

# **CAPÍTULO I**

## **DISEÑO TEÓRICO**

### **1.1 Introducción**

La evaluación es una actividad que, mediante procedimientos normados de medidas y observaciones, permite inferir condiciones superficiales y estructurales de los pavimentos. La observación del deterioro de una carretera y su calificación, desde el punto de vista de su condición, permite generalizar en forma estimada el estado del camino a lo largo de su vida útil. En la actualidad se cuenta con una serie de nuevas herramientas que permiten prever y cuantificar los daños e intervenir con el procedimiento más adecuado en el momento más oportuno, así mismo se cuenta con normas internacionales.

El tramo que se evaluará es una carretera de un gran interés regional, ya que comunica a la ciudad de Tarija, a las comunidades de Sella Quebradas, Rumiorco y otras comunidades aledañas, donde su índice de tasa de crecimiento actual aumenta progresivamente, donde obtendremos el aumento del nivel de serviciabilidad de la infraestructura vial. Inevitablemente del proceso de deterioro “natural” en toda estructura de pavimento a causa de efectos climáticos entre otros, se deben iniciar labores de mantenimiento y rehabilitación, con la finalidad de reducir el impacto que las diferentes fallas, que puedan afectar a la estructura; los baches, deformaciones, fisuras, erosión, entre otros son problemas comunes que se presentan a lo largo del periodo de vida útil de un pavimento. En Bolivia, en los últimos años tuvo un gran crecimiento en lo que se refiere a infraestructura vial, motivo para lo cual poder contar con estrategias para conservar las vías de comunicación en óptimas condiciones de funcionalidad.

La Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), facilita el Manual De Carreteras, el cual proporciona las evaluaciones que se deben de realizar a los pavimentos. En la actualidad existen una serie de nuevas herramientas y métodos que permiten cuantificar los daños y poder intervenir con el procedimiento más adecuado en el momento más oportuno.

Es por esto que, para poder seleccionar o decidir adecuadamente los trabajos de mantenimiento y rehabilitación, se necesita conocer el estado del pavimento y las fallas

que presente, para ello se deben realizar evaluaciones con diferentes tipos de metodologías.

Se realizará la evaluación superficial con los métodos PCI, IRI, IFI (péndulo británico, círculo de arena) y la evaluación estructural con el método de la viga Benkelman, con estos métodos se determinará las condiciones actuales en la que se encuentra el pavimento flexible. El alcance del presente proyecto, propone la evaluación de la condición del pavimento flexible mediante la evaluación superficial y estructural del pavimento del tramo San Lorenzo – Sella Méndez que comprende 6,2 km.

En el presente trabajo se busca demostrar que las evaluaciones estudiadas y normadas son de gran importancia, tanto para la velocidad, comodidad y seguridad de los usuarios.

Para poder cuantificar las condiciones superficiales y estructurales de un tramo, existen muchas metodologías; todas con resultados que nos ayudan a determinar las intervenciones más eficientes para poder así aplicar a dicho tramo.

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación académica**

Con la ingeniería se da una mayor importancia a las características estructurales de los pavimentos sobre las superficiales, sin embargo, la superficie es la que brinda seguridad y confort a los transeúntes por lo que con una profunda evaluación mejor se conocerá las condiciones que presenta el pavimento flexible en el tramo que se pretende analizar. A través de la evaluación superficial y estructural se obtendrán resultados sobre el comportamiento del pavimento, la cual está sometida a cargas generadas por el tráfico vehicular y la acción de los agentes ambientales, como temperatura humedad, etc.

Se aplicará los conocimientos adquiridos en las asignaturas impartidas en la carrera de Ingeniería Civil, para la evaluación de pavimentos. Además, de aplicar métodos de evaluación a pavimentos para los cuales se consideró la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) y los documentos para guía denominados “Manual de Diseño de Conservación Vial” “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales Asfaltos” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

### **1.2.2 Justificación sobre la aplicación técnica – práctica**

Realizar una evaluación de las condiciones superficiales y estructural del pavimento flexible en el tramo para conocer el estado actual en el que se encuentra y que cuente con las condiciones de serviciabilidad para los usuarios. Identificar las fallas que posee la estructura del pavimento flexible de dicho tramo, en función de dicha evaluación.

La evaluación superficial se realizó mediante los métodos PCI, IRI e IFI y la evaluación estructural mediante el uso de la Viga Benkelman para que a través de sus resultados se pueda determinar la condición actual del pavimento flexible y así poder generar un plan de mantenimientos pertinente que garanticen el periodo de diseño de la vía.

La importancia de la realización de este proyecto se refleja en la necesidad que existe de tener un registro actualizado de las condiciones actuales en las que se encuentra el tramo carretero.

### **1.2.3 Justificación e importancia social**

En la actualidad el tramo San Lorenzo – Sella Méndez, circulan tránsito pesado como liviano, por esa razón principal se pretende diagnosticar el estado del tramo de dicho nombre con una longitud de 6,2 km de vía. Actualmente se encuentra en pleno uso, con algunas dificultades de transitabilidad debido a las patologías existentes.

Este proyecto será un aporte para la comunidad ya que se dispondrá de un estudio actualizado de las condiciones del tramo San Lorenzo – Sella Méndez.

## **1.3 Planteamiento del problema**

### **1.3.1 Situación problemática**

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. Las fallas que afectan la condición funcional y la capacidad estructural del pavimento, son defectos o anomalías de las características

superficiales del pavimento, para la funcional, y de la aptitud del pavimento para soportar las solicitudes del tránsito, para la segunda.

El tramo San Lorenzo – Sella Méndez, presenta un deterioro, presentando fallas en la carpeta de rodadura, por lo que es necesario hacer una evaluación de las condiciones del pavimento, el cual se volvió un tramo muy transitado ya que es una alternativa para llegar al pueblo de San Lorenzo y a diferentes comunidades aledañas como Sella Quebrada, Rumiorco y otras. A lo largo del tramo se puede observar diversas fallas significativas las cuales afectan de manera directa la transitabilidad y provoca daños a los vehículos, a la población que usa esta ruta.

Es necesario realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento, para conocer la condición actual y así poder sugerir medidas de mantenimiento.

Las fallas que se presentan pueden haberse producido por diferentes motivos provocando efectos desfavorables en el tramo, por lo que su control y conservación oportuna resulta valiosa para asegurar la vida útil deseada del proyecto. 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.

Para conocer la condición en la que se encuentra el pavimento se plantea realizar una evaluación de las condiciones superficial y estructural del pavimento flexible con los métodos PCI, IRI, IFI y viga Benkelman en dicho tramo y dar una pronta solución para garantizar a los beneficiarios comodidad y transitabilidad de la misma.

### **1.3.2 Delimitación del tiempo**

Se encuentra en tiempo presente ya que se evaluará en la actualidad la condición del pavimento flexible.

El tramo de carretera San Lorenzo – Sella Méndez (Provincia Méndez en el Departamento de Tarija).

### **1.3.3 Delimitación del espacio**

**Área de trabajo; Pavimentos Flexibles.**

**Base de operaciones;** Tramo San Lorenzo- Sella Méndez.

**Aplicación;** Mantenimiento de carreteras en Pavimentos Flexibles.

#### **1.3.4 Formulación del problema**

¿De qué manera se puede establecer la condición del pavimento flexible en el tramo San Lorenzo- Sella Méndez?

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar las condiciones del pavimento flexible en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez, usando métodos de evaluación superficial y estructural; de tal forma, se pueda determinar su condición actual.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Establecer las unidades y el intervalo de muestreo para realizar la evaluación superficial con el método PCI.
- Identificar y clasificar las fallas superficiales presentes en el pavimento flexible del tramo San Lorenzo – Sella Méndez con el método PCI.
- Determinar el Índice de Condición de Pavimento (PCI) del tramo San Lorenzo – Sella Méndez.
- Obtener el valor de las irregularidades que existen en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez mediante el equipo rugosímetro de Merlín y determinar la rugosidad de la superficie en escala IRI.
- Determinar Índice de Fricción Internacional (IFI) del tramo San Lorenzo – Sella Méndez.
- Obtener la condición estructural del tramo San Lorenzo – Sella Méndez mediante la aplicación del instrumento viga Benkelman.
- Analizar los resultados obtenidos en cada método.
- Proponer un plan de mantenimiento para el pavimento flexible en función a la evaluación superficial que se realizará en el tramo de estudio.

## 1.5 Hipótesis

Mediante una evaluación, se puede precisar la condición actual del pavimento flexible en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez.

## 1.6 Identificación de variables

Se realiza la identificación y conceptualización de las variables estudiadas a lo largo de este proyecto de investigación.

### 1.6.1 Variables independientes

- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)
- Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
- Método IFI (Índice de Fricción Internacional)
- Método de deflexiones Viga Benkelman

### 1.6.2 Variables dependientes

Condición actual del pavimento flexible.

### 1.6.3 Operacionalización de la variable dependiente

La operacionalización de variables consiste en determinar el método a través del cual las variables serán medidas o analizadas.

Tabla N° 1 Operacionalización de la variable dependiente

| Variable | Conceptualización | Dimensión | Indicador                                    | Valor/acción                                                                                                           |
|----------|-------------------|-----------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                   | Fallas    | Longitud (m)<br>Superficie (m <sup>2</sup> ) | Identificación de fallas, medición de superficies y longitudes y determinación de las mismas mediante metodología PCI. |

|                                         |                                                                                                                                                                                                                |             |                       |                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Condición actual del pavimento flexible | La condición actual de un pavimento flexible se refiere al estado en el cual se encuentra, tanto en tamaño como en su severidad ya que es un indicativo referencial de su condición superficial y estructural. | Regularidad | Índice de regularidad | Valor del movimiento vertical acumulado mediante un perfil longitudinal a lo largo de una distancia determinada, obtenido con el equipo Merlín. |
|                                         |                                                                                                                                                                                                                | Fricción    | Índice de fricción    | Aplicando el péndulo británico y ensayo Círculo de arena.                                                                                       |
|                                         |                                                                                                                                                                                                                | Deflexión   | Milímetros (mm)       | Usando viga Benkelman.                                                                                                                          |

Fuente: Elaboración propia

## 1.7 Alcance

El presente trabajo denominado “Evaluación de las condiciones del pavimento flexible en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez” corresponde a la aplicación de los métodos PCI para determinar el índice de condición del pavimento, IRI para determinar la regularidad superficial de la superficie, IFI para determinar los índices tanto de fricción como de textura y la viga Benkelman para determinar las deflexiones que se generan al aplicar una carga sobre la estructura, en el tramo de carretera San Lorenzo – Sella Méndez. estudios que se realizarán con la finalidad de obtener valores para cada estudio que nos brinden información útil con la cual se pueda determinar la condición actual en la que se encuentra el tramo.

Para empezar, 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.

El procedimiento se lo realizará en dos partes, la primera parte se realizará la evaluación superficial; mediante la determinación de las condiciones del pavimento mediante PCI, el índice de rugosidad internacional IRI será determinado mediante el equipo llamado rugosímetro de Merlín basándose en información sobre experiencias internacionales y normas vigentes para la correcta obtención de datos y generación de resultados que sean confiables y precisos.

Para la determinación del índice de fricción IFI se usarán los métodos de la mancha de arena y el péndulo británico con los cuales se determinarán los parámetros de textura y fricción respectivamente, aplicando en la ejecución de los ensayos toda la información obtenida en bibliografías consultadas.

La segunda parte comprende la evaluación estructural; mediante la viga Benkelman, equipo el cual consiste en medir las deflexiones generadas en la estructura al aplicar la carga en movimiento sobre la misma, ensayo basado en la norma ASTM D-4695.

Con todos los datos de campo se realizarán los cálculos correspondientes para poder determinar la condición en el que se encuentra el tramo carretero.

Una vez obtenidos todos los datos se procede a realizar los cálculos que indica cada metodología, para obtener resultados que deben ser analizados y valorados para las características que analiza cada método.

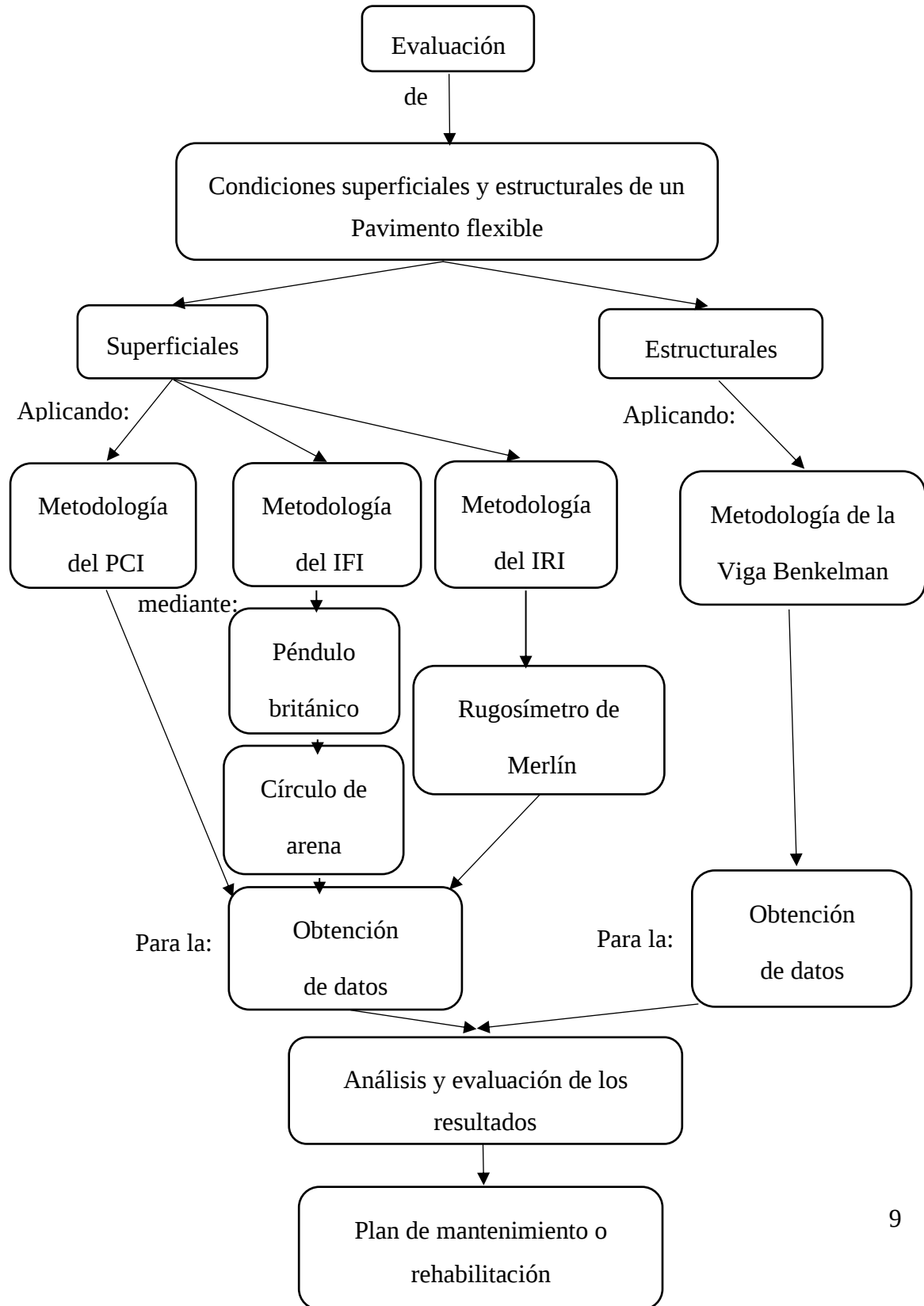
Con los resultados se propondrá un plan de mantenimiento o rehabilitación que se crea pertinente para el tramo San Lorenzo – Sella Méndez.

Finalmente se describirán las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de este proyecto de investigación.

El trabajo a realizar corresponde a un tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación descriptiva en la que se observa los fenómenos tal como se dan en su contexto natural para luego analizarlos, se determina las fallas que presenta la vía tanto en lo funcional como en lo estructural caracterizándolas de manera cuantitativa y cualitativa.

La información que se obtendrá en este tipo de investigación nos permite conocer a mayor profundidad cómo está respondiendo el tramo evaluado y nos servirá mucho para optar por un adecuado mantenimiento o rehabilitación si es necesario.

### 1.8 Esquema de la perspectiva usada



## **CAPÍTULO II**

### **ESTADO DE CONOCIMIENTO**

#### **2.1 Marco conceptual**

##### **2.1.1 Pavimento**

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este.

##### **2.1.2 Características de un pavimento**

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir exigencias tales como; resistir la acción de las cargas impuestas por el tránsito, resistir ante los agentes del intemperismo, presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, debe ser durable, debe presentar adecuadas condiciones de drenaje, debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer adecuada seguridad al tránsito.

##### **2.1.3 Componentes del pavimento**

Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura.

Figura N° 1 Capas del pavimento flexible



Fuente: Ortiz, Angie. Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible. 2017

#### **2.1.3.1 Capa de rodadura**

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

#### **2.1.3.2 Base**

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

#### **2.1.3.3 Subbase**

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, ésta capa puede obviarse. Ésta capa puede ser de material granular ( $\text{CBR} \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento.

#### **2.1.3.4 Subrasante**

Es la capa más profunda de toda la estructura que conforma al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la subrasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%.

En el caso que sea menor (subrasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación.

### **2.1.4 Clasificación de los pavimentos**

Actualmente se cuenta con una gran variedad de pavimentos que, atendiendo los criterios tradicionales, básicamente pueden clasificarse en:

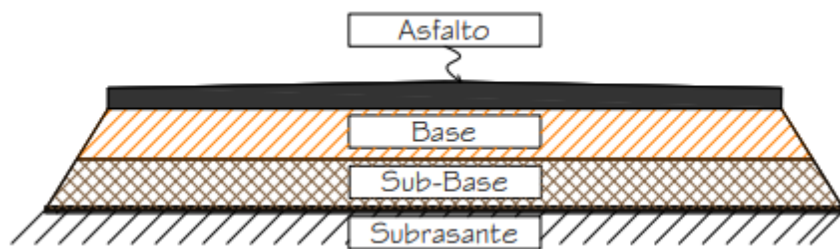
- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento semirrígido

Adoquinados  
Emboquillados

#### 2.1.4.1 Pavimentos flexibles

Es el pavimento que tiene en su parte superior una carpeta bituminosa, apoyada sobre dos capas granulares, denominadas base y subbase. En la siguiente figura 2 se presenta un corte de la sección típica de un pavimento flexible.

Figura N° 2 Sección de un pavimento flexible

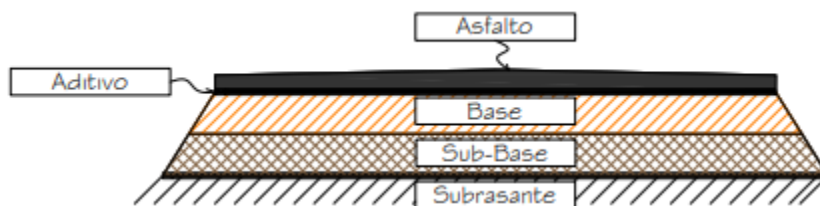


Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 4

#### 2.1.5 Pavimentos semi-rígido

Contiene la misma estructura de un pavimento flexible, con la variación que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; los cuales permitan incrementar la capacidad portante del suelo.

Figura N° 3 Sección de un pavimento semi-rígido



Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 4

### 2.1.6 Pavimentos rígidos

Son pavimentos en los cuales su capa superior está compuesta por una losa de cemento hidráulico, la cual se encuentra apoyada sobre una capa de material denominada base o sobre la subrasante; una representación de este pavimento se observa en la figura 4. En este tipo de pavimentos se pueden distinguir algunos tipos que son: hormigón simple con juntas con o sin barras de transferencia de carga, hormigón reforzado con juntas y barras de traspaso de cargas y hormigón continuamente reforzado.

Figura N° 4 Sección de un pavimento rígido.

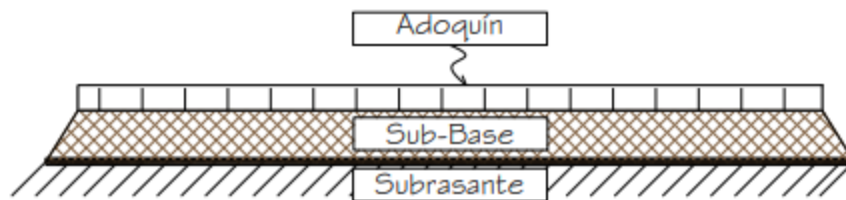


Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 5

### 2.1.7 Pavimentos articulados

Son pavimentos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concretos prefabricados, que se denominan adoquines, son iguales entre sí y de un espesor uniforme; y se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la subrasante como se observa en la figura 5.

Figura N° 5 Sección de un pavimento articulado.



Fuente: Armijos, S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador. Página 5

### **2.1.8 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.

### **2.1.9 Evaluación de pavimentos**

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

La evaluación de pavimento tiene dos componentes

- Evaluación superficial
- Evaluación estructural

#### **2.1.9.1 Evaluación superficial**

La importancia de las características superficiales de los pavimentos reside en la influencia que tienen en su funcionalidad, constituyendo propiamente las únicas características que le interesan al usuario, ya que de ellas dependen en gran medida las condiciones de seguridad, comodidad y economía que requiere el usuario y la comunidad.

Entre las características y propiedades a considerar, están las siguientes:

Resistencia al derrapamiento

Textura

Regularidad superficial

Permeabilidad, drenabilidad

Resistencia al rodamiento

Ruido de rodamiento y absorción acústica

Propiedades de reflexión y color

Resistencia al ataque de los aceites, lubricantes y otros productos químicos.

#### **2.1.10 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.

#### **2.1.11 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.

#### **2.1.11.1 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.

#### **2.1.11.2 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 solicitaciones 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:

**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 con 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.

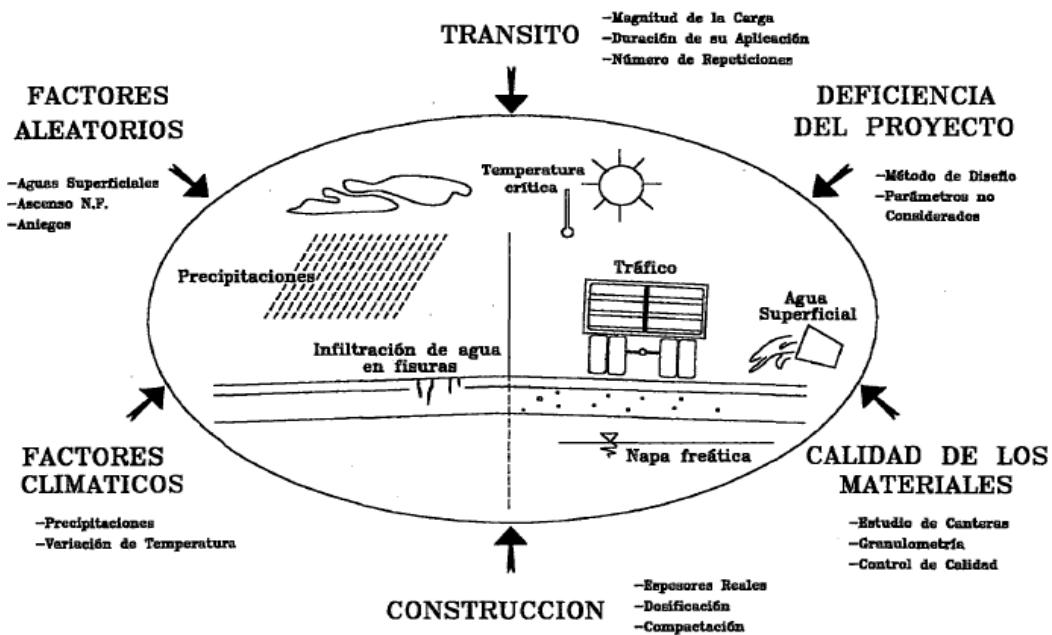
Elaboración de proyectos inadecuados, donde no se hacen los estudios competentes y básicos para un buen diseño, así como la falta de consideraciones de futuros imprevistos en los procesos constructivos.

**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.

Figura N° 6 Principales factores que causan las fallas en los pavimentos flexibles



Fuente: Valeriano Inocente Juan - Degradaciones en los Pavimentos

### 2.1.12 Serviciabilidad

El concepto de serviciabilidad, debe ser definido 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:

#### **2.1.12.1 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.

#### **2.1.12.2 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.

#### **2.1.12.3 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.

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.

#### **2.1.13 Evaluación superficial de un pavimento flexible**

##### **2.1.13.1 Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)**

El PCI es un índice numérico desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste.

Esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla N° 2 Escala de clasificación de PCI

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

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03

Introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento a cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad.

El método PCI es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (ASTM, 2004).

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Se identifica los tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red. Luego, se divide cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo. Después se divide las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.

Una vez divididas las secciones se identifican las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente

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.

Seguidamente se procede a seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras 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.

Es necesario que las unidades de muestra adicionales deban ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

#### **2.1.13.1.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento**

Comprende una etapa de trabajo de campo y otra etapa de cálculos aplicando la metodología respectiva; y es el siguiente: Primero se inspecciona individualmente cada unidad de muestra seleccionada, luego, se registra el tramo y número de sección, así como el número y tipo de unidad de muestra. Es necesario que se tome el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual. Cuando se realice la inspección de las fallas, se debe cuantificar cada nivel de severidad y registrar la información obtenida.

Es necesario mencionar que el método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

Los daños o fallas se identificarán, teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de los mismos.

**a) 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, cada uno de ellos se describe en el manual de daños de la evaluación de la condición de pavimentos.

**b) 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: Low) = 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.
- **Medio** (M: Medium) = Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad.
- **Alto** (H: High) = Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad.

El último factor que se debe considerar para calificar un pavimento es la extensión, que se refiere al área o longitud que se encuentra afectada por cada tipo de deterioro, en el caso de la evaluación de pavimentos de hormigón, la calificación de la extensión estará representada por el número de veces que se repita dicha falla en una losa o varias losas.

Para la evaluación de campo, una vez definidas las unidades de muestreo UM-i, a partir del seccionamiento de la vía, en el que también se considerará el ancho total de cada calzada, se inspeccionará cada unidad de muestra para medir el tipo, severidad y cantidad de los daños de acuerdo con el patrón de evaluación, y se registrará toda la información en el formato correspondiente (hoja de información de exploración de la condición) para cada unidad de muestra.

En el formato ya mencionado se hará registro por cada renglón un daño, su extensión y su nivel de severidad, para ello se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de las medidas de los daños descritos en el “manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico”.

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

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

#### **2.1.13.1.2 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  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ .

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 %.

#### **2.1.13.1.3 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%)

$\sigma$  = Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $\sigma$ ) 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.

#### **2.1.13.1.4 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

#### **2.1.13.2 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.

#### **2.1.13.3 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.

**2.1.13.4 Metodología de cálculo 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:

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

Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas por el formato. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

Se divide la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado en porcentaje. Esta será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Area Total de la falla (Tipo de Severidad)}}{\text{Area de Unidad de Muestreo}} * 100$$

Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas y tablas denominadas “valor deducido del daño”.

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

Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” (VDT) en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), obteniendo en la Etapa 4; de lo contrario, se seguirán los pasos que continúan.

Se listan los valores deducidos individuales en orden descendente.

Se determina el “Número máximo de valores deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - VD_{max})$$

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

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

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

Se determina el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

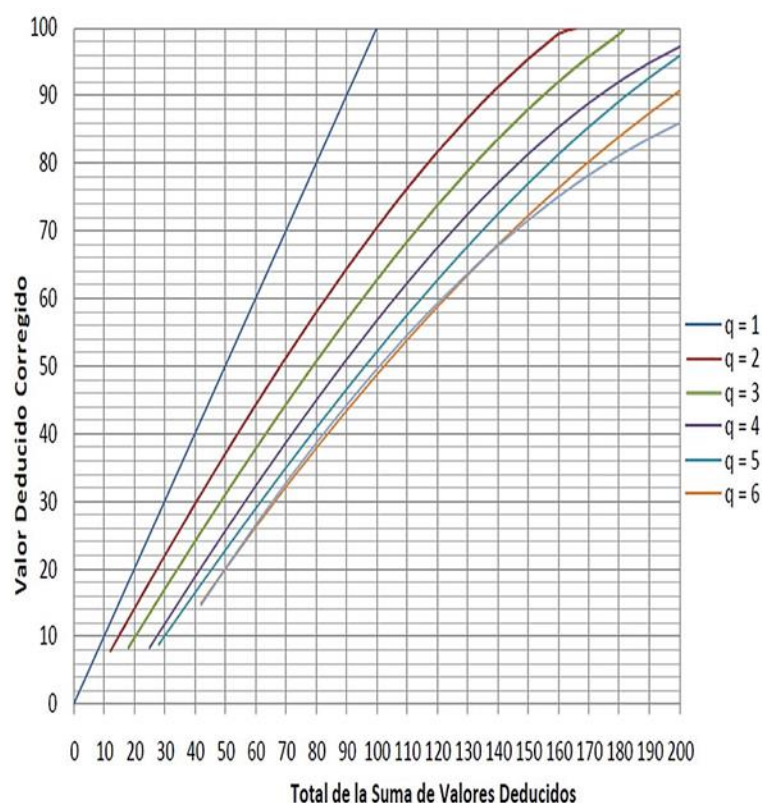
Se procede a determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.

Se calcula el CDV con el “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

Se reduce a 2,0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y repita las etapas iniciales de esta etapa hasta que sea igual a 1.

El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en este proceso.

Figura N° 7 Curvas de corrección del valor deducido (CDV)



Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03

#### d) Etapa 4:

Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la etapa 3.

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

Donde:

PCI= Índice de Condición del pavimento.

Máx. CDV= Máximo valor corregido deducido.

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

Según el manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico se tiene:

#### 1. Piel de cocodrilo

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

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

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

### **Niveles de severidad**

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

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

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

### **Medida**

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres

niveles de severidad existen en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

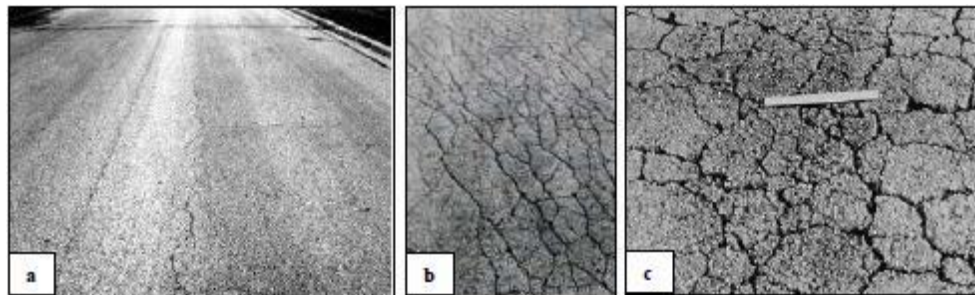
### Opciones de reparación

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

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

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

Figura N° 8 Piel de cocodrilo



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## 2. Exudación

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

### Niveles de severidad

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

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

H= La exudación ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y vehículos al menos durante varias semanas al año. 32

### Medida

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

### Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

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

Figura N° 9 Exudación



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

### 3. Agrietamiento en bloque

**Descripción.** Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0,30 m x 0,3 m a 3,0 m x 3,0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la

contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

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

### **Niveles de severidad**

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

M= Bloques definidos por grietas de severidad media.

