libremente se bajará el mismo hasta que el borde de la zapata toque justamente el área a medir, determinada por el espaciador, se asegura la cabeza del péndulo, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.
- Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se realizan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registrarán las lecturas

- Se vuelve a mojar la superficie de contacto y se realizan cuatro movimientos oscilatorios, remojando la zona de ensayo antes de cada uno y se registran los datos.

Calculo Péndulo Británico

Cálculo de FA

$$FA = \frac{1}{(1 - 0.00525) * (T - 20)}$$

Donde:

T = Temperatura °C

Se calcula el promedio de los valores obtenidos:

Cálculo de BPNA

$$\text{Prom.} * FA$$

Donde:

P= Promedio de las lecturas

Cálculo de RD

$$RD = \frac{BPNA}{100}$$

Tabla 2: de calificación del péndulo británico

Fricción	Calificación
<0.50	Mal o (Deslizamiento del vehículo)
0.51-0.60	De regular a bueno
0.61 – 0.80	Bueno
0.81 – 0.90	De bueno a regular
>0.91	Malo (desgaste de los neumáticos)

Fuente: ING. FABRICIO LEIVA - *Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento superficial de los pavimentos*

2.8 Ensayo círculo de la arena (mancha de arena)

Este método mide la profundidad media de textura (MTD) y se mide con el método del Círculo de la Arena. Este ensayo es la manera más antigua que se tiene de evaluar el pavimento.

Imagen 19: Círculo de arena

Fuente: ING. FABRICIO LEIVA - *Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento superficial de los pavimentos.*

2.8.1 Procedimiento del círculo de arena

- Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, debe encontrarse seca y limpia, de forma que la arena se pueda esparcir libremente sobre la superficie y la medida represente el estado real del pavimento.
- Con ayuda de la cara plana de goma del tampón se extiende con movimientos circulares hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular y asegurándose de que la arena ocupe todos los vacíos generados por las depresiones.
- Se mide el diámetro del círculo de arena con una regla.
- Se debe proteger del viento al momento en que se esté desarrollando el ensayo; previamente se debe realizar una inspección visual a modo de determinar los sectores homogéneos en los que se realizará el ensayo.¹⁸

Cálculo del círculo de arena

Cálculo de Volumen

$$V.A.*1000$$

Donde:

V.A.= Volumen de la arena

Consiste en extender sobre la superficie del pavimento un volumen conocido de arena fina (que pase la malla 50 y la retenga la 100). Luego se extiende la arena formando un círculo. La medida de su diámetro permite determinar el área del círculo y al dividirlo entre el volumen se obtiene la profundidad promedio de las depresiones, como se muestra en la siguiente fórmula:

¹⁸ Pablo M. Del Águila, B.SC. Lagesa Ingenieros Consultores

Cálculo de las lecturas de diámetros

$$(D1+D2+D3+D4+D5) =$$

Donde:

D= Diámetro de las lecturas

Cálculo de MTD

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * Dp^2}$$

En donde:

M = promedio del espesor de la Macrotextura de la superficie, pulg (mm) 172

T= volumen de la muestra, pulg³ (mm³)

D= diámetro promedio del área cubierta por el material pulg, (mm)

Tabla 3: Textura en pavimentos para el círculo de arena

Fricción	Calificación
Muy fina	HS<0.20
Fina	0.20<HS<0.40
Media	0.40<HS<0.80
Gruesa	0.80<HS<1.20
Muy gruesa	>1.20

Fuente: ING. FABRICIO LEIVA - *Normativa para evaluar la resistencia al*

Deslizamiento ASTM E 965

2.8.2 Justificación e importancia

Mantener los pavimentos con un nivel de servicio adecuado para la transportación. En las últimas décadas, se han integrado al medio, equipos más detallados de la textura en los pavimentos.

2.9 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El concepto de rugosidad está definido como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal. Así queda indicado en la norma de ensayo ASTM E 867-06 “Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems”. En la década de los 70’s, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los diferentes parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto “International Road Roughness Experiment” (IRRE), promocionado por el Banco Mundial.

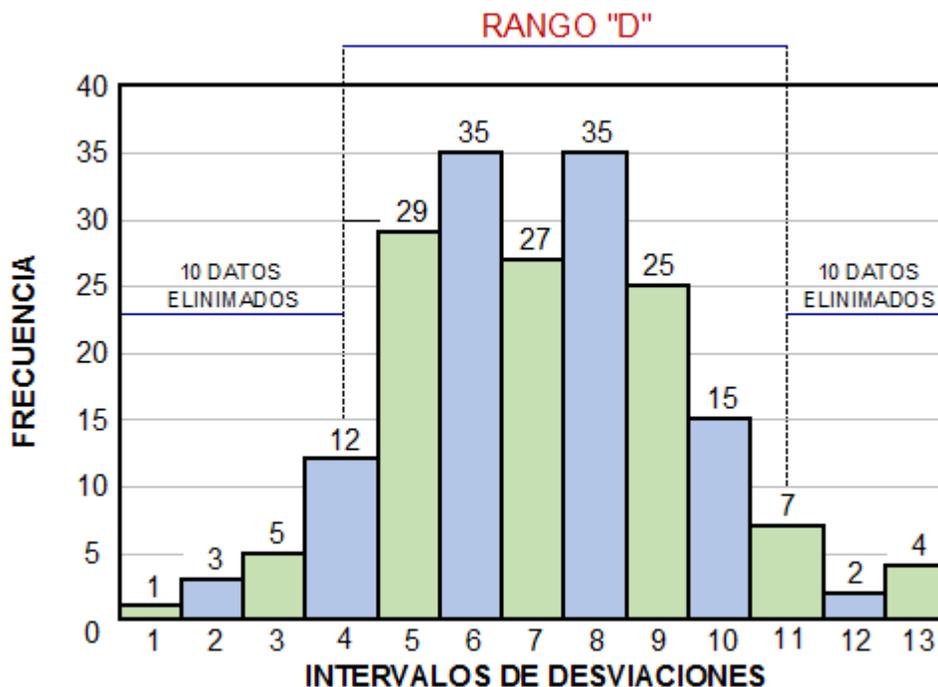
Este índice fue definido de la siguiente manera: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, “Reference Average Rectified Slope”, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, “Reference Quarter Car Simulation”), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”. En términos más sencillos, el IRI es un modelo

matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajeros típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

2.9.1 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 MERLIN, 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 4: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: PABLO DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ - *metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos*

2.9.2 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 MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

2.9.3 Rugosímetro Merlín

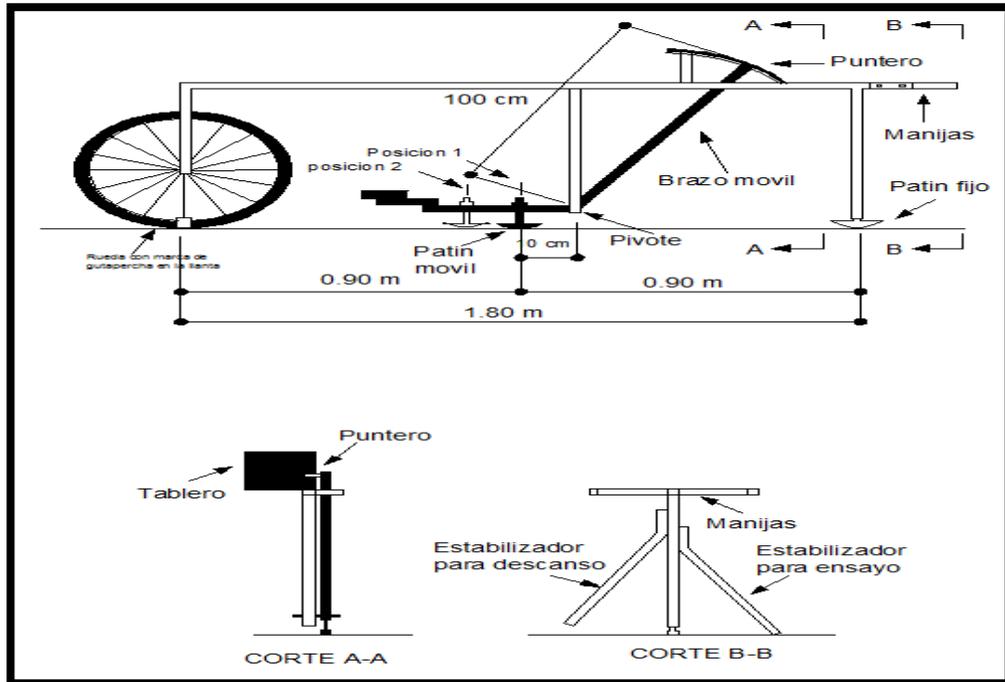
El Rugosímetro Merlín, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo⁸.

Según la clasificación de equipos para medición de la regularidad superficial de pavimentos, propuesta por el Banco Mundial, el MERLIN pertenece a la Clase 1, por obtener resultados muy exactos solo superado por el método de Mira y Nivel y además de ser una variación del perfilómetro estático.

2.9.4 Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín

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

Imagen 20: Equipo de Merlín



Fuente: PABLO DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ - *metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos*

2.9.5 El Tablero del Merlín

La relación entre el patín móvil – pivot y pivot – puntero es de 1 a 10, lo cual da entender que un movimiento en la parte inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm (10 mm) en el puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero.

Imagen 21: Configuración de tablero del Merlín

RUGOSIMETRO MERLIN			
1 DIVISION = 5 mm	DEPRESIONES		50
			49
			48
			47
			46
			45
			44
			43
			42
			41
			40
			39
			38
			37
			36
			35
			34
			33
			32
			31
			30
			29
			28
			27
			26
		25	
		24	
		23	
		22	
		21	
		20	
		19	
		18	
		17	
		16	
		15	
		14	
		13	
		12	
		11	
		10	
		9	
		8	
		7	
		6	
		5	
		4	
		3	
		2	
		1	
	ELEVACIONES		

Fuente: PABLO DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ - *metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos*

2.9.1 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. El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real de camino. Esto significa que el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal. Estos datos son sometidos a un primer filtro, en el cual se realiza un análisis estadístico (media móvil) y adecuaciones matemáticas para poder generar un nuevo perfil posible de ser analizado desde el punto de vista de las irregularidades que se pudieran observar. Las razones para aplicar este primer filtro se fundamentan en las siguientes razones: a) para simular el comportamiento entre las llantas de los vehículos y la carretera, y b) para reducir la sensibilidad del algoritmo del IRI al intervalo de muestreo. Al nuevo perfil generado se le aplica un segundo filtro, el cual consiste en la aplicación de un modelo de cuarto de carro que se desplaza a una velocidad de 80 km/h, a través de este se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino.

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

Se tiene así la expresión:

La ecuación original AASHTO para la determinación del Índice de Serviciabilidad de Pavimentos Flexibles es la siguiente para encontrar D.C.

Cálculo de frecuencia

$$D.C. = \frac{EP * 10}{(LI - LF) * 5}$$

Donde.

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Cálculo del IRI

$$R = 0.593 + 0.0471 * Cd$$

Donde:

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

Dc: Índice de frecuencia

2.10 Evaluación estructural de un pavimento flexible

La evaluación estructural de pavimentos consiste básicamente en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función o demanda de tráfico. La necesidad de evaluar estructuralmente los pavimentos aumenta a medida que se completa el periodo de diseño, y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación. La evaluación estructural de los pavimentos ha ido variando con el tiempo en función de los avances tecnológicos, requiriendo cada vez un mejor rendimiento de trabajo, una recolección sistemática de los parámetros del pavimento y menor daño físico y operacional al pavimento en estudio. Dentro de las mediciones realizadas en la evaluación estructural habrá que

considerar los siguientes aspectos ya que pueden inducir a errores al interpretar los resultados.

2.10.1 Uso y significado de la Viga Belkeman

- A) El ensayo permite determinar la deflexión vertical y puntual de una superficie del Pavimento bajo la acción de una carga normalizada, transmitida por medio de ruedas Gemelas de un eje simple tipo.
- B) Cuando se utiliza una viga Benkelman doble, con dos brazos de medida de longitud diferente, se pueden encontrar dos puntos del cuenco de deflexiones, para el mismo punto de aplicación de la carga, y unos puntos de medida fijos.

2.10.2 Temperatura

Será necesario realizar ajustes en las deflexiones en base a la temperatura bajo las que se realizaron los ensayos y se observará cuál es el comportamiento técnico del pavimento.

2.10.3 Humedad

Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que algunos de los materiales componentes de las mismas tienen una gran susceptibilidad a dicha humedad.

2.10.4 Medición de deflexiones

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible por acción de cargas vehiculares pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetro tales como el denominado “Viga Benkelman”, llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la washo (washo road test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.¹⁰

2.10.5 Partes de la Viga Benkelman

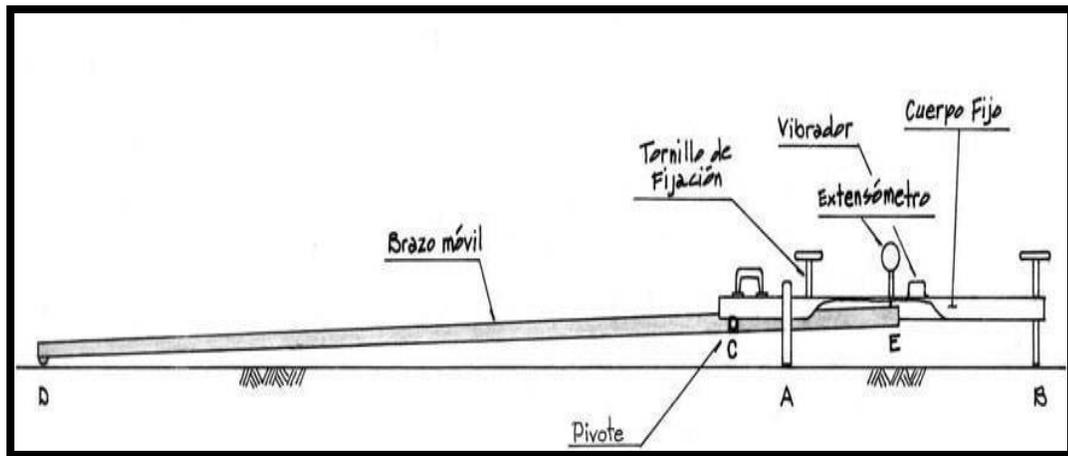
El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la

Figura 4. La viga consta esencialmente de dos partes: (1) un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “a” y un trasero regulable “b”) y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “c”, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno (punto “d”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “e”).

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo “d” o “puesta 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 gira en torno al fijo “c” con respecto al cuerpo “a b”, determinando que el extremo “e” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto “d” se recupera en lo que ha deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otras lecturas en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el “principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar la deflexión del 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 los

Figura 5 Esquema y principio de operación de la regla Benkelman



Fuente: ING. HOFFMAN Y DEL ÁGUILA - *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos basados en la Interpretación de curvas de Deflexiones*

2.8 Ensayo Viga Benkelman

2.8.1 Equipo requerido

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

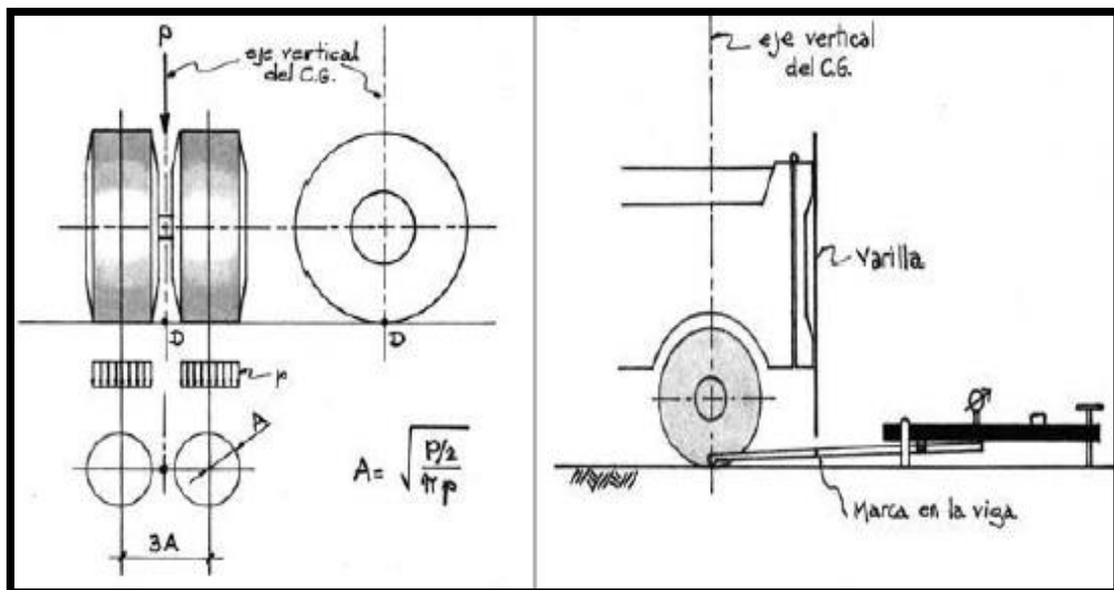
- A) Deflectómetro:** Viga Benkelman, con relación de brazos 1:2
- B) Camión cargado** con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi. **Vehículo auxiliar** para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- C) Balanza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

2.9 Procedimiento de la medición y cálculo

- A)** 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 $\pm 1\%$.
- B)** Verificación de inflado de las llantas a 80 psi.
- C)** Posicionamiento de la volqueta en el punto a ensayar, las ruedas gemelas deben estar situadas sobre la huella de circulación de los vehículos.