H= Bloques definidos por grietas de alta severidad.

### **Medida**

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

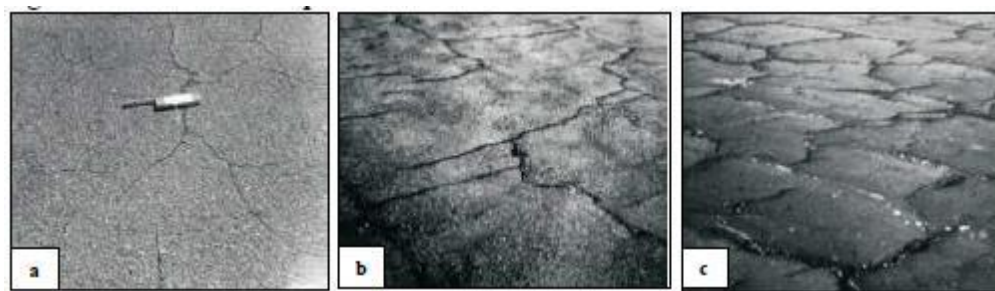
### **Opciones de reparación**

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

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

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

Figura N° 10 Agrietamiento en bloque



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

#### 4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags)

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

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

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

##### Niveles de severidad

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

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

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

### **Medida**

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

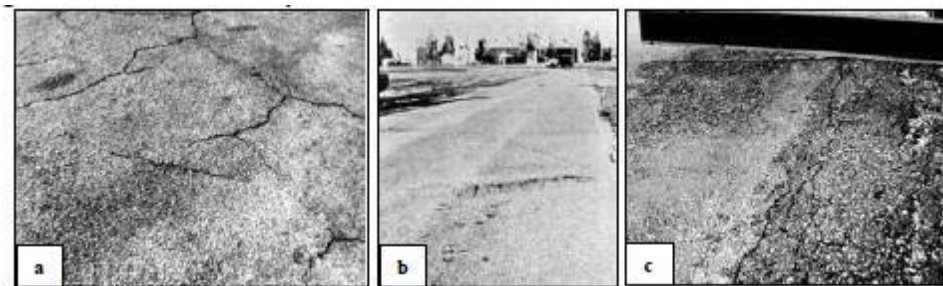
### **Opciones de reparación**

L= No se hace nada.

M= Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

Figura N° 11 Abultamientos y hundimientos



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## **5. Corrugación**

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

### Niveles de severidad

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

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

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

### Medida

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

### Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

Figura N° 12 Corrugación



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## 6. Depresión

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

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

### **Niveles de severidad**

Máxima profundidad de la depresión:

L= 13,0 a 25,0 mm.

M= 25,0 a 51,0 mm.

H= Más de 51,0 mm.

### **Medida**

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

### **Opciones de reparación**

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo.

H= Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura N° 13 Depresión



## **7. Grieta de borde**

**Descripción.** Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0,30 y 0,60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma cómo se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

### Niveles de severidad

L= Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M= Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

### Medida

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

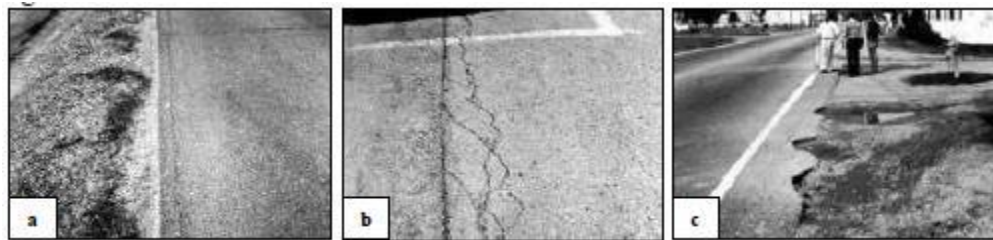
### Opciones de reparación

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

M= Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H= Parcheo parcial – profundo.

Figura N° 14 Grieta de borde



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

### 8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento portland)

**Descripción.** Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica contruidos sobre una losa de concreto de cemento Portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Portland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado 44 a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las

dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayuda a identificar estos daños.

### **Niveles de severidad**

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
2. Grietas sin relleno de más de 76,0 mm.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

### **Medida**

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15,0 m puede tener 3,0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión éste también debe registrarse.

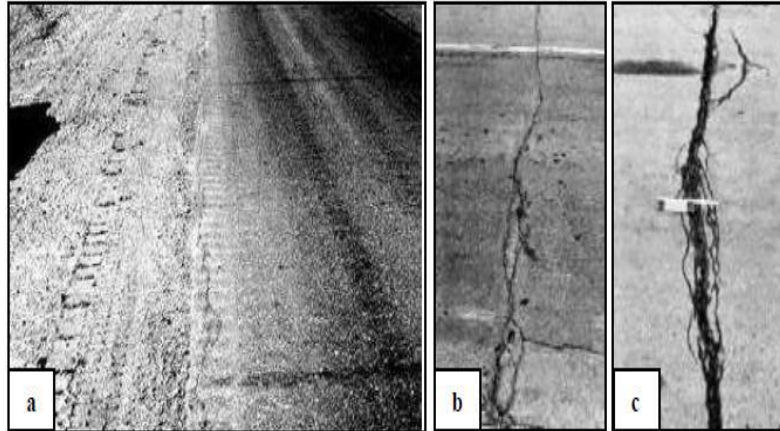
### Opciones de reparación

L= Sellado para anchos superiores a 3,00 mm.

M= Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

Figura N° 15 Grieta de reflexión de junta



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

### 9. Desnivel carril / berma

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

#### Niveles de severidad

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

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

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

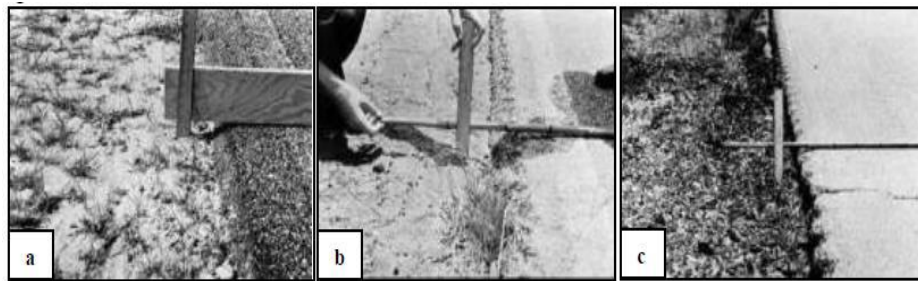
#### Medida.

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

### Opciones de reparación

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

Figura N° 16 Desnivel carril - berma



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

#### **10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento portland)**

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

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

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

#### **Niveles de severidad**

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

### **Medida**

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

### **Opciones de reparación**

L= No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.

M= Sellado de grietas.

H= Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Figura N° 17 Grietas longitudinales y transversales



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## 11. Parcheo y acometidas de servicios públicos

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

### Niveles de severidad

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

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

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

### Medida

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2,32 m<sup>2</sup> puede tener 0,9 m<sup>2</sup> de severidad media y 1,35 m<sup>2</sup> de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aun si el material del parche se está desprendiendo

o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

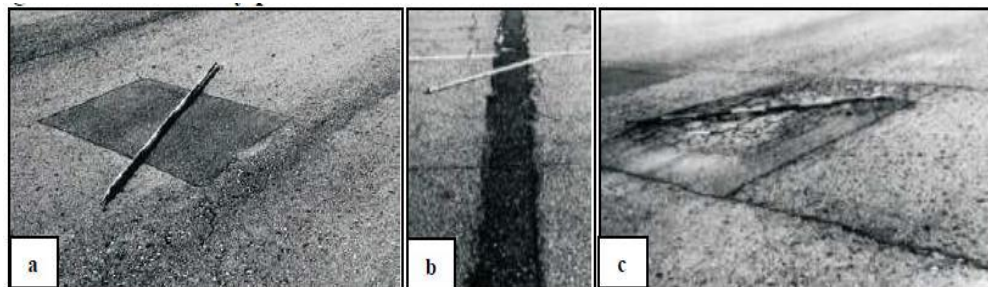
### Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

H= Sustitución del parche.

Figura N° 18 Parches



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## 12. Pulimento de agregados

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

Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

### **Niveles de severidad**

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

#### **Medida.**

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

#### **Opciones de reparación.**

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

Figura N° 19 Agregado pulido



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

### **13. Huecos**

**Descripción.** Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una

condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

### **Niveles de severidad**

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

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies<sup>2</sup> (0,47 m<sup>2</sup>) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

### **Medida**

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

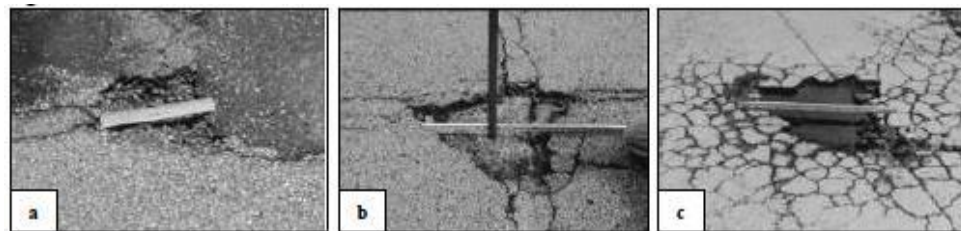
### **Opciones de reparación**

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

M= Parcheo parcial o profundo.

H= Parcheo profundo.

Figura N° 20 Huecos



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009.

#### **14. Cruce de vía férrea**

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

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

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

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

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

##### **Medida**

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

##### **Opciones de reparación**

L= No se hace nada.

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

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

Figura N° 21 Cruce de vía férrea de baja severidad



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

## 15. Ahuellamiento

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

### Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L= 6,0 a 13,0 mm.

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

H= > 25,0 mm.

Medida.

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

midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquél para calcular su profundidad media.

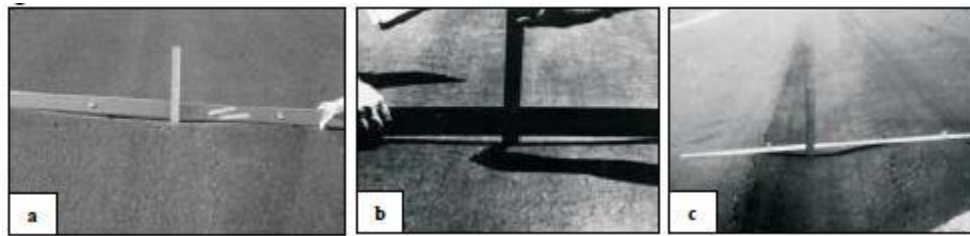
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

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

Figura N° 22 Ahuellamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## 16. Desplazamiento

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

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

### Niveles de severidad

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

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

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

Medida.

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

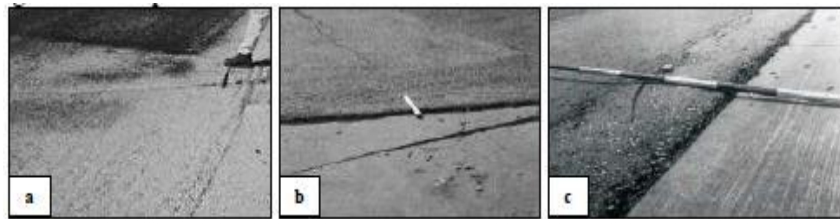
Opciones de reparación.

L= No se hace nada. Fresado.

M= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

Figura N° 23 Desplazamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

### 17. Grietas parabólicas (slippage)

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

#### Nivel de severidad

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

M= Existe una de las siguientes condiciones:

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

H= Existe una de las siguientes condiciones:

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

### **Medida**

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

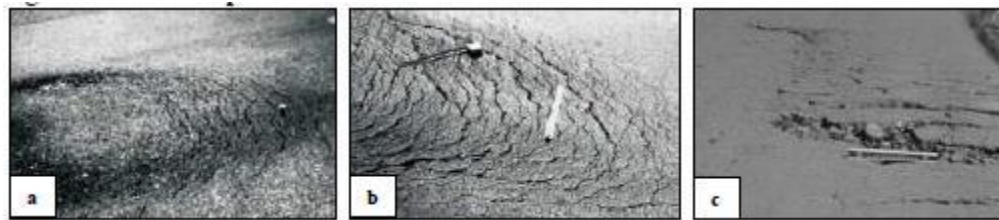
### **Opciones de reparación**

L= No se hace nada. Parcheo parcial.

M= Parcheo parcial.

H= Parcheo parcial.

Figura N° 24 Grietas parabólicas



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## **18. Hinchamiento**

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

### Nivel de severidad

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

Figura N° 25 Hinchamiento



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

## **19. Meteorización / desprendimiento de agregados**

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

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

### **Niveles de severidad**

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

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

H= Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10,0 mm y profundidades menores que 13,0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

### **Medida**

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

Opciones de reparación.

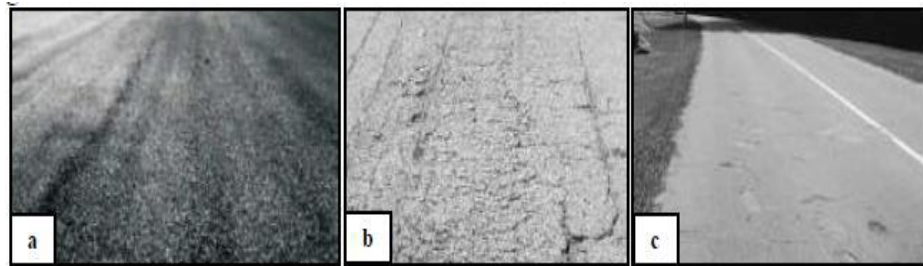
L= No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M= Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H= Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

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

Figura N° 26 Meteorización / desprendimiento de agregados



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla, por Edgar Daniel Rodríguez Velásquez, Piura, octubre de 2009

#### 2.1.14 Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje.

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el banco mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura; se expresa en metros por kilómetros.

El cálculo del índice de rugosidad internacional IRI está basado en el comportamiento del modelo matemático “Quarter Car”, que simula la función y las masas de la cuarta parte de un vehículo que circula por la vía a una velocidad promedio de 80 Km/h; la acumulación de los desplazamientos de vertical de las masas dividido entre la distancia recorrida, da como resultado el IRI en dimensiones de pendiente (m/Km).

### **2.1.15 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos**

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

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.

Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.

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

### **2.1.16 Método IRI con el rugosímetro de Merlín**

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

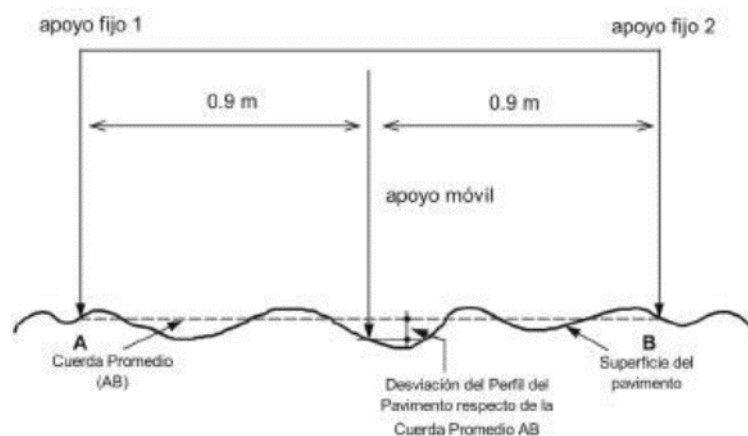
La gran ventaja en el uso del Merlín es la exactitud en los resultados que solo puede ser superado por el método de mira y nivel. Pero también tiene la desventaja de que el rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos

y/o dinámicos y el problema es mayor aun cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del Merlín se hace improductivo.

### **Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín**

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

Figura N° 27 Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio

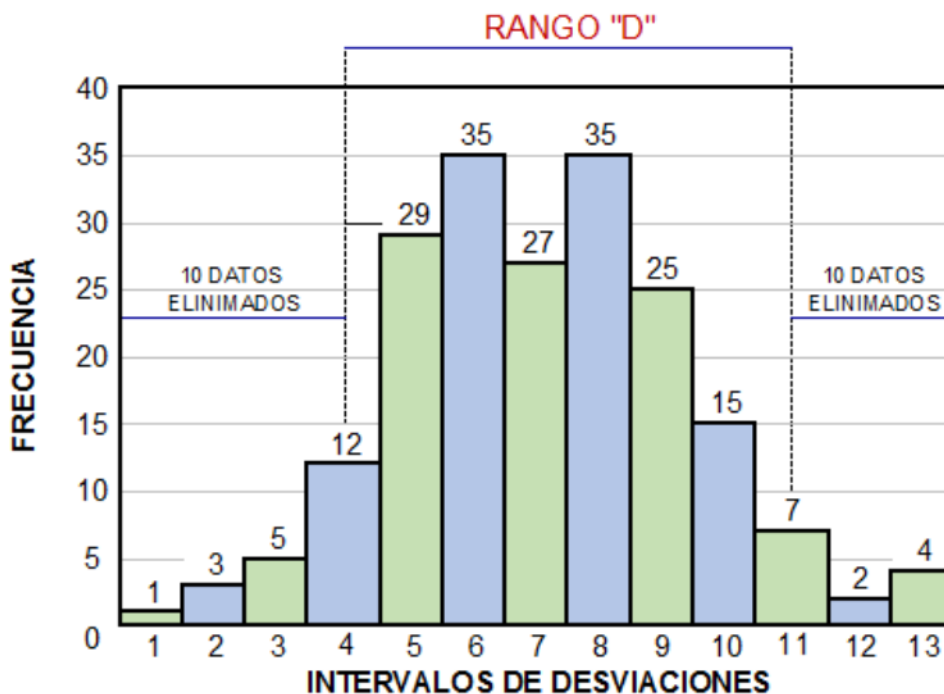


Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (figura 28).

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades Merlín”. El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia.

Figura N° 28 Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Manual del usuario (Merliner)

### Histograma de la distribución de frecuencias

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

### **Correlaciones D versus IRI**

A partir de las investigaciones por encargo del banco mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI.

Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlín con el índice de rugosidad internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

a. Cuando  $2.4 < \text{IRI} < 15.9$ , entonces  $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$

b. Cuando  $\text{IRI} < 2.4$ , entonces  $\text{IRI} = 0.0485 D$

La expresión a es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión b es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos.

### **El rugosímetro Merlín**

El rugosímetro Merlín, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal del autor en 1993, existiendo en la fecha (junio 1999) más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y Nivel,

TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el Merlín, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el Merlín, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

El Merlín es un equipo de diseño simple. La figura 29 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil.

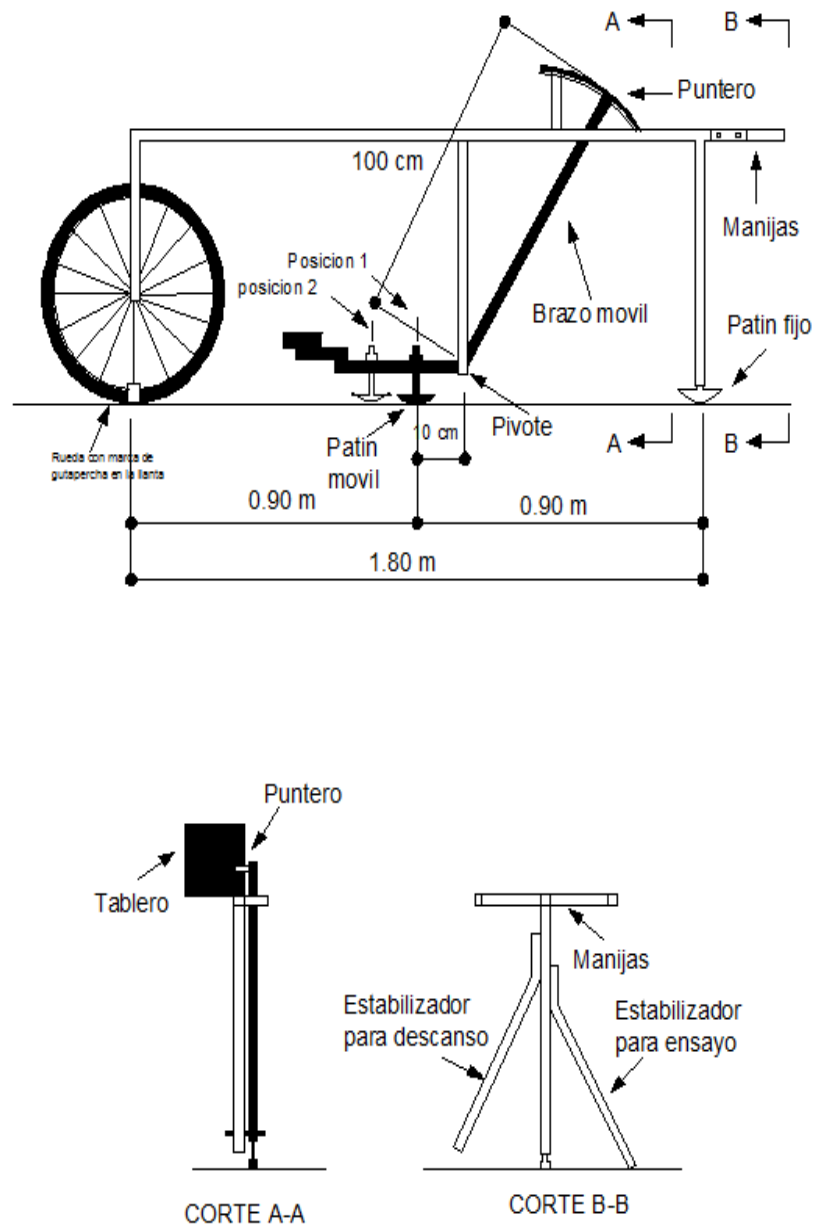
El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento

vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero.

### Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín

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

Figura N° 29 Esquema del rugosímetro Merlín



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

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 (Figura 30).

Figura N° 30 Escala gráfica del rugosímetro de Merlin

| RUGOSIMETRO MERLIN |             |  | 50 |
|--------------------|-------------|--|----|
| 1 DIVISION = 5 mm  | DEPRESIONES |  | 49 |
|                    |             |  | 48 |
|                    |             |  | 47 |
|                    |             |  | 46 |
|                    |             |  | 45 |
|                    |             |  | 44 |
|                    |             |  | 43 |
|                    |             |  | 42 |
|                    |             |  | 41 |
|                    |             |  | 40 |
|                    |             |  | 39 |
|                    |             |  | 38 |
|                    |             |  | 37 |
|                    |             |  | 36 |
|                    |             |  | 35 |
|                    |             |  | 34 |
|                    |             |  | 33 |
|                    |             |  | 32 |
|                    |             |  | 31 |
|                    |             |  | 30 |
|                    |             |  | 29 |
|                    |             |  | 28 |
|                    |             |  | 27 |
|                    |             |  | 26 |
|                    | ELEVACIONES |  | 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  |

Fuente: Pablo del Águila Rodríguez - Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos

#### 2.1.17 Método IFI (Índice de Fricción Internacional)

El modelo Piarç es la base de la definición del índice de fricción internacional (IFI), a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el

par de valores (F60, Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macro textura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

### **Determinación del parámetro Sp**

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento Piarc, se ha comprobado que la constante de velocidad Sp puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la macrotextura (Tx) tal que:

$$Sp = a + (b *Tx)$$

### **Determinación del parámetro F60.**

Para la estimación de F60 se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en el Tabla 3.

Tabla N° 3 Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo

| <b>Tipo de equipo</b>            | <b>Ecuación para determinar S</b>                            |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Con rueda bloqueada              | S=V                                                          |
| Con rueda parcialmente bloqueada | S=V por el % de deslizamiento                                |
| Con rueda oblicua                | S=V por el Sen $\alpha$ , donde $\alpha$ = ángulo de esviaje |

Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López ,V. 2002

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S, de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FRS = F60 * e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento PIARC:

$$F60 = A + B * FR60$$

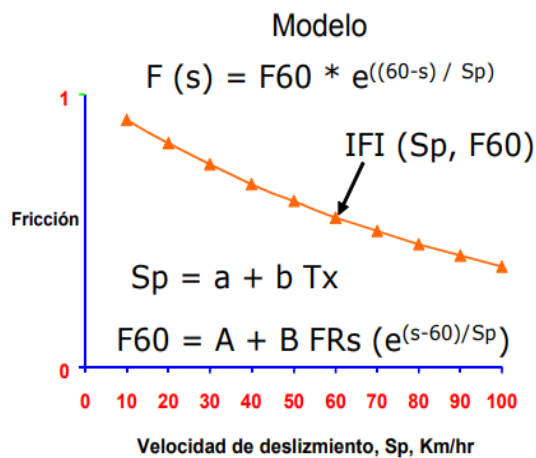
Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores.

### Implementación del IFI

Determinados los parámetros mencionados anteriormente se dice entonces que el tramo de pavimento en estudio tiene un valor del índice de fricción internacional que se expresa como IFI (F60, Sp). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de deslizamiento (figura 63) con la ecuación que se expresa como:

$$FRS = F60 * e^{\frac{60-S}{Sp}}$$

Figura N° 31 Modelo del índice de fricción internacional



Fuente: “Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”. Diana, B. López, V. 2002

### 2.1.18 Resistencia al deslizamiento

Es un criterio usado para verificar la seguridad vial, se mide a través del coeficiente de fricción que se produce entre la superficie de rodadura y el neumático, resulta de la interacción compleja de la adherencia y la histéresis.

#### Adherencia

Resulta de la atracción intermolecular cuando la textura del agregado pétreo rompe la película de agua e interactúa con el neumático. La no adecuada adherencia ocasiona el fenómeno de hidroplaneo.

#### Fricción

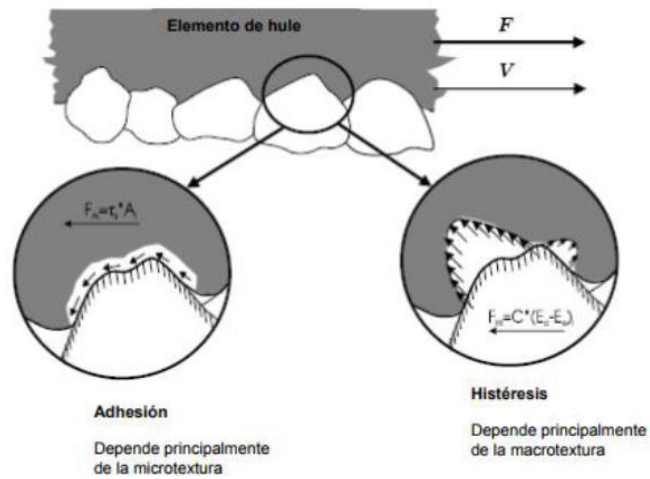
Fenómeno producido por la interacción de diferentes tipos de materiales, es decir, es una propiedad de la interacción de un sistema. Como se mencionó anteriormente la fricción es una ampliación de la resistencia al deslizamiento, esta fricción se evalúa por los coeficientes: Coeficiente de fricción longitudinal (CFL) y Coeficiente de fricción transversal o lateral (CFT).

Figura N° 32 Representación gráfica del coeficiente de fricción



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019)

Figura N° 33 Componentes de la fricción



Fuente: Hall, Et. Al., 2009

$$F = F_a + F_h$$

**Donde:**

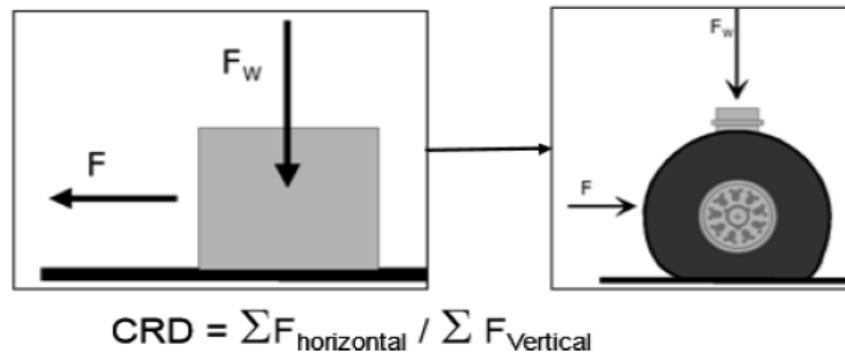
$F$ = Fuerza de fricción total.

$F_a$ = Fuerza de roce por adhesión.

$F_h$ = Fuerza de roce por histéresis de origen viscoelástico.

La fuerza de fricción es adimensional, depende del coeficiente de fricción que de manera análoga se calcula con la carga normal sobre la trayectoria de contacto entre neumático y la superficie. Se presenta la siguiente relación:

Figura N° 34 Representación gráfica del cálculo del coeficiente de fricción



Fuente: Adherencia Superficial, D. Galvez. 2015

El coeficiente de fricción varía por la influencia de elementos físicos como: presión manométrica de las llantas, material de composición de los neumáticos, presencia de contaminantes en la superficie del pavimento (agua, fango, nieve humedad, etc.)

#### **2.1.18.1 Microtextura**

Referido a la textura superficial de los agregados (áspera o pulida) que conforma la superficie del pavimento. Se mide la microtextura de una manera indirecta con el coeficiente de fricción. Esta microtextura principalmente depende de la mineral que lo conforma y es necesaria pues es la que brinda la resistencia al deslizamiento en condiciones húmedas y secas. Una buena superficie de rodadura debe ofrecer una buena adherencia entre el neumático y el pavimento mediante una microtextura áspera del agregado.

La aspereza del agregado pétreo va disminuyendo con el paso del tiempo por el tránsito vehicular es por eso que es recomendable brindar un adecuado mantenimiento a las vías.

#### **2.1.18.2 Macrotextura**

La macrotextura va referida a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. La profundidad de textura media está dada por el tipo de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico que exista en la superficie. La macrotextura es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda en un intervalo comprendido entre los 0,5 milímetros y los 50 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0,2 a 10 milímetros.

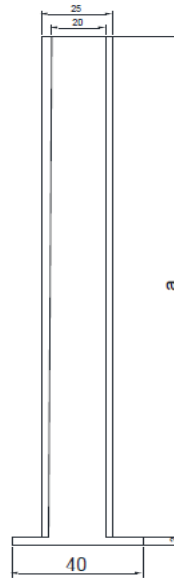
La capacidad de drenaje de la superficie del pavimento es brindada por una adecuada macrotextura pues permite la salida del agua con mayor rapidez reduciendo riesgos por hidroplaneo.

#### **2.1.18.3 Macrotextura con ensayo del círculo de arena**

Este ensayo de campo sirve para conocer la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen de material conocido se llenarán los huecos completamente y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. Para finalmente determinar la profundidad media de la macrotextura.



Figura N° 36 Medidas de distintos cilindros del ensayo círculo de arena



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC E- 1005)

a= Variable para cada volumen, se dan los siguientes valores indicativos

$V=50000 \text{ mm}^3$  a = 160 mm

$V=25000 \text{ mm}^3$  a = 80 mm

$V=10000 \text{ mm}^3$  a = 32 mm

Medidas en milímetros.