- D) Centrado del extremo delantero de la Viga Benkelman en la proyección vertical del centro de gravedad del eje trasero de la volqueta, debe situarse en el medio del Par de ruedas. Figura 5.
- E) Nivelación de la viga, colocación del extensómetro y puesta en cero del mismo, Esta posición se asumirá como 100 o 200.
- F) Colocar la regla en la rasante haciendo coincidir el "0" con la proyección vertical del eje de la rueda trasera.
- G) 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.
- H) Repetir este procedimiento en cada uno de los puntos de ensayo.

Figura 6: Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: ING. HOFFMAN Y DEL ÁGUILA - *Estudios de evaluación estructural de Pavimentos basados en la Interpretación de curvas de Deflexiones*

2.9.1 Cálculo de la deflexión máxima

a) Para la deflexión 0.00 - 0.25 - 0.50 - 0.75

$$D = (L_o - L_f) * 2$$

Cálculo de la deflexión D0

$$D_0 = (D * 0.85) * 1.3$$

Donde:

D₀ = 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

Corrección de las deflexiones por temperatura

$$D_{25'} = \frac{D_t}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

D₂₅ = Deflexión a la temperatura standard 20 °C

D_t = Deflexión a la temperatura (t)

K = Coeficiente de temperatura (1*10⁻³ °C/cm)

T = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e = Espesor de la carpeta asfáltica (cm)

Cálculo de la deflexión D25

$$D_{25} = D_{25} * T * F_{ce}$$

Tabla 4: Factor de corrección por estacionalidad

Tipo de Suelo de Subrasante	Estación Lluviosa	Estación Seca
Arenosa – Permeable	1	1.10 A 1.30
Arcillosa – Sensible Al Agua	1	1.20 A 1.40

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

T = Temperatura

Fce= Factor de corrección por estacionalidad

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.

Donde:

Rc = Radio de curvatura (m)

Do = Deflexión máxima corregida

D25 = Deflexión a 0,25 m corregida

$$R_c = \frac{10 * (25^2)}{K * (D_o - D_{25})}$$

2.9.6 Deflexión admisible:

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

$$D_a = 25.64 * N^{-0.2383}$$

Donde:

D_a = Deflexión admisible (mm)

N = Número total de ejes equivalentes (NESE)

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

2.6.7 Deflexión característica

La deflexión característica es un parámetro estadístico empleado para la evaluación representativa. De la magnitud de deformación de los pavimentos.

$$D = D^p + T_q$$

El comportamiento del pavimento evaluado o sometido a evaluación se podrá calificar como satisfactorio siempre que se cumpla que:

Los valores de radio de curvatura son mayores de 100 m.

$$R_c > 100 \text{ m}$$

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

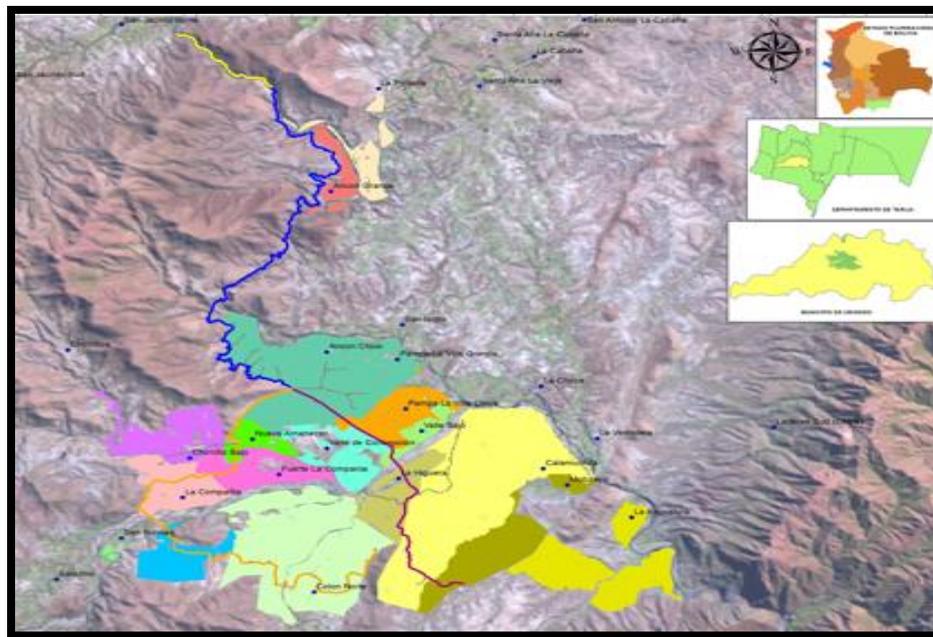
3.1 Información preliminar del tramo de estudio

Se inspecciono el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud. Se pudo observar la existencia del deterioro en el pavimento. Mediante el presente trabajo se pretende adoptar medidas adecuadas de reparación y mantenimiento para una conservación, prevención del pavimento de dicho tramo.

3.1.1 Ubicación

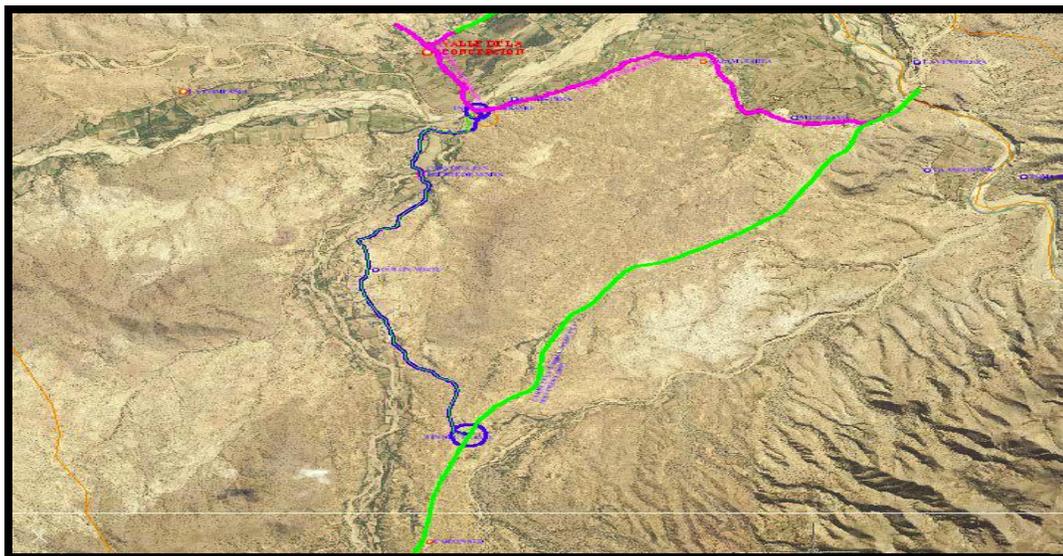
El Departamento de Tarija cuenta con 6 provincias: Cercado, Méndez, Arce, O'Connor, Gran Chaco y Avilés. El presente proyecto será ejecutado en la provincia de Avilés, misma que se encuentra ubicada al Noroeste del departamento de Tarija, conformada por el Municipio de Uriondo.

Figura 7: Departamento de Tarija



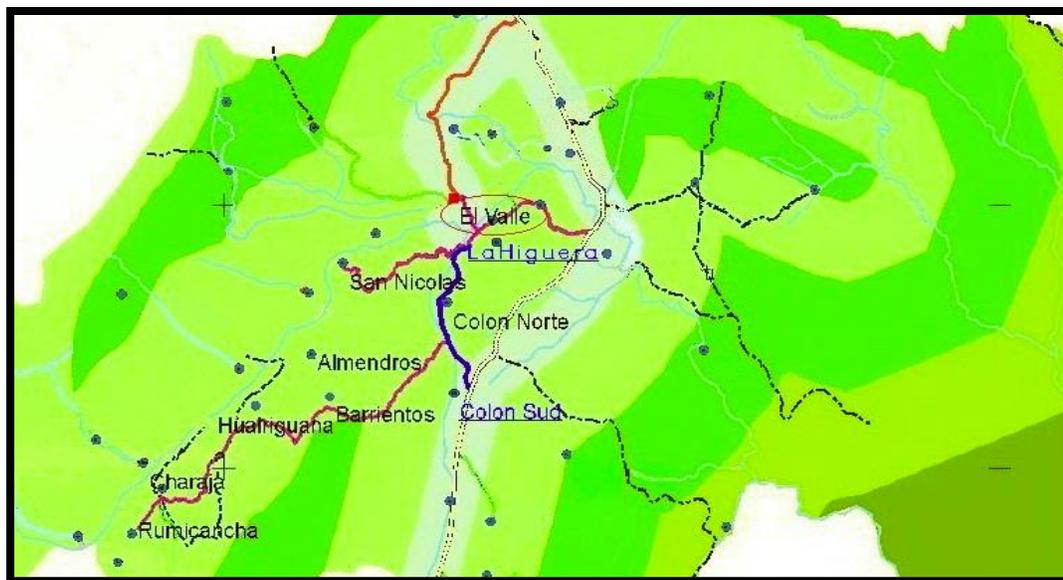
Fuente: Geografía de Bolivia 2010

Figura 9: Ubicación del tramo de estudio 1



El tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud se encuentra dentro del municipio de Uriondo – primera sección, en los distritos de Calamuchita Y Higuera.

Figura 8: Ubicación del tramo de estudio 2



Fuente: T.E.S.A Asfaltado la Higuera – Colon

Coordenadas del tramo inicio – final

Inicio (Cruce de San Nicolas)	fin: (Colon Sud)
Latitud: 32°83' 75" S	Latitud: 32°89' 85" S
Longitud: 75°98' 19.2" W	Longitud: 75°98' 19.7" W
Altitud: 1733 m.s.n.m	Altitud: 1839 m.s.n.m

3.1.2 Antecedentes

Característica Geométrica del Tramo Son:

Longitud de la ruta Higueras – Colon Sud	7.15 km
Longitud del tramo	5.2 km
Ancho de calzada	7.30 m
Carpeta Asfáltica	4.00 cm
Base Hidráulica	20.00 cm
Sub base Hidráulica	20.00 cm
Total, paquete estructural	44.00 cm

3.2 Evaluación superficial

La evaluación superficial del tramo colon norte (cruce san Nicolás) – colon sud se realizará con el método PCI (índice de condición del pavimento) para el desarrollo del índice de integridad estructural del pavimento y las condiciones en que se encuentra.

3.3 Aplicación de método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

3.3.1 Unidades de muestra

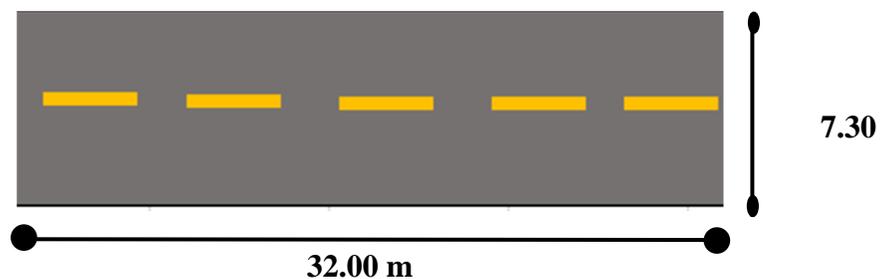
En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento flexible del tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud es de 7.30 m. Guiándonos atreves de la **tabla 6**, se adoptó la longitud de la unidad de muestreo 32.00 m para cada área.

Tabla 5: Rangos de unidad de muestreo

Ancho de Calzada (m)	Longitud de la Unidad De Muestra (m)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 Max.	31.50

Fuente: ING. LUIS VÁSQUEZ - *Manual de diseño de la Evaluación de la Condición de pavimentos.*

Datos de la calzada



Fuente: Elaboración propia

El área de la unidad del muestreo 230 m². Esta dentro del rango establecido por el método PCI, se comenzó con un recorrido de la carretera de dos sentidos, inspección minuciosa en todo el tramo, la primera unidad del muestreo se inició a partir de la progresiva 0+000 km, en el punto 1 con referencia en el letrero de cruce San Nicolas, la Higueras con la dirección aguas hacia abajo hasta llegar al punto 5 a la altura del letrero Padcaya –Tarija - colon norte. Se evaluará 165 unidades de muestras.

Tabla 6: Tipo de fallas en los pavimentos

Fallas	Unidad de Medida	Fallas	Unidad de Medida
1.-Piel de cocodrilo	m ²	14.-Fisuras Longitudinales y Transversales	m
2.-Exudación	m ²	15.-Parches	m ²
3.-Fisuras en bloque	m ²	16.-Agregado Pulido	m ²
4.-Elevación-Hundimiento	m ²	17.-Huecos	N#
5.-Corrugaciones	m ²	18.-Acceso a Puentes-Rejillas de Drenaje	m ²
6.-Depresiones	m ²	19.-Ahuellamiento	m ²
7.-Fisuras de borde	m	20.-Deformación por Empuje	m ²
8.-Fisuras de Reflexión de Juntas	m	21.-Deslizamiento	m ²
9.-Desnivel Carril-Berma	m	22.-Hinchamiento	m ²
10.-Fisuras en Media Luna	m ²	23.-Disgregación-Desintegración	m ²
11.-Fisuración por Deslizamiento de Capa	m ²	24.-Ondulación	m ²
12.-Fisuración Incipiente	m ²	25.-Hundimiento	m ²
13.-Descasamiento	m ²	26.-Surcos	m ²

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Procedimientos del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Al concluir con las inspecciones de dicho tramo, se recolectó la información de las fallas que existen en las unidades de muestreo, con los grados de severidad.

Se registró en las planillas (anexo 1) de esa manera poder realizar el cálculo de PCI. Para poder obtener mayor eficacia se procedió a separar 5 tramos cada 32 muestras. A partir en la información obtenida del campo se procedió determinar cada falla del pavimento de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas. Se obtuvo valores deducidos (Vd.), los valores deducidos corregidos (cdv), el número de valores deducidos (q) mayores que (2), con el valor deducido total y el máximo (cdv) se obtuvo el índice de condición presente PCI.

3.3.3 Procedimiento de imágenes de PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Imagen 23: progresivas para el PCI



Imagen 22: Incepción del tramo



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 25: Equipo Odómetro



Imagen 24: Estudio del tramo con el método PCI



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Procedimientos de cálculo del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para el entendimiento del cálculo del PCI, se ha descrito mediante diversos pasos:

Se reconoce cada falla del pavimento con sus respectivas fotografías (anexo)



Ejemplo, del tramo 3 progresiva de inicio 3+104 progresiva final 3+136, unidad de la muestra 98.

En la **tabla 8** se registró la información, tomando en cuenta el tipo de deterioro, números de fallas, la severidad y su unidad de medida en las casillas correspondientes.

Tabla 7: Fallas Existentes

Progresiva		Unidad de muestra	Tipo de falla	Severidad	Total		
Inicial	Final				H	M	L
3+104	3+136	98	Grieta longitudinal (m)	H	10.00		
			Grieta longitudinal (m)	H	5.24		
			fisura transversal (m)	L			8.00
			fisura transversal (m)	M		3.60	
			fisura borde (m)	H	1.50		

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinar de densidad se debe dividir cada uno de los daños en cada nivel de severidad especificado, entre el área de la unidad de muestreo con la que se trabaja la densidad se expresa en porcentaje.

3.3.5 Cálculo de la densidad: Grieta longitudinal

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Área total de falla (tipo de severidad)}}{\text{Área de unidad de muestreo}} * 100$$

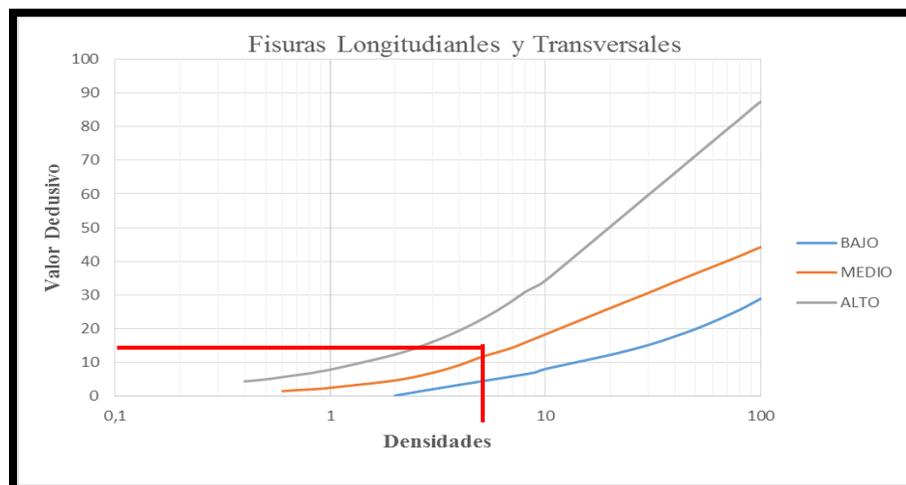
$$\text{Densidad} = \frac{10}{230} * 100$$

$$\text{Densidad} = 4.35 \%$$

3.3.6 Obtención del valor deducido (vd)

Para calcular el “valor deducido” se determina mediante el uso de las curvas **figura 8** o **tablas 7** se obtiene el s “valor deducido” de acuerdo con el tipo de falla. Se trata de una falla Nro. 20 (Fisuras longitudinal y transversal) de severidad alta y de una densidad de 4.35 %; en función a estos parámetros se obtiene el valor deducido 20.00 se debe entrar a la gráfica con el valor de la densidad y proyectar una línea vertical hasta que intercepte con la curva de severidad que corresponda, este tipo de falla se encuentra en el nivel de severidad “alto”, para obtener el valor deducido mediante el gráfico se proyecta una línea horizontal hasta que intercepte el eje de las ordenadas en el que se encuentra el “valor de deducción”, o de lo contrario interpolar el valor deducido de la Tabla 9; para así obtener mayor exactitud.