### Procedimiento

1. La inspección del área a ensayar, debe ser homogénea y seca sin imperfecciones. Se procede a limpiar la superficie con una escobilla o brocha a ensayar sin dejar rastro de polvo sobre ella, se sugiere colocar una caja protectora contra el viento.
2. Se llena la muestra completamente en el cilindro de volumen conocido y se enrasa con la regla.
3. Se vacía el material del cilindro dentro del área protegida del viento con una caja o llanta, se esparce todo el material en forma circular con el disco enrasador llenando todas las cavidades a ras con la cresta de los agregados.
4. Se mide y se registran 5 diámetros en diferentes posiciones, si el diámetro es mayor a

## Equipo

- a) Arena normalizada tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz N°100 (0,15mm) y es retenida por el tamiz N°200 (0,075mm).
- b) Recipiente contenedor de material o probeta de 25 cm<sup>3</sup>. es utilizado para conocer el material esparcido.
- c) Disco esparcidor, plano y rígido de 60-75 mm de diámetro utilizado para esparcir el material. Parte inferior del disco cubierto con caucho liso y duro.
- d) Escobilla, flexómetro, caja protectora de viento o llanta.

## Cálculo

### Volumen del cilindro

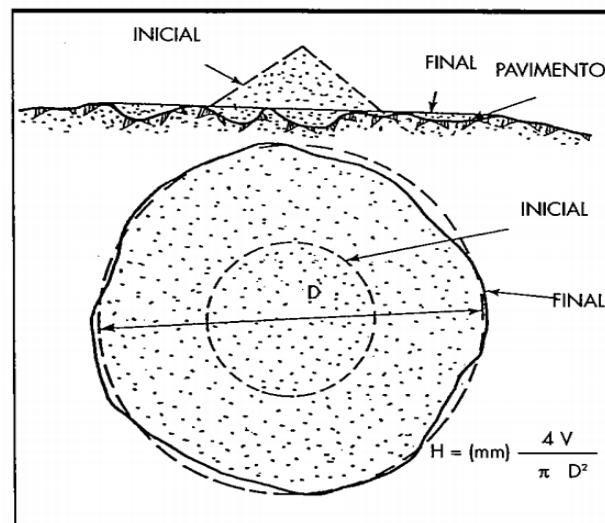
$$v = \frac{\pi * d^2 * a}{4}$$

### Donde:

d= Diámetro de cilindro.

a= Altura variable del cilindro para cada volumen

Figura N° 37 Esquema del ensayo de la macrotextura superficial



Fuente: Normativa ASTM E-965

### Promedio de la profundidad media

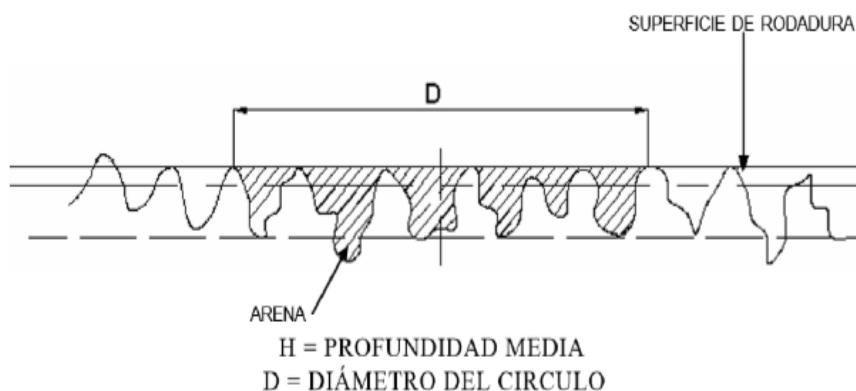
$$PT = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

V= Volumen usado en la prueba en campo.

D= Diámetro promedio medido en campo.

Figura N° 38 Medición de la macrotextura superficial con técnica volumétrica.



Fuente: Normativa ASTM E-965.

#### 2.1.18.4 Microtextura con ensayo del péndulo británico TRRL.

Este ensayo tiene la finalidad de obtener el coeficiente resistencia al deslizamiento C.R.D; este equipo mide la energía perdida cuando el patín de caucho se desliza sobre la superficie. Se muestra un breve resumen de la normatividad:

##### Verificación y calibración del equipo.

Antes de realizar las pruebas en campo se procedió a verificar y calibrar el equipo para su correcto funcionamiento, se vieron 3 aspectos:

**A) Aspecto 1.** Verificación mecánica de las distintas partes del péndulo británico (tornillos, punteros, dureza de la zapata de goma)

Figura N° 39 Medición de la dureza del caucho de la zapata del péndulo TRRL.



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019)

Tabla N° 4 Características de la resiliencia y dureza del caucho

| Características              | Temperatura ( °C ) |       |        |       |       |
|------------------------------|--------------------|-------|--------|-------|-------|
|                              | 0                  | 10    | 20     | 30    | 40    |
| % de Resiliencia (*)         | 42-47              | 55-62 | 61-68  | 64-71 | 66-73 |
| Grados de dureza I.R.H. (**) |                    |       | 55+/-5 |       |       |

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC-E1004)

Se midió la dureza del caucho del péndulo británico con un durómetro digital PCE-Shore A. Cumple con las características de dureza según las especificaciones de la norma MTC E-1004.

**B) Aspecto 2.** Proceso de calibración (alineamientos, pesos adecuados tensión de resortes, etc.).

- Centro de gravedad
- Distancia desde el centro de gravedad hasta el centro de oscilación
- Tensión de resorte

**C) Aspecto 3.** Chequeo de repetitividad de mediciones; al momento de realizar las pruebas se debe verificar la repetitividad de las lecturas (BPN) aceptando como desviación máxima de 0,98BPN.

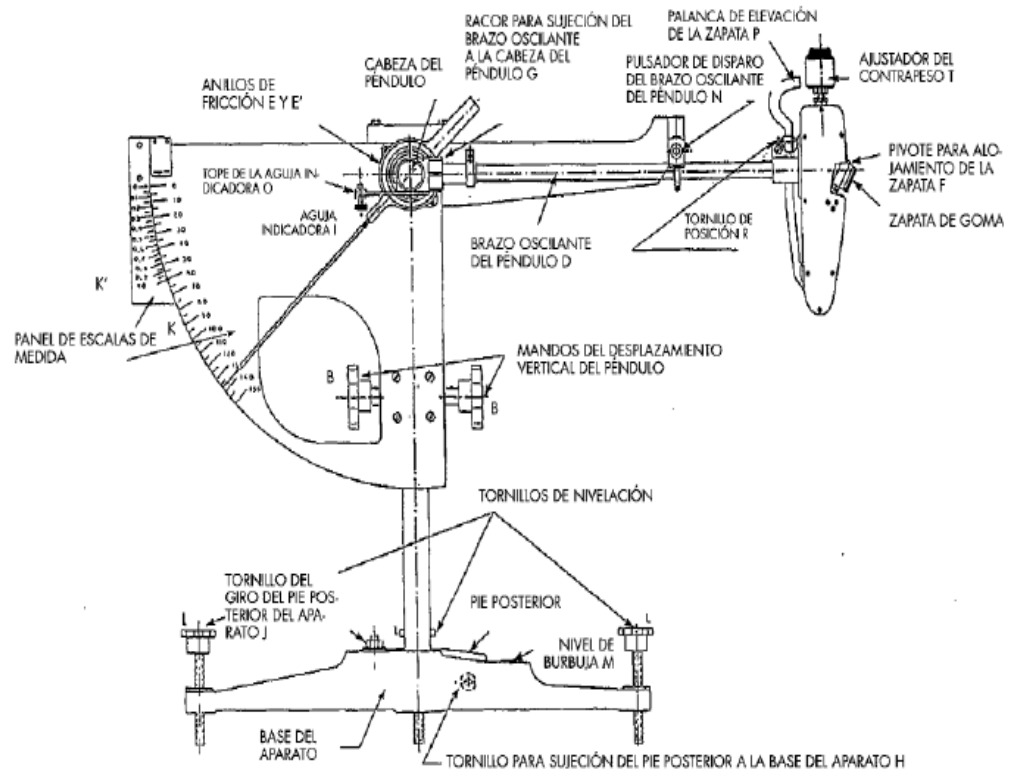
## **Procedimiento**

1. Selección del lugar a examinar para luego proceder a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino, se nivela el equipo y se coloca el brazo del péndulo.
2. Se deja limpia libre de partículas sueltas y polvo por donde pasará el patín.
3. Elevación de la cabeza del equipo para comprobar el cero sin que el patín se deslice sobre la superficie, esto con la ayuda de los tornillos, se ajustará o aflojará como sea necesario.
4. Ya comprobado el cero del equipo, se nivela la altura de la cabeza del péndulo con la finalidad de tener un área de contacto con las especificaciones adecuadas de la distancia de deslizamiento (124 a 127 mm).
5. Realizados todos estos pasos, se coloca el brazo en la posición de disparo, se moja el patín de caucho como también la superficie a ensayar con abundante agua. Luego se obtura el botón y se suelta el brazo libremente.
6. La aguja registrará el valor obtenido para ser registrado, se registra la temperatura en cada medición para la posible corrección. Se realiza 5 mediciones en cada punto. Al final se hace la verificación chequeando el cero (0).

## **Equipo**

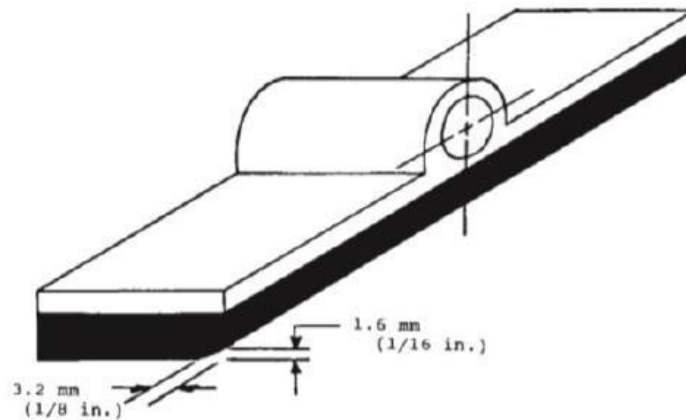
- a) Péndulo TRRL. Diseñado por “Transport Road Research laboraory” sirve para medir la resistencia al deslizamiento del pavimento. Este péndulo consta de dispositivos de nivelación, de desplazamiento vertical, de medida y de disparo del brazo.
- b) El patín del péndulo consta de una goma de caucho según características de la norma ASTM E303.
- c) Material Auxiliar (termómetro, cepillo, escobilla),
- d) Regla graduada al milímetro para medir distancia de deslizamiento del péndulo (124 a 127 mm).

Figura N° 40 Péndulo Británico TRRL.



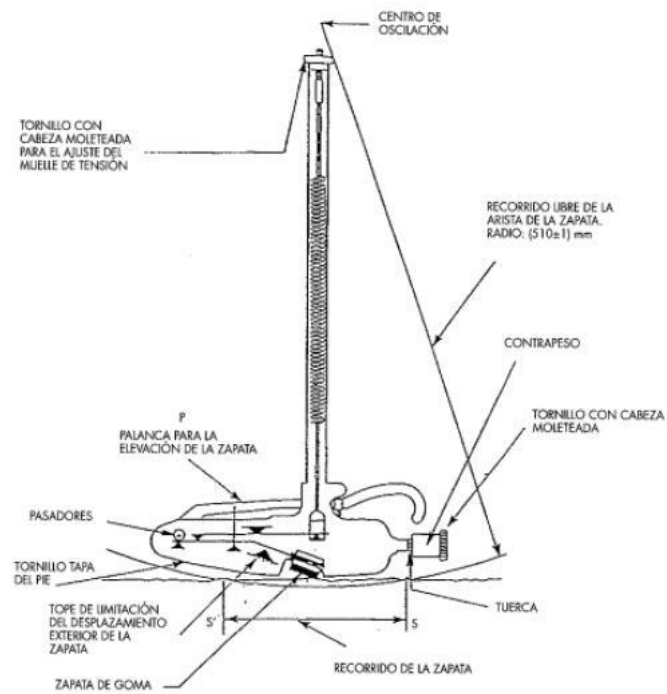
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

Figura N° 41 Ilustración del ensamblaje del patín de caucho



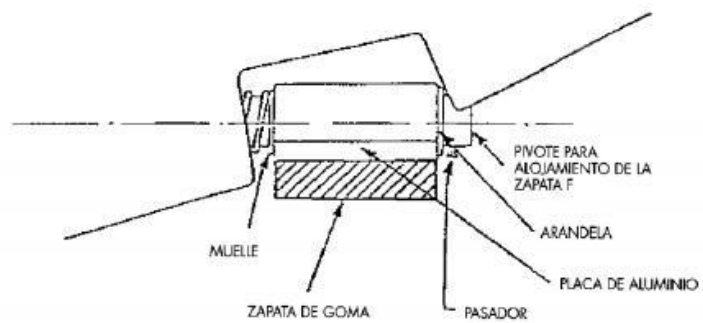
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

Figura N° 42 Detalle del brazo del péndulo



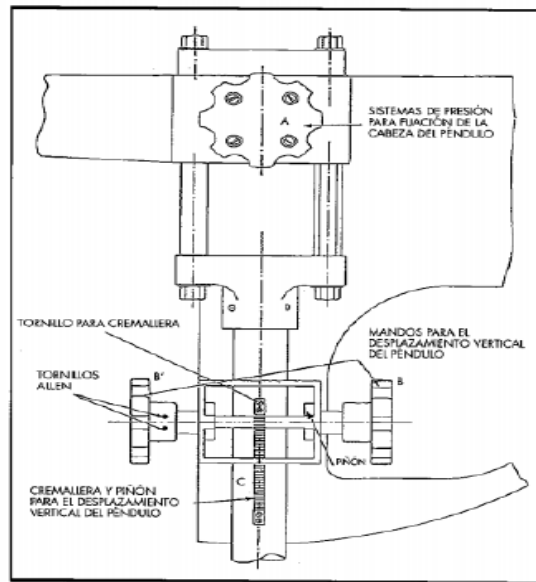
Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

Figura N° 43 Detalle de la disposición de la zapata del caucho



Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

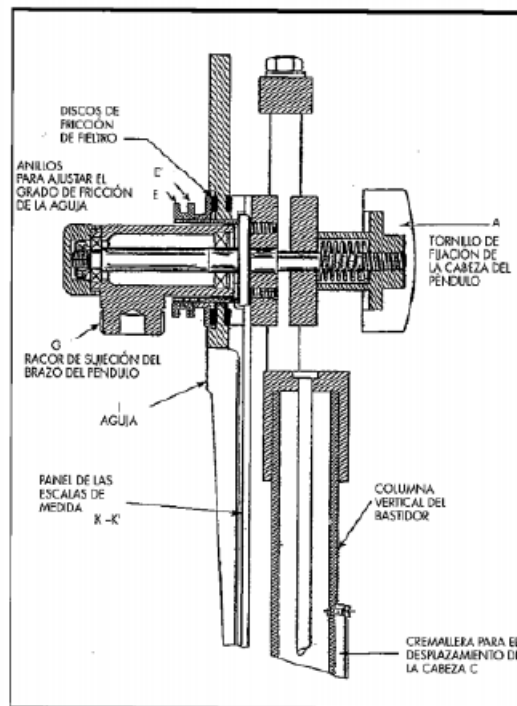
Figura N° 44 Detalle del dispositivo del desplazamiento vertical



(1)

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

Figura N° 45 Mecanismo de suspensión del péndulo (2)



Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC-E 1004)

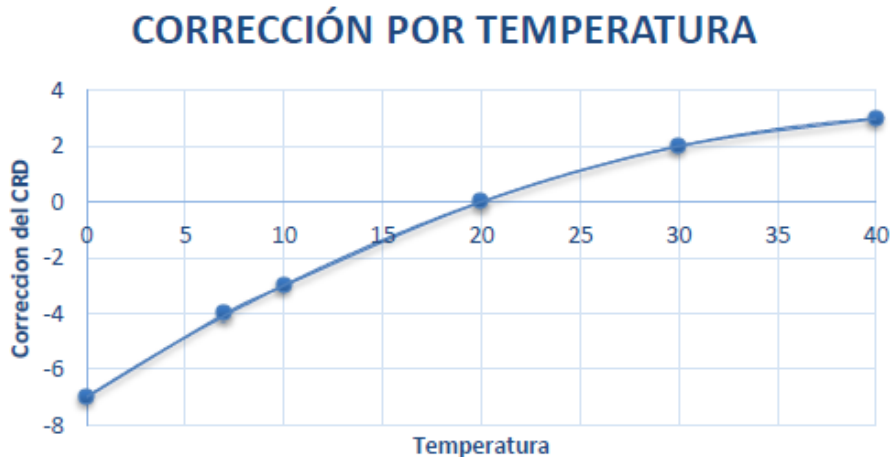
## Cálculo

El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de coeficiente de resistencia al deslizamiento:

$$CRD = \frac{BPN_{prom} + Fc_{20^{\circ}}}{100}$$

Las medidas obtenidas sufren correcciones por temperatura, estos resultados se expresan a 20°C y con 2 decimales.

Figura N° 46 Corrección por temperatura del péndulo británico



Fuente: “Evaluación del coeficiente de fricción del pavimento en 10 vías rápidas en Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL”. Arequipa, Perú. (2019)

### 2.1.19 Evaluación estructural

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

#### **2.1.19.1      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.

#### **2.1.19.2      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.

#### **2.1.19.3      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.

#### **2.1.19.4      Medición de deflexiones**

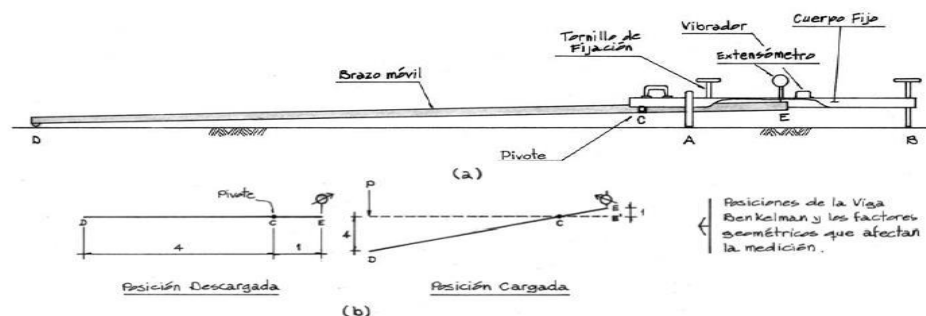
Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible por acción de cargas vehiculares pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetro tales como el denominado “Viga Benkelman”, llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrolló en 1953 como parte del programa de ensayos 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.

#### **2.1.19.5      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 47. 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 afecto 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. 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.

Figura N° 47 Esquema y principio de operación, Viga Benkelman



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

### 2.1.19.6 Ensayo Viga Benkelman

#### Equipo requerido

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

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

#### Procedimiento de la medición

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que tener la volqueta con el peso indicado de 8,2 toneladas y llantas infladas a 80 psi, luego definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 50 – 200 m de distancia, alternando cada carril; estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento. Se recomienda utilizar las distancias indicadas a continuación.

Tabla N° 5 Distancias recomendadas a emplear

| Ancho del carril | Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento |
|------------------|------------------------------------------------------------|
| 2,70 m           | 0,45 m                                                     |
| 3,00 m           | 0,60 m                                                     |
| 3,30 m           | 0,75 m                                                     |
| 3,60 m o más     | 0,90 m                                                     |

Fuente: Manual de Carreteras: Ensayo de Materiales, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

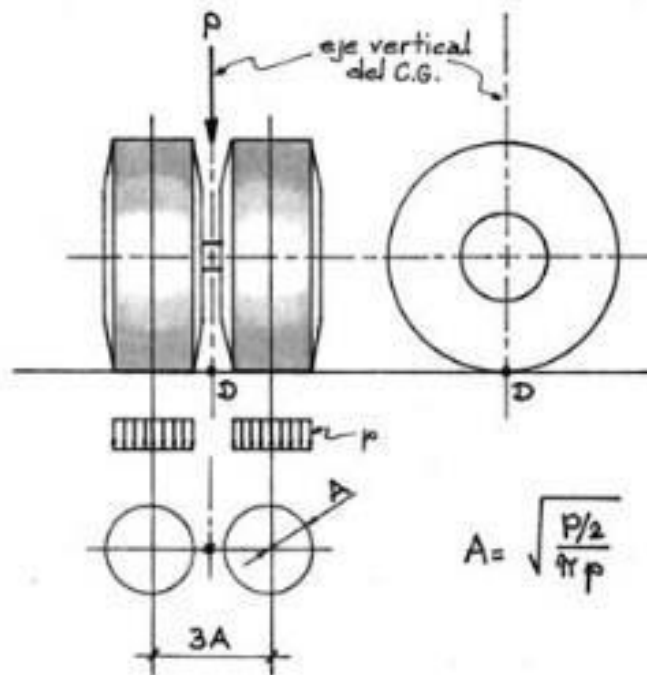
Una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

Debido a la dificultad tanto visual como operacional que demanda hacer coincidir el extremo de la viga Benkelman con el eje de gravedad, se realizará el siguiente trabajo:

El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión.

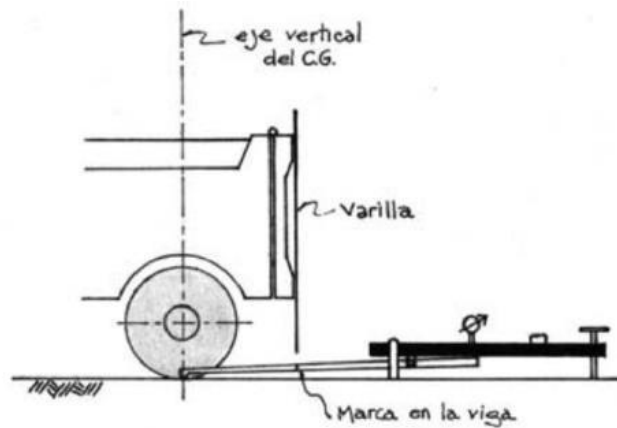
De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión. Ver figura 48.

Figura N° 48 Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman



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

Figura N° 49 Geometría de colocación de la viga Benkelman.



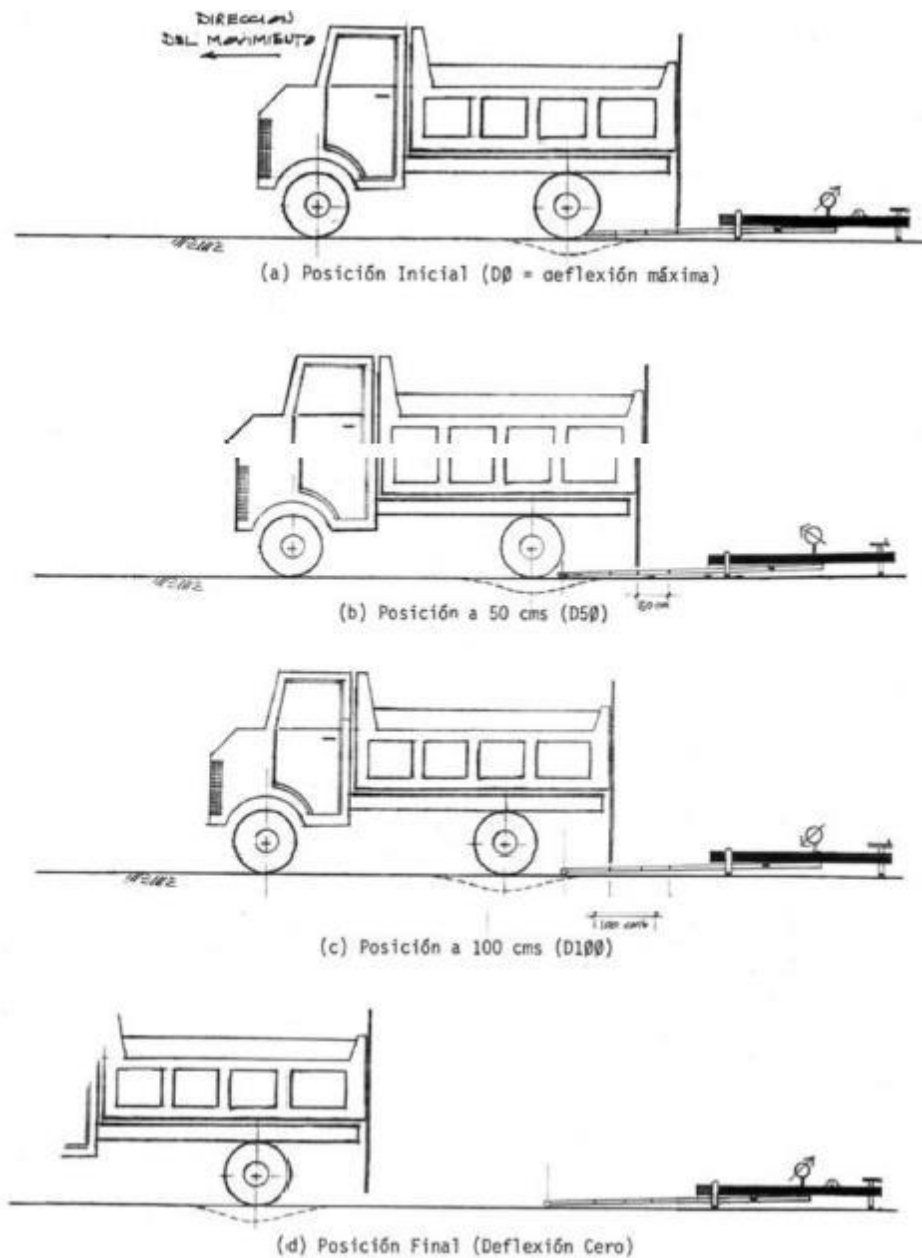
Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm; éstas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce. Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o esté en un rango de 35 % al 65 % de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de la primera marca adicional. Ver figura 50.

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

Figura N° 50 Procedimiento de medición de deflexión.



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

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y dé aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el

camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

### **Cálculo de deflexiones**

Cálculo de la deflexión máxima:

$$D_o = K \times (L_f - L_o)$$

Donde:

$D_o$  = Deflexión máxima.

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

$L_o$  = Lectura inicial.

$L_f$  = Lectura final.

#### **Deflexión a los 50 cm:**

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

Donde:

$D_{50}$  = Deflexión a 50 cm.

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

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

$L_f$  = Lectura final.

### **Corrección por temperatura**

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

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

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

Donde:

D<sub>20</sub>= Deflexión a la temperatura standard (20°C)

D<sub>t</sub>= Deflexión a la temperatura t

k= Coeficiente de temperatura (1x10<sup>-3</sup>°C/cm)

t= Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

e= Espesor de la carpeta asfáltica

### **Cálculo del radio de curvatura**

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

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

Donde:

R<sub>c</sub>= Radio de curvatura en (m)

D<sub>o</sub>= Deflexión máxima

D<sub>50</sub>= Deflexión a 0,50 m

El comportamiento estructural del pavimento en el tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

- 100 < R<sub>c</sub> < 500
- D<sub>o</sub> < D<sub>c</sub>

## 2.2 Marco referencial

A continuación, se citan trabajos de investigación similares al trabajo estudiado:

\*Bach, I. (2016). “Gestión y conservación de pavimentos flexibles a través del índice de desempeño “PCI” en el entorno del distrito de Surquillo-Lima” en Piura-Perú, donde el objetivo es determinar la condición del pavimento a través de una evaluación visual del pavimento, detallando su estado a nivel funcional y estructural, así como han ido afectando su nivel de servicio. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento.

Se ha logrado determinar la condición del pavimento a través del método del PCI en el distrito de Surquillo-Lima, y a su vez lograr un plan de gestión con un mantenimiento adecuado y oportuno.

\*Cruz Alemán, E. (2016). “Evaluación Superficial y Estructural del tramo El gallinazo – campo Ferial San Jacinto” en Tarija –Bolivia, que tiene como objetivo principal evaluar superficial y estructuralmente el estado actual del pavimento flexible del tramo “El Gallinazo – Campo Ferial San Jacinto” de la ciudad de Tarija, utilizando métodos no destructivos de PCI (Índice de Condición del Pavimento), IFI (Índice de fricción Internacional) y la viga Benkelman.

El trabajo experimental desarrollado comprende las siguientes etapas: la primera la recopilación de antecedentes más relevantes sobre el tramo. Una segunda etapa que corresponde a la evaluación superficial del tramo siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), Procedimiento standard para la inspección del índice de condición del pavimento, además de método IFI (Índice de Fricción Internacional), representando con este parámetro las características relacionadas con la adherencia y textura siendo de importancia la seguridad vial y/o desgaste de los vehículos en condiciones de frenado.

Una tercera etapa, que comprende una evaluación estructural del tramo a partir de la evaluación de deflexiones del pavimento mediante la viga Benkelman. Como resultado final mediante la evaluación superficial, se determinó que el tramo superficialmente no cumple con la calidad, comodidad y seguridad vial, a diferencia de que a través de la

evaluación estructural se obtienen respuestas satisfactorias sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las solicitaciones impuestas por las repeticiones de cargas generadas por el tráfico de vehículos además de la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad que pueda presentar el tramo. Los parámetros evaluados se completan mutuamente, y permiten recomendar un adecuado plan de reparación y mantenimiento para el tramo evaluado. Este trabajo de investigación presenta un aporte de información en el área de la ingeniería de pavimentos y servirá como base para seguir investigando sobre los métodos de evaluación no destructivos, con la finalidad de determinar las condiciones técnicas de la vía en el estado actual.

\*Sivila Montes, G. (2017). “Evaluación Superficial y Estructural tramo Tomatitas – La Victoria” en Tarija-Bolivia, tiene como objetivo principal la evaluación superficial y estructural del tramo “Tomatitas – La Victoria” utilizando los métodos de PCI para evaluar superficialmente y medición de deflexiones para la evaluación estructural, ambas corresponden a métodos no destructivos.

La evaluación comprende las siguientes etapas: la primera, la recopilación de antecedentes más relevantes sobre el tramo, inspección visual y la determinación de unidades de muestra. Una segunda etapa que corresponde a la evaluación superficial del tramo, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI (Índice de Condición del Pavimento), de lo cual se obtuvo un valor PCI de 60,2 lo cual califica como condición de pavimento “bueno”. La tercera etapa, comprende de la evaluación estructural del tramo a partir de la medición de deflexiones del pavimento mediante la viga Benkelman, determinando las deflexiones máximas para cada 50 metros. Las deflexiones máximas se compararon con la deflexión admisible para verificar si el pavimento tiene la capacidad de resistir las cargas de tráfico, determinando así que las deflexiones máximas no superan la deflexión admisible. De la relación de valor de PCI y deflexiones máximas a lo largo del tramo, se determinó que el tramo en estudio responde a las solicitaciones impuestas por repeticiones de cargas generadas por el tráfico vehicular.

## **2.3 Marco normativo**

Considerar la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), para guía del procedimiento. Se tomará en cuenta los manuales

denominados “Manual de Diseño de Conservación Vial - Volumen 5” “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción - Volumen 7” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales\*Asfaltos - Volumen 4” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras). Para la verificación de los resultados obtenidos se tomó en cuenta la norma boliviana, el manual de carreteras de Chile y Perú.

- Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se empleó la norma IRI (ASTM-95).
- Para el procedimiento de evaluación del PCI (Índice de Condición de Pavimentos) se empleó la norma ASTM D6433-03, ASTM 5340-98.
- Para el procedimiento de evaluación del método IFI (Índice de Fricción Internacional) se emplearon los ensayos del péndulo británico con la norma ASTM E 303 AASHTO T278-90 y el círculo o mancha de arena con la norma ASTM E 965.
- Para el procedimiento de la viga Benkelman se empleó la norma ASTM D-4695.

## **2.4 Análisis y Posición del Investigador**

Realizando el análisis de estudio y consultando distintas bibliografías, tesis, artículos y fuentes de información disponibles con relación a la evaluación estructural y superficial de un pavimento flexible se hace notar en este segmento la importancia que tiene este tipo de estudio en las estructuras viales ya que es imprescindible verificar el correcto funcionamiento de la misma con estudios que garanticen un mantenimiento adecuado en función a las normas vigentes en nuestro país.

Es importante conceptualizar cada variable de estudio para conocer con mayor profundidad las acciones a realizar en el procedimiento experimental del estudio, como así también interiorizar el conocimiento acerca de la aplicación de normas vigentes para la evaluación de carreteras con las cuales se podrá respaldar los resultados obtenidos.

### CAPÍTULO III

## DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

### 3.1 Criterios del diseño metodológico

#### 3.1.1 Unidad de estudio o muestra

**Unidad de muestra:** La unidad de estudio son tramos de 30 metros.

**Población:** El tramo San Lorenzo –Sella Méndez que tiene una longitud de 6200 m y 7.20 m de ancho.

**Muestra:** para determinar la muestra se debe adoptar lo siguiente:

Según el Manual de diseño de conservación vial ABC, dicta lo siguiente: 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  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ .

La muestra será obtenida para una población finita con muestreo aleatorio y para medias poblacionales.

#### 3.1.2 Tamaño de muestra

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ . En la tabla se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

| LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFALTICAS |                                      |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ancho de calzada (m)                          | Longitud de la unidad de muestreo(m) |
| 5.0                                           | 46.0                                 |
| 5.5                                           | 41.8                                 |
| 6.0                                           | 38.3                                 |
| 6.5                                           | 35.4                                 |
| 7.3 (maximo)                                  | 31.5                                 |

El ancho de la calzada del tramo “San Lorenzo – sella Méndez” es de 7,20 m, se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestra de 30 m, por tanto, se tiene 206 unidades

de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 216 m<sup>2</sup> que están dentro del rango establecido en el PCI.

Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.

Para conocer las unidades de muestra que serán evaluadas se siguió el procedimiento que establece la norma ASTM D6433 – 03, utilizando la fórmula de número de unidades de muestreo que se muestra a continuación:

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

$\sigma$  = Desviación estándar del PCI entre las unidades (= 10).

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 98 % y un error admisible de 2 %.

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

$$n = \frac{206 * 10^2}{\frac{2^2}{4} (206 - 1) + 10^2} = 68$$

Selección de las unidades de muestreo para la inspección.

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

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

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

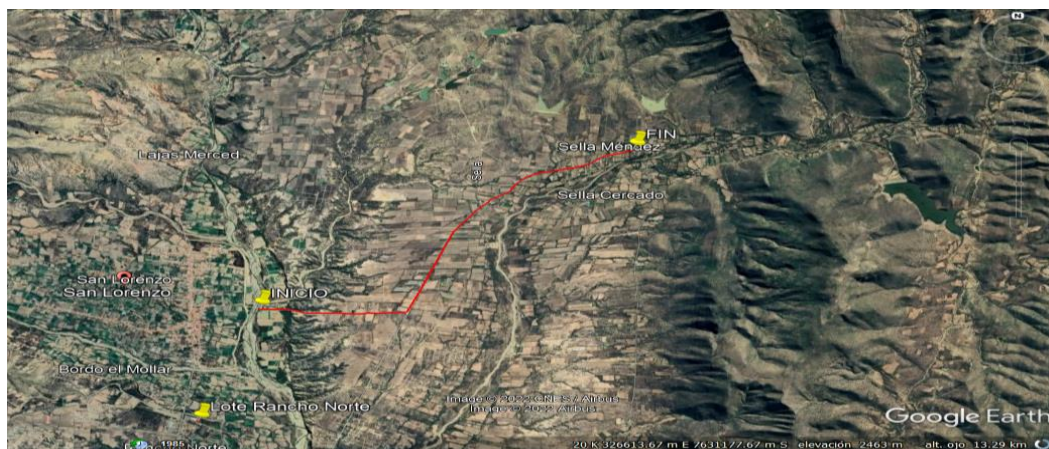


Tabla N° 6 Ubicación Geográfica

| Coordenadas Geográficas |                       | Coordenadas UTM |                |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|
| Inicio tramo            | Latitud 21°24'54,21"  | Inicio tramo    | 319437,00 m E  |
|                         | Longitud 64°44'31,33" |                 | 7630913,00 m S |
| Fin tramo               | Latitud 21°23'18,69"  | Fin tramo       | 324069,00 m E  |
|                         | Longitud 64°41'49,38" |                 | 7633902,00 m S |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 52 Foto satelital tramo San Lorenzo- Sella



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Relevamiento de información

#### 3.3.1 Capa de rodadura

Según la información recopilada de la sub gobernación de San Lorenzo, la capa de rodadura es una carpeta asfáltica de 4cm.

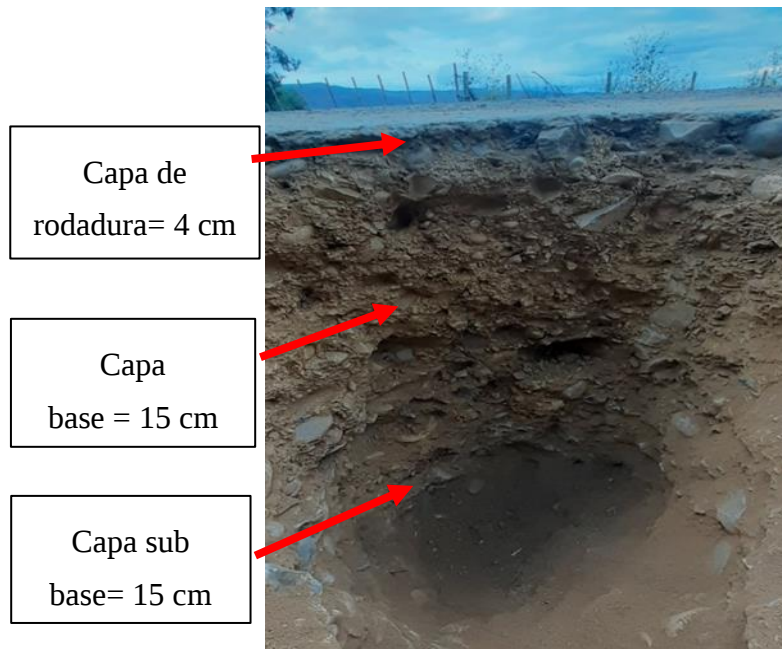
Tabla N° 7 Paquete estructural del tramo

| Tramo                      | Espesor de la carpeta asfáltica | Espesor de la capa base | Espesor de la capa sub base | Espesor de la sub rasante |
|----------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| San Lorenzo – Sella Méndez | 4 cm                            | 15 cm                   | 15 cm                       | 20 cm                     |

Fuente: Sub Gobernación de San Lorenzo

Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 2+200.

Figura N° 53 Espesores del paquete estructural



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Paquete estructural

Con el objetivo de identificar la composición y la conformación del paquete estructural se dispuso a realizar un sondeo también en progresiva 2+200, para proceder con el sondeo se inició la excavación de para identificar de numero de capas que componía el paquete estructural paralelamente se extrajo muestras de cada capa identificada, en primer se identificó la Capa Base, posteriormente la Sub Base, y finalmente la Subrasante extrayendo muestras de cada una de ellas para realizar un análisis de laboratorio mediante los ensayos de granulometría, límites de atterberg, clasificación, Proctor T – 180 y CBR.

#### Granulometría

Para realizar en ensayo de la granulometría se procedió a sacar una parte de aproximadamente 5 kg de muestra de cada capa para luego tamizarlas en los 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N°4. Luego se pesó 500gr del pasante de estos tamices para realizar

la granulometría por el método del lavado obteniendo los pesos retenidos de los tamices N°10, N°40 y N°200 para así con estos pesos retenidos obtener la curva granulométrica.

Figura N° 54      Ensayo de granulometría



Fuente: Elaboración propia

### **Límites de atterberg**

Se realizó el ensayo de Límites de atterberg mediante el equipo de Casa grande para poder obtener el Índice de plasticidad de las capas base, sub base, y subrasante con la finalidad de obtener el Limite Liquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad.

Figura N° 55      Ensayo de límites de atterberg



Fuente: Elaboración propia

## **Clasificación de los materiales**

Con los datos obtenidos en los puntos anteriores se realizó la clasificación de los materiales para las capas Base, Sub Base y Sub Rasante, ya que estos datos son imprescindibles para la realización del ensayo Capacidad de Soporte del Suelo.

### **Proctor T-180**

De igual manera se realizaron los ensayos de Proctor para todas las capas Base, Sub Base, y Sub Rasante con la finalidad de obtener la Densidad Máxima y Húmeda Óptima de los materiales, se realizó el ensayo de Proctor T-180.

Figura N° 56      Ensayo de Proctor T - 180



Fuente: Elaboración propia

### **CBR (Capacidad Soporte del Suelo)**

Se realizó el ensayo del CBR para conocer la capacidad de soporte del suelo, para esto se separó 3 muestras de 5 kg y como ya conocemos la humedad óptima y densidad máxima se echa el agua necesaria para proceder a compactar con la humedad óptima del suelo. La

primera muestra se compactará con 56 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera con 12 golpes. Una vez compactadas las muestras se les pone las pesas con sus vástagos y van a saturación durante cuatro días. Luego de los cuatro días las muestras son llevadas a la prensa del CBR para ver la penetración en mm a determinados segundos hasta obtener la curva del CBR y conocer su capacidad de soporte.

Figura N° 57 Ensayo de CBR



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar con más detalle el estudio de la granulometría, la clasificación del suelo, el Proctor t-180 y el CBR tanto de la capa Base, capa Sub base y Sub rasante en el Anexo 11.

### **Número de ejes equivalentes**

Cabe mencionar que, al no contar con este dato de referencia, se dispuso a realizar el levantamiento de la información con la finalidad de obtener el tráfico que transita actualmente por el tramo, San Lorenzo – Sella Méndez, para el relevamiento de la información inicialmente se identificaron en 3 días y horarios de 6:00am a 18:00pm para realizar los aforos, este relevamiento de la información se realizó en progresiva 2+800 considerando el conteo de automóviles, micros de transporte público y camiones de eje

simple y camiones de eje doble, posteriormente se realizó el cálculo del número de ejes equivalentes.

Se puede apreciar con más detalle el estudio de la granulometría, la clasificación del suelo, el Proctor T-180, el CBR tanto de la capa Base como de la capa Sub base y la capa subrasante y el número de ejes equivalentes en el Anexo 10.

### Cálculo de Espesores

Mediante la utilización del programa AASHTO-93 que fue desarrollado por el ingeniero Luis Vásquez se obtuvo los espesores de cada capa para el tramo San Lorenzo – Sella Méndez.

Figura N° 58 Método AASHTO para diseño de pavimentos

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: ☒ Flexible ☐ Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 95 % Zr = -1.645 So: 0.49 Ayuda

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5 Ayuda

Tránsito de diseño: W18: 1775550

**Pavimento flexible**

| Capa | Módulo de elasticidad (psi) | Coeficiente de capa (ai) | Coeficiente de drenaje (mi) | SN necesario | Espesor D (plg.) | Espesor D* (plg.) | SN* dispuesto              |
|------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------|------------------|-------------------|----------------------------|
| 1    | 435000                      | E/a?                     | 0.440                       | 1.00         | E/m?             | 2.63              | 5.98 6.0 6.0 2.64          |
| 2    | 25000                       | E/a?                     | 0.119                       | 1.00         | E/m?             | 3.33              | 5.80 6.0 6.0 0.71          |
| 3    | 13500                       | E/a?                     | 0.097                       | 1.00         | E/m?             | 3.49              | 1.40 1.5 6.0 0.58          |
| 4    | 12000                       | MR                       |                             |              |                  |                   | 3.94 OK W18 real 3.80E+006 |

Cálculo de W18 para un SN: SN: W18:

Quitar el control de variables Salir

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Evaluación Superficial del Tramo

Para la evaluación superficial del tramo “San Lorenzo– Sella Méndez” se utilizó la metodología del PCI (Índice de Condición del Pavimento), IRI (Índice internacional de Rugosidad) e IFI (Índice de Fricción Internacional).

#### 3.4.1 Aplicación de Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)

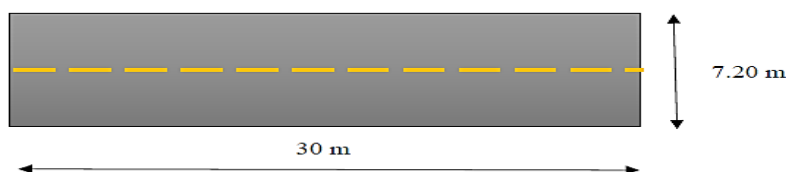
Se detallará la metodología aplicada para la evaluación superficial del tramo “San Lorenzo – Sella Méndez”, siguiendo los lineamientos definidos por el método PCI y el procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento, ya que el método PCI permitirá conocer el estado de la superficie del tramo, este método al ser moroso y requerir mucho tiempo para realizarlo en la bibliografía menciona que se seleccione cierta cantidad de unidades de muestreo del tramo, donde los resultados que se obtienen son confiables.

##### 3.4.1.1 Unidades de muestra

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7,30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230,0 \pm 93,0 \text{ m}^2$ . En la tabla 8 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla N° 8 Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas

| Ancho de Calzada (m) | Longitud de la Unidad de Muestreo (m) |
|----------------------|---------------------------------------|
| 5,0                  | 46,0                                  |
| 5,5                  | 41,8                                  |
| 6,0                  | 38,3                                  |
| 6,5                  | 35,4                                  |
| <b>7,3 (máximo)</b>  | <b>31,5</b>                           |



Fuente: Elaboración propia

En función a las medidas tomadas del ancho de calzada del pavimento flexible del tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” es de 7.20 m. Guiándose a través de la tabla 8, se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestra de 30 m, por tanto, se tiene **206** unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 216 m<sup>2</sup> que están dentro del rango establecido en el método PCI.

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

Para conocer las unidades de muestra que serán evaluadas se siguió el procedimiento que establece la norma ASTM D6433 – 03, utilizando la fórmula de número de unidades de muestreo que se muestra a continuación:

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 98 % y un error admisible de 2 %.

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

$$n = \frac{206 * 10^2}{\frac{2^2}{4} (206 - 1) + 10^2} = 68$$

### **Selección de las unidades de muestreo para la inspección**

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

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

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

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo 3,7 se redondea a 3).

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

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

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 1 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 4, 7, 10, 13, etc.

Para el presente trabajo se calculó el intervalo de muestreo como se muestra a continuación:

$$i = \frac{206}{68} = 3$$

### **Procedimientos del PCI (Índice de Condición del Pavimento)**

Se inspeccionó cuidadosamente cada una de las unidades de muestra identificadas, para medir el tipo, cantidad y severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, en base a la tabla 9.

Tabla N° 9 Tipo de Fallas en los Pavimentos

| Fallas                                      | Unidad de medida | Fallas                             | Unidad de medida |
|---------------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
| 1.- Piel de Cocodrilo                       | m <sup>2</sup>   | 11.- Parcheo y Acometidas          | m <sup>2</sup>   |
| 2.- Exudación                               | m <sup>2</sup>   | 12.- Agregado Pulido               | m <sup>2</sup>   |
| 3.- Agrietamiento en Bloque                 | m <sup>2</sup>   | 13.- Baches                        | m <sup>2</sup>   |
| 4.- Abultamiento                            | m                | 14.- Tapas de Alcantarilla Drenaje | N#               |
| 5.- Corrugación                             | m <sup>2</sup>   | 15.- Ahuellamiento                 | m <sup>2</sup>   |
| 6.- Depresión                               | m <sup>2</sup>   | 16.- Desplazamiento                | m <sup>2</sup>   |
| 7.- Grieta de Borde                         | m                | 17.- Grietas de Deslizamiento      | m <sup>2</sup>   |
| 8.- Grieta de Reflexión de Juntas           | m                | 18.- Hinchamiento                  | m <sup>2</sup>   |
| 9.- Desnivel Carril/Berma                   | m                | 19.- Desprendimiento de Agregados  | m <sup>2</sup>   |
| 10.- Grietas Longitudinales y Transversales | m                |                                    |                  |

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a separar 6 tramos para una mayor eficacia. A partir en la información obtenida del campo se procedió determinar cada falla del pavimento de acuerdo a la cantidad y el grado de severidad. Y se registró en planillas, donde se las puede encontrar a detalle en el Anexo 2 del proyecto.

Tabla N° 10 Tramos en estudio

| Tramo San Lorenzo - Sella Méndez |               |         |             |            |
|----------------------------------|---------------|---------|-------------|------------|
| Tramo                            | Progresiva    | Altitud | Coordenadas |            |
|                                  |               | m       | msnm        |            |
| 1                                | 0+000 - 1+020 | 1993    | 319453,77   | 7630906,17 |
| 2                                | 1+020 - 2+010 | 2041    | 320457,88   | 7630812,32 |
| 3                                | 2+010 - 3+020 | 2049    | 321355,95   | 7631008,07 |
| 4                                | 3+020 - 4+010 | 2059    | 321709,40   | 7631960,01 |
| 5                                | 4+010 + 5+000 | 2071    | 322191,32   | 7632816,62 |

|   |               |      |           |            |
|---|---------------|------|-----------|------------|
| 6 | 5+000 - 6+200 | 2083 | 322902,70 | 7633458,39 |
|---|---------------|------|-----------|------------|

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11 Hoja de registro de fallas por el método PCI

| Método PCI                                                        |       |                                             |       |                                   |       |
|-------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| Índice de condiciones del pavimento en vías de pavimento flexible |       |                                             |       |                                   |       |
| Zona de Estudio                                                   |       | Prog. Inicio                                |       | Ejecutor                          |       |
| Área (m²)                                                         |       | Prog. Final                                 |       | Fecha                             |       |
| Fallas                                                            |       |                                             |       |                                   |       |
| 1.- Piel de Cocodrilo                                             |       | 8.- Grieta de Reflexión de Juntas           |       | 15.- Ahuellamiento                |       |
| 2.- Exudación                                                     |       | 9.- Desnivel Carril/Berma                   |       | 16.- Desplazamiento               |       |
| 3.- Agrietamiento en Bloque                                       |       | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales |       | 17.- Grietas de Deslizamiento     |       |
| 4.- Abultamiento                                                  |       | 11.- Parcheo y Acometidas                   |       | 18.- Hinchamiento                 |       |
| 5.- Corrugación                                                   |       | 12.- Agregado Pulido                        |       | 19.- Desprendimiento de Agregados |       |
| 6.- Depresión                                                     |       | 13.- Baches                                 |       |                                   |       |
| 7.- Grieta de Borde                                               |       | 14.- Tapas de Alcantarilla Drenaje          |       |                                   |       |
| Progresiva                                                        |       | Muestra                                     | Falla | Severidad                         | Total |
| Inicial                                                           | Final |                                             |       |                                   |       |
|                                                                   |       |                                             |       |                                   |       |
|                                                                   |       |                                             |       |                                   |       |
|                                                                   |       |                                             |       |                                   |       |
|                                                                   |       |                                             |       |                                   |       |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12 Ejemplo de Levantamiento de fallas

| Método PCI                                                        |                                             |              |       |                               |                         |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------|-------|-------------------------------|-------------------------|
| Índice de condiciones del pavimento en vías de pavimento flexible |                                             |              |       |                               |                         |
| Zona de Estudio                                                   | San Lorenzo - Sella Méndez                  | Prog. Inicio | 3+020 | Ejecutor                      | Rojas Perales Esmeralda |
| Área (m²)                                                         | 216                                         | Prog. Final  | 4+010 | Fecha                         | 3/4/2023                |
| FALLAS                                                            |                                             |              |       |                               |                         |
| 1.- Piel de Cocodrilo                                             | 8.- Grieta de Reflexión de Juntas           |              |       | 15.- Ahuellamiento            |                         |
| 2.- Exudación                                                     | 9.- Desnivel Carril/Berma                   |              |       | 16.- Desplazamiento           |                         |
| 3.- Agrietamiento en Bloque                                       | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales |              |       | 17.- Grietas de Deslizamiento |                         |

|                     |       |                                    |       |                                   |       |
|---------------------|-------|------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| 4.- Abultamiento    |       | 11.- Parcheo y Acometidas          |       | 18.- Hinchamiento                 |       |
| 5.- Corrugación     |       | 12.- Agregado Pulido               |       | 19.- Desprendimiento de Agregados |       |
| 6.- Depresión       |       | 13.- Baches                        |       |                                   |       |
| 7.- Grieta de Borde |       | 14.- Tapas de Alcantarilla Drenaje |       |                                   |       |
| Progresiva          |       | Muestra                            | Falla | Severidad                         | Total |
| Inicial             | Final |                                    |       |                                   |       |
| 0+090               | 0+120 | 4                                  | 2     | L                                 | 0,15  |
|                     |       |                                    | 19    | L                                 | 0,22  |
|                     |       |                                    | 19    | L                                 | 0,22  |
|                     |       |                                    | 2     | L                                 | 1,69  |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 59 Progresivas para el PCI



Fuente: Elaboración propia

Una vez registrada la información levantada, se procede a calcular las densidades y los valores deducidos para luego poder obtener el valor de la calificación del PCI que presenta cada muestra, dicho procedimiento se mostrará detalladamente en el Capítulo 4.

### 3.4.2 Procedimiento de cálculo del método PCI

Luego de terminar con la inspección de campo, registrados todos los datos y teniendo así en las planillas el tipo, severidad y cantidad de fallas que presenta cada unidad de muestra que será evaluada, se procede a calcular la condición en la que se encuentra el pavimento por el método del PCI que se basa en el cálculo de los valores deducidos.

Se detallará la aplicación de la metodología, realizando el cálculo del PCI a una unidad de muestra aleatoria, con el fin de observar paso a paso el procedimiento de cómo realizar una evaluación superficial, cómo obtener el índice de condición del pavimento y así conocer la condición de cada unidad de muestra y posteriormente la de todo el tramo seleccionado.

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

Se reconoce cada falla del pavimento, tipo, severidad y cantidad de daños que presente la unidad de muestra que está siendo inspeccionada y se debe anotar estos datos en la planilla de registro.

Las fallas pueden ser medidas en áreas o longitudes dependiendo cada tipo falla.

Figura N° 60 Identificación de fallas



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 61 Medición de las fallas



Fuente: Elaboración propia

Ejemplo del tramo 2 progresiva de inicio 1+710 progresiva final 1+740, unidad de la muestra 58.

En la tabla 13 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 N° 13 Fallas existentes en la unidad de muestra

| FALLA | CANTIDAD |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10L   | 0,71     | 3,10 | 1,66 | 1,12 | 2,32 | 2,78 | 3,65 | 3,84 | 2,35 | 3,14 | 2,86 | 3,12 | 3,25 | 3,82 |
| 10M   | 1,83     | 4,53 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 11L   | 0,16     | 0,13 | 0,09 | 0,36 | 0,25 | 0,96 | 0,16 | 0,72 | 0,25 | 0,99 | 0,69 |      |      |      |
| 11M   | 1,00     | 1,25 | 0,46 | 1,23 | 0,20 | 0,18 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13L   | 0,33     | 0,06 | 0,14 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,06 |      |      |      |      |      |      |      |
| 13M   | 0,15     | 0,53 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 19L   | 0,53     | 2,46 | 0,06 | 0,29 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 13H   | 0,83     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

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.

### 3.4.2.1 Cálculo de la densidad

#### Grieta longitudinal y transversal

Se calculará para la muestra 1 donde se tiene 10L que representa un tipo de falla de fisura longitudinal y transversal de baja severidad.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Area Total de la falla (Tipo de Severidad)}}{\text{Area de Unidad de Muestreo}} * 100$$

$$\text{Densidad} = \frac{37.71}{216} * 100$$

$$\text{Densidad} = 17,46\%$$

### 3.4.2.2 Obtención del Valor Deducido (Vd)

Mediante la tabla se debe calcular en función a los valores de la densidad y del nivel de severidad presentes en la tabla, si estos valores no coinciden con los encontrados, se debe interpolar para obtener el valor deducido.

Para calcular el “valor deducido” se determina mediante el uso de la Tabla 14 se obtiene el “valor deducido” de acuerdo con el tipo de falla. Se trata de una falla Nro. 10 (Grietas longitudinal y transversal) de severidad alta y de una densidad de 17,46 %; en función a estos parámetros se obtiene el valor deducido 10,98 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 “bajo”, 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 14; para así obtener mayor exactitud.

Tabla N° 14 Obtención del valor deducido (VD) mediante tabla

| 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 |
| 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 N° 15 Resultados de Valor Deducido (VD)

| Falla | Densidad | Valor deducido |
|-------|----------|----------------|
| 10L   | 17,46    | 10,98          |
| 10M   | 2,94     | 6,48           |
| 11L   | 2,19     | 4,82           |
| 11M   | 2,00     | 14,29          |
| 13L   | 0,30     | 7,14           |
| 13M   | 0,32     | 14,00          |
| 19L   | 1,55     | 2,17           |
| 13H   | 0,38     | 35,06          |

Fuente: Elaboración Propia

En nuestro caso, con una densidad de 17.46 % y un nivel de severidad de bajo (L), se realiza la interpolación y nos da un valor deducido (VD) de 10.98.

Determinar el “Número máximo admisible de valores deducidos” (m):

$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - VD_{max})$$

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

Valor deducido mayor HDV = 35,06

$$m = 1 + \frac{9}{98} \times (100 - 35.06)$$

$$m = 6,96 \quad m = 6,96 \leq 8$$

Número máximo de valores admisibles:

$$6,96 - 6 = 0,964$$

Por último, calculamos el VDC con “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección o con las tablas del VDC.

### 3.4.2.3 Valor Deducido Corregido

Para cada valor deducido individual se determinó el valor deducido corregido se utilizó la Tabla 16; 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 N° 16 Obtención del valor deducido corregido (CDV)

| Total, de<br>Valores<br>Deducidos | Valor Deducido Corregido |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | q1                       | q2   | q3   | q4   | q5   | q6   | q7   |
| 0.0                               | 0.0                      |      |      |      |      |      |      |
| 10.0                              | 10.0                     |      |      |      |      |      |      |
| 12.0                              | 12.0                     | 8.0  |      |      |      |      |      |
| 18.0                              | 18.0                     | 12.5 | 8.0  |      |      |      |      |
| 20.0                              | 20.0                     | 14.0 | 10.0 |      |      |      |      |
| 25.0                              | 25.0                     | 18.0 | 13.5 | 8.0  |      |      |      |
| 28.0                              | 28.0                     | 20.4 | 15.6 | 10.4 | 8.0  |      |      |
| 30.0                              | 30.0                     | 22.0 | 17.0 | 12.0 | 10.0 |      |      |
| 40.0                              | 40.0                     | 30.0 | 24.0 | 19.0 | 17.0 |      |      |
| 42.0                              | 42.0                     | 31.4 | 25.4 | 20.4 | 18.2 | 15.0 | 15.0 |
| 50.0                              | 50.0                     | 37.0 | 31.0 | 26.0 | 23.0 | 20.0 | 20.0 |
| 60.0                              | 60.0                     | 44.0 | 38.0 | 33.0 | 29.0 | 26.0 | 26.0 |
| 70.0                              | 70.0                     | 51.0 | 44.5 | 39.0 | 35.0 | 32.0 | 32.0 |
| 80.0                              | 80.0                     | 58.0 | 50.5 | 45.0 | 41.0 | 38.0 | 38.0 |
| 90.0                              | 90.0                     | 64.0 | 57.0 | 51.0 | 46.0 | 44.0 | 44.0 |
| 100.0                             | 100.0                    | 71.0 | 63.0 | 57.0 | 52.0 | 49.0 | 49.0 |
| 110.0                             |                          | 76.0 | 68.0 | 62.0 | 57.0 | 54.0 | 54.0 |
| 120.0                             |                          | 81.0 | 73.0 | 68.0 | 62.0 | 59.0 | 59.0 |
| 130.0                             |                          | 86.0 | 78.5 | 73.0 | 67.0 | 63.0 | 63.0 |
| 135.0                             |                          | 88.5 | 81.5 | 75.5 | 69.5 | 65.0 | 65.0 |
| 140.0                             |                          | 91.0 | 84.0 | 78.0 | 72.0 | 68.0 | 67.0 |
| 150.0                             |                          | 94.0 | 88.0 | 82.0 | 76.0 | 72.0 | 70.0 |

|       |  |       |       |      |      |      |      |
|-------|--|-------|-------|------|------|------|------|
| 160.0 |  | 98.0  | 93.0  | 86.0 | 81.0 | 76.0 | 74.0 |
| 166.0 |  | 100.0 | 94.8  | 88.4 | 83.4 | 79.0 | 75.2 |
| 170.0 |  |       | 96.0  | 90.0 | 85.0 | 81.0 | 76.0 |
| 180.0 |  |       | 99.0  | 93.0 | 88.0 | 84.0 | 79.0 |
| 182.0 |  |       | 100.0 | 93.6 | 88.6 | 84.8 | 79.6 |
| 190.0 |  |       |       | 96.0 | 91.0 | 88.0 | 82.0 |
| 200.0 |  |       |       | 98.0 | 94.0 | 90.0 | 84.0 |

Fuente: 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, 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.

Tabla N° 17 Resultados de valores deducidos corregidos (CDV)

| Nro | VALOR REDUCIDO |       |       |       |      |      |      |      | TOTAL | q    | CDV   |
|-----|----------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| 1   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 10,98 | 6,88 | 6,22 | 4,63 | 2,08 | 94,14 | 8,00 | 46,07 |
| 2   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 10,98 | 6,88 | 6,22 | 4,63 | 2,00 | 94,06 | 7,00 | 46,03 |
| 3   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 10,98 | 6,88 | 6,22 | 2,00 | 2,00 | 91,43 | 6,00 | 44,72 |
| 4   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 10,98 | 6,88 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 87,21 | 5,00 | 44,61 |
| 5   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 10,98 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 82,33 | 4,00 | 46,40 |
| 6   | 35,06          | 14,29 | 14,00 | 2,00  | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 73,35 | 3,00 | 46,51 |
| 7   | 35,06          | 14,29 | 2,00  | 2,00  | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 61,35 | 2,00 | 44,94 |
| 8   | 35,06          | 2,00  | 2,00  | 2,00  | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 49,06 | 1,00 | 49,06 |
| 9   |                |       |       |       |      |      |      |      |       |      |       |

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.4.2.4 Resultado de la condición del pavimento

El PCI obtenido fue de 50,94 % donde la muestra evaluada se encuentra en estado regular registrada en los rangos (55 a 40) Tabla 18.

$$CDV_{\max} = 49,06$$

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

$$PCI = 100 - 49,06$$

$$PCI = 50,94$$

Clasificación = Regular

Tabla N° 18 Rangos de calificación de PCI

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

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza este mismo procedimiento para cada una de las muestras que se establecieron, cuyos resultados se aprecian en el Anexo 6.