Tabla 8: Obteniendo del valor deducido (Vd.)



Fuente: ING. LUIS VÁSQUEZ - *Manual de diseño de la Evaluación de la Condición De los pavimentos*

Tabla 9: Obtención del valor deducido (vd)

Fisuras Longitudinales y Transversales			
Densidad	Valor Deducida		
	L	M	H
0.10			
0.20			
0.30			
0.40			4.30
0.50			4.90
0.60		1.40	5.60
0.70		1.70	6.20
0.80		1.90	6.70
0.90		2.10	7.30
1.00		2.40	7.80
2.00	0.10	4.60	12.30
3.00	2.00	6.90	16.10
4.00	3.30	9.20	19.50
5.00	4.30	11.50	22.60
6.00	5.10	13.00	25.50
7.00	5.80	14.30	28.20
8.00	6.40	15.80	30.80
9.00	7.00	17.10	32.50
10.00	8.00	18.30	34.30
20.00	12.20	26.10	50.30
30.00	15.10	30.60	59.70
40.00	17.70	33.90	66.30
50.00	19.90	36.40	71.50
60.00	22.00	38.40	75.70
70.00	23.90	40.10	79.30
80.00	25.60	41.60	82.30
90.00	27.30	43.00	85.10
100.00	28.90	44.20	87.50

Fuente: ING. LUIS VÁSQUEZ - *Manual de diseño de la Evaluación de la Condición De los pavimentos*

Se repite la misma operación para cada tipo de falla y su severidad y se registran en la casilla de “valor deducido” como se presenta en la siguiente tabla.

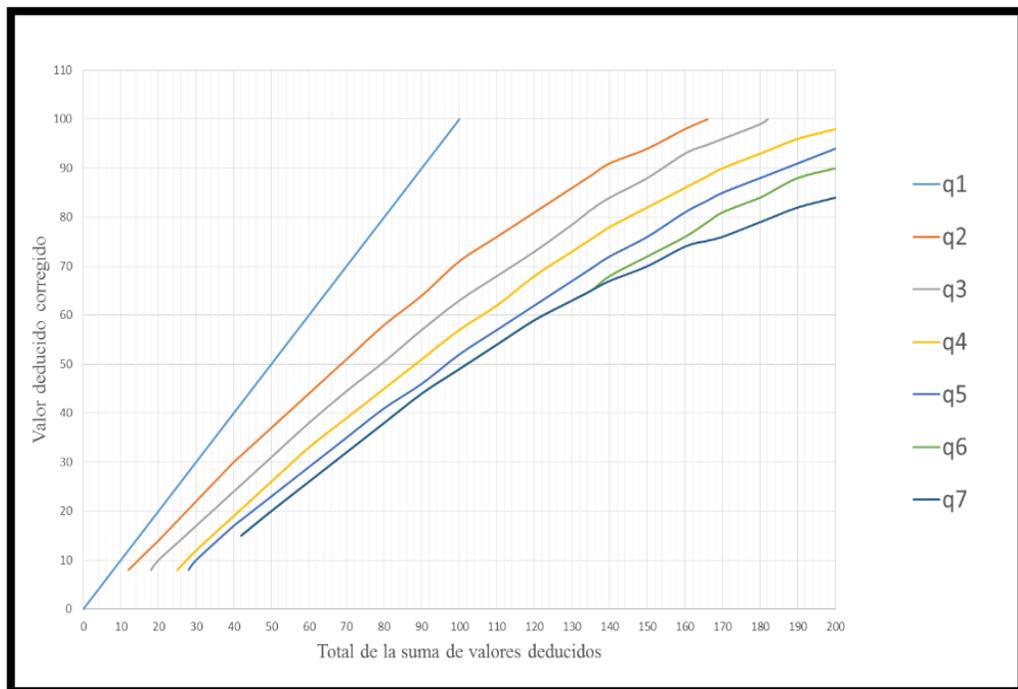
Tabla 10: Resultados de valor deducido (vd)

Tipo de Falla	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido
Grieta longitudinal	H	4.10	1.78	11.00
Grieta longitudinal	H	5.24	2.28	15.00
Fisuras transversales	L	2.50	1.09	1.00
Fisuras transversales	M	3.60	1.57	5.00
Fisuras de borde	H	1.50	0.65	9.00

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7 Valor deducido corregido

Para cada valor deducido individual se determinó el valor deducido corregido mediante la **Figura 10**; para obtener mayor exactitud en el cálculo del valor deducido corregido se utilizó la **Tabla 10**; de los valores deducidos corregidos se escoge el “máximo valor deducido corregido (cdv)” para determinar el PCI, restando 100 al valor deducido corregido máximo obtenido.

Tabla 11: Curva de obtención del valor deducido corregido (cdv)

Fuente: ING. LUIS VÁSQUEZ - *Manual de diseño de la Evaluación de la Condición De los pavimentos*

Tabla 12: Obtención del valor deducido corregido (cdv)

Total, de Valores Deducidos	Corrección de Valores Deducidos para pavimentos flexibles						
	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7
0	0.00						
10	10.00						
12	12.00	8.00					
18	18.00	12.50	8.00				
20	20.00	14.00	10.00				
25	25.00	18.00	13.50	8.00			
28	28.00	20.40	15.60	10.40	8.00		
30	30.00	22.00	17.00	12.00	10.00		
40	40.00	30.00	24.00	19.00	17.20		
42	42.00	31.40	25.40	20.40	18.20	15.00	15.00
50	50.00	37.00	31.00	26.00	23.00	20.00	20.00
60	60.00	44.00	38.00	33.00	29.00	26.00	26.00
70	70.00	51.00	44.50	39.00	35.00	32.00	32.00
80	80.00	58.00	50.50	45.00	41.00	38.00	38.00
90	90.00	64.00	57.00	51.00	46.00	44.00	44.00
100	100.00	71.00	63.00	57.00	52.00	49.00	49.00
110		76.00	68.00	62.00	57.00	54.00	54.00
120		81.00	73.00	68.00	62.00	59.00	59.00
130		86.00	78.50	73.00	67.00	63.00	63.00
135		88.50	81.50	75.50	69.50	65.00	65.00
140		91.00	84.50	78.00	72.00	68.00	67.00
150		94.00	88.00	82.00	76.00	72.00	70.00
160		98.00	93.00	86.00	81.00	76.00	74.00
166		100.00	94.80	88.40	83.40	79.00	75.20
170			96.00	90.00	85.00	81.00	76.00
180			99.00	93.00	88.00	84.00	79.00
182			100.00	93.60	88.60	84.80	79.60
190				96.00	91.00	88.00	82.00
200				98.00	94.00	90.00	84.00

Fuente: ING. LUIS VÁSQUEZ - *Manual de diseño de la Evaluación de la Condición De los pavimentos*

Una vez registrados todos los valores deducidos del área de muestra, se debe tomarse en cuenta si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” son mayores a 2, se usa el valor deducido total en el lugar del “valor deducido corregido” (cdv), de lo contrario se colocan en orden descendente los valores deducidos mayores de 2 hasta que se cumpla la igualdad.

3.3.9 Resultado de la condición del pavimento

Tabla 13: Resultados de valores deducidos corregidos (vdc)

Nro.	Valor Deducido							Total	q	VDC
	1	2	3	4	5	6	7			
1	20.00	15.00	9.00	4.00	3.00			51.00	5	24.00
2	20.00	15.00	9.00	4.00	2			50.00	4	26.00
3	20.00	15.00	9.00	2	2			48.00	3	30.00
4	20.00	15.00	2	2	2			41.00	2	31.00
5	20.00	2	2	2	2			28.00	1	28.00

Máximo valor deducido corregido	
CDV=	31.00

$$PCI = 100 - CDV$$

PCI =	69.00
-------	-------

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

Fuente: Elaboración propia

El PCI obtenido fue de **69 %** lo que indica el siguiente esquema, que la muestra evaluada se encuentra en estado regular registrada en los rangos (55 a 70), **Tabla 14.**

Tabla 14: Rangos de calificación de PCI

Rango		Calificación
100	85	Excelente
85	70	Muy Bueno
70	55	Bueno
55	40	Regular
40	25	Malo
25	10	Muy Malo
10	0	Fallado

Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

Se realiza este mismo procedimiento para cada una de las muestras que se establecieron, cuyos resultados se aprecian en el **Anexo 4**.

3.3.10 Condiciones de los 5 tramos

En las siguientes tablas se demostrará las condiciones de los 5 tramos.

Tabla 15: Condición del pavimento tramo 1

Tramo de Evaluación		Índice de Condición Del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
1	0+000 - 0+032	80.50	Bueno
2	0+032 - 0+064	96.83	Excelente
3	0+064 - 0+096	87.00	Excelente
4	0+096 - 0+128	78.00	Muy bueno
5	0+128 - 0+160	84.10	Muy bueno
6	0+160 - 0+192	89.00	Excelente
7	0+192 - 0+224	93.55	Excelente
8	0+224 - 0+256	85.00	Muy bueno
9	0+256 - 0+288	79.40	Muy bueno
10	0+288 - 0+320	7.70	Excelente
11	0+320 - 0+352	90.00	Excelente
12	0+352 - 0+384	88.00	Excelente
13	0+384 - 0+416	88.00	Excelente
14	0+416 - 0+448	90.00	Excelente
15	0+448 - 0+480	85.00	Muy bueno
16	0+480 - 0+512	92.10	Excelente
17	0+512 - 0+544	91.00	Excelente
18	0+544 - 0+576	60.50	Bueno
19	0+576 - 0+608	88.00	Excelente
20	0+608 - 0+640	89.50	Excelente
21	0+640 - 0+672	95.00	Excelente
22	0+672 - 0+704	99.00	Excelente
23	0+704 - 0+736	83.00	Muy bueno
24	0+736 - 0+768	99.00	Excelente
25	0+768 - 0+800	99.00	Excelente
26	0+800 - 0+832	99.00	Excelente
27	0+832 - 0+864	95.00	Excelente
28	0+864 - 0+896	78.00	Muy bueno
29	0+896 - 0+928	78.00	Muy bueno
30	0+928 - 0+960	84.00	Muy bueno
31	0+960 - 0+992	92.00	Excelente
32	0+992 - 1+024	99.00	Excelente

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Condición del pavimento tramo 2

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor Del PCI	Calificación
33	1+024 - 1+056	87.00	Excelente
34	1+056 - 1+088	70.00	Muy Bueno
35	1+088 - 1+120	83.00	Muy Bueno
36	1+120 - 1+152	83.00	Muy Bueno
37	1+152 - 1+184	92.00	Excelente
38	0+184 - 1+216	87.00	Muy Bueno
39	1+216 - 1+248	89.62	Excelente
40	1+248 - 1+280	84.00	Muy Bueno
41	1+280 - 1+312	94.00	Excelente
42	1+312 - 1+344	94.60	Excelente
43	1+344 - 1+376	90.00	Excelente
44	1+376 - 1+408	82.00	Muy Bueno
45	1+408 - 1+440	91.00	Excelente
46	1+440 - 1+472	80.50	Muy Bueno
47	1+472 - 1+504	94.00	Excelente
48	1+504 - 1+536	89.50	Excelente
49	1+536 - 1+568	90.10	Excelente
50	1+568 - 1+600	89.00	Excelente
51	1+600 - 1+632	89.00	Excelente
52	1+632 - 1+664	82.00	Muy Bueno
53	1+664 - 1+696	48.00	Regular
54	1+696 - 1+728	81.85	Muy Bueno
55	1+728 - 1+760	76.00	Muy Bueno
56	1+760 - 1+792	82.40	Muy Bueno
57	1+792 - 1+824	49.00	Regular
58	1+824 - 1+856	83.00	Muy Bueno
59	1+856 - 1+888	84.50	Muy Bueno
60	1+888 - 1+920	80.00	Muy Bueno
61	1+920 - 1+952	67.00	Bueno
62	1+952 - 1+984	76.00	Muy Bueno
63	1+984 - 2+016	77.00	Muy Bueno
64	2+016 - 2+048	82.00	Muy Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Condición del pavimento tramo 3

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
97	3+072 - 3+104	79.00	Muy Bueno
98	3+104 - 3+136	69.00	Bueno
99	3+136 - 3+168	89.00	Excelente
100	3+168 - 3+200	88.00	Excelente
101	3+200 - 3+232	80.00	Excelente
102	3+232 - 3+264	68.00	Bueno
103	3+264 - 3+292	67.00	Bueno
104	3+292 - 3+328	48.00	Regular
105	3+292 - 3+360	65.00	Bueno
106	3+360 - 3+392	87.00	Excelente
107	3+392 - 3+424	73.20	Muy Bueno
108	3+424 - 3+456	78.00	Muy Bueno
109	3+456 - 3+488	30.00	Malo
110	3+488 - 3+520	86.00	Bueno
111	3+520 - 3+552	43.00	Regular
112	3+552 - 3+584	79.00	Muy Bueno
113	3+584 - 3+616	81.00	Muy Bueno
114	3+616 - 3+648	51.00	Regular
115	3+648 - 3+680	68.00	Bueno
116	3+680 - 3+712	68.00	Bueno
117	3+712 - 3+744	71.00	Muy Bueno
118	3+744 - 3+776	60.00	Muy Bueno
119	3+776 - 3+808	61.00	Bueno
120	3+808 - 3+840	68.00	Bueno
121	3+840 - 3+872	48.00	Regular
122	3+872 - 3+904	66.00	Bueno
123	3+904 - 3+936	55.00	Bueno
124	3+936 - 3+968	53.00	Regular
125	3+968 - 4+000	80.00	Muy Bueno
126	4+000 - 4+032	70.00	Bueno
127	4+032 - 4+064	32.00	Malo
128	4+064 - 4+096	55.00	Regular

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Condición del pavimento tramo 4

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
65	2+048 - 2+080	78.00	Muy Bueno
66	2+048 - 2+112	83.00	Excelente
67	2+112 - 2+144	89.00	Excelente
68	2+144 - 2+176	82.00	Muy Bueno
69	2+176 - 2+208	75.00	Muy Bueno
70	2+208 - 2+240	65.00	Bueno
71	2+240 - 2+272	55.00	Regular
72	2+272 - 2+304	48.00	Regular
73	2+304 - 2+336	54.00	Regular
74	2+336 - 2+368	63.00	Bueno
75	2+638 - 2+400	54.00	Regular
76	2+400 - 2+432	72.00	Muy Bueno
77	2+432 - 2+464	60.00	Regular
78	2+464 - 2+496	65.00	Bueno
79	2+496 - 2+528	67.00	Bueno
80	2+528 - 2+560	67.00	Bueno
81	2+560 - 2+592	70.00	Bueno
82	2+592 - 2+624	55.00	Regular
83	2+624 - 2+656	68.00	Bueno
84	2+656 - 2+688	68.00	Bueno
85	2+688 - 2+720	65.00	Bueno
86	2+720 - 2+752	54.50	Regular
87	2+752 - 2+784	55.00	Regular
88	2+784 - 2+816	68.00	Bueno
89	2+816 - 2+848	48.00	Regular
90	2+848 - 2+880	52.00	Regular
91	2+880 - 2+912	55.00	Bueno
92	2+912 - 2+944	53.00	Regular
93	2+944 - 2+976	80.00	Muy Bueno
94	2+976 - 3+008	70.00	Bueno
95	3+008 - 3+040	32.00	Malo
96	3+040 - 3+072	55.00	Regular

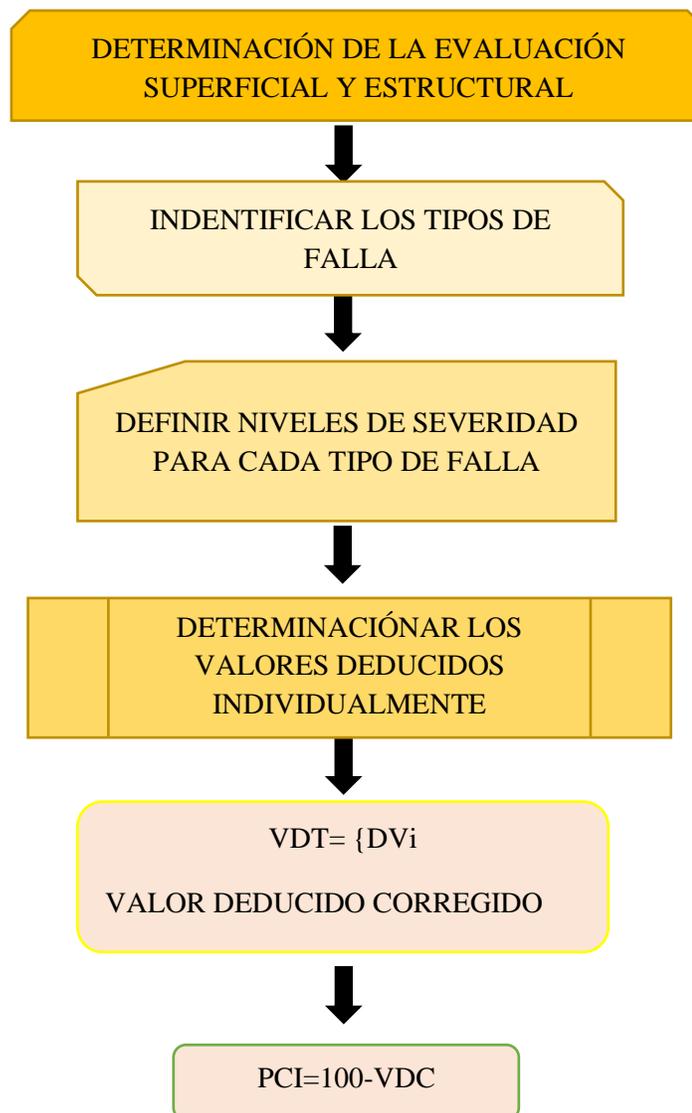
Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Condición del pavimento tramo 5

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
129	4+096 - 4+128	79.00	Muy Bueno
130	4+128 - 4+160	83.00	Excelente
131	4+160 - 4+192	89.00	Excelente
132	4+192 - 4+224	88.00	Excelente
133	4+224 - 4+256	80.00	Excelente
134	4+256 - 4+288	68.00	Bueno
135	4+288 - 4+320	67.00	Bueno
136	4+320 - 4+352	48.00	Regular
137	4+352 - 4+384	65.00	Bueno
138	4+384 - 4+416	87.00	Excelente
139	4+416 - 4+448	73.20	Muy Bueno
140	4+448 - 4+480	78.00	Muy Bueno
141	4+480 - 4+512	30.00	Malo
142	4+512 - 4+544	82.00	Muy Bueno
143	4+544 - 4+576	43.00	Regular
144	4+576 - 4+608	79.00	Muy Bueno
145	4+608 - 4+640	81.00	Muy Bueno
146	4+640 - 4+672	51.00	Regular
147	4+672 - 4+704	68.00	Bueno
148	4+704 - 4+736	68.00	Bueno
149	4+736 - 4+768	71.00	Muy Bueno
150	4+768 - 4+800	60.00	Muy Bueno
151	4+800 - 4+832	61.00	Bueno
152	4+832 - 4+864	68.00	Bueno
153	4+864 - 4+896	48.00	Regular
154	4+896 - 4+928	52.00	Regular
155	4+928 - 4+960	55.00	Bueno
156	4+960 - 4+992	53.00	Regular
157	4+992 - 5+024	80.00	Muy Bueno
158	5+024 - 5+056	70.00	Bueno
159	5+056 - 5+088	32.00	Malo
160	5+088 - 5+120	55.00	Regular

Tramo de Evaluación		Índice de Condición del Pavimento	Condición del Pavimento
Unidad de Muestra	Progresivas. Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
161	5+120 - 5+152	79.00	Muy Bueno
162	5+152 - 5+184	83.00	Excelente
163	5+184 - 5+216	89.00	Excelente
164	5+216 - 5+248	88.00	Excelente
165	5+248 - 5+280	80.00	Excelente

Ilustración 2: Índice de Condición del Pavimento (PCI)



3.4 Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín

Se realizó la evaluación del primer tramo de estudio con el equipo MERLIN, tomado como tramo de muestra el comprendido entre las progresivas del tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud. Los resultados de la evaluación se muestran en cuadro siguiente y formatos de cálculo del IRI en los sub tramos de 400m como lo indica la guía de evaluación de rugosidad con el MERLIN se encuentran en los anexos.

3.4.1 Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín

Calibración del equipo sobre una regla totalmente horizontal y lisa Ajustar el patín móvil, recolecciones datos, cada 2 m en un tramo seleccionado de 400 m Con los datos se elabora un histograma de frecuencias de una muestra de 26 desviaciones medidas Las desviaciones detectadas por el patín móvil son indicadas en el tablero,

Las anotaciones de las observaciones realizadas en planillas. La medición del IRI se realizó en cada carril de circulación sobre las dos huellas de circulación de los vehículos.

3.4.2 Imágenes del ensayo de IRI

Imagen 26: Equipo de Merlín



Imagen 27: Lectura con el equipo Merlín



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Procedimiento de cálculo IRI

La dispersión de los datos obtenidos con el Merlín se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma. Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos⁹.

Factor de Corrección para el Ajuste de “D”.

La condición de relación de los brazos del Rugosímetro de 1 a 10 en ocasiones se cambia, como consecuencia del desgaste del patín del brazo móvil, lo cual debe ser ajustado con el factor de corrección “FC”. El procedimiento de obtención de “FC” se encuentra en: “Metodología para la Determinación de La Rugosidad de los Pavimentos, Pablo del Águila Rodríguez.”

Corrección del rango “D”.

Para corregir el rango “D” multiplicamos por el factor de corrección (F.C.) y por 5 porque el tablero tiene 50 divisiones de 5mm cada una.

Tabla 19: Datos del campo (ida)

	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"	
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN		
"LABORATORIO DE ASFALTOS"		
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN NORTE)		
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Norte CARRIL: Derecho (Ida) FECHA: 07 de marzo de 2021		
EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO		
ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I.)		

Progresiva: 0+000 a 0+400 (ida)

Datos de campo:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	33.00	34.50	35.50	32.50	35.50	33.00	33.50	33.50	34.50	33.00
2	32.00	34.00	34.00	36.50	35.50	34.50	34.00	31.00	35.50	35.50
3	32.50	32.00	36.50	33.50	38.50	37.00	34.50	31.50	32.50	34.50
4	33.00	38.00	27.50	33.00	32.50	30.00	36.00	32.50	36.50	33.50
5	32.00	36.00	35.50	31.00	35.00	33.00	35.00	35.00	35.00	35.50
6	35.00	34.00	34.00	34.50	35.50	31.50	36.00	36.00	35.50	34.30

Fuente: Elaboración propia.

$$F.C. = \frac{EP * 10}{(LI - LF) * 5}$$

Donde.

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

3.4.4 Cálculos y resultados

$$D_c = \left(\frac{(11 - 7)}{11} + 3 + \frac{(19 - 2)}{19} \right) * 1 [mm] * 5$$

$$D_c = 21.29 \text{ mm}$$

1ra. Prueba:

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

$$\text{I.R.I.} = 1.60 \text{ m/km}$$

$$(2.4 < \text{IRI} < 15.9)$$

cumple? No

2da. Prueba:

$$\boxed{\text{I.R.I.} = 0,0485 * D_c}$$

$$\text{I.R.I.} = 1.03 \text{ m/km}$$

$$(\text{IRI} < 2.4)$$

cumple?

Sí

$$\boxed{\text{I.R.I.} = 1.03 \text{ m/km}}$$

Tabla 20: rango de rugosidad

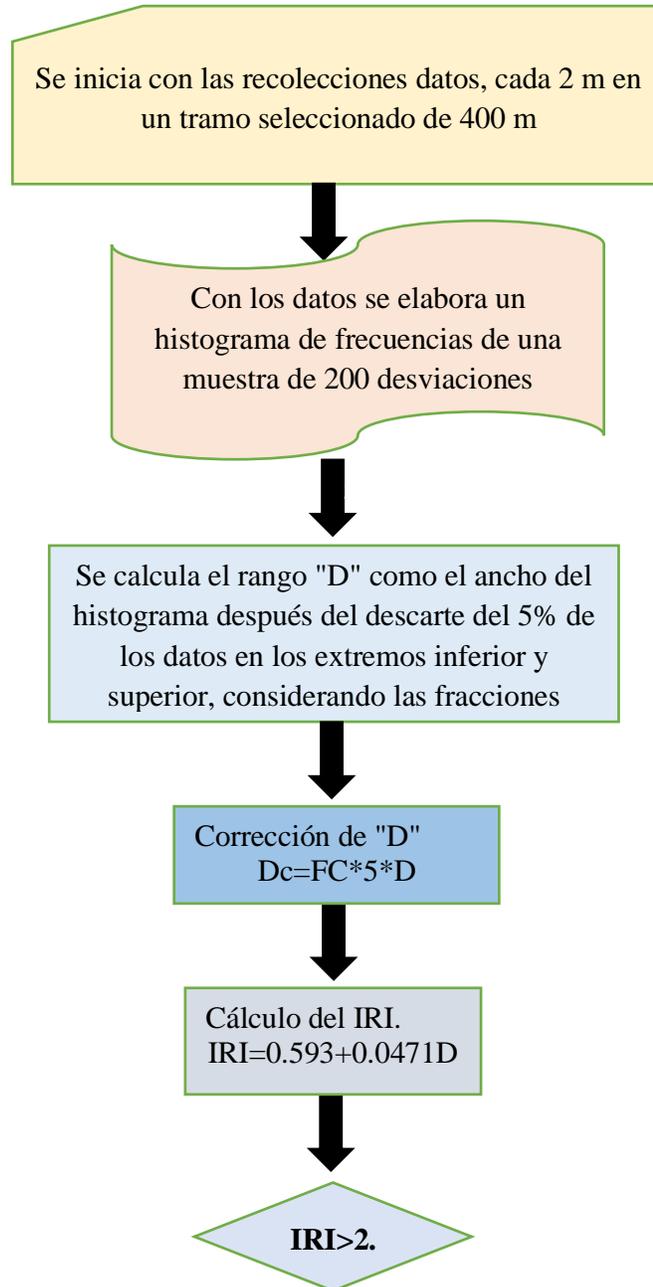
Rango de Rugosidad (m/km)	CALIFICACION
0.0.2.0	Excelente
2.0.3.5	Bueno
3.5.5.0	Regular
5.0	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Manual Merlín:

Para pavimentos asfálticos nuevos IRI debe ser menor o igual a 2m/km.

Para pavimentos para recado asfáltico IRI debe ser menor o igual a 2.5 m/km Para pavimentos con sellado asfáltico el IRI debe ser menor o igual a 3.0 m/km.

Ilustración 3: Esquema del IRI

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Aplicación del método Péndulo Británico

3.5.1 Procedimiento de medición

Los ensayos del péndulo como así también del círculo de arena, fueron realizados en las áreas de evaluación determinadas por el método PCI, en las unidades de muestreo que presentaron resultados bajos, tomando en cuenta tanto el tramo de ida como el tramo de vuelta, para lo cual se procedió de la siguiente manera.

Ensayo de péndulo británico:

Una vez que se concluyó con la identificación teórica de las áreas de estudio en función a los resultados más bajos obtenidos por el método PCI, se realizó un listado con sus respectivas progresivas para poderlas identificar y realizar el ensayo son los siguientes: péndulo británico, termómetro, envase de agua, brocha y una regla calibrada. Seguidamente nos trasladamos al lugar de proyecto donde se identificó la primera falla y para dar inicio con el ensamblaje del equipo, una vez concluido se procedió a nivelar el equipo; una vez concluido se procedió a nivelar el equipo con las manivelas de tal forma que la burbuja del ojo de pollo quede completamente centrada, se dio inicio con el ensayo, se verificó que la punta de caucho del brazo del péndulo al realizar el balanceo realice el roce con la superficie asfáltica solamente dentro del rango de la regla calibrada que trae consigo el equipo; antes de realizar el ensayo se tuvo que limpiar la superficie del pavimento ensayar con una brocha limpiando toda impureza o polvo que presenta el pavimento debido al tráfico; una vez limpia la superficie se procedió a asegurar el brazo del péndulo y soltarlo de tal forma que una vez que la aguja de medición no vuelva a descender en la medida marcada se sujeta el brazo en el ínterin de su regreso, posteriormente se anota en la planilla; como primer dato se hizo dos repeticiones con la superficie seca y tres repeticiones con la superficie mojada, para esto se dispuso de envase que funciona a presión para rosear la superficie del pavimento con agua dejando completamente saturada simulando una precipitación, se verificó la temperatura del pavimento al momento de realizar el ensayo, de esta manera se concluye para posteriormente pasar a realizar el mismo procedimiento con otro punto.

3.5.2 Imágenes del ensayo Péndulo Británico

Imagen 28: instalación del Péndulo Británico



Imagen 29: Calibración del equipo del Péndulo Británico



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 30: Ensayo con equipo del Péndulo Británico



Fuente: Elaboración propia.



Imagen 31: Medición de la temperatura



Fuente: Elaboración propia.

3.5.4 Preparación del aparato

a) Nivelación. Nivelar el instrumento exactamente (con precisión) girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja este centrada en el ojo la burbuja niveladora.

b) Ajuste a ceros. Se eleva la cabeza del aparato, de tal forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplaza la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se denota la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobre pasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

c) Ajuste de la longitud de deslizamiento. Con el péndulo colgando libre colocar el Espaciados abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto. Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descanse en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planos o entre 75 y 78 mm (2 15/16 y 3 1/16 de pulgada) en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

Imagen 32: Datos obtenidos del ensayo Péndulo Británico

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN "LABORATORIO DE ASFALTOS"									
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN NORTE)											
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Norte					CARRIL: Derecho (Ida)			FECHA: 06 de marzo de 2021			
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO											
MICROTEXTURA											
(PÉNDULO BRITÁNICO)											
Progresiva	Temp	FA	Lecturas					Prom.	BPNA	RD	Calificación parcial
	(°C)		1	2	3	4	5				
0+000	24	1.021	53	55	56	54	55				
0+200	24	1.021	54	54	55	56	56				
0+400	24	1.021	54	53	53	53	52				
0+600	25	1.027	49	52	52	52	53				
0+800	25	1.027	54	55	54	56	55				
1+000	26	1.033	53	55	56	54	55				

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2 Procedimiento del cálculo Péndulo Británico

Cálculo de FA

$$FA = \frac{1}{(1 - 0.00525) * (T - 20)}$$

$$FA = \frac{1}{(1 - 0.00525) * (24^{\circ}C - 20)} = 1.021$$

Donde:

T = Temperatura °C

Se calcula el promedio de los valores obtenidos:

Cálculo de BPNA

Prom. * FA

$$54.6 * 1.021 = 55.8$$

Donde:

P= Promedio de las lecturas

Cálculo de RD

$$RD = \frac{BPNA}{100}$$

$$RD = \frac{BPNA}{100} = 0.56$$

Se repite todo el procedimiento de cálculo anterior descrito para todas las unidades de muestreo seleccionadas en el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud.

Imagen 33: Rangos de Fricción

RD	CALIFICACION
0.5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a bueno
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0.91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: ASTM E 1960 - *Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento.*

3.6 Aplicación del método círculo de arena

3.6.1 Procedimiento de medición

El ensayo del círculo de arena se realizó de manera paralela a los ensayos realizados del péndulo británico, es decir fueron realizados en las mismas progresivas; para esto primeramente se tuvo que elaborar un esparcidor de caucho de diámetro de 50 mm con sujetador de madera de tal forma que la base del espaciador quede completamente plana; una vez construido el equipo se calibro la arena haciendo pasar el material por el tamiz nro. 100 y el material a usar para el ensayo es el que se retiene en el tamiz nro. 80 se tamizó aproximadamente 10 kg.

Para proceder con el ensayo se utilizaron los siguientes materiales; arena calibrada, esparcidor, tubo cilíndrico graduado, envase con punta cónica y una brocha; para dar inicio con el ensayo se realizó la medición de la cantidad de arena en el tubo cilíndrico graduado de 25000 mm³, posteriormente se vació la arena al envase con punta cónica de tal forma que al vaciar la arena el punto de ensayo quede en forma cónica con un diámetro regular; antes de vaciar la arena se realizó la limpieza de la superficie del asfalto con una brocha sacando todas las impurezas, polvo y otros; seguidamente se vacía la arena dejando que esta quede en forma cónica y luego se procedió a esparcir la arena cosa que vaya quedando en forma circular haciendo que la arena ocupe las fisuras y vacíos que presenta la superficie asfáltica; una vez que la arena quedo completamente esparcido llegando a nivelarse con la carpeta asfáltica se dispuso a medir el diámetro después de haberse esparcido la arena; este procedimiento se realizó 1 veces en un punto y 5 mediciones unidad de muestreo.