### Condiciones de los 6 tramos

En las siguiente Tabla 19 se demostrará las condiciones de los 6 tramos.

Tabla N° 19 Condición del pavimento

| Tramo de Evaluación |         |              |             |              |           |           | Índice de Condición del Pavimento | Condición del Pavimento |
|---------------------|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|
| Tramo               | Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Área (m²) | Valor del PCI                     | Condición               |
|                     |         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |           |                                   |                         |
| TRAMO 1             | 1       | 0+000        | 0+030       | 30           | 7,2       | 216       | 58,98                             | Bueno                   |
|                     | 4       | 0+090        | 0+120       | 30           | 7,2       | 216       | 96,69                             | Excelente               |
|                     | 7       | 0+180        | 0+210       | 30           | 7,2       | 216       | 98,56                             | Excelente               |
|                     | 10      | 0+270        | 0+300       | 30           | 7,2       | 216       | 99,90                             | Excelente               |
|                     | 13      | 0+360        | 0+390       | 30           | 7,2       | 216       | 75,28                             | Muy Bueno               |

|         |     |       |       |    |     |     |       |           |
|---------|-----|-------|-------|----|-----|-----|-------|-----------|
|         | 16  | 0+450 | 0+480 | 30 | 7,2 | 216 | 78,40 | Muy Bueno |
|         | 19  | 0+540 | 0+570 | 30 | 7,2 | 216 | 69,68 | Bueno     |
|         | 22  | 0+630 | 0+660 | 30 | 7,2 | 216 | 48,97 | Regular   |
|         | 25  | 0+720 | 0+750 | 30 | 7,2 | 216 | 75,65 | Muy Bueno |
|         | 28  | 0+810 | 0+840 | 30 | 7,2 | 216 | 57,05 | Bueno     |
|         | 31  | 0+900 | 0+930 | 30 | 7,2 | 216 | 84,32 | Muy Bueno |
|         | 34  | 0+990 | 1+020 | 30 | 7,2 | 216 | 66,45 | Bueno     |
| TRAMO 2 | 37  | 1+080 | 1+110 | 30 | 7,2 | 216 | 83,19 | Muy Bueno |
|         | 40  | 1+170 | 1+200 | 30 | 7,2 | 216 | 68,80 | Bueno     |
|         | 43  | 1+260 | 1+290 | 30 | 7,2 | 216 | 52,35 | Regular   |
|         | 46  | 1+350 | 1+380 | 30 | 7,2 | 216 | 98,68 | Excelente |
|         | 49  | 1+440 | 1+470 | 30 | 7,2 | 216 | 65,73 | Bueno     |
|         | 52  | 1+530 | 1+560 | 30 | 7,2 | 216 | 79,43 | Muy Bueno |
|         | 55  | 1+620 | 1+650 | 30 | 7,2 | 216 | 49,07 | Regular   |
|         | 58  | 1+710 | 1+740 | 30 | 7,2 | 216 | 50,94 | Regular   |
|         | 61  | 1+800 | 1+830 | 30 | 7,2 | 216 | 83,78 | Muy Bueno |
|         | 64  | 1+890 | 1+920 | 30 | 7,2 | 216 | 79,19 | Muy Bueno |
|         | 67  | 1+980 | 2+010 | 30 | 7,2 | 216 | 87,05 | Excelente |
| TRAMO 3 | 70  | 2+070 | 2+100 | 30 | 7,2 | 216 | 95,26 | Excelente |
|         | 73  | 2+150 | 2+180 | 30 | 7,2 | 216 | 84,64 | Muy Bueno |
|         | 76  | 2+240 | 2+270 | 30 | 7,2 | 216 | 89,80 | Excelente |
|         | 79  | 2+330 | 2+360 | 30 | 7,2 | 216 | 87,47 | Excelente |
|         | 82  | 2+420 | 2+450 | 30 | 7,2 | 216 | 88,64 | Excelente |
|         | 85  | 2+510 | 2+540 | 30 | 7,2 | 216 | 90,07 | Excelente |
|         | 88  | 2+600 | 2+630 | 30 | 7,2 | 216 | 86,24 | Excelente |
|         | 91  | 2+690 | 2+720 | 30 | 7,2 | 216 | 99,96 | Excelente |
|         | 94  | 2+789 | 2+810 | 30 | 7,2 | 216 | 99,30 | Excelente |
|         | 97  | 2+870 | 2+900 | 30 | 7,2 | 216 | 83,25 | Muy Bueno |
|         | 100 | 2+960 | 2+990 | 30 | 7,2 | 216 | 88,02 | Excelente |
| TRAMO 4 | 103 | 3+050 | 3+080 | 30 | 7,2 | 216 | 80,12 | Muy Bueno |
|         | 106 | 3+140 | 3+170 | 30 | 7,2 | 216 | 83,91 | Muy Bueno |
|         | 109 | 3+230 | 3+260 | 30 | 7,2 | 216 | 77,05 | Muy Bueno |
|         | 112 | 3+320 | 3+350 | 30 | 7,2 | 216 | 72,02 | Muy Bueno |
|         | 115 | 3+410 | 3+440 | 30 | 7,2 | 216 | 67,36 | Bueno     |
|         | 118 | 3+500 | 3+530 | 30 | 7,2 | 216 | 90,27 | Excelente |
|         | 121 | 3+590 | 3+620 | 30 | 7,2 | 216 | 81,18 | Muy Bueno |
|         | 124 | 3+680 | 3+710 | 30 | 7,2 | 216 | 79,73 | Muy Bueno |
|         | 127 | 3+770 | 3+800 | 30 | 7,2 | 216 | 76,92 | Muy Bueno |
|         | 130 | 3+860 | 3+890 | 30 | 7,2 | 216 | 90,44 | Excelente |
|         | 133 | 3+950 | 3+980 | 30 | 7,2 | 216 | 81,66 | Muy Bueno |

|         |            |       |       |    |     |     |       |           |
|---------|------------|-------|-------|----|-----|-----|-------|-----------|
| TRAMO 5 | 136        | 4+040 | 4+070 | 30 | 7,2 | 216 | 77,93 | Muy Bueno |
|         | 139        | 4+130 | 4+160 | 30 | 7,2 | 216 | 88,57 | Muy Bueno |
|         | 142        | 4+220 | 4+250 | 30 | 7,2 | 216 | 73,27 | Muy Bueno |
|         | 145        | 4+310 | 4+340 | 30 | 7,2 | 216 | 77,38 | Muy Bueno |
|         | 148        | 4+400 | 4+430 | 30 | 7,2 | 216 | 65,75 | Bueno     |
|         | 151        | 4+490 | 4+520 | 30 | 7,2 | 216 | 77,54 | Muy Bueno |
|         | 154        | 4+580 | 4+610 | 30 | 7,2 | 216 | 69,46 | Bueno     |
|         | 157        | 4+670 | 4+700 | 30 | 7,2 | 216 | 79,47 | Muy Bueno |
|         | 160        | 4+760 | 4+790 | 30 | 7,2 | 216 | 79,19 | Muy Bueno |
|         | 163        | 4+850 | 4+880 | 30 | 7,2 | 216 | 92,18 | Excelente |
|         | 166        | 4+940 | 4+970 | 30 | 7,2 | 216 | 65,32 | Bueno     |
| TRAMO 6 | 169        | 5+030 | 5+060 | 30 | 7,2 | 216 | 73,10 | Muy Bueno |
|         | 172        | 5+120 | 5+150 | 30 | 7,2 | 216 | 80,30 | Muy Bueno |
|         | 175        | 5+210 | 5+240 | 30 | 7,2 | 216 | 91,66 | Excelente |
|         | 178        | 5+300 | 5+330 | 30 | 7,2 | 216 | 90,33 | Excelente |
|         | 181        | 5+390 | 5+420 | 30 | 7,2 | 216 | 66,37 | Bueno     |
|         | 184        | 5+480 | 5+510 | 30 | 7,2 | 216 | 85,74 | Muy Bueno |
|         | 187        | 5+570 | 5+600 | 30 | 7,2 | 216 | 47,72 | Regular   |
|         | 190        | 5+660 | 5+690 | 30 | 7,2 | 216 | 95,51 | Excelente |
|         | 193        | 5+750 | 5+780 | 30 | 7,2 | 216 | 88,40 | Excelente |
|         | 196        | 5+840 | 5+870 | 30 | 7,2 | 216 | 77,56 | Muy Bueno |
|         | 199        | 5+930 | 5+960 | 30 | 7,2 | 216 | 75,80 | Muy Bueno |
|         | 202        | 6+020 | 6+050 | 30 | 7,2 | 216 | 80,33 | Muy Bueno |
|         | 205        | 6+110 | 6+140 | 30 | 7,2 | 216 | 79,22 | Muy Bueno |
|         | Promedio = |       |       |    |     |     | 79,12 | Muy Bueno |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.3 Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín

Se realizó la evaluación del tramo de estudio San Lorenzo – Sella Méndez. con el equipo Merlín.

#### Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín

Para la realización del ensayo mediante la aplicación del Rugosímetro de Merlín se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un tramo de 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía.

La medición del IRI se realizó en cada carril de circulación sobre las dos huellas de circulación de los vehículos.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “Irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del Merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlín, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado la tabla 20. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso.

## Imágenes del ensayo de IRI

Figura N° 62 Equipo de Merlín



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 63 Equipo de merlín en campo



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 64 Lectura con el equipo merlín



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20 Formato de recolección de datos de campo

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 2  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 3  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 4  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 5  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 6  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 7  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 8  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 9  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 10 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 11 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 12 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 13 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| 14 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

|    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración Propia

Las anotaciones del registro de información realizadas para la metodología IRI, se las puede encontrar a detalle en el Anexo 3 del proyecto.

### 3.4.3.1 Procedimiento de cálculo IRI

Se realizará el procedimiento de cálculo de una de las secciones con el método IRI con la rueda de Merlín para determinar rugosidades.

#### Cálculo del rango “D”

La dispersión de los datos obtenidos para el tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” con el rugosímetro 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.

Ejemplo del tramo 3 progresiva de inicio 2+400 progresiva final 2+800 Ida.

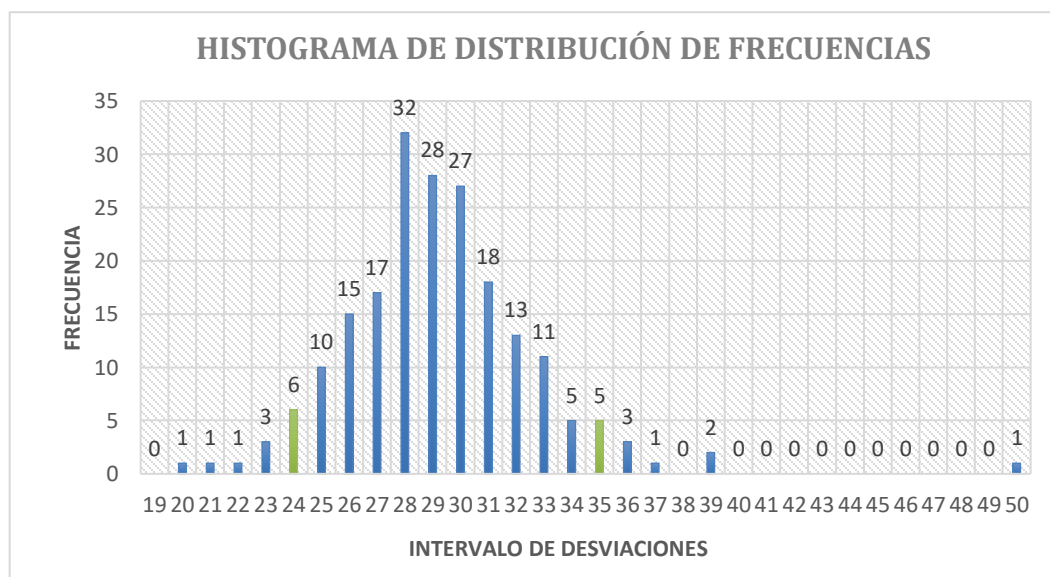
Tabla N° 21 Datos de campo con la Rueda de Merlín

|   | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 23 | 33 | 30 | 26 | 32 | 30 | 26 | 25 | 35 | 26 |
| 2 | 37 | 32 | 31 | 31 | 29 | 26 | 25 | 32 | 24 | 20 |
| 3 | 29 | 32 | 33 | 30 | 26 | 26 | 29 | 30 | 29 | 31 |
| 4 | 26 | 28 | 50 | 26 | 27 | 36 | 30 | 28 | 28 | 23 |
| 5 | 28 | 29 | 27 | 32 | 33 | 33 | 31 | 30 | 33 | 28 |
| 6 | 30 | 32 | 31 | 30 | 32 | 29 | 32 | 31 | 26 | 28 |
| 7 | 31 | 28 | 33 | 26 | 25 | 25 | 29 | 28 | 29 | 28 |
| 8 | 25 | 27 | 27 | 29 | 36 | 28 | 28 | 25 | 28 | 28 |

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 9  | 29 | 31 | 32 | 33 | 30 | 28 | 32 | 31 | 30 | 25 |
| 10 | 28 | 30 | 30 | 22 | 25 | 35 | 28 | 27 | 24 | 31 |
| 11 | 29 | 30 | 24 | 30 | 30 | 34 | 30 | 27 | 28 | 29 |
| 12 | 26 | 29 | 29 | 30 | 27 | 31 | 30 | 32 | 28 | 24 |
| 13 | 31 | 30 | 28 | 29 | 30 | 24 | 33 | 27 | 25 | 30 |
| 14 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 34 | 29 | 30 | 34 | 29 |
| 15 | 28 | 28 | 23 | 39 | 26 | 27 | 27 | 31 | 33 | 28 |
| 16 | 31 | 26 | 31 | 29 | 30 | 26 | 26 | 28 | 29 | 33 |
| 17 | 29 | 35 | 34 | 28 | 27 | 30 | 28 | 33 | 27 | 31 |
| 18 | 29 | 39 | 27 | 34 | 36 | 28 | 30 | 21 | 27 | 32 |
| 19 | 31 | 28 | 28 | 27 | 27 | 28 | 27 | 28 | 31 | 32 |
| 20 | 35 | 25 | 28 | 35 | 30 | 24 | 28 | 29 | 29 | 30 |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 65 Histograma de frecuencias



Fuente: Elaboración propia

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.

**Cálculo del rango D:**

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

$$D = \left( \frac{(6 - 4)}{6} + 10 + \frac{(5 - 3)}{5} \right) * 5 \text{ [mm]}$$

$$D = 53,67 \text{ mm}$$

**Cálculo factor de corrección fc:**

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

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

$$f_c = 0,83 \text{ mm}$$

**Cálculo del rango corregido Dc:**

$$D_c = D * f_c$$

$$D_c = 53,7 * 0,83$$

$$D_c = 44,36 \text{ mm}$$

**Determinación del I.R.I.:**

Para pavimentos nuevos:

|                                    |
|------------------------------------|
| I. R. I. = 0,0485 * D <sub>c</sub> |
|------------------------------------|

$$\rightarrow (IRI < 2,4)$$

Para pavimentos en servicio:

$$\boxed{I. R. I. = 0,593 + 0,0471 * D_c} \rightarrow (2,4 < IRI < 15,9)$$

### **Cálculo del I.R.I.:**

Aplicando la fórmula para pavimentos en servicio:

$$I. R. I. = 0,593 + 0,0471 * D_c$$

$$I. R. I. = 0,593 + 0,0471 * 44,4$$

$$I.R.I.= 2,68 \text{ m/km. Bueno}$$

Tabla N° 22 Clasificación del rango de rugosidad

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

### **3.4.4 Procedimiento de aplicación para el método IFI**

Los ensayos realizados en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez fueron cada 200 metros tanto para el círculo de arena y el péndulo británico (siendo que estos de ser necesario, pueden ser de forma aleatoria) en ambos carriles, es decir de ida y de vuelta.

#### **3.4.4.1 Aplicación del método Péndulo Británico**

##### **Ensayo de Péndulo Británico:**

Primeramente 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 roscar 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.

Figura N° 66 Péndulo Británico



Fuente: Elaboración propia

### **Preparación del aparato**

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

**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.

**Ajuste de la longitud de deslizamiento.** Con el péndulo colgando libre, colocar el espaciador 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,** 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 ( $4\frac{7}{8}$  y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planas o entre 75 y 78 mm ( $2\frac{15}{16}$  y  $3\frac{1}{16}$  de pulgada) en superficies curvas del ensayo medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

### **Imágenes del ensayo Péndulo Británico**

Figura N° 67 Instalación del Péndulo Británico



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 68 Ensayo con equipo del Péndulo Británico



Fuente: Elaboración propia

#### **3.4.4.2 Aplicación del método círculo de arena**

El ensayo del círculo de arena fue realizado en las mismas progresivas y de manera paralela al ensayo péndulo británico, realizados en las mismas progresivas.

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material (arena calibrada) uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre a la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensayo.

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta.

Para dar inicio con el ensayo se realizó la medición de la cantidad de arena en el tubo cilíndrico graduado de 25000 mm<sup>3</sup>, 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.

Para realizar el ensayo del círculo de arena se midieron cinco diámetros por cada ensayo, se las puede encontrar a detalle en el Anexo 4 del proyecto.

Figura N° 69 Materiales para el ensayo círculo de arena



Fuente: Elaboración propia

## Imágenes del ensayo círculo de arena

Figura N° 70 Pesaje de la arena



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 71 Medición de la arena



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 72 Medición del diámetro



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23 Datos del Ensayo Círculo de Arena (Ida)

| Ensayo Círculo de Arena |                |    |    |    |    | Ensayo Péndulo Británico |             |    |    |    |    |
|-------------------------|----------------|----|----|----|----|--------------------------|-------------|----|----|----|----|
| Progr.                  | Diámetros (cm) |    |    |    |    | T °C                     | BPN (adim.) |    |    |    |    |
|                         | 1              | 2  | 3  | 4  | 5  |                          | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 0+000                   | 19             | 21 | 18 | 19 | 19 | 30                       | 48          | 58 | 57 | 58 | 55 |
| 0+200                   | 19             | 19 | 18 | 18 | 17 | 30                       | 58          | 60 | 60 | 64 | 53 |
| 0+400                   | 17             | 16 | 17 | 16 | 18 | 30                       | 55          | 57 | 57 | 58 | 57 |
| 0+600                   | 20             | 21 | 19 | 18 | 19 | 30                       | 54          | 64 | 68 | 60 | 60 |
| 0+800                   | 19             | 18 | 18 | 17 | 19 | 30                       | 60          | 52 | 68 | 74 | 61 |
| 1+000                   | 18             | 19 | 18 | 17 | 18 | 30                       | 60          | 65 | 68 | 67 | 65 |
| 1+200                   | 19             | 19 | 18 | 17 | 19 | 30                       | 59          | 65 | 62 | 67 | 66 |
| 1+400                   | 18             | 17 | 19 | 19 | 17 | 30                       | 65          | 62 | 60 | 65 | 62 |
| 1+600                   | 17             | 17 | 16 | 18 | 18 | 30                       | 64          | 60 | 68 | 65 | 64 |
| 2+000                   | 21             | 21 | 22 | 20 | 19 | 30                       | 72          | 61 | 61 | 70 | 70 |
| 2+200                   | 23             | 24 | 22 | 24 | 23 | 30                       | 50          | 62 | 72 | 62 | 61 |
| 2+400                   | 19             | 20 | 19 | 20 | 20 | 30                       | 60          | 64 | 62 | 60 | 62 |
| 2+800                   | 20             | 19 | 22 | 21 | 22 | 30                       | 63          | 67 | 68 | 66 | 66 |
| 3+000                   | 13             | 14 | 16 | 14 | 16 | 30                       | 50          | 85 | 83 | 50 | 70 |
| 3+200                   | 20             | 19 | 20 | 19 | 18 | 30                       | 68          | 70 | 69 | 69 | 71 |
| 3+400                   | 14             | 16 | 15 | 17 | 14 | 30                       | 64          | 85 | 87 | 85 | 80 |
| 3+600                   | 17             | 18 | 18 | 17 | 16 | 30                       | 72          | 73 | 72 | 76 | 68 |
| 3+800                   | 17             | 18 | 19 | 17 | 17 | 30                       | 76          | 67 | 72 | 65 | 66 |
| 4+000                   | 17             | 17 | 18 | 18 | 17 | 30                       | 65          | 70 | 73 | 70 | 66 |
| 4+200                   | 18             | 17 | 16 | 18 | 17 | 30                       | 69          | 61 | 70 | 74 | 72 |
| 4+400                   | 13             | 16 | 21 | 16 | 23 | 30                       | 70          | 68 | 65 | 75 | 70 |
| 4+600                   | 17             | 19 | 20 | 18 | 19 | 30                       | 64          | 62 | 62 | 52 | 65 |
| 4+800                   | 19             | 17 | 18 | 18 | 20 | 30                       | 66          | 73 | 80 | 66 | 73 |
| 5+000                   | 18             | 17 | 19 | 20 | 19 | 30                       | 70          | 75 | 76 | 75 | 70 |
| 5+200                   | 20             | 18 | 18 | 19 | 19 | 30                       | 75          | 70 | 70 | 69 | 72 |
| 5+400                   | 18             | 19 | 19 | 21 | 18 | 30                       | 70          | 65 | 62 | 65 | 65 |
| 5+600                   | 19             | 19 | 20 | 17 | 19 | 30                       | 62          | 61 | 60 | 59 | 62 |
| 5+800                   | 19             | 17 | 18 | 19 | 17 | 29                       | 65          | 64 | 65 | 66 | 65 |
| 6+000                   | 18             | 19 | 19 | 17 | 18 | 29                       | 65          | 63 | 69 | 70 | 65 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24 Datos del Ensayo Círculo de Arena (Vuelta)

| Ensayo Círculo de Arena |                |    |    |    |    | Ensayo Péndulo Británico |             |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----------------|----|----|----|----|--------------------------|-------------|----|----|----|----|----|
| Progr.                  | Diámetros (cm) |    |    |    |    | T °C                     | BPN (adim.) |    |    |    |    |    |
|                         | 1              | 2  | 3  | 4  | 5  |                          | 1           | 2  | 3  | 4  | 5  |    |
| 6+200                   | 18             | 19 | 19 | 18 | 18 |                          | 29          | 63 | 64 | 67 | 68 | 65 |
| 6+000                   | 18             | 18 | 19 | 19 | 17 |                          | 29          | 60 | 63 | 65 | 63 | 63 |
| 5+800                   | 18             | 17 | 19 | 20 | 19 |                          | 30          | 62 | 64 | 64 | 63 | 64 |
| 5+600                   | 18             | 19 | 19 | 18 | 18 |                          | 30          | 55 | 59 | 65 | 65 | 62 |
| 5+400                   | 17             | 18 | 19 | 20 | 18 |                          | 30          | 60 | 61 | 63 | 58 | 60 |
| 5+200                   | 19             | 19 | 17 | 17 | 18 |                          | 30          | 60 | 60 | 61 | 60 | 63 |
| 5+000                   | 17             | 20 | 19 | 18 | 17 |                          | 30          | 63 | 63 | 68 | 66 | 61 |
| 4+800                   | 20             | 17 | 21 | 21 | 21 |                          | 30          | 66 | 67 | 67 | 68 | 67 |
| 4+600                   | 22             | 20 | 20 | 24 | 22 |                          | 30          | 65 | 73 | 75 | 74 | 72 |
| 4+400                   | 20             | 22 | 20 | 23 | 21 |                          | 30          | 63 | 68 | 60 | 67 | 61 |
| 4+200                   | 20             | 21 | 19 | 20 | 20 |                          | 30          | 70 | 68 | 66 | 68 | 68 |
| 4+000                   | 19             | 20 | 20 | 21 | 19 |                          | 30          | 65 | 68 | 70 | 65 | 70 |
| 3+800                   | 20             | 19 | 18 | 21 | 19 |                          | 30          | 72 | 72 | 69 | 70 | 69 |
| 3+600                   | 20             | 20 | 19 | 21 | 20 |                          | 30          | 75 | 80 | 80 | 78 | 78 |
| 3+400                   | 20             | 23 | 22 | 20 | 20 |                          | 30          | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 |
| 3+000                   | 20             | 16 | 18 | 19 | 19 |                          | 30          | 70 | 72 | 72 | 70 | 70 |
| 2+800                   | 25             | 24 | 22 | 21 | 25 |                          | 30          | 68 | 70 | 68 | 70 | 65 |
| 2+400                   | 24             | 25 | 23 | 25 | 25 |                          | 30          | 68 | 64 | 64 | 68 | 68 |
| 2+200                   | 24             | 23 | 24 | 23 | 24 |                          | 30          | 68 | 68 | 66 | 64 | 68 |
| 2+000                   | 18             | 20 | 19 | 20 | 19 |                          | 30          | 68 | 70 | 65 | 70 | 68 |
| 1+800                   | 17             | 18 | 19 | 19 | 18 |                          | 30          | 69 | 72 | 70 | 70 | 69 |
| 1+600                   | 19             | 18 | 18 | 17 | 17 |                          | 30          | 72 | 70 | 70 | 72 | 70 |
| 1+400                   | 17             | 16 | 15 | 17 | 16 |                          | 30          | 74 | 71 | 69 | 72 | 74 |
| 1+200                   | 17             | 17 | 16 | 16 | 16 |                          | 30          | 71 | 68 | 65 | 68 | 66 |
| 1+000                   | 18             | 17 | 16 | 17 | 16 |                          | 30          | 60 | 65 | 63 | 65 | 62 |
| 0+800                   | 20             | 20 | 19 | 20 | 21 |                          | 30          | 60 | 62 | 62 | 60 | 61 |
| 0+600                   | 24             | 23 | 19 | 23 | 21 |                          | 30          | 58 | 62 | 60 | 60 | 62 |
| 0+400                   | 20             | 20 | 20 | 22 | 23 |                          | 30          | 65 | 61 | 60 | 66 | 64 |
| 0+200                   | 22             | 20 | 21 | 22 | 18 |                          | 30          | 56 | 58 | 57 | 59 | 57 |

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4.3 Procedimiento para el cálculo

Corrección por temperatura de los datos de BPN obtenidos en el ensayo del péndulo británico de acuerdo a la ecuación generada por la siguiente grafica de corrección por temperatura:

Tabla N° 25 Valores promedios de datos tomados en campo

| Círculo de Arena |                         |            | Péndulo de Fricción |       |                      |                       |       |       |       |       |
|------------------|-------------------------|------------|---------------------|-------|----------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Progr.           | V<br>(cm <sup>3</sup> ) | Dp<br>(cm) | Progr.              | T °C  | Coef.<br>De<br>Corr. | BPN corregido (adim.) |       |       |       | Prom. |
| 0+000            | 25                      | 19.20      | 0+000               | 30.00 | 2                    | 50.00                 | 60.00 | 59.00 | 60.00 | 57.20 |
| 0+200            | 25                      | 18.20      | 0+200               | 30.00 | 2                    | 60.00                 | 62.00 | 62.00 | 66.00 | 61.00 |
| 0+400            | 25                      | 16.80      | 0+400               | 30.00 | 2                    | 57.00                 | 59.00 | 59.00 | 60.00 | 58.80 |
| 0+600            | 25                      | 19.40      | 0+600               | 30.00 | 2                    | 56.00                 | 66.00 | 70.00 | 62.00 | 63.20 |
| 0+800            | 25                      | 18.20      | 0+800               | 30.00 | 2                    | 62.00                 | 54.00 | 70.00 | 76.00 | 63.00 |
| 1+000            | 25                      | 18.00      | 1+000               | 30.00 | 2                    | 62.00                 | 67.00 | 70.00 | 69.00 | 67.00 |
| 1+200            | 25                      | 18.40      | 1+200               | 30.00 | 2                    | 61.00                 | 67.00 | 64.00 | 69.00 | 68.00 |
| 1+400            | 25                      | 18.00      | 1+400               | 30.00 | 2                    | 67.00                 | 64.00 | 62.00 | 67.00 | 64.80 |
| 1+600            | 25                      | 17.20      | 1+600               | 30.00 | 2                    | 66.00                 | 62.00 | 70.00 | 67.00 | 66.20 |
| 1+800            | 25                      | 18.20      | 1+800               | 30.00 | 2                    | 66.00                 | 64.00 | 66.00 | 63.00 | 66.00 |
| 2+000            | 25                      | 20.60      | 2+000               | 30.00 | 2                    | 74.00                 | 63.00 | 63.00 | 72.00 | 68.80 |
| 2+200            | 25                      | 23.20      | 2+200               | 30.00 | 2                    | 52.00                 | 64.00 | 74.00 | 64.00 | 63.40 |
| 2+400            | 25                      | 19.60      | 2+400               | 30.00 | 2                    | 62.00                 | 66.00 | 64.00 | 62.00 | 64.00 |
| 2+600            | 25                      | 23.20      | 2+600               | 30.00 | 2                    | 62.00                 | 67.00 | 65.00 | 69.00 | 63.00 |
| 2+800            | 25                      | 20.80      | 2+800               | 30.00 | 2                    | 65.00                 | 69.00 | 70.00 | 68.00 | 68.00 |
| 3+000            | 25                      | 14.60      | 3+000               | 30.00 | 2                    | 52.00                 | 87.00 | 85.00 | 52.00 | 69.60 |
| 3+200            | 25                      | 19.20      | 3+200               | 30.00 | 2                    | 70.00                 | 72.00 | 71.00 | 71.00 | 73.00 |
| 3+400            | 25                      | 15.20      | 3+400               | 30.00 | 2                    | 66.00                 | 87.00 | 89.00 | 87.00 | 82.20 |
| 3+600            | 25                      | 17.20      | 3+600               | 30.00 | 2                    | 74.00                 | 75.00 | 74.00 | 78.00 | 74.20 |
| 3+800            | 25                      | 17.60      | 3+800               | 30.00 | 2                    | 78.00                 | 69.00 | 74.00 | 67.00 | 68.00 |
| 4+000            | 25                      | 17.40      | 4+000               | 30.00 | 2                    | 67.00                 | 72.00 | 75.00 | 72.00 | 68.00 |
| 4+200            | 25                      | 17.20      | 4+200               | 30.00 | 2                    | 71.00                 | 63.00 | 72.00 | 76.00 | 74.00 |
| 4+400            | 25                      | 17.80      | 4+400               | 30.00 | 2                    | 72.00                 | 70.00 | 67.00 | 77.00 | 72.00 |
| 4+600            | 25                      | 18.60      | 4+600               | 30.00 | 2                    | 66.00                 | 64.00 | 64.00 | 54.00 | 67.00 |
| 4+800            | 25                      | 18.40      | 4+800               | 30.00 | 2                    | 68.00                 | 75.00 | 82.00 | 68.00 | 75.00 |
| 5+000            | 25                      | 18.60      | 5+000               | 30.00 | 2                    | 72.00                 | 77.00 | 78.00 | 77.00 | 72.00 |
| 5+200            | 25                      | 18.80      | 5+200               | 30.00 | 2                    | 77.00                 | 72.00 | 72.00 | 71.00 | 74.00 |
| 5+400            | 25                      | 19.00      | 5+400               | 30.00 | 2                    | 72.00                 | 67.00 | 64.00 | 67.00 | 67.40 |
| 5+600            | 25                      | 18.80      | 5+600               | 30.00 | 2                    | 64.00                 | 63.00 | 62.00 | 61.00 | 64.00 |
| 5+800            | 25                      | 18.00      | 5+800               | 29.00 | 1.845                | 66.85                 | 65.85 | 66.85 | 67.85 | 66.85 |

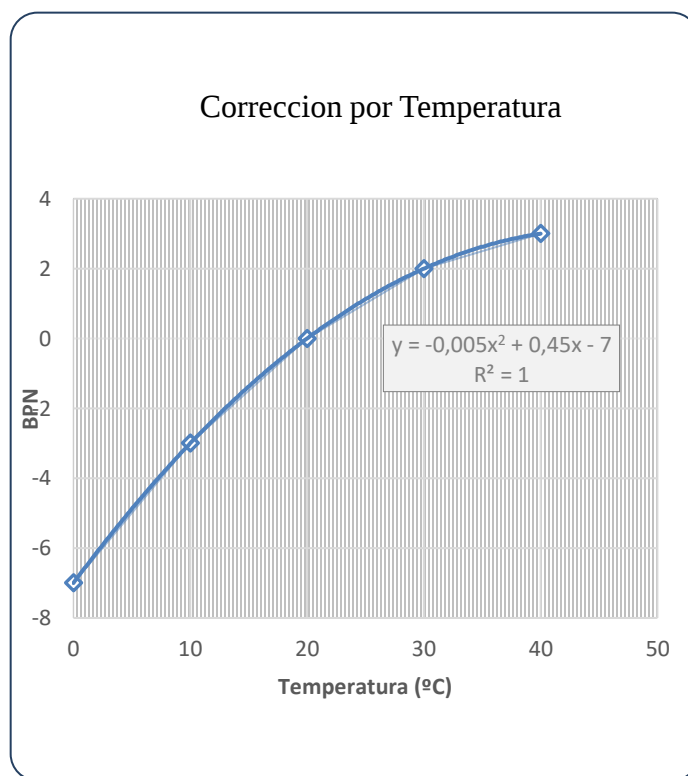
|            |    |       |
|------------|----|-------|
| 6+000      | 25 | 18.20 |
| Promedio = |    | 18.50 |

|            |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6+000      | 29.00 | 1.845 | 66.85 | 64.85 | 70.85 | 71.85 | 66.85 | 68.25 |
| Promedio = |       |       |       |       |       |       |       | 67.60 |

Fuente: Elaboración propi

Corrección por temperatura de los datos de BPN obtenidos en el ensayo del péndulo británico de acuerdo a la ecuación generada por la siguiente grafica de corrección por temperatura:

Figura N° 73 Corrección por temperatura para las medidas de BPN



Fuente: Elaboración propia

### Procedimiento de cálculo para la progresiva 0+400 Ida

- a) Determinación de la textura del pavimento

Donde:

H = Tx la altura de la textura media

V = Volumen de arena utilizado. V=25 cm³ = 25000 mm³

D = Diámetro medio del círculo de arena

$$H = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

$$H = \frac{4 * 25000}{\pi * (16,80)^2}$$

$$H = 1,128$$

b) Determinación de la constante de velocidad  $S_p$

Donde:

Las constantes a y b según norma ASTM E 965

Constantes para el cálculo son:

$$a = -11,5981 \quad b = 113,63246$$

$$S_p = a + b * T_x$$

$$S_p = -11,5981 + 113,63246 * 1,128$$

$$S_p = 116,58$$

c) Determinación del parámetro F60

Donde:

FRs = Valora de la fricción obtenida en campo

S = Velocidad de operación del péndulo = 10 km/hr

$S_p$  = Constante de velocidad

Las constantes A y B según norma ASTM E 274

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

$$FR_{60} = 58,80 * e^{\left(\frac{10-60}{116,58}\right)}$$

$$FR_{60} = 38,29$$

Las constantes A y B según norma ASTM E 274 son:

$$A = 0,078 \quad B = 0,0107$$

$$F_{60} = A + B * FR_{60}$$

$$F_{60} = 0,078 + 0,0107 * 38,29$$

$$F_{60} = 0,488$$

d) Finalmente se puede calcular la fricción a cualquier velocidad

Donde:

F (60) = la fricción a una velocidad de 60 km/hs. (Calculado con el modelo)

S = Es la velocidad a la que queremos calcular la fricción

F(S) = Es la fricción encontrada a partir de la velocidad S

$$F(S) = F_{60} \times e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

#### 3.4.4.4 Resultados de la evaluación superficial mediante el método IFI

Los resultados obtenidos de la evaluación superficial para cada carril de la vía mediante el método IRI se detallan a continuación:

##### Resultados para el carril derecho:

Tabla N° 26 Resultados para el carril derecho IFI

| Progr. | FRs   | Dp    | H =<br>Tx | Sp     | FR60  | F60   |
|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|
| 0+000  | 57.20 | 19.20 | 0.863     | 86.47  | 32.08 | 0.421 |
| 0+200  | 61.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 36.55 | 0.469 |
| 0+400  | 58.80 | 16.80 | 1.128     | 116.58 | 38.29 | 0.488 |
| 0+600  | 63.20 | 19.40 | 0.846     | 84.53  | 34.98 | 0.452 |
| 0+800  | 65.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 38.94 | 0.495 |
| 1+000  | 67.00 | 18.00 | 0.982     | 99.99  | 40.64 | 0.513 |
| 1+200  | 65.80 | 18.40 | 0.940     | 95.22  | 38.92 | 0.494 |
| 1+400  | 64.80 | 18.00 | 0.982     | 99.99  | 39.30 | 0.499 |
| 1+600  | 66.20 | 17.20 | 1.076     | 110.67 | 42.14 | 0.529 |
| 1+800  | 65.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 38.94 | 0.495 |
| 2+000  | 68.80 | 20.60 | 0.750     | 73.63  | 34.89 | 0.451 |
| 2+200  | 63.40 | 23.20 | 0.591     | 55.56  | 25.78 | 0.354 |
| 2+400  | 63.60 | 19.60 | 0.829     | 82.60  | 34.72 | 0.450 |
| 2+600  | 65.20 | 23.20 | 0.591     | 55.56  | 26.51 | 0.362 |
| 2+800  | 68.00 | 20.80 | 0.736     | 72.04  | 33.97 | 0.441 |

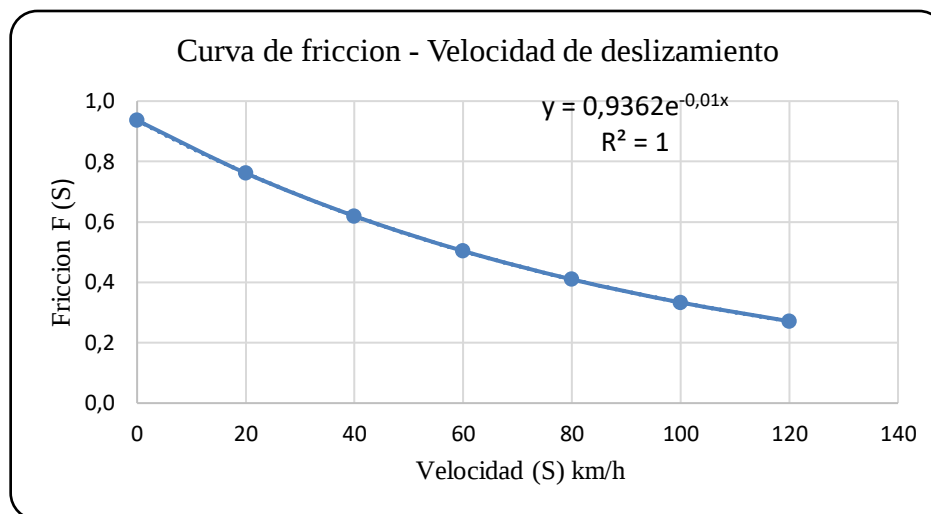
|            |       |       |       |        |       |       |
|------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 3+000      | 69.60 | 14.60 | 1.493 | 158.06 | 50.73 | 0.621 |
| 3+200      | 71.40 | 19.20 | 0.863 | 86.47  | 40.05 | 0.506 |
| 3+400      | 82.20 | 15.20 | 1.378 | 144.99 | 58.22 | 0.701 |
| 3+600      | 74.20 | 17.20 | 1.076 | 110.67 | 47.23 | 0.583 |
| 3+800      | 71.20 | 17.60 | 1.028 | 105.22 | 44.27 | 0.552 |
| 4+000      | 70.80 | 17.40 | 1.051 | 107.83 | 44.53 | 0.554 |
| 4+200      | 71.20 | 17.20 | 1.076 | 110.67 | 45.32 | 0.563 |
| 4+400      | 71.60 | 17.80 | 1.005 | 102.60 | 43.98 | 0.549 |
| 4+600      | 63.00 | 18.60 | 0.920 | 92.94  | 36.79 | 0.472 |
| 4+800      | 73.60 | 18.40 | 0.940 | 95.22  | 43.53 | 0.544 |
| 5+000      | 75.20 | 18.60 | 0.920 | 92.94  | 43.91 | 0.548 |
| 5+200      | 73.20 | 18.80 | 0.901 | 90.78  | 42.20 | 0.530 |
| 5+400      | 67.40 | 19.00 | 0.882 | 88.63  | 38.34 | 0.488 |
| 5+600      | 62.80 | 18.80 | 0.901 | 90.78  | 36.21 | 0.465 |
| 5+800      | 66.85 | 18.00 | 0.982 | 99.99  | 40.54 | 0.512 |
| 6+000      | 68.25 | 18.20 | 0.961 | 97.60  | 40.89 | 0.516 |
| Promedio = |       |       |       | 96.807 |       | 0.504 |

Fuente: Elaboración propia

| S            | 0     | 20    | 40    | 60    | 80    | 100    | 120    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|              | F(0)  | F(20) | F(40) | F(60) | F(80) | F(100) | F(120) |
| <b>F (S)</b> | 0.936 | 0.761 | 0.619 | 0.504 | 0.410 | 0.333  | 0.271  |

|                                                         |       |
|---------------------------------------------------------|-------|
| Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = | 0,373 |
|---------------------------------------------------------|-------|

Figura N° 74 Representación gráfica del IFI para el carril derecho



Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5 Evaluación estructural del tramo

La evaluación estructural del tramo “San Lorenzo – Sella Méndez”, se llevó 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.

#### 3.4.5.1 Procedimiento de medición con la Viga Benkelman

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se definió los puntos donde se tomaron las medidas. Estos puntos fueron a una distancia de 200 m, tanto para el carril de ida y como de vuelta.

Inicialmente se efectuó 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 el ensayo se procedió al pesaje de la volqueta en una balanza eléctrica, se obtuvo una lectura de 8,2 toneladas el pesaje se realizó en la balanza electrónica “Mendoza” en la zona de “El Portillo”.

Luego se procedió a la calibración de las llantas de la volqueta, obteniendo una presión de inflado de 80 psi.

Una vez definidos los puntos se realizaron las mediciones, se procedió tal como se indica en la metodología para la medición de la viga Benkelman, el cual se detalla en la descripción del procedimiento de medición.

Ya en la zona de estudio en el tramo seleccionado, se procedió a marcar los puntos donde se realizar el ensayo, estos puntos fueron marcados a cada 200 m de distancia entre cada punto y a 0.9 m del borde de la carpeta asfáltica coincidiendo con la huella que dejan los vehículos que transitan por la vía para así tener resultados más óptimos.

Para realizar el ensayo de la viga Benkelman se procedió a ensamblar la viga y en cada punto de medición se tuvo que ajustar el tornillo de apoyo principal de tal manera que el puntero del brazo de la viga este en contacto con la superficie asfáltica a la altura del eje vertical de las ruedas traseras de la volqueta. Con los puntos ya seleccionados y la viga Benkelman armada se inició los ensayos en cada punto, realizando lecturas a 50 cm, 1 m, 1.5 m, y 2 m. 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 que se realice el ensayo es necesario tomar la temperatura del asfalto que será necesaria para realizar los cálculos en capítulos siguientes.

Se realiza el mismo procedimiento indicado para todos los puntos a lo largo del tramo.

Se registraron los datos correspondientes en las planillas, se las puede encontrar a detalle en el Anexo 5 del proyecto.

Figura N° 75 Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia

## Imágenes del ensayo con la Viga Benkelman

Figura N° 76 Pasaje de la volqueta en la balanza electrónica



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 77 Ensayo de la Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27 Hoja de levantamiento de datos para la Viga Benkelman

| Progresiva<br>(Km) | Lecturas del dial (0,01 Km) |              |               |               |               |               |               |                |                         |
|--------------------|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------|
|                    | L- a 0<br>cm                | L- a<br>50cm | L- a<br>100cm | L- a<br>150cm | L- a<br>200cm | L- ><br>200cm | T°<br>Asfalto | T°<br>Ambiente | Altura de<br>la carpeta |
| 6+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 6+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 5+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 5+600              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 5+400              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 5+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 5+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 4+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 4+600              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 4+400              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 4+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 4+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 3+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 3+600              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 3+400              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 3+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 3+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 2+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 2+600              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 2+400              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 2+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 2+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 1+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 1+600              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 1+400              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 1+200              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 1+000              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |
| 0+800              |                             |              |               |               |               |               |               |                |                         |

|       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 0+600 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0+400 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0+200 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5.2 Procedimiento de cálculo de deflexiones

Con el equipo ya en campo y el material o instrumentos necesarios se procede a tomar los datos de las deflexiones en el tramo, estas deflexiones fueron tomadas en puntos de ensayos a cada 200 metros en el carril derecho (ida) y luego en el carril izquierdo (vuelta) respectivamente para poder determinar el comportamiento de la estructura del pavimento en todo el ancho de la vía.

Tabla N° 28 Datos Viga Benkelman carril Derecho (Ida)

| Progresiva<br>(Km) | Lecturas del dial (0,01 km) |              |               |               |               |               |            |                |                         |
|--------------------|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|----------------|-------------------------|
|                    | L- a 0<br>cm                | L- a<br>50cm | L- a<br>100cm | L- a<br>150cm | L- a<br>200cm | L- ><br>200cm | T° Asfalto | T°<br>Ambiente | Altura de la<br>carpeta |
| 0+000              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 2             | 37         | 17             | 4                       |
| 0+200              | 0                           | 2            | 4             | 6             | 6             | 8             | 37         | 17             | 4                       |
| 0+400              | 0                           | 2            | 8             | 8             | 10            | 12            | 37         | 17             | 4                       |
| 0+600              | 0                           | 2            | 2             | 6             | 8             | 10            | 37         | 18             | 4                       |
| 0+800              | 0                           | 2            | 2             | 4             | 6             | 6             | 37         | 18             | 4                       |
| 1+000              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 2             | 38         | 18             | 4                       |
| 1+200              | 0                           | 2            | 4             | 6             | 8             | 10            | 38         | 19             | 4                       |
| 1+400              | 0                           | 2            | 6             | 6             | 10            | 12            | 38         | 19             | 4                       |
| 1+600              | 0                           | 2            | 4             | 6             | 8             | 10            | 38         | 19             | 4                       |
| 1+800              | 0                           | 2            | 4             | 6             | 6             | 8             | 39         | 19             | 4                       |
| 2+000              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 4             | 39         | 19             | 4                       |
| 2+200              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 4             | 39         | 19             | 4                       |
| 2+400              | 0                           | 2            | 2             | 4             | 4             | 6             | 40         | 19             | 4                       |
| 2+600              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 4             | 40         | 19             | 4                       |
| 2+800              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 2             | 40         | 19             | 4                       |
| 3+000              | 0                           | 2            | 2             | 2             | 2             | 4             | 40         | 19             | 4                       |

|       |   |   |   |   |    |    |    |    |   |
|-------|---|---|---|---|----|----|----|----|---|
| 3+200 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4  | 4  | 40 | 19 | 4 |
| 3+400 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 4  | 39 | 19 | 4 |
| 3+600 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 39 | 19 | 4 |
| 3+800 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 39 | 19 | 4 |
| 4+000 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4  | 6  | 40 | 20 | 4 |
| 4+200 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 4  | 40 | 20 | 4 |
| 4+400 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 40 | 20 | 4 |
| 4+600 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 40 | 20 | 4 |
| 4+800 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 4  | 39 | 20 | 4 |
| 5+000 | 0 | 2 | 2 | 4 | 6  | 6  | 39 | 20 | 4 |
| 5+200 | 0 | 2 | 4 | 6 | 6  | 10 | 39 | 20 | 4 |
| 5+400 | 0 | 2 | 4 | 6 | 12 | 12 | 38 | 20 | 4 |
| 5+600 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8  | 8  | 38 | 20 | 4 |
| 5+800 | 0 | 2 | 4 | 4 | 6  | 8  | 38 | 20 | 4 |
| 6+000 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4  | 4  | 38 | 20 | 4 |

Fuente: Elaboración propia

Se realizará un ejemplo para la progresiva 0+400 donde se explique claramente el procedimiento a seguir, se debe seguir el mismo procedimiento para todos los puntos.

#### **Cálculo de la deflexión máxima:**

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

$$D_o = 1 * (12 - 0)$$

$$D_o = 12 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### **Factor de corrección por temperatura:**

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

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

$$D_{ot} = \frac{12}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (37 - 20^{\circ}\text{C}) * 4 + 1}$$

$$D_{ot} = 12,36 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### **Deflexión a 50 cm:**

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

$$D_{50} = 1 * (12 - 4)$$

$$D_{50} = 8 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### **Factor de corrección por temperatura:**

$$D_{50t} = \frac{D_{50}}{k * (t - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$D_{50t} = \frac{8}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (37 - 20^{\circ}\text{C}) * 4 + 1}$$

$$D_{50t} = 8,24 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

#### **Radio de curvatura:**

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

$$R_c = \frac{6250}{1 * (12,36 - 8,24)}$$

$$R_c = 758,52 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Se puede observar con mayor detalle los resultados del método en el anexo 9.

#### **Deflexión admisible**

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

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

N18 = Número total de ejes equivalentes DE 8.2 Ton.

Se realizó la determinación del número de ESALs o número de ejes equivalentes que el tramo San Lorenzo- Sella Méndez mediante el procedimiento simplificado que sirve para realizar una rápida estimación de ESALs. (Anexo 10)

El número de ejes equivalentes será ESALs = 1.775.550 para un periodo de 20 años.

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

$$D_a = \left( \frac{1,15}{1.775.550} \right)^{1/4}$$

$$D_a = 89,7 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

El pavimento del tramo San Lorenzo – Sella Méndez tendrá capacidad estructural suficiente para resistir las solicitaciones del tráfico de diseño, para las condiciones de resistencia, siempre que la deflexión máxima sea menor que la deflexión admisible.

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO Y ANÁLISIS

#### 4.1 Evaluación superficial del tramo

##### 4.1.1 Resultados parciales del método PCI

Las tablas de resultados de PCI de cada unidad de muestra se describen en el anexo 6. En el capítulo IV se resumen los resultados del PCI (Índice De Condición De Pavimento) del tramo San Lorenzo – Sella Méndez.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en todas las unidades de muestra en cada kilómetro a lo largo de todo el tramo.

Estos resultados se los clasificó según los rangos establecidos en el manual del PCI (Norma ASTM D643303) como se muestra a continuación.

Tabla N° 29 Rangos de clasificación del PCI

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

Fuente: Manual del PCI (Norma ASTM D6433-03)

## Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro

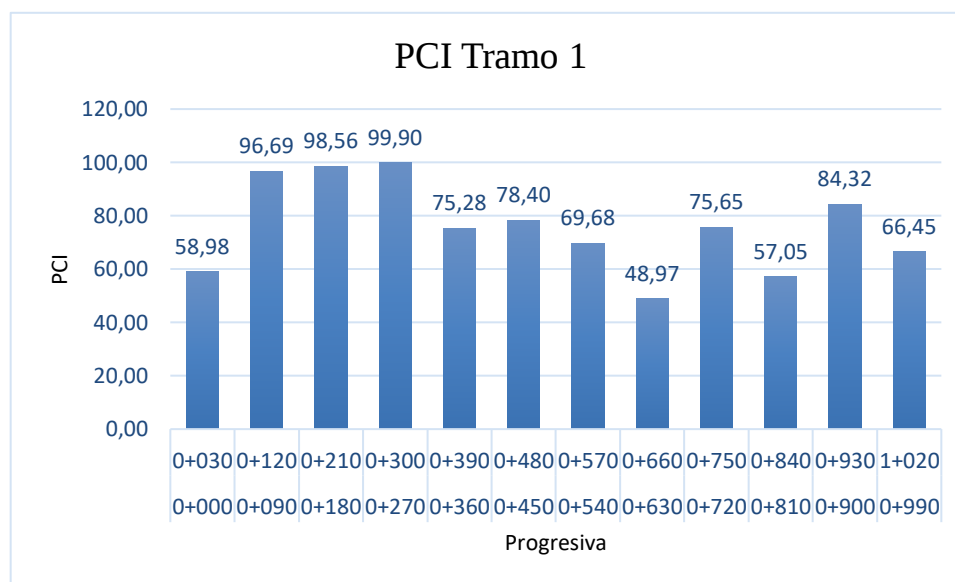
### Calificación del tramo 1:

Tabla N° 30 Resultados del PCI para el tramo 1

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m <sup>2</sup> ) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |                        |       |           |
| 1       | 0+000        | 0+030       | 30           | 7.2       | 216                    | 58.98 | Bueno     |
| 4       | 0+090        | 0+120       | 30           | 7.2       | 216                    | 96.69 | Excelente |
| 7       | 0+180        | 0+210       | 30           | 7.2       | 216                    | 98.56 | Excelente |
| 10      | 0+270        | 0+300       | 30           | 7.2       | 216                    | 99.90 | Excelente |
| 13      | 0+360        | 0+390       | 30           | 7.2       | 216                    | 75.28 | Muy Bueno |
| 16      | 0+450        | 0+480       | 30           | 7.2       | 216                    | 78.40 | Muy Bueno |
| 19      | 0+540        | 0+570       | 30           | 7.2       | 216                    | 69.68 | Bueno     |
| 22      | 0+630        | 0+660       | 30           | 7.2       | 216                    | 48.97 | Regular   |
| 25      | 0+720        | 0+750       | 30           | 7.2       | 216                    | 75.65 | Muy Bueno |
| 28      | 0+810        | 0+840       | 30           | 7.2       | 216                    | 57.05 | Bueno     |
| 31      | 0+900        | 0+930       | 30           | 7.2       | 216                    | 84.32 | Muy Bueno |
| 34      | 0+990        | 1+020       | 30           | 7.2       | 216                    | 66.45 | Bueno     |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 78 PCI vs progresiva del tramo 1



Fuente: Elaboración propia

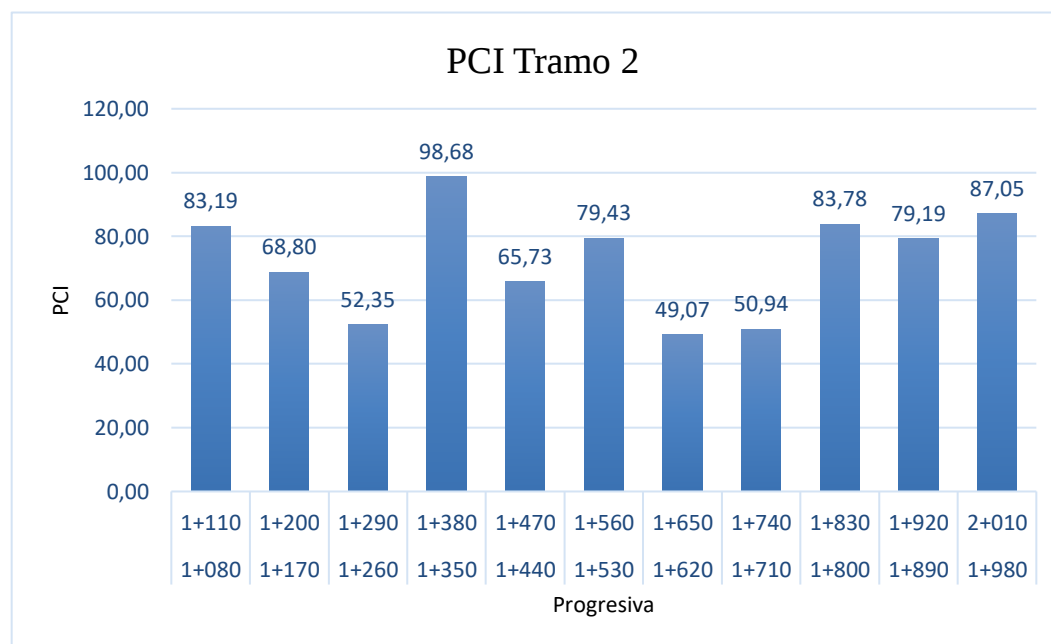
## Calificación del tramo 2:

Tabla N° 31 Resultados del PCI para el tramo 2

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m²) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |           |       |           |
| 37      | 1+080        | 1+110       | 30           | 7.2       | 216       | 83.19 | Muy Bueno |
| 40      | 1+170        | 1+200       | 30           | 7.2       | 216       | 68.80 | Bueno     |
| 43      | 1+260        | 1+290       | 30           | 7.2       | 216       | 52.35 | Regular   |
| 46      | 1+350        | 1+380       | 30           | 7.2       | 216       | 98.68 | Excelente |
| 49      | 1+440        | 1+470       | 30           | 7.2       | 216       | 65.73 | Bueno     |
| 52      | 1+530        | 1+560       | 30           | 7.2       | 216       | 79.43 | Muy Bueno |
| 55      | 1+620        | 1+650       | 30           | 7.2       | 216       | 49.07 | Regular   |
| 58      | 1+710        | 1+740       | 30           | 7.2       | 216       | 50.94 | Regular   |
| 61      | 1+800        | 1+830       | 30           | 7.2       | 216       | 83.78 | Muy Bueno |
| 64      | 1+890        | 1+920       | 30           | 7.2       | 216       | 79.19 | Muy Bueno |
| 67      | 1+980        | 2+010       | 30           | 7.2       | 216       | 87.05 | Excelente |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 79 PCI vs progresiva del tramo 2



Fuente: Elaboración propia

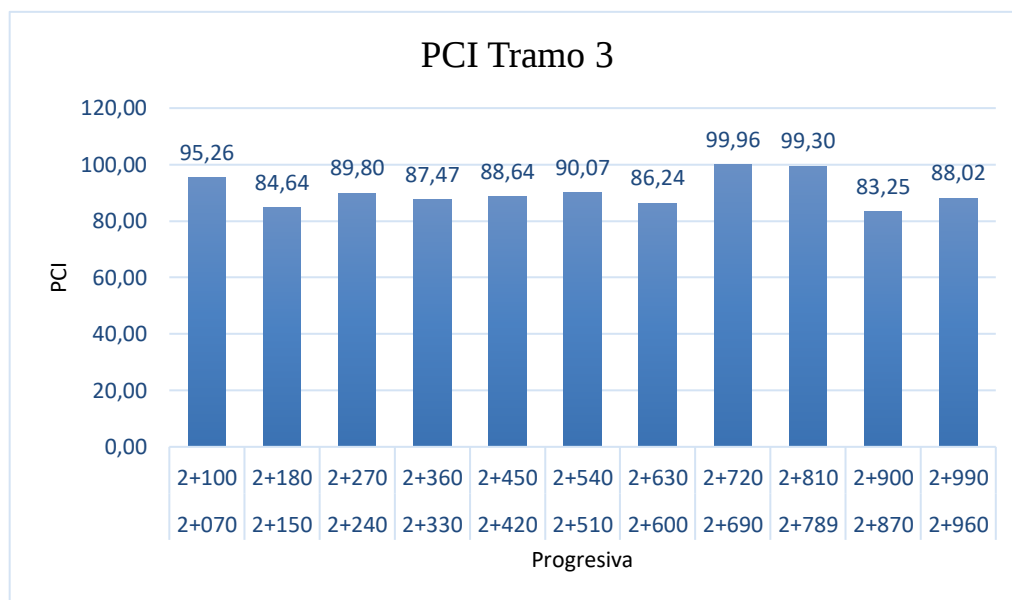
### Calificación del tramo 3:

Tabla N° 32 Resultados del PCI para el tramo 3

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m <sup>2</sup> ) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |                        |       |           |
| 70      | 2+070        | 2+100       | 30           | 7.2       | 216                    | 95.26 | Excelente |
| 73      | 2+150        | 2+180       | 30           | 7.2       | 216                    | 84.64 | Muy Bueno |
| 76      | 2+240        | 2+270       | 30           | 7.2       | 216                    | 89.80 | Excelente |
| 79      | 2+330        | 2+360       | 30           | 7.2       | 216                    | 87.47 | Excelente |
| 82      | 2+420        | 2+450       | 30           | 7.2       | 216                    | 88.64 | Excelente |
| 85      | 2+510        | 2+540       | 30           | 7.2       | 216                    | 90.07 | Excelente |
| 88      | 2+600        | 2+630       | 30           | 7.2       | 216                    | 86.24 | Excelente |
| 91      | 2+690        | 2+720       | 30           | 7.2       | 216                    | 99.96 | Excelente |
| 94      | 2+789        | 2+810       | 30           | 7.2       | 216                    | 99.30 | Excelente |
| 97      | 2+870        | 2+900       | 30           | 7.2       | 216                    | 83.25 | Muy Bueno |
| 100     | 2+960        | 2+990       | 30           | 7.2       | 216                    | 88.02 | Excelente |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 80 PCI vs progresiva del tramo 3



Fuente: Elaboración propia

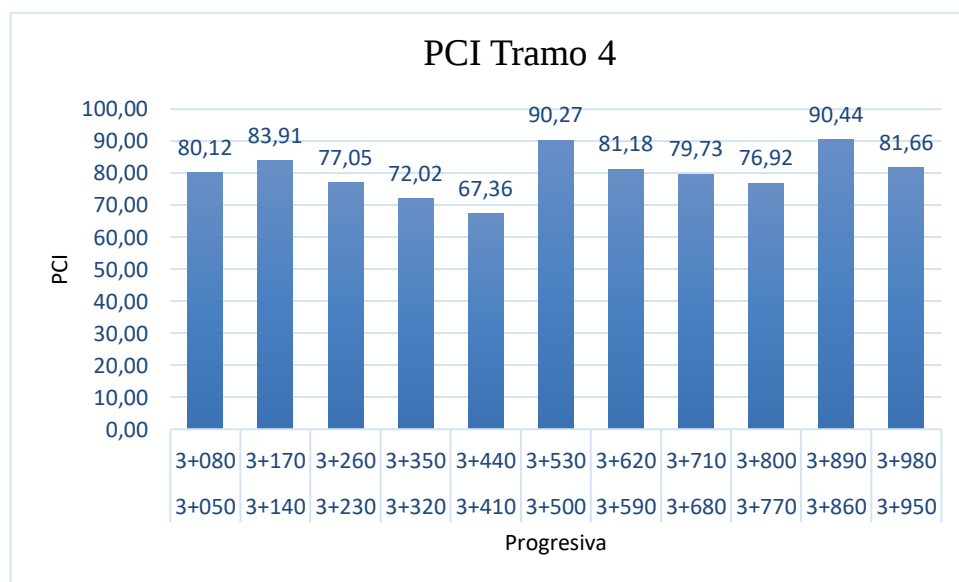
### Calificación del tramo 4:

Tabla N° 33 Resultados del PCI para el tramo 4

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m <sup>2</sup> ) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |                        |       |           |
| 103     | 3+050        | 3+080       | 30           | 7.2       | 216                    | 80.12 | Muy Bueno |
| 106     | 3+140        | 3+170       | 30           | 7.2       | 216                    | 83.91 | Muy Bueno |
| 109     | 3+230        | 3+260       | 30           | 7.2       | 216                    | 77.05 | Muy Bueno |
| 112     | 3+320        | 3+350       | 30           | 7.2       | 216                    | 72.02 | Muy Bueno |
| 115     | 3+410        | 3+440       | 30           | 7.2       | 216                    | 67.36 | Bueno     |
| 118     | 3+500        | 3+530       | 30           | 7.2       | 216                    | 90.27 | Excelente |
| 121     | 3+590        | 3+620       | 30           | 7.2       | 216                    | 81.18 | Muy Bueno |
| 124     | 3+680        | 3+710       | 30           | 7.2       | 216                    | 79.73 | Muy Bueno |
| 127     | 3+770        | 3+800       | 30           | 7.2       | 216                    | 76.92 | Muy Bueno |
| 130     | 3+860        | 3+890       | 30           | 7.2       | 216                    | 90.44 | Excelente |
| 133     | 3+950        | 3+980       | 30           | 7.2       | 216                    | 81.66 | Muy Bueno |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 81 PCI vs progresiva del tramo 4



Fuente: Elaboración propia

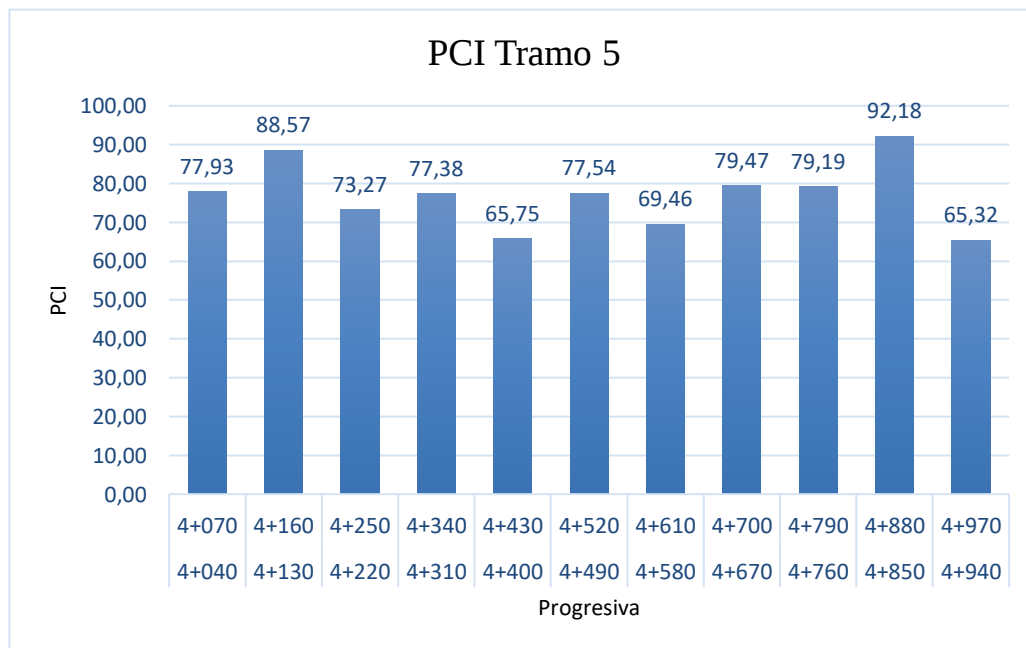
### Calificación del tramo 5:

Tabla N° 34 Resultados del PCI para el tramo 5

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m <sup>2</sup> ) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|------------------------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |                        |       |           |
| 136     | 4+040        | 4+070       | 30           | 7.2       | 216                    | 77.93 | Muy Bueno |
| 139     | 4+130        | 4+160       | 30           | 7.2       | 216                    | 88.57 | Muy Bueno |
| 142     | 4+220        | 4+250       | 30           | 7.2       | 216                    | 73.27 | Muy Bueno |
| 145     | 4+310        | 4+340       | 30           | 7.2       | 216                    | 77.38 | Muy Bueno |
| 148     | 4+400        | 4+430       | 30           | 7.2       | 216                    | 65.75 | Bueno     |
| 151     | 4+490        | 4+520       | 30           | 7.2       | 216                    | 77.54 | Muy Bueno |
| 154     | 4+580        | 4+610       | 30           | 7.2       | 216                    | 69.46 | Bueno     |
| 157     | 4+670        | 4+700       | 30           | 7.2       | 216                    | 79.47 | Muy Bueno |
| 160     | 4+760        | 4+790       | 30           | 7.2       | 216                    | 79.19 | Muy Bueno |
| 163     | 4+850        | 4+880       | 30           | 7.2       | 216                    | 92.18 | Excelente |
| 166     | 4+940        | 4+970       | 30           | 7.2       | 216                    | 65.32 | Bueno     |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 82 PCI vs progresiva del tramo 5



Fuente: Elaboración propia

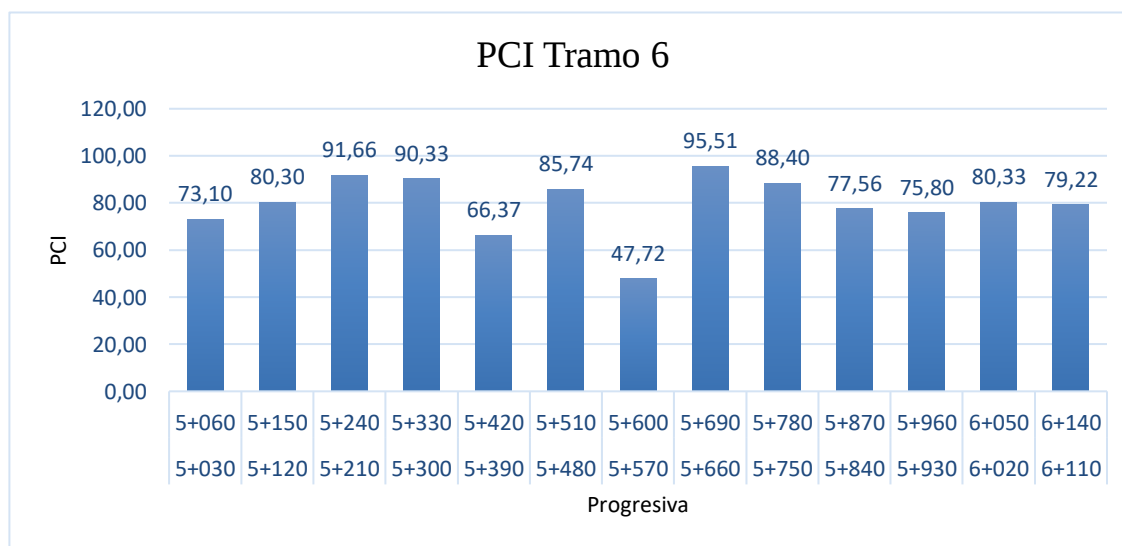
## Calificación del tramo 6:

Tabla N° 35 Resultados del PCI para el tramo 6

| Muestra | Progresiva   |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Area (m²) | PCI   | Condición |
|---------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-------|-----------|
|         | Prog. Inicio | Prog. Final |              |           |           |       |           |
| 169     | 5+030        | 5+060       | 30           | 7.2       | 216       | 73.10 | Muy Bueno |
| 172     | 5+120        | 5+150       | 30           | 7.2       | 216       | 80.30 | Muy Bueno |
| 175     | 5+210        | 5+240       | 30           | 7.2       | 216       | 91.66 | Excelente |
| 178     | 5+300        | 5+330       | 30           | 7.2       | 216       | 90.33 | Excelente |
| 181     | 5+390        | 5+420       | 30           | 7.2       | 216       | 66.37 | Bueno     |
| 184     | 5+480        | 5+510       | 30           | 7.2       | 216       | 85.74 | Muy Bueno |
| 187     | 5+570        | 5+600       | 30           | 7.2       | 216       | 47.72 | Regular   |
| 190     | 5+660        | 5+690       | 30           | 7.2       | 216       | 95.51 | Excelente |
| 193     | 5+750        | 5+780       | 30           | 7.2       | 216       | 88.40 | Excelente |
| 196     | 5+840        | 5+870       | 30           | 7.2       | 216       | 77.56 | Muy Bueno |
| 199     | 5+930        | 5+960       | 30           | 7.2       | 216       | 75.80 | Muy Bueno |
| 202     | 6+020        | 6+050       | 30           | 7.2       | 216       | 80.33 | Muy Bueno |
| 205     | 6+110        | 6+140       | 30           | 7.2       | 216       | 79.22 | Muy Bueno |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 83 PCI vs progresiva del tramo 6



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Tabla de resultados del todo el tramo

Tabla N° 36 Resultados del PCI

| Tramo   | Tramo de Evaluación |             |              |           |           | Índice de Condición del Pavimento | Condición del Pavimento |
|---------|---------------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|
|         | Progresiva          |             | Longitud (m) | Ancho (m) | Área (m²) | PCI                               | Condición               |
|         | Prog. Inicio        | Prog. Final |              |           |           |                                   |                         |
| Tramo 1 | 0+000               | 1+020       | 30           | 7.2       | 216       | 75.83                             | Muy Bueno               |
| Tramo 2 | 1+020               | 2+010       | 30           | 7.2       | 216       | 72.57                             | Muy Bueno               |
| Tramo 3 | 2+010               | 3+020       | 30           | 7.2       | 216       | 90.24                             | Excelente               |
| Tramo 4 | 3+020               | 4+010       | 30           | 7.2       | 216       | 80.06                             | Muy Bueno               |
| Tramo 5 | 4+010               | 5+000       | 30           | 7.2       | 216       | 76.92                             | Muy Bueno               |
| Tramo 6 | 5+000               | 6+200       | 30           | 7.2       | 216       | 79.39                             | Muy Bueno               |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Tratamiento estadístico

A continuación, se mostrará el tratamiento estadístico realizado para cualificar y cuantificar el comportamiento de las variables, en este caso la variable del PCI es una variable cualitativa ordinal ya que presenta una modalidad no numérica y toma valores ordenados siguiendo una escala establecida, por lo tanto, se realiza el siguiente tratamiento estadístico.

##### Estadística descriptiva

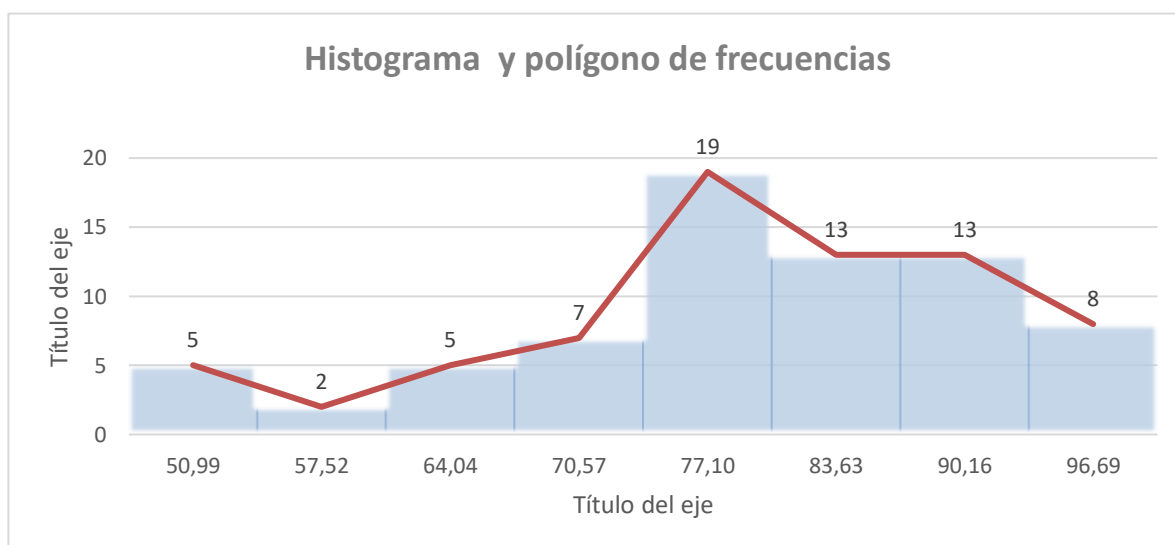
| PCI                        | Cálculos previos |
|----------------------------|------------------|
| N° datos                   | 69               |
| Límite inferior            | 47,72            |
| Límite superior            | 99,96            |
| Rango                      | 52,23            |
| N° Clases                  | 8,0              |
| Tamaño de clase o Amplitud | 6,53             |

Tabla N° 37 Tabla de frecuencias PCI

Fuente: Elaboración propia

| N° de clases | Intervalos de clase |                 | Marca | Frecuencia observada | F Acumulada | % de F | % F Acumulado |
|--------------|---------------------|-----------------|-------|----------------------|-------------|--------|---------------|
|              | Límite inferior     | Límite superior |       |                      |             |        |               |
| 1            | 47.72               | 54.25           | 50.99 | 5                    | 5           | 7.25%  | 7.25%         |
| 2            | 54.25               | 60.78           | 57.52 | 2                    | 7           | 2.90%  | 10.14%        |
| 3            | 60.78               | 67.31           | 64.04 | 5                    | 12          | 7.25%  | 17.39%        |
| 4            | 67.31               | 73.84           | 70.57 | 7                    | 19          | 10.14% | 27.54%        |
| 5            | 73.84               | 80.37           | 77.10 | 19                   | 38          | 27.54% | 55.07%        |
| 6            | 80.37               | 86.90           | 83.63 | 13                   | 51          | 18.84% | 73.91%        |
| 7            | 86.90               | 93.43           | 90.16 | 13                   | 64          | 18.84% | 92.75%        |
| 8            | 93.43               | 99.96           | 96.69 | 8                    | 72          | 11.59% | 104.35%       |

Figura N° 84 Diagrama de frecuencias PCI



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar gracias al tratamiento estadístico que la mayor cantidad de muestras se encuentran en una condición de Muy bueno, lo cual nos indica que según el método del PCI la vía se encuentra en condiciones aptas para los usuarios.

|              |       |
|--------------|-------|
| Media        | 78.92 |
| Error típico | 1.59  |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Mediana                  | 79.72   |
| Desviación estándar      | 13.26   |
| Varianza de la muestra   | 175.92  |
| Curtosis                 | 0.33    |
| Coeficiente de asimetría | -0.74   |
| Rango                    | 54.87   |
| Mínimo                   | 45.08   |
| Máximo                   | 99.95   |
| Suma                     | 5445.69 |
| Cuenta                   | 69      |

### Prueba de Hipótesis

$$H_0 = \bar{X} < \mu \quad H_i = \bar{X} \geq \mu \quad n = 69$$

$$\mu = 55$$

$$\bar{X} = 78.92$$

$$\text{Para Nivel de confianza} = 95\% \quad Z = 1.645$$

$$\text{Desviación estándar} \quad S = 13.26$$

$$Z_{cal} = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$Z_{cal} = \frac{78.92 - 55}{\frac{13.26}{\sqrt{69}}}$$

$$Z_{cal} = 14.95$$

$$Z_{cal} > Z_{crit}$$

$$14.98 > 1.645 \quad \rightarrow \quad H_0 \text{ Se Rechaza}$$

$$H_i \rightarrow \text{Se Acepta}$$

**Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula (Ho), por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa (Hi).

**Conclusión:** Gracias a la prueba de hipótesis se puede afirmar que la condición del tramo supera el promedio de 55.

#### 4.1.3.1 Análisis de los resultados PCI

A continuación, se hará un análisis de los resultados obtenidos para así tener una idea más clara de los resultados que se consiguieron.

##### 4.1.3.1.1 Análisis de resultados según el porcentaje de cada tipo de falla

Después de realizar la evaluación superficial del tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” y con los resultados obtenidos anteriormente se pudo observar que la mayor cantidad de fallas se encuentran en el tramo 5 y en segundo lugar en el tramo 3 pero no muy distante a la cantidad de fallas existentes en los demás tramos como se muestra en las tablas.

#### Cantidad de metros de cada falla según su severidad en cada km

##### Tramo 1

Tabla N° 38 Metrado de fallas según severidad en el tramo

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L     | M     | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|-------|-------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |       |       |      |          |            |
| 0+000        | 1+020       | Piel de Cocodrilo                      | m²     | 28.77 |       |      | 28.77    | 11.34      |
|              |             | Exudación                              | m²     | 1.84  |       |      | 1.84     | 0.73       |
|              |             | Depresión                              | m²     | 8.3   |       |      | 8.3      | 3.27       |
|              |             | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 10.21 | 12.94 |      | 23.15    | 9.12       |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m²     | 4.51  | 16.45 |      | 20.96    | 8.26       |
|              |             | Baches                                 | m²     | 9.02  | 3.61  |      | 12.63    | 4.98       |
|              |             | Ahullamiento                           | m²     |       | 21.57 |      | 21.57    | 8.50       |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m²     | 39.05 | 88.6  | 8.85 | 136.5    | 53.80      |
|              |             |                                        |        |       |       |      |          | Suma       |

Fuente: Elaboración propia

## Tramo 2

Tabla N° 39 Metrado de fallas según severidad en el tramo 2

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L      | M     | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|--------|-------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |        |       |      |          |            |
| 1+020        | 2+010       | Grieta de Borde                        | m      | 7.28   | 6.3   |      | 13.58    | 3.06       |
|              |             | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 276.23 | 49.94 | 7.36 | 333.53   | 75.16      |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m²     | 14.36  | 29.47 |      | 43.83    | 9.88       |
|              |             | Baches                                 | m      | 2.28   | 5.71  | 0.83 | 8.82     | 1.99       |
|              |             | Ahullamiento                           | m²     |        | 7.38  |      | 7.38     | 1.66       |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m²     | 26.52  | 10.08 |      | 36.6     | 8.25       |
|              |             |                                        |        |        |       | Suma | 443.74   | 100.00     |

Fuente: Elaboración propia

## Tramo 3

Tabla N° 40 Metrado de fallas según severidad en el tramo 3

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L      | M     | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|--------|-------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |        |       |      |          |            |
| 2+010        | 3+020       | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 182.96 | 32.47 |      | 215.43   | 91.09      |
|              |             | Grieta de Borde                        | m      | 2.18   | 11.47 |      | 13.65    | 5.77       |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m²     |        | 0.71  |      | 0.71     | 0.30       |
|              |             | Baches                                 | m      | 0.24   |       |      | 0.24     | 0.10       |
|              |             | Ahullamiento                           | m²     | 4.84   |       |      | 4.84     | 2.05       |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m²     |        | 1.64  |      | 1.64     | 0.69       |
|              |             |                                        |        |        |       | Suma | 236.51   | 100.00     |

Fuente: Elaboración propia

**Tramo 4**

Tabla N° 41 Metrado de fallas según severidad en el tramo 4

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L      | M     | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|--------|-------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |        |       |      |          |            |
| 3+020        | 4+010       | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 306.46 | 53.11 | 8.55 | 368.12   | 89.33      |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m²     | 29.46  | 4.08  |      | 33.54    | 8.14       |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m²     |        | 3.28  | 5.19 | 8.47     | 2.06       |
|              |             | Baches                                 | m      | 0.18   | 1.77  |      | 1.95     | 0.47       |
|              |             |                                        |        |        |       | Suma | 412.08   | 100.0      |

Fuente: Elaboración propia

**Tramo 5**

Tabla N° 42 Metrado de fallas según severidad en el tramo

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L      | M      | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|--------|--------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |        |        |      |          |            |
| 4+010        | 5+000       | Abultamiento                           | m      | 60.92  | 29.5   |      | 90.42    | 15.60      |
|              |             | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 319.26 | 121.65 |      | 440.91   | 76.06      |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m²     | 21.09  |        |      | 21.09    | 3.64       |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m²     |        | 19.13  |      | 19.13    | 3.30       |
|              |             | Baches                                 | m²     | 0.32   |        |      | 0.32     | 0.06       |
|              |             | Ahullamiento                           | m²     | 7.8    |        |      | 7.8      | 1.35       |
|              |             |                                        |        |        |        | Suma | 579.67   | 100.0      |

Fuente: Elaboración propia

**Tramo 6**

Tabla N° 43 Metrado de fallas según severidad en el tramo 6

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad | L     | M     | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|--------|-------|-------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |        |       |       |      |          |            |
| 5+000        | 6+200       | Grietas Longitudinales y Transversales | m      | 56.41 | 40.02 | 1.55 | 97.98    | 31.56      |

|  |  |                              |                |       |        |      |        |        |
|--|--|------------------------------|----------------|-------|--------|------|--------|--------|
|  |  | Parcheo y Acometidas         | m <sup>2</sup> |       | 165.38 |      | 165.38 | 53.27  |
|  |  | Desprendimiento de Agregados | m <sup>2</sup> | 44.36 |        |      | 44.36  | 14.29  |
|  |  | Baches                       | m <sup>2</sup> | 0.71  | 0.96   | 1.08 | 2.75   | 0.89   |
|  |  |                              |                |       |        | Suma | 310.47 | 100.00 |

Fuente: Elaboración propia

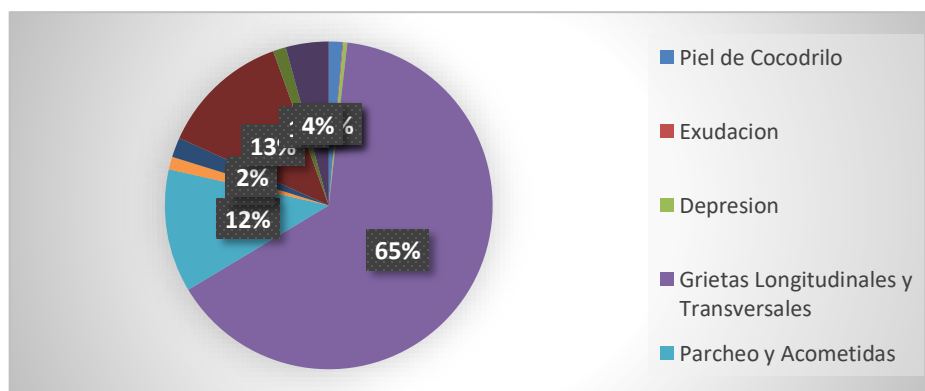
#### 4.1.3.2 Cantidad de metros de cada falla según su severidad en todo el tramo

Tabla N° 44 Metrado de fallas según severidad en todo el tramo

| Progresiva   |             | Tipo de Falla                          | Unidad         | L      | M      | H    | Cantidad | % de Falla |
|--------------|-------------|----------------------------------------|----------------|--------|--------|------|----------|------------|
| Prog. Inicio | Prog. Final |                                        |                |        |        |      |          |            |
| 0+000        | 6+200       | Piel de Cocodrilo                      | m <sup>2</sup> | 28.77  |        |      | 28.77    | 1.35       |
|              |             | Exudación                              | m <sup>2</sup> | 1.84   |        |      | 1.84     | 0.09       |
|              |             | Depresión                              | m <sup>2</sup> | 8.3    |        |      | 8.3      | 0.39       |
|              |             | Grietas Longitudinales y Transversales | m              | 1151.5 | 218.16 | 10.1 | 1379.76  | 64.57      |
|              |             | Parcheo y Acometidas                   | m <sup>2</sup> | 18.87  | 235.52 | 5.19 | 259.58   | 12.15      |
|              |             | Baches                                 | m <sup>2</sup> | 12.75  | 12.05  | 1.91 | 26.71    | 1.25       |
|              |             | Ahullamiento                           | m <sup>2</sup> | 12.64  | 28.95  |      | 41.59    | 1.95       |
|              |             | Desprendimiento de Agregados           | m <sup>2</sup> | 160.48 | 103.47 | 8.85 | 272.8    | 12.77      |
|              |             | Grieta de Borde                        | m              | 9.46   | 17.77  |      | 27.23    | 1.27       |
|              |             | Abultamiento                           | m              | 60.92  | 29.5   |      | 90.42    | 4.23       |
|              |             |                                        |                |        |        | Suma | 2137     | 100.00     |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 85 Porcentaje de cada tipo de falla en todo el tramo



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 44 y en la figura 84 la falla predominante en el tramo “San Lorenzo - Sella Méndez” son **Grietas Longitudinales y Transversales** con un 64,57 %, otra falla considerable en el tramo es desprendimiento de agregados con un 12,77 % y la falla parcheo y acometida con un 12,15%. El resto de las fallas son menos considerables y con porcentajes mucho más bajos comparado al de las fallas ya mencionadas.

### **Grietas longitudinales y transversales**

#### **Descripción**

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

#### **Niveles de severidad**

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

## Medida

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

## Opciones de reparación

L= No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.

M= Sellado de grietas.

H= Sellado de grietas. Parcheo parcial.

### 4.1.3.3 Análisis de resultados según la clasificación del PCI en todo el tramo

Tabla N° 45 Calificación del PCI por kilómetro en todo el tramo

| Tramo   | Tramo de Evaluación |                |                 |              |                           | Índice de<br>Condición del<br>Pavimento | Condición<br>del<br>Pavimento |
|---------|---------------------|----------------|-----------------|--------------|---------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
|         | Progresiva          |                | Longitud<br>(m) | Ancho<br>(m) | Área<br>(m <sup>2</sup> ) | PCI                                     | Condición                     |
|         | Prog.<br>Inicio     | Prog.<br>Final |                 |              |                           |                                         |                               |
| Tramo 1 | 0+000               | 1+020          | 30              | 7.2          | 216                       | 75.83                                   | Muy Bueno                     |
| Tramo 2 | 1+020               | 2+010          | 30              | 7.2          | 216                       | 72.57                                   | Muy Bueno                     |
| Tramo 3 | 2+010               | 3+020          | 30              | 7.2          | 216                       | 90.24                                   | Excelente                     |
| Tramo 4 | 3+020               | 4+010          | 30              | 7.2          | 216                       | 80.06                                   | Muy Bueno                     |
| Tramo 5 | 4+010               | 5+000          | 30              | 7.2          | 216                       | 76.92                                   | Muy Bueno                     |
| Tramo 6 | 5+000               | 6+200          | 30              | 7.2          | 216                       | 79.39                                   | Muy Bueno                     |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 46 Calificación del PCI de todo el tramo

| Tramo "San Lorenzo - Sella Méndez"     |             |       |                                                     |
|----------------------------------------|-------------|-------|-----------------------------------------------------|
| Clasificación del PCI en todo el tramo |             |       |                                                     |
| Progresiva                             |             | PCI   | Calificación de la Condición del pavimento flexible |
| Prog. Inicio                           | Prog. Final |       |                                                     |
| 0+000                                  | 6+200       | 79,12 | Muy Bueno                                           |

Fuente: Elaboración propia

Concluyendo con el análisis en la totalidad del tramo estudiado en sus 6,2 km, se obtiene un valor del PCI de 79,12 que nos da una calificación del pavimento de Muy Bueno, por lo tanto esto quiere decir que la superficie del pavimento flexible en el tramo está aún en muy buenas condiciones de seguridad y serviciabilidad, de igual manera serán muy importantes los trabajos de mantenimiento y prevención para solucionar las fallas que presente la vía y así la vía pueda seguir brindando comodidad y calidad de tránsito a los usuarios como también garantizar el cumplimiento de la vida útil del tramo.

#### 4.3.4.4. Plan de Mantenimiento

El estado del pavimento flexible del tramo aún se encuentra en una condición Muy Bueno, por lo tanto, es un buen momento para intervenir el tramo y evitar mayores fallas y por lo tanto mayor costo de mantenimiento.

Esta sección hace referencia a las actividades del mantenimiento propuesto en el tramo San Lorenzo- Sella Méndez. Se realiza una descripción del procedimiento de cada actividad a realizar, además se detalla las especificaciones de los materiales a emplear en los trabajos recomendados.

#### Actividades de Mantenimiento

Las actividades que se deben realizar en el tramo San Lorenzo - Sella Méndez dependen directamente del tipo de intervención al que será sometido. A continuación, se describe los objetivos de cada una de las actividades que se realizará durante la intervención del tramo, así como también se especifica en qué consiste cada uno de estos.

## **Reparación o instalación de defensas laterales metálicas (Flex Beam)**

Las defensas metálicas semi maleables constituyen un sistema de protección continuo, que tiene como finalidad la absorción máxima de la energía cinética de los vehículos que casualmente se choquen con dicho sistema, de forma que evite la colisión con estructuras fijas. Dicho sistema de protección, evita que los vehículos salgan de la calzada, se utiliza también en las situaciones donde exista riesgos de caída de vehículos en terraplenes muy altos. Las defensas metálicas podrán ser simples, cuando sean instaladas en carreteras de pista simples o bermas a la derecha; y dobles cuando sean instaladas en carreteras de pista doble o bermas a la izquierda.

### ***Materiales***

#### **Defensas metálicas**

Las defensas metálicas, son dispositivos que se presentan en láminas de 4 m. de largo y 31 cm de ancho, que son fijadas en postes, a través de un espaciador y pernos de fijación.

#### **Postes**

Los postes para la fijación de las defensas, tendrán la dimensión que se indica en los planos, largo suficiente para que la parte enterrada y la altura externa atiendan las indicaciones del diseño.

El espaciador deberá medir 20. cm de altura y 20 cm. de ancho, proporcionando una fijación adecuada de la lámina al poste. El cuerpo de las defensas semi maleables y sus componentes de fijación (pernos, espaciadores y soportes de fijación), serán fabricadas de material metálico no deformable.

#### **Pernos**

Los pernos para fijación en los soportes y para montaje de las chapas deberán ser galvanizados.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.

El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas.

Los tramos de defensa metálica o sus componentes, que estén dañados, se dismantelarán totalmente. La remoción se realizará cuidadosamente hasta los límites establecidos, con el equipo adecuado y de tal manera que las partes restantes de la defensa no sean dañadas. Inmediatamente antes de la reposición de un tramo de defensa o alguno de sus elementos, la superficie de la defensa existente que recibirá el nuevo tramo estará limpia, exenta de substancias extrañas, polvo o humedad excesiva. Para tal objeto se limpiará energéticamente toda la superficie, empleando cepillos, agua a presión o aire comprimido. Previo a la ejecución de los trabajos se marcará la localización y disposición de los postes de soporte y de los extremos. Identificada la disposición se realizará una excavación manual para su colocación, a una profundidad no menor a 1,0 m.