3.6.2 Imágenes del ensayo círculo de arena

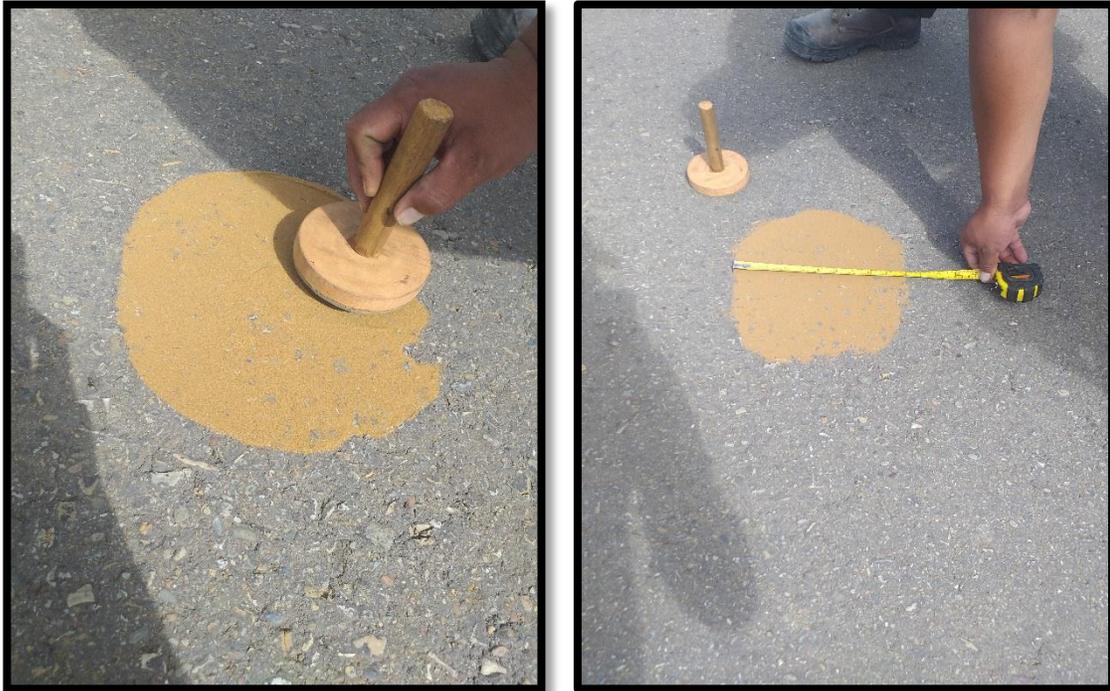
Imagen 35: Pesaje de la arena



Imagen 34: Limpieza del pavimento



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 36: Medición de la arena

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Procedimiento de círculo de arena

Cabe mencionar que al momento de realizar el ensayo círculo de arena se midieron tres diámetros por cada ensayo; debido a la cantidad de datos que se recolectó se realizó la exclusión de datos que se puedan salir de rango y que afecten significativamente los resultados. Se realizar ida y vuelta con 54 puntos.

Tabla 21: Datos obtenidos del ensayo del círculo de arena de ida

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN "LABORATORIO DE ASFALTOS"							
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN SUD)									
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Sud				CARRIL: Derecho (Ida)			FECHA: 06 de marzo de 2021		
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MACROTEXTURA (CÍRCULO DE ARENA)									
Volumen de la muestra				25 ml		=	25000	mm ³	
	Progresiva	Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial
		1	2	3	4	5			
	0+000	270	280	260	280	300			
	0+200	250	280	260	280	270			
	0+400	170	190	180	220	210			
	0+600	250	260	260	280	280			
	0+800	280	290	300	310	280			
	1+000	250	290	270	250	290			

Tabla 22: Datos obtenidos del ensayo del círculo de arena de vuelta

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN "LABORATORIO DE ASFALTOS"							
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN NORTE)									
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Norte				CARRIL: Izquierdo (vuelta)			FECHA: 06 de marzo de 2021		
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MACROTEXTURA (CÍRCULO DE ARENA)									
Volumen de la muestra				25 ml		=	25000 mm ³		
Progresiva		Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial
		1	2	3	4	5			
		5+200	240	250	230	250	240		
		5+000	220	280	260	280	270		
		4+800	210	190	180	220	210		
		4+600	260	260	260	280	280		
		4+400	280	290	300	310	280		
		4+200	240	250	270	250	290		
		4+000	270	260	280	280	290		

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 Procedimiento del calcula círculo de arena

Se realizó la exclusión y aceptación de datos mediante las siguientes ecuaciones, en función a los cálculos realizados se puede decir que los datos obtenidos del ensayo del círculo de arena son aceptables, puesto que la mayoría se asemeja unos de otros.

Cálculo de Volumen

$$\mathbf{V.A.*1000}$$

$$\mathbf{25*1000= 25000 \text{ mm}^3}$$

Donde:

V.A.= Volumen de la arena

Se calcula el promedio de los valores obtenidos:

Cálculo de las lecturas de los diámetros

$$\mathbf{(D1+D2+D3+D4+D5) =}$$

$$\mathbf{(270+280+260+280+300) =278 \text{ (mm)}}$$

Donde:

D= Diámetro de las lecturas

Cálculo de MTD

El cálculo de la macro textura (MTD) se determina con la siguiente ecuación; se utilizó un volumen de 25000 mm³ y para el diámetro se usó la media de los valores obtenidos del ensayo para cada punto de muestra.

$$\mathbf{MTD = \frac{4 * V}{\pi * Dp^2}}$$

$$\mathbf{MTD = \frac{4 * 25000 \text{ mm}^3}{\pi * (85,2 \text{ mm})^2}}$$

$$\text{MTD} = 0.41 \text{ mm}$$

Cabe recalcar que los datos obtenidos mediante la aplicación del ensayo círculo de arena se encuentran a similitudes cercanas, es decir que ningún valor se dispara, por lo tanto, no se llegó a depurar ninguno.

Tabla 23: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena ida

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"							
		FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN "LABORATORIO DE ASFALTOS"							
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN SUD)									
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Sud				CARRIL: Derecho (Ida)			FECHA: 06 de marzo de 2021		
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO									
MACROTEXTURA									
(CÍRCULO DE ARENA)									
Volumen de la muestra				25 ml		=		25000 mm ³	
Progresiva		Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial
		1	2	3	4	5			
0+000		270	280	260	280	300	278.00	0.41	Media
0+200		250	280	260	280	270	268.00	0.44	Media
0+400		170	190	180	220	210	194.00	0.85	Gruesa
0+600		250	260	260	280	280	266.00	0.45	Media
0+800		280	290	300	310	280	292.00	0.37	Fina
1+000		250	290	270	250	290	270.00	0.44	Media

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Revisión de datos obtenidos del ensayo círculo de arena vuelta

		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"								
		FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN "LABORATORIO DE ASFALTOS"								
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLÓN NORTE (CRUCE SAN NICOLÁS - COLÓN NORTE)										
TRAMO: Cruce San Nicolás - Colón Norte					CARRIL: Izquierdo (vuelta)			FECHA: 06 de marzo de 2021		
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO										
MACROTEXTURA										
(CÍRCULO DE ARENA)										
Volumen de la muestra					25 ml		=		25000 mm ³	
Progresiva		Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial	
		1	2	3	4	5				
		5+200	240	250	230	250	240	242.00	0.54	Media
		5+000	220	280	260	280	270	262.00	0.46	Media
		4+800	210	190	180	220	210	202.00	0.78	Media
		4+600	260	260	260	280	280	268.00	0.44	Media
		4+400	280	290	300	310	280	292.00	0.37	Fina
		4+200	240	250	270	250	290	260.00	0.47	Media
		4+000	270	260	280	280	290	276.00	0.42	Media

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Rangos de textura

MTD	TEXTURA
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

Fuente: ASTM E 965- Normativa para evaluar la resistencia al Deslizamiento.

3.8 Procedimiento del cálculo IFI

Una vez obtenidos las mediciones del ensayo del péndulo británico y las mediciones del ensayo del círculo de arena se procede de la siguiente manera para el cálculo del IFI (Índice de Fricción Internacional); se calcula el valor de la fricción del pavimento para una velocidad de 60 km/h “FR60”, se utiliza el valor promedio de fricción de las mediciones obtenidas en campo “FRS” (mediciones realizadas en la unidad de muestra que se realizó el ensayo del círculo de arena) con un valor de $S=10$ km/h se obtiene.

Calculo altura de la altura textura media

$$T_x = \frac{4 * V}{\pi * D_p^2}$$

$$T_x = \frac{4 * 25000 \text{ mm}^3}{\pi * (27.80 \text{ mm})^2}$$

$$T_x = 0.412 \text{ mm}$$

Calculo determinación de velocidad Sp

$$S_p = a + b * T_x$$

$$S_p = -11,5981 + 113,63246 * 0.412$$

$$S_p = 35.22 \text{ Km/h}$$

Calculo determinación de velocidad F60.

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

$$FR_{60} = 55.52 * e^{\frac{(10-60)}{486,68}}$$

$$FR_{60} = 13.42$$

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

$$F60 = A + B * FR60$$

$$F60 = 0,078 + 0,0107 * 13.42$$

$$F60 = 0,222$$

Tabla 26: Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60	
0+000	55.52	27.80	0.412	35.22	13.42	0.222	
0+200	55.92	26.80	0.443	38.74	15.38	0.243	
0+400	53.92	19.40	0.846	84.53	29.85	0.397	
0+600	52.73	26.60	0.450	39.54	14.89	0.237	
0+800	55.93	29.20	0.373	30.79	11.02	0.196	
1+000	55.92	27.00	0.437	38.06	15.03	0.239	
1+200	56.72	27.20	0.430	37.26	14.83	0.237	
1+400	66.12	20.20	0.780	77.04	34.55	0.448	
1+600	58.51	24.40	0.535	49.20	21.18	0.305	
1+800	56.48	27.20	0.430	37.26	14.76	0.236	
2+000	54.08	20.40	0.765	75.33	27.85	0.376	
2+200	58.65	25.20	0.501	45.33	19.46	0.286	
2+400	66.85	26.00	0.471	41.92	20.28	0.295	
2+600	58.25	26.60	0.450	39.54	16.45	0.254	
2+800	48.68	20.00	0.796	78.85	25.82	0.354	
3+000	47.08	26.60	0.450	39.54	13.29	0.220	
3+200	66.12	29.20	0.373	30.79	13.03	0.217	
3+400	59.63	27.40	0.424	36.58	15.20	0.241	
3+600	53.83	21.80	0.670	64.54	24.81	0.343	
3+800	57.43	24.20	0.544	50.22	21.22	0.305	
4+000	62.72	26.40	0.457	40.33	18.16	0.272	
4+200	59.32	21.40	0.695	67.38	28.24	0.380	
4+400	57.52	25.20	0.501	45.33	19.09	0.282	
4+600	66.61	26.00	0.471	41.92	20.21	0.294	
4+800	60.01	26.80	0.443	38.74	16.51	0.255	
5+000	60.68	26.60	0.450	39.54	17.13	0.261	
5+200	57.68	26.60	0.450	39.54	16.29	0.252	
Promedio =					47.520		0.283

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Evaluación estructural

La evaluación estructural se ha llevado a cabo mediante ensayos no destructivos empleando la mediación de las deflexiones con la viga Benkelman que consiste en estudiar las deformaciones verticales que experimenta las diferentes capas del paquete estructural cuando está actuando sobre el pavimento

3.9.1 Procedimiento de medición Viga Benkelman

El primer paso se verifico si están todos los materiales requeridos. Se efectuó inicialmente la calibración de la viga Benkelman con una relación del brazo es de 1 a 2 para optimizar el instrumento. Se utilizará para el cálculo de las deflexiones, la constante $k=2$. Para proceder el ensayo se realizó una medición de presión de las llantas de 80 Psi, posteriormente se realizó el peso de la volqueta en una balanza eléctrica. Obteniendo un peso de (8.2) toneladas de capacidad con eje trasero simple y llantas dobles.

Se procedió ensamblar la viga ya que se tiene un brazo desplegable de dos módulos con cual se ajustan con tornillos, posterior se nivela en el apoyo principal con una regla niveladora para lograr que el puntero del brazo de la viga este en contacto mínimo con la superficie asfáltica. Se realizó de igual manera en los siguientes puntos definidos de estudio, En cada punto de ensayo se registraron lecturas a 0.25 – 0.50 – 0.75 – 1 – 2 – 3 – 5 m. ensayo 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, dejando el otro extremo fijo sobre el pavimento; en cada punto de ensayo se registraron las temperaturas del pavimento, se repitieron las operaciones descritas a lo largo de ambos tramos de estudio.

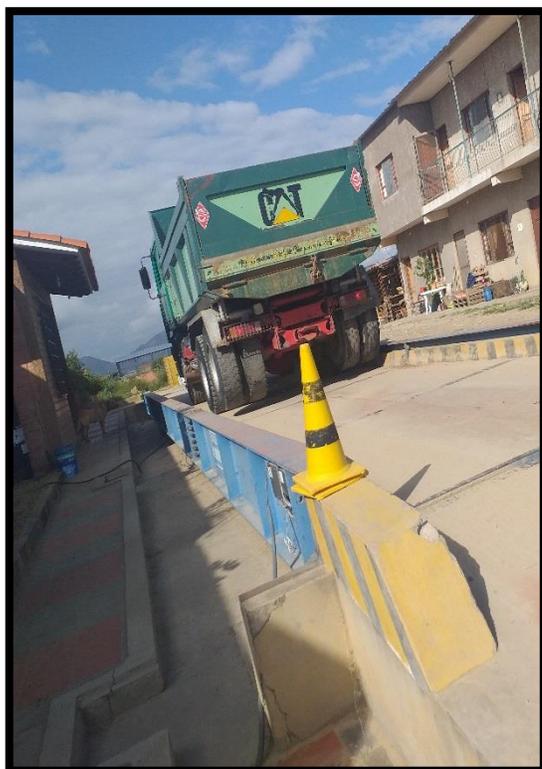
3.9.2 Imágenes del ensayo con la Viga Benkelman

Imagen 37: Inflado de las llantas dobles a una presión de 80 PSI



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 38: Pasaje de la volqueta en la balanza electronica



BALANZA "MENDOZA"
 KM 7 CASABE AL CHACO DEL PUNTO TABLON
 Tarija - Bolivia

Nº 14705
 Fecha 10/03/2021

Ingreso 10/03/2021 08:41:18 AM
 Salida 10/03/2021 08:59:03 AM

BRUTO: 0
 TARA: 8,210
 NETO: 8,210

178.47 kg

Cliente/ Comprador: ERIKA C. CANAVIRI P.
 Material: VOLQUETA CAJERADA
 Chofar: ROBERTHARAMAYO
 Vendedor: AZEL

Monto Bs: 100
 Placa: 1084 LLS

Observación:

[Signature]

RECIBO
 BALANZA "MENDOZA"
 KM 7 CASABE AL CHACO DEL PUNTO TABLON
 Tarija - Bolivia
 Tel: 7101773-4468877

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 39: Ensayo de la Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Imagen 40: medición de la temperatura



Fuente: Elaboración propia.

3.9.3 Procedimiento del cálculo de la deflexión del pavimento flexible

Obteniendo los datos de dicho tramo los valores corresponden a las deformaciones en un proceso de descarga en un valor o lectura final será menor que el inicial. Se calcular los indicadores de estado de la estructura del pavimento, que son la deflexión máxima y el radio de la curvatura.

Ejemplo. Km 0+000 lado derecho con una temperatura de 23.5 °C

3.9.3.1 Cálculo de la deflexión

b) Para la deflexión 0.00

$$D = (L_o - L_f) * 2$$

$$D = (13 - 0) * 2$$

$$D = 77 \text{ mm}$$

La Diferencia se multiplica por 2, debido a que la relación de brazo de la viga Benkelman empleada es 1:2

c) Para la deflexión 0.25

$$D = (L_o - L_f) * 2$$

$$D = (4.38 - 38.44) * 2$$

$$D = 68 \text{ mm}$$

d) Para la deflexión 0.50

$$D = (L_o - L_f) * 2$$

$$D = (8.44 - 38.44) * 2$$

$$D = 60 \text{ mm}$$

e) Para la deflexión 0.75

$$D = (L_o - L_f) * 2$$

$$D = (11.86 - 38.44) * 2$$

$$D = 53 \text{ mm}$$

Se realizo la misma ecuación para la deflexión 1.00 – 2.00 – 5.00

3.7.3.2 Cálculo de la deflexión D0

$$D0 = (D * 0.85) * 1.3$$

$$D0 = (77 * 0.85) * 1.3$$

$$D0 = 83 \text{ mm}$$

3.9.3.3 Corrección de las deflexiones por temperatura

El valor de deflexión máxima obtenido debe corregirse por temperatura ya que las medidas deben llevarse a una temperatura estándar de 20.3 °C, para poder realizar comparaciones entre diferentes tramos la medición de temperatura del pavimento para el punto de ensayo descrito fue de 23.5 °C, el valor de deflexión máxima debe corregirse usando la siguiente expresión.

$$D25' = \frac{Dt}{K * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$D25' = \frac{68.125}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (23.5^{\circ}\text{C} - 20.3^{\circ}\text{C}) * 5\text{cm} + 1}$$

$$D25' = 0.83\text{mm}$$

3.9.3.4 Cálculo de la deflexión D25

$$D25 = D25' * T * Fce$$

$$D25 = 68 * 0.83 * 1.3$$

$$D25 = 74 \text{ mm}$$

3.9.3.5 Radio de curvatura

La curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 25 cm, a partir de la deflexión máxima.

Para la determinación del radio de dicha curvatura se ha establecido la siguiente expresión empírica.

$$Rc = \frac{10 * (25^2)}{K * (Do - D25)}$$

$$Rc = \frac{6250}{2.00 * (83 - 74)}$$

$$Rc = 331 \text{ m}$$

3.9.3.6 Deflexión admisible

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

$$Da = 25.64 * N^{-0.2383}$$

$$Da = 25.64 * 406470^{-0.2383}$$

$$Da = 1.18 \text{ mm}$$

3.9.3.7 Deflexión característica

La deflexión característica es un parámetro estadístico empleado para la evaluación representativa. De la magnitud de deformación de los pavimentos.

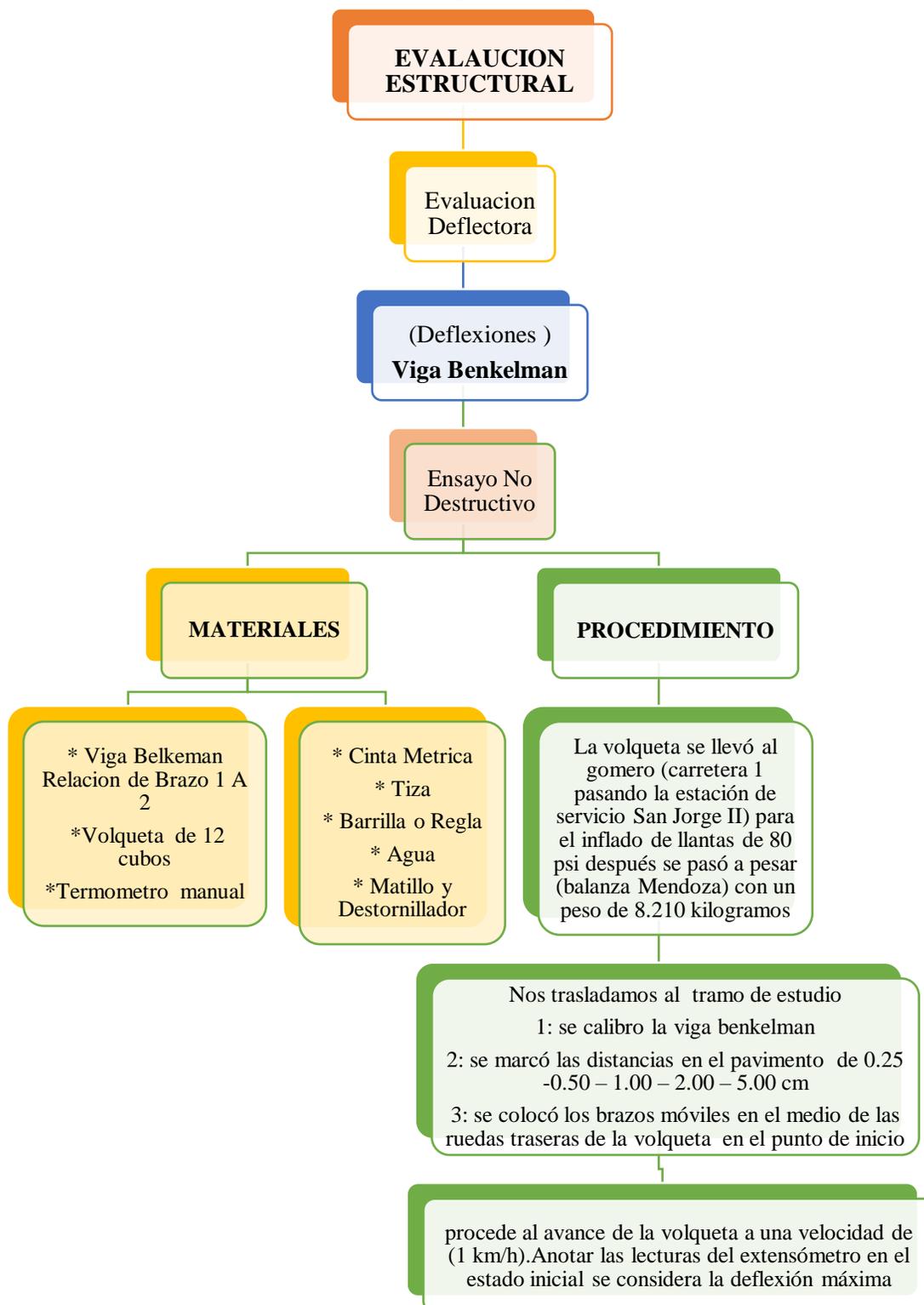
$$D = D^p + Tq$$

$$D = 89 + 114$$

$$D = 114$$

El pavimento flexible del tramo colon norte (san Nicolás) – colon sud tiene capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible. Cabe mencionar que la planilla de resultados obtenidos aplicada a esta metodología se encuentra adjunta en el (Anexo 11 Calculo de la Viga Benkelman).

Ilustración 4: Esquema Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Evaluación superficial por el método PCI

4.1.1 Resultados parciales del método PCI

En el capítulo IV se resumen los resultados del PCI (Índice De Condición De Pavimento) del tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud.

Resumen de los resultados de cada tramo

TRAMO 1: NO SE OBTUVO FALLAS

TRAMO 2: SE OBTUVO 2 FALLAS DESFAVORABLES.

TRAMO 3: SE OBTUVO 13 FALLAS DESFAVORABLES.

TRAMO 4: SE OBTUVO 13 FALLAS DESFAVORABLES.

TRAMO 5: SE OBTUVO 2 FALLAS DESFAVORABLES.

Obteniendo un total de 30 fallas desfavorables. Verificando en la tabla 21.

A continuación, los resultados tablas del valor del PCI.

Tabla 27: calificación del tramo 1

Calificación Excelente			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
2	1	0+032 - 0+064	96.83
3	1	0+064 - 0+096	87.00
6	1	0+160 - 0+192	89.00
7	1	0+192 - 0+224	93.55
10	1	0+288 - 0+320	7.70
11	1	0+320 - 0+352	90.00
12	1	0+352 - 0+384	88.00
13	1	0+384 - 0+416	88.00
14	1	0+416 - 0+448	90.00
16	1	0+480 - 0+512	92.10
17	1	0+512 - 0+544	91.00
20	1	0+608 - 0+640	88.00
21	1	0+640 - 0+672	95.00
22	1	0+672 - 0+704	99.00
24	1	0+736 - 0+768	99.00
25	1	0+768 - 0+88	99.00
26	1	0+800 - 0+832	95.00
31	1	0+960 - 0+992	92.00
32	1	0+992 - 1+024	99.00
Calificación Muy Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
1	1	0+000 - 0+032	80.5
4	1	0+096 - 0+128	78.00
5	1	0+128 - 0+160	84.10
8	1	0+244 - 0+256	85.00
9	1	0+256 - 0+288	79.40
15	1	0+448 - 0+480	85.00
19	1	0+576 - 0+608	70.00
23	1	0+704 - 0+736	83.00
28	1	0+864 - 0+896	78.00
29	1	0+896 - 0+928	78.00
30	1	0+928 - 0+960	84.00
Calificación Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
18	1	0+544 - 0+576	60.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28: Calificación del tramo 2

Calificación Excelente			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
33	2	1+024 - 1+056	87.00
37	2	1+152 - 1+184	92.00
41	2	1+280 - 1+312	94.00
42	2	1+312 - 1+344	94.60
43	2	1+344 - 1+376	90.00
47	2	1+472 - 1+504	94.00
48	2	1+504 - 1+536	89.50
49	2	1+536 - 1+568	90.10
50	2	1+568 - 1+600	89.00
51	2	1+600 - 1+632	89.00
Calificación Muy Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
34	2	1+056 - 1+088	70.00
35	2	1+088 - 1+120	83.00
36	2	1+120 - 1+152	83.00
38	2	1+184 - 1+216	87.00
39	2	1+216 - 1+248	86.62
40	2	1+248 - 1+280	84.00
44	2	1+376 - 1+408	82.00
52	2	1+632 - 1+664	82.00
54	2	1+696 - 1+728	81.85
55	2	1+728 - 1+760	76.00
56	2	1+760 - 1+792	82.40
58	2	1+824 - 1+856	83.00
59	2	1+856 - 1+888	84.50
60	2	1+888 - 1+920	80.00
62	2	1+952 - 1+984	76.00
63	2	1+984 - 2+016	77.00
64	2	2+016 - 2+048	82.00
Calificación Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
61	2	1+88 - 1+920	67.00
Calificación Regular			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
53	2	1+664 - 1+696	48.00
57	2	1+792 - 1+824	49.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Calificación del tramo 3

Calificación Excelente			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
67	3	2+112 - 2+114	89.00
Calificación Muy Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
65	3	2+048 - 2+080	79.00
66	3	2+080 - 2+112	78.00
69	3	2+176 - 2+208	75.00
76	3	2+400 - 2+432	72.00
93	3	2+944 - 2+976	80.00
Calificación Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
70	3	2+208 - 2+240	65.00
74	3	2+368 - 2+368	63.00
77	3	2+432 - 2+464	60.00
78	3	2+464 - 2+496	65.00
79	3	2+496 - 2+528	67.00
80	3	2+528 - 2+560	63.00
81	3	2+560 - 2+592	70.00
85	3	2+688 - 2+720	65.00
83	3	2+624 - 2+656	68.00
84	3	2+656 - 2+688	68.00
88	3	2+784 - 2+816	68.00
94	3	2+976 - 3+008	70.00
Calificación Regular			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
71	3	2+240 - 2+272	55.00
72	3	2+272 - 2+304	48.00
73	3	2+304 - 2+336	54.00
75	3	2+368 - 2+400	54.00
82	3	2+592 - 2+624	55.00
86	3	2+720 - 2+752	54.50
87	3	2+752 - 2+784	55.00
89	3	2+816 - 2+848	48.00
90	3	2+848 - 2+880	52.00
91	3	2+880 - 2+912	55.00
92	3	2+912 - 2+944	53.00
96	3	3+040 - 3+072	55.00
Calificación Malo			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
95	3	3+008 - 3+040	32.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Calificación del tramo 4

Calificación Excelente			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
122	4	3+872 - 3+904	98.50
123	4	3+904 - 3+936	89.00
128	4	4+064 - 4+096	86.00
Calificación Muy Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
106	4	3+360 - 3+392	77.00
107	4	3+392 - 3+424	75.00
108	4	3+424 - 3+456	70.00
110	4	3+488 - 3+520	72.00
113	4	3+584 - 3+616	78.00
115	4	3+648 - 3+680	77.00
124	4	3+936 - 3+968	85.00
126	4	4+000 - 4+032	80.00
127	4	4+032 - 4+064	78.00
Calificación Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
98	4	3+104 - 3+136	69.00
111	4	3+520 - 3+552	61.00
112	4	3+552 - 3+584	68.00
116	4	3+680 - 3+712	57.00
118	4	3+744 - 3+776	60.00
119	4	3+776 - 3+808	65.00
120	4	3+808 - 3+840	57.00
Calificación Regular			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
97	4	3+072 - 3+104	51.00
99	4	3+136 - 3+168	45.00
100	4	3+168 - 3+200	40.00
101	4	3+168 - 3+232	48.00
102	4	3+232 - 3+264	45.00
103	4	3+264 - 3+292	52.00
104	4	3+292 - 3+328	46.00
105	4	3+328 - 3+360	55.00
109	4	3+456 - 3+488	49.00
114	4	3+616 - 3+648	41.00
117	4	3+712 - 3+744	50.00
121	4	3+840 - 3+872	50.00
125	4	3+968 - 4+000	54.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Calificación del tramo 5

Calificación Excelente			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
130	5	4+128 - 4+160	95
134	5	4+256 - 4+288	93
136	5	4+320 - 4+352	92
138	5	4+384 - 4+416	91
143	5	4+544 - 4+576	99
165	5	5+248 - 5+280	92
Calificación Muy Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
129	5	4+096 - 4+128	70.00
131	5	4+160 - 4+192	71.00
132	5	4+192 - 4+224	70.00
133	5	4+224 - 4+256	80.00
135	5	4+288 - 4+320	82.00
140	5	4+448 - 4+480	82.00
141	5	4+480 - 4+512	77.00
142	5	4+512 - 4+544	80.00
145	5	4+608 - 4+640	72.00
146	5	4+640 - 4+672	78.00
149	5	4+736 - 4+768	72.00
150	5	4+768 - 4+800	67.00
144	5	4+576 - 4+608	78.00
154	5	4+896 - 4+928	78.00
161	5	5+120 - 5+152	66.00
Calificación Bueno			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
137	5	4+352 - 4+384	63.00
147	5	4+672 - 4+704	62.00
148	5	4+704 - 4+736	61.00
151	5	4+800 - 4+832	56.00
152	5	4+832 - 4+864	67.00
153	5	4+864 - 4+896	60.00
155	5	4+928 - 4+960	57.00
156	5	4+960 - 4+992	61.00
158	5	5+024 - 5+056	68.00
159	5	5+056 - 5+088	59.00
160	5	5+088 - 5.120	73.00
162	5	5+152 - 5+184	61.00
163	5	5+184 - 5+216	61.00
164	5	5+216 - 5+248	56.00
Calificación Regular			
Unidad de muestra	Tramo	Progresiva Inicio - Final	Valor del PCI
139	5	4+416 - 4+448	53.00
157	5	4+992 - 5+024	50.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32: Fallas desfavorables

Resultados de las muestras más desfavorables del tramo			
Tramo de evaluación		Índice de condición del pavimento	Condición del pavimento
Unidad de muestra	Progresivas Inicio - Final	Valor del PCI	Calificación
53	1+664 - 1+696	48.00	Regular
57	1+792 - 1+824	49.00	Regular
71	2+240 - 2+272	55.00	Regular
72	2+272 - 2+304	48.00	Regular
73	2+304 - 2+336	54.00	Regular
75	2+368 - 2+400	54.00	Regular
82	2+592 - 2+624	55.00	Regular
86	2+720 - 2+752	54.50	Regular
87	2+752 - 2+784	55.00	Regular
89	2+816 - 2+848	48.00	Regular
90	2+848 - 2+880	52.00	Regular
91	2+880 - 2+912	55.00	Regular
92	2+912 - 2+944	53.00	Regular
95	2+008 - 3+040	32.00	Malo
96	3+040 - 3+072	55.00	Regular
97	3+072 - 3+104	51.00	Regular
99	3+36 - 3+168	45.00	Regular
100	3+168 - 3+200	40.00	Malo
101	3+168 - 3+232	48.00	Regular
102	3+232 - 3+264	45.00	Regular
103	3+264 - 3+292	52.00	Regular
104	3+292 - 3+328	46.00	Regular
105	3+328 - 3+360	55.00	Regular
109	3+456 - 3+488	49.00	Regular
114	3+616 - 3+648	41.00	Regular
117	3+712 - 3+744	50.00	Regular
121	3+840 - 3+872	50.00	Regular
125	3+968 - 4+000	54.00	Regular
139	4+416 - 4+448	53.00	Regular
157	4+992 - 5+024	50.00	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Analizando los resultados más desfavorables de la **Tabla 32**, los puntos críticos estarían bajo la misma causa de deterioro en común mal drenaje, fatiga de la estructura, espesor insuficiente de la capa de rodadura, deformación de la subrasante.

Dando, así como resultado fallas considerables en el pavimento.

4.1.2 Análisis de resultados del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

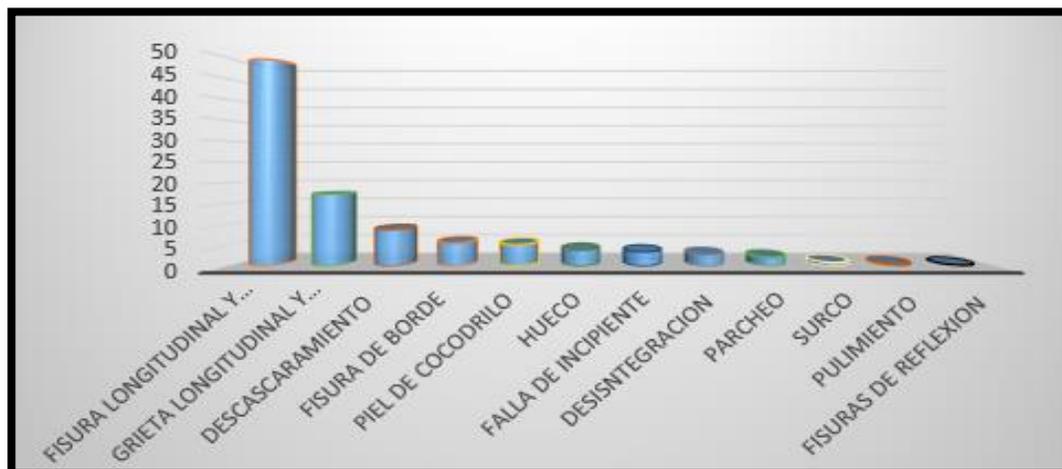
En la siguiente **Tabla 33**. Presentaremos en porcentaje de todas las fallas existentes en nuestra evaluación

Tabla 33: Porcentaje de fallas existentes

Tipo de Fallas Existentes	Cantidad	% de falla
Fisura longitudinal y transversal	233	49.68
Grieta longitudinal y transversal	81	17.27
Descascaramiento	41	8.74
Fisura de borde	26	5.54
Piel de cocodrilo	24	5.12
Hueco	18	3.84
Falla de incipiente	16	3.41
Desintegración	13	2.77
Parcheo	10	2.13
Surco	4	0.85
Pulimiento	2	0.43
Fisuras de reflexión	1	0.21
	469	100

Fuente: Elaboración propia.

Representación gráfica del 100% de fallas que presentaría el tramo sería los siguientes

Figura 10: Panel de fallas en general

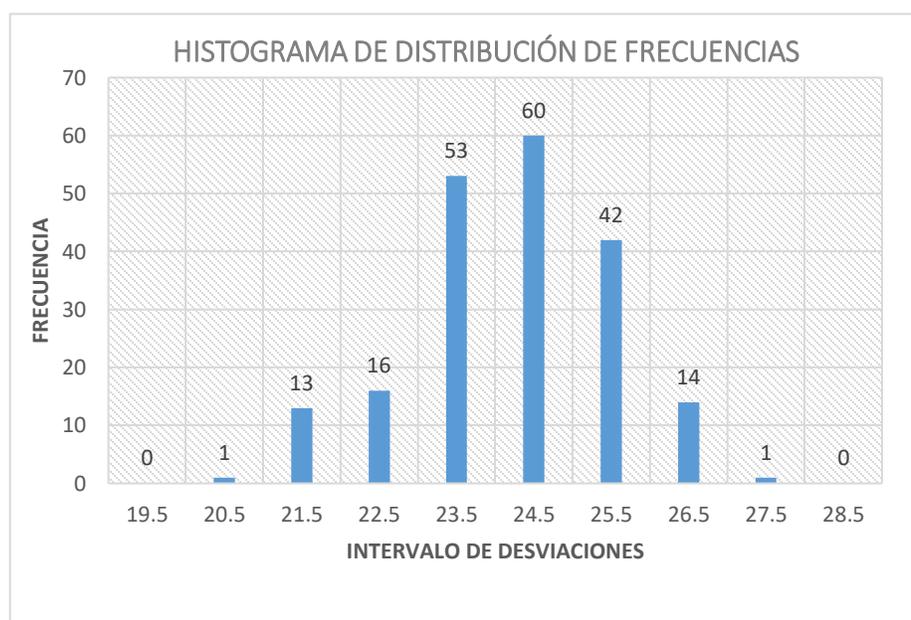
Fuente: Elaboración propia.

4.2 Evaluación superficial con el método IRI

4.2.1 Resultados de la evaluación superficial

En el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud se hizo las mediciones de rugosidad con el equipo Merlín, cabe mencionar que las velocidades de medición no se mantienen constantes en todo el recorrido, debido a la topografía del terreno y el tramo en planta que obligan al conductor a disminuir la velocidad de recorrido, detectando así el odómetro cualquier variación de la velocidad que sea de ± 3 a la velocidad deseada.

Tabla 34: Panel de fallas en general



Fuente: Elaboración propia.

Podemos apreciar en los cuadros de medición que medida de Rugosidad que si cumple.

4.2.2 Promedio del I.R.I

Alisando la tabla 35 nos un resultado un rango de rugosidad 1.45 es una calificación de bueno excelente.

Tabla 35: promedios de los cálculos del IRI

Progresiva	I.R. I
000-400	1.03
400-800	1.64
800-1200	1.16
1+200-1+600	0.89
1+600-2000	0.97
2+000-2+400	1.56
2+400-2+800	1.57
2+800-3+200	1.24
3+200-3+600	1.45
3+600-4+000	1.57
4+000-4+400	2.71
4+400-4+800	1.82
4+800-5+200	1.19
	1.45

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Evaluación superficial con el método Péndulo Británico

4.2.1 Resultados evaluación superficial

A continuación, se presenta un resumen sobre los resultados obtenidos de la evaluación superficial, esta vez aplicando la metodología microtextura tales puntos fueron realizadas en las áreas más críticas del tramo.

Tabla 36: promedios de los cálculos Péndulo Británico

PROGRESIVA	RD	CALIFICACIÓN
0+000	0.56	Regular a bueno
0+200	0.56	Regular a bueno
0+600	0.54	Regular a bueno
0+800	0.53	Regular a bueno
1+000	0.56	Regular a bueno
1+200	0.56	Regular a bueno
1+400	0.57	Regular a bueno
1+600	0.57	Regular a bueno
1+800	0.67	Regular a bueno
2+000	0.59	Regular a bueno
2+200	0.57	Regular a bueno
2+400	0.55	Bueno
2+600	0.6	Regular a bueno
2+800	0.68	Malo
3+000	0.59	Malo
3+200	0.5	Bueno
3+400	0.48	Bueno
3+600	0.69	Regular a bueno
3+800	0.68	Regular a bueno
4+000	0.56	Bueno
4+200	0.66	Bueno
4+400	0.6	Regular a bueno
4+600	0.7	Bueno
4+800	0.63	Bueno
5+000	0.64	Bueno
5+200	0.61	Regular a bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: Prometió RD

RD	Calificación final
0.59	Regular a bueno

Fuente: Elaboración propia.

El tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud Prometió 0.56 con una calificación de Regular a bueno.

4.3 Evaluación superficial con el método círculo de arena

4.3.1 Resultados evaluación superficial macrotextura

Los resultados de la evaluación superficial son los siguientes. Se realizó 26 puntos en el lado izquierdo, en el lado derecho 26 puntos. Separados cada 200 metros con una progresiva de 0.00 a 5+200.

Tabla 38: promedios de los cálculos círculo de arena

PROGRESIVA	MTD	CALIFICACIÓN
0+000	0.41	Media
0+200	0.44	Media
0+600	0.85	Gruesa
0+800	0.45	Media
1+000	0.37	Fina
1+200	0.44	Media
1+400	0.43	Media
1+600	0.78	Media
1+800	0.53	Media
2+000	0.43	Media
2+200	0.76	Media
2+400	0.47	Media
2+600	0.45	Media
2+800	0.80	Media
3+000	0.45	Media
3+200	0.37	Media
3+400	0.42	Media
3+600	0.67	Media
3+800	0.54	Media
4+000	0.46	Media
4+200	0.70	Media
4+400	0.50	Media
4+600	0.47	Media
4+800	0.44	Media
5+000	0.45	Media
5+200	0.45	Media

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: Prometi3 texture final

MTD	Textura final
0.52	Media

Fuente: Elaboraci3n propia.

Tabla 40: Textura del pavimento

MTD	Textura
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

El tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud Prometi3 0.52 con una textura final media.

4.4 Evaluación superficial por el método IFI

4.4.1 Resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

A continuación, se presenta un resumen sobre los resultados obtenidos de la evaluación superficial, esta vez aplicando la metodología del IFI (Índice de Fricción Internacional), tales puntos fueron realizadas en las áreas más críticas del tramo.

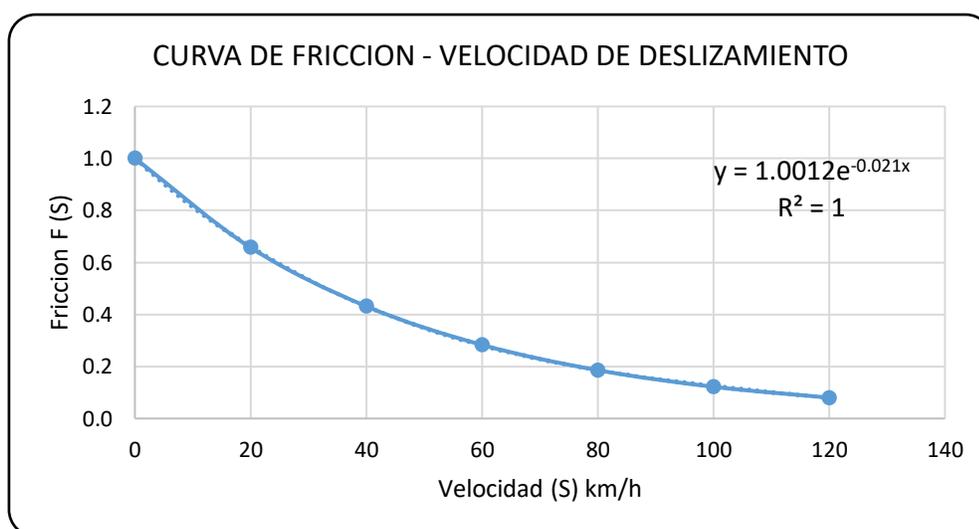
Tabla 41: Resultados del método IFI

Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	55.52	27.80	0.412	35.22	13.42	0.222
0+200	55.92	26.80	0.443	38.74	15.38	0.243
0+400	53.92	19.40	0.846	84.53	29.85	0.397
0+600	52.73	26.60	0.450	39.54	14.89	0.237
0+800	55.93	29.20	0.373	30.79	11.02	0.196
1+000	55.92	27.00	0.437	38.06	15.03	0.239
1+200	56.72	27.20	0.430	37.26	14.83	0.237
1+400	66.12	20.20	0.780	77.04	34.55	0.448
1+600	58.51	24.40	0.535	49.20	21.18	0.305
1+800	56.48	27.20	0.430	37.26	14.76	0.236
2+000	54.08	20.40	0.765	75.33	27.85	0.376
2+200	58.65	25.20	0.501	45.33	19.46	0.286
2+400	66.85	26.00	0.471	41.92	20.28	0.295
2+600	58.25	26.60	0.450	39.54	16.45	0.254
2+800	48.68	20.00	0.796	78.85	25.82	0.354
3+000	47.08	26.60	0.450	39.54	13.29	0.220
3+200	66.12	29.20	0.373	30.79	13.03	0.217
3+400	59.63	27.40	0.424	36.58	15.20	0.241
3+600	53.83	21.80	0.670	64.54	24.81	0.343
3+800	57.43	24.20	0.544	50.22	21.22	0.305
4+000	62.72	26.40	0.457	40.33	18.16	0.272
4+200	59.32	21.40	0.695	67.38	28.24	0.380
4+400	57.52	25.20	0.501	45.33	19.09	0.282
4+600	66.61	26.00	0.471	41.92	20.21	0.294
4+800	60.01	26.80	0.443	38.74	16.51	0.255
5+000	60.68	26.60	0.450	39.54	17.13	0.261
5+200	57.68	26.60	0.450	39.54	16.29	0.252
Promedio =				47.520		0.583

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: resultados del método IFI

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1.001	0.657	0.431	0.283	0.186	0.122	0.080

Tabla 43: Curva de fricción – velocidad de deslizamiento

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Análisis de resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional)

En base a los ensayos y cálculos realizados de la evaluación superficial por el método IFI (Índice de Fricción Internacional), en la siguiente tabla presentamos resultados en promedio total y seguidamente un análisis acerca de los resultados.

Tabla 44: Análisis del resultado del IFI

Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
5+000	60.68	26.60	0.450	39.54	17.13	0.261
5+200	57.68	26.60	0.450	39.54	16.29	0.252
Promedio =				47.520		0.583

Fuente: Elaboración propia.

En la calificación por textura los resultados predominantes en la carpeta asfáltica son las de textura fina en un 100 % y en la calificación por fricción se presentan un 100 % de superficie asfáltica de regular a bueno; cabe recalcar que la evaluación se la realizó en los puntos más desfavorables con altos índices de severidad.

Calificación de la fricción:

Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos para dicha evaluación estuvieron en los rangos (0,51 a 0,60), parámetros indicados en la **Tabla 44**. La cual correspondería a una calificación de regular a buena; por lo tanto, nos lleva a concluir que la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia entre el neumático de vehículo y la superficie, es decir que el vehículo se desliza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.

Tabla 43: Valores de fricción con péndulo británico.

RD	Calificación
>0.5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a bueno
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
>0.91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: ASTM E 1960- Normativa *para evaluar la resistencia al Deslizamiento.*

Calificación de la textura:

En cuanto a los resultados obtenidos para la calificación de la textura estos fueron muy elevados, dichos valores sobrepasarían los límites que se presentan en la **Tabla 45**, lo cual nos da a entender, que dicho tramo de evaluación presenta una textura fina lo cual se debe a disgregaciones, es decir, pérdida del ligante asfáltico.

Tabla 45: Textura en pavimento para círculo de arena

MTD	Textura
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

Fuente: Fuente: ASTM E 1960- Normativa *para evaluar la resistencia al Deslizamiento.*

El análisis general de los ensayos realizados tanto del círculo de arena como también del péndulo británico para los 5+200 km considerando ambos tramos tanto de Izquierdo y Derecho de la ya mencionada en el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud, se ubicaron unidades de muestra basándose en las progresivas de mayor afectación del PCI (Índice de Condición del Pavimento) realizándose así los ensayos del IFI (Índice de Fricción Internacional).

Aplicando así esta referencia pudimos obtener valores de IFI que, según tablas, nos indican que la calificación por fricción es de regular a buena, es decir que el pavimento aún no presenta desgaste en los neumáticos; por otro lado, el parámetro de la textura calificó como fina lo cual hace referencia a que existe pérdida de ligante asfáltico en la carpeta de rodadura.

4.5 Evaluación estructural método Viga Benkelman

4.5.1 Resultados de la evaluación estructural

Los resultados de la evaluación estructural son los siguientes.

Se realizó 53 puntos en el lado izquierdo 26, en el lado derecho 27 puntos. Separados cada 100 metros con una progresiva de 0.00 a 5+200.

Tabla 46: Resultados parciales de la evaluación estructural

<u>Deflexiones</u>								D0	D25	RC	D*RC	Observación Calificación PCI
0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	5.00	Salida					
77	68	60	53	42	19	0	0	83	74	331	27455	Bueno
79	67	64	61	48	24	0	0	82	70	252	20724	Muy Bueno
71	60	49	50	37	19	0	0	75	63	278	20772	Excelente
80	68	59	60	41	18	0	0	83	70	240	20000	Excelente
73	64	53	53	39	14	0	0	75	66	324	24375	Excelente
70	61	56	52	36	11	0	0	69	60	362	25000	Excelente
76	64	56	59	38	21	0	0	78	66	271	21007	Excelente
76	71	64	61	41	14	0	0	73	68	581	42361	Excelente
79	68	61	62	38	29	0	0	75	64	295	22049	Excelente
73	64	61	48	33	13	0	0	68	60	357	24375	Muy Bueno
76	69	59	51	44	19	0	0	72	65	480	34375	Excelente
76	67	56	59	36	17	0	0	70	62	384	27009	Muy Bueno
74	64	58	56	33	12	0	0	71	62	348	24583	Muy Bueno
75	68	54	59	38	24	0	0	75	67	418	31250	Excelente
69	58	54	51	33	16	0	0	66	55	289	19097	Muy Bueno
79	74	61	55	38	23	0	0	79	74	555	44097	Muy Bueno
90	75	66	66	52	28	0	0	90	76	217	19531	Regular

83	74	60	61	43	12	0	0	84	75	330	27885	Regular
82	72	65	64	33	24	0	0	83	73	307	25446	Regular
69	61	49	52	33	18	0	0	70	63	407	28646	Muy Bueno
71	64	55	48	40	13	0	0	77	70	420	32386	Muy Bueno
71	61	54	46	28	21	0	0	78	66	268	20956	Excelente
85	75	60	63	44	26	0	0	92	81	285	26339	Regular
81	73	59	56	34	12	0	0	88	81	396	35000	Regular
85	71	66	56	37	21	0	0	94	79	207	19408	Regular
70	61	53	46	33	16	0	0	78	68	299	23333	Bueno
81	75	66	59	36	14	0	0	90	83	436	39236	Regular
92	81	73	65	47	23	0	0	103	90	242	25000	Regular
81	73	65	55	39	16	0	0	112	100	263	29427	Regular
79	70	63	59	33	8	0	0	109	96	243	26442	Regular
86	75	69	56	42	18	0	0	119	104	213	25223	Malo
85	72	70	61	47	18	0	0	116	98	176	20486	Regular
69	61	51	48	32	19	0	0	95	84	281	26683	Excelente
91	78	68	64	49	23	0	0	119	103	194	23162	Regular
85	74	68	56	47	17	0	0	111	97	223	24777	Malo
85	70	68	59	45	21	0	0	112	93	163	18257	Malo
93	82	74	64	52	24	0	0	120	106	223	26875	Regular
75	68	60	51	41	24	0	0	95	86	358	34091	Bueno
79	72	55	58	30	13	0	0	102	93	336	34375	Regular
85	73	60	62	42	16	0	0	104	89	209	21691	Regular
81	76	61	56	46	25	0	0	98	91	460	45139	Malo

88	79	70	67	51	16	0	0	105	94	303	31771	Regular
76	69	61	53	44	18	0	0	92	83	378	34659	Excelente
89	75	75	70	53	29	0	0	106	89	183	19375	Regular
80	74	61	60	38	26	0	0	95	87	422	40000	Muy Bueno
91	78	69	61	40	27	0	0	99	85	221	21875	Malo
81	69	62	58	32	15	0	0	94	81	232	21875	Regular
77	68	56	59	37	18	0	0	83	73	308	25625	Bueno
69	58	53	44	36	18	0	0	74	62	257	19097	Bueno
79	69	58	54	42	8	0	0	84	73	293	24554	Regular
91	81	72	73	50	34	0	0	98	87	290	28348	Regular
92	82	68	63	46	26	0	0	97	87	298	29087	Malo
73	63	59	49	34	19	0	0	76	66	320	24167	Excelente

Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Resultados finales de la evaluación estructural del tramo

Tabla 47: Resumen estadístico

RESUMEN ESTADÍSTICO				
	D0	D25	RC	D*RC
Valor Mínimo	66	55	163	18257
Valor Máximo	120	106	581	45139
Valor Promedio	89	78	310	26958
Desviación Estándar	15.2	13.5	92.1	6717.6
Deflexión Característica	114			
Deflexión Admisible	118			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: resultados finales de la evaluación estructural

Dadm	D.carac.	Rc prom	Relación (Dc/Dadm)
118	114	310	0.97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49: Determinación del índice del estado del pavimento

Rango	Medidas de calificación
Muy bueno	$Dc / Dadm < 0.5$
Bueno	$0.5 > Dc / Dadm < 1.0$
Regular	$1.1 < Dc / Dadm < 1.4$
Malo	$Dc / Dadm > 1.4$

Fuente: Instituto de Asfaltos

4.3.3 Análisis de los resultados de la evaluación superficial y estructural

En la evaluación superficial se determinó en los siguientes porcentajes:

Calificación Excelente:



Calificación de Muy Bueno:



Calificación de Bueno:



Calificación de Regular:



Calificación de Malo:



La evaluación superficial Tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud tiene 79 PCI, condición Buena, una característica que el pavimento no requiere una acción especial solo mantenimiento menor.

Evaluación estructural tenemos en los 5 tramos tenemos una curvatura de radio de promedio de 310 los valores de radio superior a 300 m indican un adecuado comportamiento de la estructura haciendo una relación de la deflexión admisible, la deflexión característica tenemos un valor de 0.97 en el rango de calificaciones es un rango de calificación bueno.

4.3.4 Propuesta de mantenimiento del tramo

En general el pavimento flexible analizado está en una condición Muy Buena sus fallas están en nivel bajo y medio, siento el mejor momento para intervenir el pavimento ya que estamos en una época seca los trabajos de pavimento en baja cuestión corresponde a cambiar la carpeta asfáltica ya que varios puntos que están en pésimo estado.

Las fallas bajas en velocidad no requieren ningún tipo de mantenimiento ya que no afecta de manera significativa en la comunidad de los usuarios.

Las fallas de severidad media alta se optaron de realizar un bacheo en áreas localizadas que presenta agrietamientos y desintegración en proceso requiere de limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla.

Tabla 50: Plan de mantenimiento y rehabilitación según el tipo de falla

Tipo de Falla	Severidad	Fresado de Carpeta Asfáltico (m ²)	Eliminación Material Excedente (m ²)	Imprimación (m ²)	Provisión y Colocado de Carpeta Asfáltica (m ²)	Sellado de Fisuras(m)
Fisura Longitudinal y Transversal	Bajo					X
	Medio					X
	Alto					X
Grieta Longitudinal y Transversal	Bajo					
	Medio					X
	Alto					X
Descascaramiento	Bajo	X	X	X	X	
	Medio					
	Alto					
Fisura de Borde	Bajo					X
	Medio					X
	Alto					
Piel De Cocodrilo	Bajo	X	X	X	X	X
	Medio					
	Alto					
Hueco	Bajo	X	X	X	X	
	Medio	X	X	X	X	
	Alto					
Falla de Incipiente	Bajo					X
	Medio					
	Alto					
Desintegración	Bajo					
	Medio	X	X	X	X	
	Alto					
Parcheo	Bajo					
	Medio	X	X	X	X	
	Alto					

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 está el total de las áreas afectadas y análisis de precios unitarios para cada tipo de trabajo en mantenimiento, se procederá a realizar el presupuesto correspondiente del tramo evaluado.

Tabla 51: Cuadro de futuras acciones

DESCRIPCIÓN	CAUSAS	EVOLUCIÓN	PREVENCIÓN	TOLERANCIA	MANTENIMIENTO
DESCACARA - MIENTO	Limpieza insuficiente previa a tratamiento superficial – espesores insuficientes de la capa de rodadura asfáltica, riego de liga deficiente, mezcla asfáltica muy permeable.	Piel de cocodrilo, bache.	L: No se hace nada. Tratamiento superficial.	En caso de presentarse más de 25 mm, debe ser reparado de inmediato.	Mantenimiento menor preventivo
			M: Sellado superficial. Sobre carpeta.		
			H: Reciclaje. Reconstrucción		
HUECO O BACHES	Desintegración del pavimento por falta progresiva debido a la mezcla pobre, puntos débiles de la base o la subrasante o la causa de la piel de cocodrilo severidad alta	Destrucción de la estructura.	L: No se hace nada.	En caso de presentarse, debe ser reparado de inmediato.	Mantenimiento menor preventivo o correctivo
			M: Parcheo parcial o profundo.		
			H: Parcheo profundo.		
PARCHEO	Cuando la intervención realizada comprendió el reemplazo del espesor parcial o total de concreto asfáltico o cunado es intervención parcial o total de granulares	Puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.	L: No se hace nada.	Suficiente con indicar que existe una falla de severidad alta para realizar la reparación.	Mantenimiento menor preventivo o correctivo
			M: No se hace nada. Sustitución del parche.		
			H: Sustitución del parche.		

DESCRIPCIÓN	CAUSAS	EVOLUCIÓN	PREVENCIÓN	TOLERANCIA	MANTENIMIENTO
SURCO	Tratamiento superficial se da por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso, desprendimiento de los agregados. evolución probable: puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.	Pérdida de agregado, descascaramiento, bache	L: No se hace nada.	No se definen niveles de tolerancia. Es suficiente con indicar que existe surco de la superficie. El grado del surco debe ser significativo.	Mantenimiento menor
			M: Sello superficial.		
			H: Tratamiento superficial		
FISURA LONGITUDINAL	Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexión debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto – espesor insuficiente de la capa de rodadura.	Piel de cocodrilo, desintegración, descascaramiento, fisuras en bloques.	L: No se hace nada	Si se presentan fisuras finas en las huellas del tránsito mayor o igual 1mm. Ninguna grieta mayor de 3 mm podrá permanecer sin sello por más de 24 horas.	Acción de mantenimiento menor

Fuente: Elaboración propia

El análisis de los precios unitarios se generó en cada módulo se adjunta en el anexo

4.3.5 Propuesta de drenaje para la prevención en los tramos más críticos

Para las áreas más críticas por infiltración e inundación del tramo colon norte (cruce san Nicolás) – colon sud es colocar un drenaje superficial.

El drenaje superficial longitudinal tiene por objeto captar los escurrimientos para evitar que lleguen al camino o permanezcan en él, causando desperfectos.

Cunetas: Las cunetas se proyectan para todos los tramos ubicados al pie de los taludes de corte, y/o en los lugares donde se esperen flujos considerables de agua que puedan interferir con la transitabilidad de la carretera.

Figura 11: Cuneta

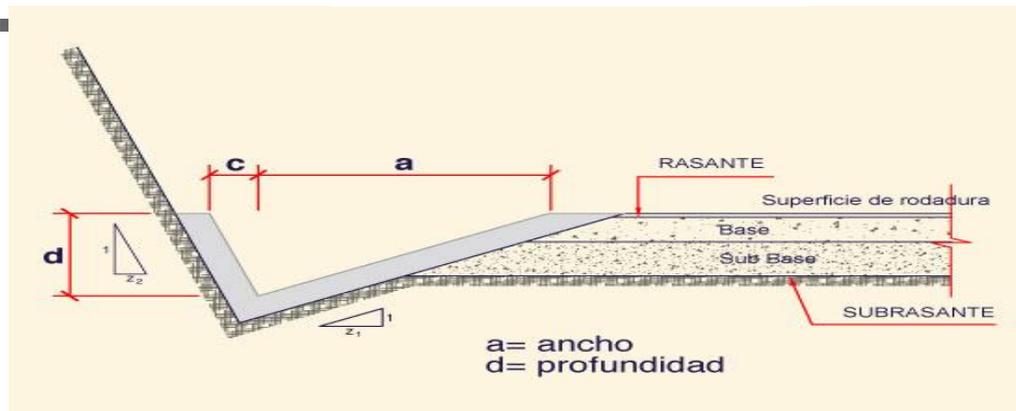


Figura 12: Drenaje subterráneo

Drenaje subterráneo: El sub drenaje consiste en la evacuación de aguas sub superficiales por medio de conductos entubados colocados debajo de la superficie.

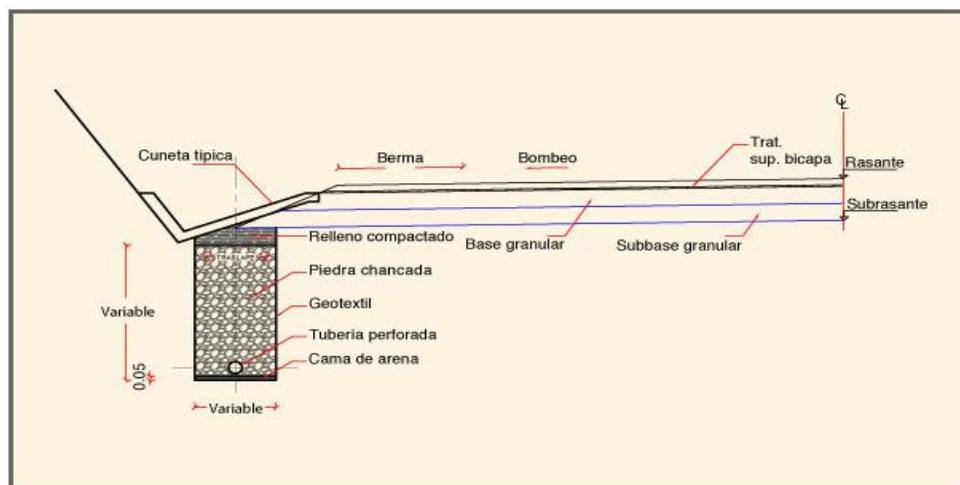


Tabla 52: Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación.

N.º	Descripción	Unid.	Cantidad	Unitario	Literal	Parcial
>	MO1 - DEMOLICIÓN					
1	Fresado de carpeta asfáltica en mal estado	m ²	130.40	14.64	Catorce 64/100	1,909.06
2	Eliminación de material excedente	m ³	54.73	22.78	Veintidós 78/100	1,246.75
>	MO2 - RECAPADO Y SELLADO DE FISURAS					
3	Imprimación	m ²	530.43	16.01	Dieciséis 01/100	8,492.18
4	Provisión y colocado de la carpeta asfáltica	m ²	530.43	23.13	Veintitrés 13/100	12,268.85
5	Sellado de fisuras	m	1,799.66	37.01	Treinta y siete 01/100	66,605.42
>	MO3 - SEÑALIZACIONES HORIZONTALES					
6	Pintado de líneas continuas e=0,10 m	m	420.50	94.27	Noventa y cuatro 27/100	39,640.54
7	Pintado de líneas discontinuas e=0,10 m	m	380.70	105.28	Ciento cinco 28/100	40,080.10
	Total, Presupuesto:					170,242.88
Son: Ciento setenta mil doscientos cuarenta y dos con 88/100 Bolivianos						

Fuente: Elaboración propia

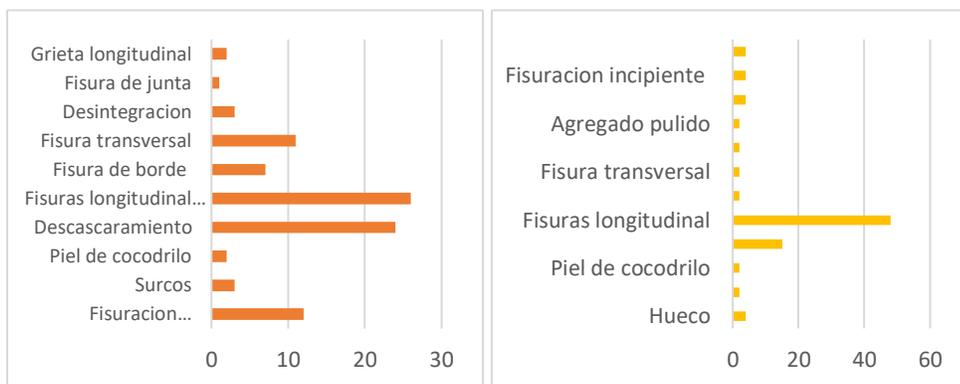
CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

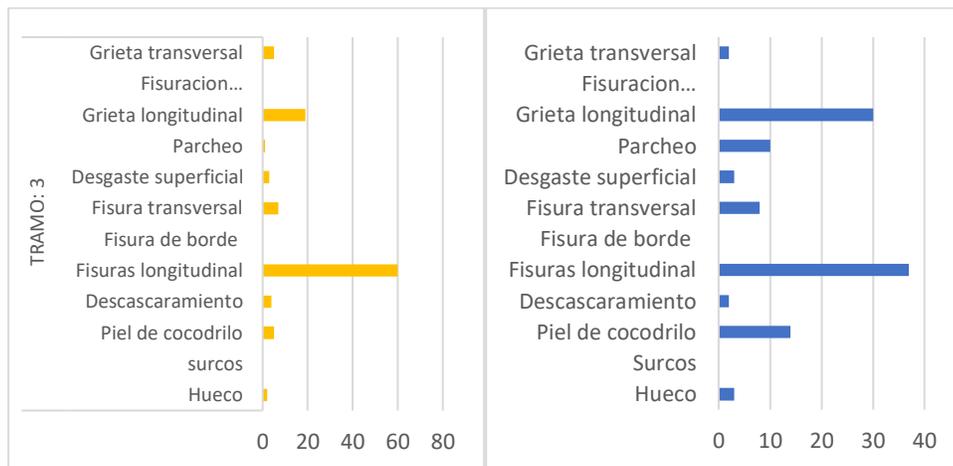
5.1 Conclusiones

Los datos e información en la investigación realizada y los nuevos conocimientos que este arrojo se pueden concluir los siguientes aspectos:

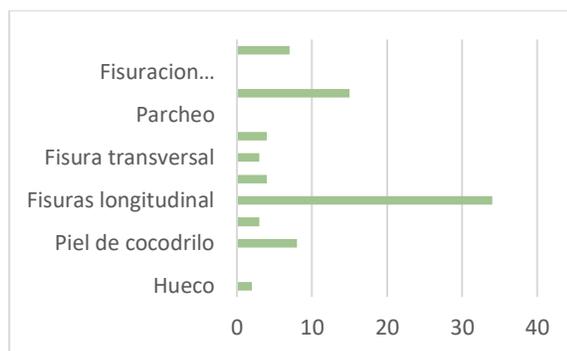
- Con la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento) Se identificó 13 fallas superficiales diferentes. Con diferentes niveles de severidades que existen en el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud.



TRAMO: 3 - 4



TRAMO: 5



- Realizando una evaluación superficial aplicando la metodología PCI (índice de condición del pavimento), tenemos que, el pavimento en estudio se encuentra en condiciones óptimas a nivel promedio con un índice numérico de **79.83 %** que proyectado en el rango de calificación se encuentra en el intervalo (**70–85%**) el cual lo califica como **Muy bueno**, por lo tanto, el pavimento en cuestión se encuentra en condiciones aptas de circulación.
- Los resultados del IFI (Índice de Fricción Internacional) nos indica que la calificación por textura que presenta el pavimento es **Media** lo cual se debe a una disgregación en el pavimento por la pérdida del ligante asfáltico; por otro lado, la calificación por fricción se encuentra de **Regular a bueno** esto quiere decir que existe una buena adherencia de contacto entre la superficie del pavimento y los neumáticos del vehículo. Los resultados obtenidos demuestran que el tramo evaluado no presenta molestias o problemas de circulación, por lo tanto, superficialmente del tramo se encontraría en buenas condiciones, no obstante, hay puntos o áreas específicas que realmente se encuentran en niveles de severidad muy bajos.
- Los resultados del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) nos indican un rango de calificación de Bueno por tanto el tramo Colon Norte (Cruce San Nicolas) – Colon Sud se encuentra en buenas condiciones.
- En la evaluación estructural la medida de calificación de la relación entre la deflexión característica y la deflexión admisible es de 0.97 la determinación del índice del estado del pavimento es BUENO lo cual determinaría una condición

estructural adecuada y resistente con las cargas vehiculares a las que estaría siendo expuestas.

- Existe áreas desfavorables los cuales se deben a fatigas que originalmente se estaría produciendo por una hidratación constante no solo por la época de lluvia si porque hay aguas estancadas para riego. no obstante, se pudo apreciar que estas áreas en mal estado tienen en común un mal drenaje ya que evidentemente cuando se presentan precipitaciones abruptas estos puntos quedan encharcados debilitando así la carpeta asfáltica; en consecuencia estas áreas serían sometidas a un trabajo de mantenimiento menor a mayor a nivel de rodadura La gran ventaja que posee este tipo de tratamiento superficial es en cuanto a la economía, ya que no es necesario gran cantidad de equipo mecánico, se puede trabajar con agregado disponible en la zona y su aplicación es sencilla y rápida.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar trabajos de mantenimiento y reparación inmediata, debido a que el tramo presenta fallas en áreas considerables en un periodo corto luego de su construcción, con lo que el daño llegaría a extenderse y por ende los trabajos de mantenimiento serían de mayor magnitud.
- Se recomienda más señalización e iluminación ya que en las noches es difícil transitar.
- Que la aplicabilidad de la deflectometría para con la utilización de la Viga Benkelman sea de mayor interés para todos, ya que su medición es muy simple y rápida al momento de obtener datos, pero sobre todo la metodología que se aplica es no destructiva, punto que fue de vital importancia para la evaluación, debido a que consultando a la instituciones correspondientes poder realizar ensayos destructivos sobre el pavimento, se nos fue negada esa posibilidad por motivos de que el pavimento en cuestión es considerado joven.
- Previa a realizar este tipo de evaluaciones la persona deberá recibir una capacitación intensiva, teórica y práctica sobre la manipulación de los equipos requeridos para dicha evaluación como también los procedimientos de

medición y cálculos establecidos, con la finalidad de evitar contratiempos no programados y así lograr obtener los resultados más satisfactorios posibles.

- Se recomienda realizar trabajos de mantenimiento preventivo, y proyectar más puntos de desalojo de aguas pluviales, sobre las áreas o puntos más críticos del tramo.
- El trabajo de investigación presente es un aporte para que se tome medidas de mantenimiento en el tramo evaluado y así poder prolongar su vida útil.