La ubicación de los postes deberá ser de por lo menos 0,50 m del borde de la berma. Cimentar los postes verificando que quede vertical. Se rellenará en parte con el mismo suelo excavado en capas delgadas, cada una de las cuales se compactará mediante pisonés, de modo que, al complementar el relleno, el poste quede vertical y firmemente empotrado. En los últimos 30 cm, medidos desde la superficie del terreno se debe colocar hormigón tipo E o D. el poste deberá sobresalir una longitud mínima de 75cm desde la berma hasta la parte superior.

### **Remplazo o instalación de tachas reflectivas (Ojos de gato)**

Las tachas reflectivas (ojos de gato) son dispositivos para delimitación de carriles en las calzadas, con el objeto de mejorar la percepción del conductor de los límites de la superficie de rodadura y auxiliar el conductor en situaciones que puedan presentar riesgos para su seguridad.

Estos dispositivos pueden ser colocados con formas, colores y diferentes materiales.

#### ***Materiales***

Tachas B, A o R, pernos adhesivos

| Color    | Retrorreflectancia (mcd/lx) |
|----------|-----------------------------|
| Blanca   | 276                         |
| Amarilla | 167                         |
| Rojo     | 70                          |

Fuente: Manual de Diseño de Conservación Vial ABC

### **Pegamento epóxico**

El pegamento o resina epoxi es un polímero termoestable que se endurece al combinarse con un catalizador.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

La colocación de tachas se realizará sólo en días secos.

Las tachas y tachones reflectivos serán clavados y pegados en el pavimento. Antes de la implantación, se realizará una demarcación previa, para garantizar la correcta ubicación y alineamiento de las piezas.

Antes de la fijación de las piezas se procederá a la limpieza del pavimento con escoba, cepillo de acero, lija, detergente y aire comprimido. Cuando se peguen las piezas en pavimento de asfalto u hormigón, se verificará si la superficie está libre de cualquier residuo tal como polvo, tierra, arena, manchas de aceite y otros.

Las piezas se fijan en un hueco ejecutado con taladro de diámetro compatible a la dimensión del perno de fijación de la pieza. La profundidad del hueco será igual al tamaño del perno más un centímetro. Se deberá llenar con solución adhesiva cualquier vacío del verso de la pieza, inmediatamente se procederá a la fijación la pieza en el pavimento.

Si es necesario se realizará una limpieza con espátula, para retirar el exceso de solución adhesiva que surgirá durante la fijación evitando así que los elementos reflectivos sean cubiertos y se acumule suciedad.

Después de la fijación, la pieza será comprimida contra el suelo, permitiendo de esta manera que se logre una perfecta adherencia y nivelación.

El tramo donde fueron colocadas las tachas, será liberado al tráfico, después de un tiempo comprendido entre de 20 y 60 minutos de concluida la operación, dependiendo de las condiciones climáticas.

Periódicamente se realizará limpieza de los elementos reflectivos y la reposición de piezas averiadas, removiendo todo el material averiado, el perno y la solución adhesiva restante en el local. La periodicidad de esta operación de limpieza dependerá de las condiciones locales de la carretera y de sus tramos, tales como el tráfico promedio diario, número de accesos a caminos de tierra, etc.

## **Mantenimiento de señales verticales**

Consiste en reponer o reemplazar las señales verticales (preventivas, informativas y reglamentarias) que debido a su deterioro, pérdida o necesidad de colocación en nuevos lugares que las requieran. Tiene como principal objetivo el reponer, reemplazar o instalar las señales verticales con la finalidad de ofrecer información y seguridad a los usuarios que transitan por la vía.

### ***Materiales***

#### **Placas**

Las placas para señalización vertical lateral se confeccionarán con planchas de acero laminado en caliente, de 2,5 mm de espesor, a excepción de las planchas para escudos, las cuales tendrán un espesor de placa de 1,5 mm. Las dimensiones planas, como altura y ancho, serán las correspondientes al tipo de señal con una tolerancia de  $\pm 1$  mm. Los cortes rectos deberán efectuarse con guillotina y los circulares en máquinas tijera; los vértices deberán despuntarse con un radio variable según el tamaño de la placa. Todas las aristas tienen que pulirse. Las placas deben ser galvanizadas en caliente de acuerdo a la norma ASTM A 123, salvo que el Proyecto especifique otro tipo de protección. El espesor del galvanizado deberá ser como mínimo de 65  $\mu\text{m}$ .

#### **Postes prefabricados**

Son piezas prefabricadas de hormigón armado, de sección cuadrada y longitudes variables de acuerdo a las necesidades, estos postes permiten el colocado de señalizaciones de todo tipo en carreteras y vías de acceso.

Los postes de hormigón armado para el sostén de las señales serán colocados a la profundidad de 1.00 metro. Tendrán sección cuadrada con 12 cm de lado. Serán contruidos con hormigón tipo C y acero de  $f > 2400$  kg/cm<sup>2</sup>. Si son metálicos serán de acero galvanizado de diámetro de 4 pulgadas.

#### **Pernos**

Las placas se deberán fijar a los postes con pernos zincados de 6 x 64 mm. Las tuercas también deberán ser zincadas.

## **Hormigón**

El relleno de las excavaciones para empotrar los postes de sustentación deberá efectuarse con hormigón Grado H-20.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.

El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas. Adoptar las medidas de seguridad necesarias cuando los trabajos se realicen con el puente de servicio, antes de iniciar los trabajos.

Localizar los puntos donde se repondrán las señales verticales de acuerdo con el estado de deterioro.

Cuando únicamente se vayan a reponer las placas de las señales, éstas se retiran completamente sin dañar su estructura de soporte u otras placas. Cuando se vaya a reponer una parte de la estructura de soporte, se removerán de acuerdo a lo indicado a la norma de conservación “703 Reposición o Instalación de Postes para señales verticales”

Inmediatamente antes de la reparación, la superficie de la estructura de soporte que recibirá la nueva placa, estará limpia, exenta de sustancias extrañas, polvo o humedad excesiva. Para tal objeto se limpiará energéticamente toda la superficie, empleando cepillos de alambre, agua o arena a presión o aire comprimido, según se requiera.

Previo a la instalación de las señales, se marcará la localización y disposición de las señales en los lugares requeridos. El emplazamiento de la señal deberá cumplir con lo establecido en la sección 1.6 Emplazamiento del Manual de dispositivos de control de Tránsito de la ABC.

Las placas serán fijadas a los postes mediante pernos 3/8” por 6”

La dimensión de las placas, material, espesor, retroflexión mínima y coordenadas cromáticas para los colores, deberán cumplir todo lo establecido en la sección 1.5 Color y Retroreflectancia del Manual de Dispositivos de Control de Tránsito de la ABC. 9. Retirar la señal deteriorada y llevarla al sitio de depósito previsto para el efecto.

Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad de forma inversa a como fueron colocados.

## **Reposición de marcas en el pavimento**

Mantener permanentemente las marcas sobre un pavimento flexible para la demarcación adecuada de los carriles. Por marcas se entienden, líneas continuas o discontinuas, símbolos o leyendas aplicadas sobre la superficie de la calzada con la finalidad de informar, prevenir o regular el tránsito.

### ***Materiales***

#### **Pinturas reflectivas**

Estas pinturas proporcionan la película de mayor calidad dentro de las convencionales y al mismo tiempo su proceso de secado es el más rápido por ser sólo físico.

Están constituidas por polímeros acrílicos puros, fundamentalmente de metil-metacrilato, o bien se modifican con estireno, por ejemplo, con el fin de mejorar su extensibilidad e incluso aumentar su dureza superficial, aunque la resistencia a la intemperie es sensiblemente menor, presentando tendencia al amarillamiento.

Las ventajas de este tipo de pintura son:

- Alta calidad de la película de acabado.
- Tiempo de secado en terreno más cortó que las restantes películas convencionales.
- Mejores propiedades con menor contenido en ligante y pigmento.
- Muy buena resistencia a la intemperie y a los agentes químicos.
- Compatibilidad con pavimentos de hormigón.

#### **Microesferas de vidrio**

Estas microesferas le otorgan al material base la propiedad de reflexión, es decir, la característica de retrorreflexión que debe poseer la demarcación.

Existen dos tipos de microesferas, una para el mezclado y otra para el sembrado. Así se distingue que aquellas para el mezclado son incorporadas al material base antes de la aplicación, lográndose la retrorreflexión una vez que la acción del tránsito pone al descubierto las microesferas sumergidas en la capa de pintura. En cambio, las microesferas de sembrado corresponden a aquellas que son fabricadas y especificadas para

ser proyectadas sobre la pintura recién aplicada, consiguiendo con esto la retrorreflexión en forma inmediata.

La intensidad de la retrorreflexión dependerá de la correcta aplicación en su cantidad y en las características técnicas relacionadas con la esfericidad, granulometría, índice de refracción, apariencia y defectos, y resistencia a agentes químicos.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se deberá disponer de banderilleros para dirigir el tráfico.

El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas. Adoptar las medidas de seguridad necesarias cuando los trabajos se realicen con el puente en servicio, antes de iniciar los trabajos.

Realizar la limpieza superficial para eliminar aquellos elementos que puedan influir negativamente en la calidad de la señalización. La superficie del pavimento deberá aplicarse sobre una superficie limpia y seca.

La demarcación que se aplique deberá ser compatible con el sustrato (pavimento o demarcación antigua) en caso contrario, deberá efectuarse algún tratamiento superficial tal como la eliminación de las marcas existentes.

Las marcas obsoletas, si existieran deberán removerse, ya sea con removedores químicos de pintura, limpieza con chorro de arena, chorros de agua de alta presión, quema de altas temperaturas (excepto en pavimentos asfálticos) y métodos mecánicos. Ningún método se puede aplicar para todos los casos; cada uno da mejores resultados dependiendo del material por remover. Las líneas de marca no se deben borrar con pintura negra ya que esta se desgasta y deja visible la línea original.

Realizar previamente un replanteo de los trabajos por ejecutar, para lo cual, en el eje de demarcación o en su línea de referencia, se colocarán círculos de no más de 30 mm de diámetro, pintados con el mismo color que se utilizará en la demarcación definitiva, separadores entre sí por una distancia no superior a cinco metros en curva y diez en recta. Verificar las condiciones ambientales de aplicación, considerando que no se podrá efectuar si el pavimento se encuentra húmedo ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5 °C o superior a 35°C, ni tampoco cuando la velocidad del viento supere los

km/h. además, se debe emplear la temperatura indicada por el fabricante, según la temperatura del punto de rocío.

Proceder con la aplicación del material, en forma tal que se asegure una correcta dosificación, una homogeneidad longitudinal y transversal, y un perfilado de líneas.

Se deberá llevar diariamente un control de ejecución en el que figuren, al menos; el tipo y calidad de materiales consumidos; el tipo de demarcación; las dimensiones de la demarcación; la fecha y hora de aplicación; la temperatura y humedad relativa al comienzo y al final de la jornada y la calidad de metros cuadrados o metros aplicados.

La pintura se aplicará a razón de 22,7 lt/km y los glóbulos de vidrio 0,73 kg/lt. tanto la pintura como los glóbulos de vidrio deberán cumplir con las especificaciones establecidas en la sección 9.3 Señalización horizontal 8ETG-56) de las ETG-2012. El equipo autopropulsado, deberá contar con mecanismos que regulen automáticamente la calidad de pintura, el ancho, la cantidad de glóbulos de vidrio y la intermitencia de rayas.

Efectuar el control de los materiales. Se tomarán una o más muestras de cada partida llegada al sitio de trabajo y demás durante su aplicación, se ensayarán para verificar el cumplimiento de los requisitos básicos y de uniformidad. En el caso del muestreo durante la aplicación, las muestras de material, exceptuando los glóbulos de vidrio, se tomarán directamente del dispositivo de aplicación de la máquina, al que previamente se le habrá cortado el suministro de aire de atomización. Los glóbulos de vidrio se muestrearán por medio de un cuarteo extraído de un envase cerrado

Durante la aplicación se verificarán las dosis de los materiales colocados, las dimensiones y espaciamiento de la demarcación, y las condiciones climáticas observadas durante su aplicación.

Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, el pavimento, las bermas y demás elementos de la vía.

Trasladar los materiales extraídos o sobrantes a depósitos de excedentes automatizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia

Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

### **Sellado de fisuras**

Este trabajo consiste en definir el procedimiento para el sello de grietas y fisuras en los pavimentos, debidas a daños superficiales. Esta técnica de conservación tiene como principal objetivo impedir el acceso del agua producto de la precipitación a las capas subyacentes del pavimento. Se aplica a pavimentos con fisuras aisladas de tipo funcional o levemente ramificadas.

### ***Materiales***

#### **Asfalto diluido RC**

El asfalto diluido RC es una mezcla de asfalto de penetración con un destilado de petróleo muy volátil, por lo cual el producto se clasifica como de curado rápido.

#### **Sellante**

Es un revestimiento asfáltico resistente a la humedad, para mantenimiento preventivo, para sellar y proteger superficies recubiertas de asfalto. Está diseñado para proporcionar una protección máxima en áreas de estacionamiento, caminos de acceso, rampas de carga, y virtualmente todas las superficies exteriores recubiertas de asfalto.

#### **Emulsión CSS-1H**

La emulsión CSS-1H es una emulsión catiónica de quiebre lento, de color café y estado líquido. Estas emulsiones muestran buena estabilidad al almacenamiento y transporte, así como o excelente adherencia y cubrimiento con diferentes agregados pétreos. No se recomienda su uso cuando la temperatura está por debajo de los 10°C.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.

El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas.

Identificar las zonas de fisuras y grietas a sellar, procediendo a marcarlas directamente sobre el pavimento con yeso, tiza u otro material de color visible.

Previamente y dependiendo del espesor y del tipo de agrietamiento, se seleccionará el tipo de material más apropiado, los cuales podrán ser cemento asfáltico, asfalto rebajado (los cuales poseen poca flexibilidad y muy susceptibles a cambios de temperatura) asfaltos

modificados con polímeros, con caucho (mejora su resistencia y elasticidad) o sellantes epóxicos o poliuretánicos

Realizar la limpieza de la superficie objeto de trabajo utilizando escobillado y un chorro de aire a presión, limpio y seco (sin aceite ni humedad), generando por un compresor móvil. Tanto el espacio formado por la grieta, como el área adyacente a la misma, debe estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material suelto, previo a continuar con la siguiente operación.

Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del sellante con las paredes de la fisura y/o grieta. Para este cometido se deberá tener muy en cuenta la temperatura tanto de calentado como de aplicación del sellante, sea este de base asfáltica, epóxica o poliuretánica.

Al tender el sellante sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o exceso de material sellante sobre la misma o que fluya por la superficie circundante, debido principalmente a que afecte negativamente la estética de la vía y ocasiona un leve impacto negativo en la comodidad y en la seguridad al disminuir la resistencia al deslizamiento.

El mezclado o preparación de las mezclas deberán realizarse por medio de equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y que sean muy maniobrables ya que es un trabajo que debe hacerse bastante rápido en la carretera

El trabajo de sellado solo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5°C e inferior a 30°C.

### **Corte de carpeta asfáltica**

En este trabajo se presentan los fundamentos mecánicos para el análisis del proceso de remoción de pavimentos asfálticos. La remoción de la capa superior del pavimento se realiza mediante el corte de la carpeta de rodadura con maquinaria que tienen un funcionamiento en trayectoria circular.

### ***Materiales***

#### **Martillo Neumático**

El martillo neumático es una herramienta de perforación por aire comprimido usada en construcción. Es manipulada por un solo operario y se utiliza para perforar diferentes tipos de superficies. Puede funcionar con electricidad o de forma hidráulica.

### **Compresor portátil Diesel**

Dispositivo que tiene como objetivo aumentar la presión de los fluidos como el aire y el gas, gracias a la activación de su motor.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se deberá disponer de banderilleros para dirigir el tráfico.

El corte del pavimento se efectuará con equipo especial, que obtenga resultados similares de corte hasta una profundidad adecuada, con la finalidad de proceder posteriormente a romper dicho perímetro en pequeños trozos con martillos neumáticos o taladros.

Se cuidará que los bordes aserrados del pavimento existente, presenten caras rectas y normales a la superficie de la base. La rotura del pavimento, deberá realizarse teniendo especial cuidado en adoptar formas geométricas regulares, con ángulos rectos y evitando formar ángulos agudos. Los bordes deben ser perpendiculares a la superficie.

La parte resultante del pavimento debajo del aserrado debe quedar irregular y áspero, pero siempre en un plano vertical, de manera de obtener la adherencia entre el material de reparación y el pavimento existente.

Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como se fueron colocados

### **Replanteo y trazado en carpeta asfáltica**

El replanteo y trazado es la ubicación de todos los puntos necesarios para materializar los elementos de estudio previamente realizados, tomando como base las indicaciones establecidas en los estudios respectivos como paso previo a la refacción de la obra.

### ***Materiales***

#### **Pintura látex para demarcación**

Pintura que puede ser aplicada sobre pavimentos asfálticos o de concreto hidráulico, de buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, humedad, grasas y aceites derivados del petróleo y a la abrasión severa y constante. La pintura debe conservar durante mucho tiempo sus propiedades de adherencia, resistencia al desgaste y visibilidad tanto en el día como en la noche. Así también, la pintura no debe contener plomo, mercurio, cadmio, cromo u otros metales pesados tóxicos.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se deberá disponer de banderilleros para dirigir el tráfico.

El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad de acuerdo con las normas establecidas. Adoptar las medidas de seguridad necesarias, antes de iniciar los trabajos.

Las áreas a trabajar se demarcarán con pintura sobre el pavimento asfáltico.

Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como fueron colocados.

### **Limpieza y retiro de material**

Comprende todos los trabajos necesarios para mantener la obra libre de desechos, además de contemplar el carguío, traslado y disposición de todos los desechos generados en la obra.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad. Se deben contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.

Los materiales resultantes de la excavación serán retirados fuera del sitio de la obra hasta un lugar donde no interfiera con la ejecución de la misma. Posteriormente se transporta el material de excavación a los sitios de disposición.

Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como se fueron colocados

### **Imprimación**

En este trabajo de Riegos de imprimación y de adherencia se realiza la aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular, previa a la colocación sobre ésta, de una capa o de un tratamiento bituminoso.

### **Material**

#### **Asfalto diluidos RC**

El asfalto diluido RC es una mezcla de asfalto de penetración con un destilado de petróleo muy volátil, por lo cual el producto se clasifica como de curado rápido.

Con el asfalto RC se consigue una buena penetración para efectos de la imprimación de la vía previa a la construcción de los tratamientos del proyecto. El asfalto diluido será calentado de tal manera que no haya contacto con el vapor o agente empleado para el

proceso, se suministrará permanentemente termómetros de precisión adecuada, en grados centígrados, para el control de la temperatura de aplicación del asfalto diluido.

Los asfaltos diluidos deben presentar un aspecto homogéneo y estar exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se los caliente a la temperatura de empleo.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.

Se deben contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.

El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas

Se deberá remover todo material suelto o extraño con la barredora, en lugares inaccesibles a los equipos mecánicos, se permitirá el uso de escobas manuales. Detectar errores y corregirlos.

La superficie deberá ser humedecida, sin llegar a la saturación, previamente al riego de imprimación. La aplicación del ligante se hará de manera uniforme tanto longitudinal como transversal, evitando la duplicación en las juntas transversales, para la cual se colocarán tiras de papel u otro material adecuado en las zonas de iniciación o terminación del trabajo, de manera que el riego comience y termine sobre estas.

La dosificación definitiva será resultado de los riegos iniciales de prueba, como referencia estos se encuentran entre 0,7 – 1,2 l/m<sup>2</sup>. la aplicación del riego deberá cumplir todo lo establecido en la sección 5.9 ETG 2- 09 Imprimación Bituminosa.

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminosos, se corregirá la anomalía mediante la adición de ligante o agregados de protección, respectivamente.

Permitir que el asfalto cure y penetre por un periodo de 24hrs, no debe permitirse ningún tránsito sobre él.

Retirar señales y dispositivos de seguridad en orden inverso a como se fueron colocados.

### **Bacheo Superficial**

Reparación de daños o defectos superficiales, tales como baches, peladuras, pulido de la superficie, erosión longitudinal de la carpeta, ahuellamientos, protuberancias, áreas con grietas que solo comprometan a la carpeta asfáltica y que no obedecen a deficiencia de las capas inferiores del pavimento flexible.

Remoción y deshecho de la carpeta asfáltica deteriorada existente, en áreas reducidas aisladas, recompactación del material de base subyacente y la colocación y compactación de una nueva capa asfáltica en espesores no mayores a 10cm, en coincidencia con niveles de la superficie original.

### ***Materiales***

#### **Mezcla asfáltica en caliente**

Es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

#### **Emulsión asfáltica SS**

Las SS-1h es una emulsión aniónica de quiebre lento, de color café y estado normal líquido. Tiene residuo asfáltico duro. Su densidad es variable según su temperatura, pero para efectos prácticos se puede considerar igual a 1 kg/lit.

#### **Asfalto diluido RC**

Es una mezcla de asfalto de penetración con un destilado de petróleo muy volátil, del tipo de gasolina, que imparten a los asfaltos diluidos sus distintos tiempos de corte o curado.

### ***Procedimiento de ejecución del trabajo***

Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad que garanticen la seguridad de los trabajadores y el ordenamiento del tránsito vehicular sin riesgos de accidentes.

El personal debe contar con los uniformes, cascos, chalecos reflectivos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas

Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitarlas con pintura dándoles forma rectangular o cuadradas con sus lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada y excedidas 15 cm de la superficie dañada.

Demoler la carpeta asfáltica existente en el área demarcada empleando las sierras o los martillos rompe asfaltos comenzando dentro del perímetro demarcado. Las paredes deben quedar parejas y verticales.

Remover los fragmentos, cargados en el camión, transportar los escombros hasta las zonas autorizadas, descargarlos y distribuirlos uniformemente.

Regularizar y recompactar con la plancha vibratoria la capa de base expuesta, añadiendo agua uniformemente para incrementar su contenido de humedad de ser necesario, especial atención deberá darse a la compactación en las áreas próximas al perímetro del bache.

Las paredes y fondo de la zona del bache, deben limpiarse mediante un barrido enérgico, que elimine todas las partículas sueltas y luego, de preferencia mediante soplado; las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias.

Impregnar con asfalto diluido o emulsión la superficie expuesta de la base, así como en los bordes verticales de la carpeta asfáltica existente. El material de imprimación deberá cumplir lo establecido en la sección 5.11.2.1 ETG 2-11 Carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente de las ETG-2010. Se debe verificar que la emulsión haya alcanzado la rotura o que la imprimación haya penetrado debidamente.

Colocar la mezcla asfáltica mediante rastrillos, con el espesor suelto necesario para que una vez compactada quede ligeramente sobre el nivel de la superficie de rodadura (alrededor de 0,3 cm). Se deben utilizar, de preferencia, mezclas asfálticas de tipo CA 60-70 o CA 85-100. Su dosificación se deberá ajustar a lo señalado en la sección 5.11.2.4. ETG2.11 ETG2-11 Carpeta de concreto asfáltico.

La compactación se deberá realizar con un rodillo neumático o liso > 3T de peso. Alternativamente podrá usarse un rodillo manual, si el espesor de la capa por compactar es menor de 5cm. Complementar la compactación con placa vibratoria en las esquinas y áreas que son inaccesibles al rodillo. Verificar que no existan irregularidades en la superficie y corregirlas si es preciso agregando mezcla.

Recoger todo material suelto que pudiera quedar. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad inversa a como fueron colocados.

En la Tabla 47 se muestran los trabajos de mantenimiento de la vía según el tipo de falla y nivel de severidad presentes.

El análisis de precios unitarios se puede estudiar a detalle en el anexo 13 del presente proyecto.

Tabla N° 47 Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla

| <b>Presupuesto general de mantenimiento de la vía</b> |                                                                       |               |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| <b>Items</b>                                          | <b>Descripcion</b>                                                    | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> |
| 1                                                     | Reparacion o instalacion de defensas laterales metalicas ( Flex Beam) | m             | 87,00           |
| 2                                                     | Remplazo o instalacion de tachas reflectivas ( Ojos de gato)          | pza           | 1548,00         |
| 3                                                     | Reposición o instalación de postes para señales verticales            | pza           | 18,00           |
| 4                                                     | Reposición o instalación de placas para señales verticales            | pza           | 8740,00         |
| 5                                                     | Reposicion de marcas en el pavimento                                  | m             | 8740,00         |
| 6                                                     | Sellado de Fisuras                                                    | m             | 1435,76         |
| 7                                                     | Demolicion de asfalto                                                 | m²            | 742,83          |
| 8                                                     | Demarcacion y Trazado para reposicion de Carpeta Asfaltica            | m²            | 746,83          |
| 9                                                     | Eliminación Material Excedente                                        | m²            | 746,83          |
| 10                                                    | Imprimación                                                           | m²            | 750,83          |
| 11                                                    | Bacheo asfaltico superficial en carpeta asfaltica                     | m²            | 754,83          |

Fuente: Elaboración propia

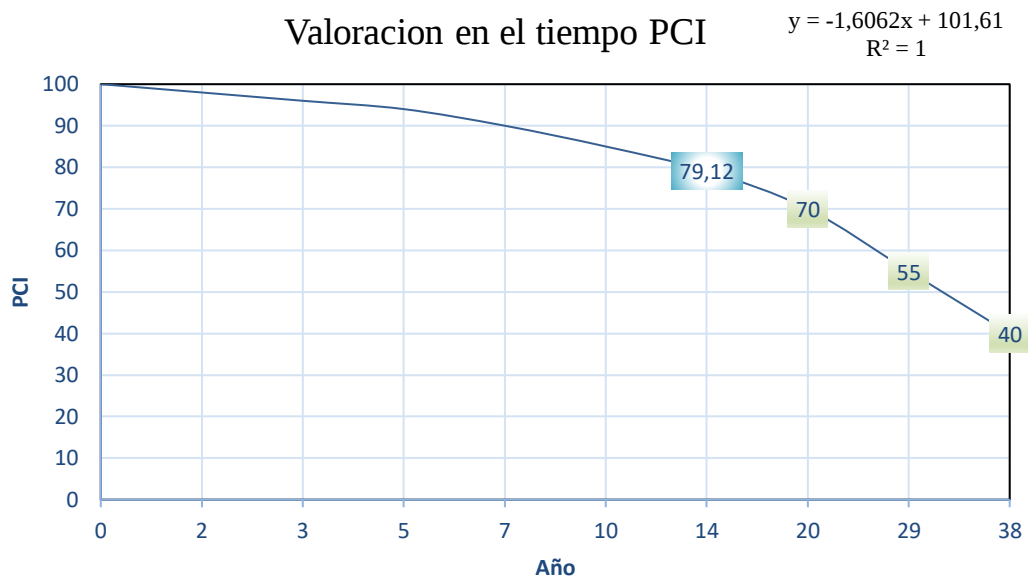
Tabla N° 48 Presupuesto general de mantenimiento de la vía

| <b>Items</b>             | <b>Descripcion</b>                                                       | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>P.U.</b> | <b>Costo de Items</b> |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| 1                        | Reparacion o instalacion de defensas laterales metalicas ( Flex Beam)    | m             | 87,00           | 462,63      | 40248,81              |
| 2                        | Remplazo o instalacion de tachas reflectivas ( Ojos de gato)             | pza           | 1548,00         | 44,36       | 68669,28              |
| 3                        | Reposición o instalación de postes para señales verticales               | pza           | 18,00           | 463,37      | 8340,66               |
| 4                        | Reposición o instalación de placas para señales verticales               | pza           | 18,00           | 1256,33     | 22613,94              |
| 5                        | Reposicion de marcas en el pavimento                                     | m             | 8740,00         | 31,17       | 272425,80             |
| 6                        | Sellado de Fisuras                                                       | m             | 1435,76         | 27,03       | 38808,59              |
| 7                        | Demolicion de asfalto                                                    | m²            | 742,83          | 26,4        | 19610,71              |
| 8                        | Demarcacion y Trazado para reposicion de Carpeta Asfaltica               | m²            | 746,83          | 21,69       | 16198,74              |
| 9                        | Eliminación Material Excedente                                           | m²            | 746,83          | 97,72       | 72980,23              |
| 10                       | Imprimación                                                              | m²            | 750,83          | 12,87       | 9663,18               |
| 11                       | Bacheo asfaltico superficial en carpeta asfaltica                        | m²            | 754,83          | 329,39      | 248633,45             |
| Preco<br>Referenc<br>ial | Ochocientos dieciocho mil, ciento noventa y tres con cuarenta bolivianos |               |                 |             | Bs818.193,40          |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.4 Valoración de la degradación del pavimento (PCI) respecto al tiempo

Figura N° 86 Valoración de la degradación del pavimento (PCI) respecto al tiempo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4 Evaluación superficial por el método del IRI

##### 4.1.4.1 Resultados de la evaluación superficial mediante el método IRI

Los resultados obtenidos de la evaluación superficial para cada carril de la vía mediante el método IRI se detallan a continuación:

##### Resultados para el carril derecho (Ida)

Tabla N° 49 Resultados IRI carril derecho

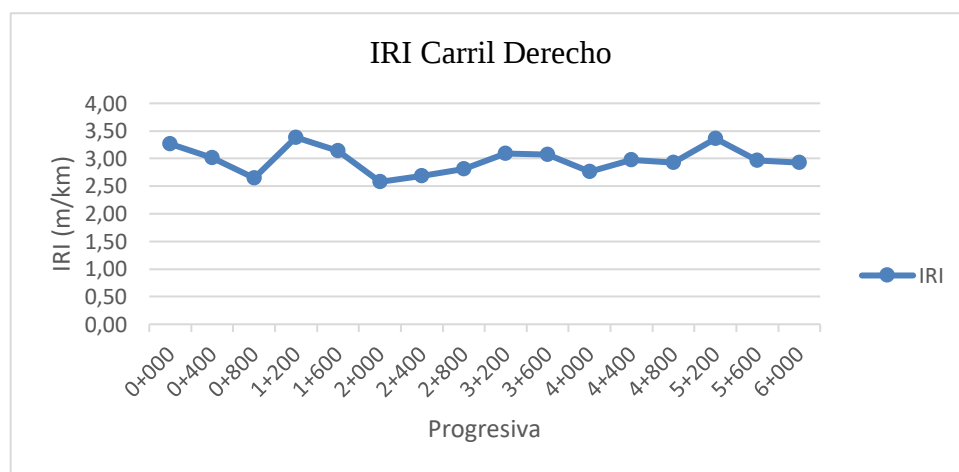
| Progresivas |       | IRI  | Clasificación |
|-------------|-------|------|---------------|
| 0+000       | 0+400 | 3.27 | Bueno         |
| 0+400       | 0+800 | 3.01 | Bueno         |
| 0+800       | 1+200 | 2.65 | Bueno         |
| 1+200       | 1+600 | 3.38 | Bueno         |
| 1+600       | 2+000 | 3.14 | Bueno         |
| 2+000       | 2+400 | 2.58 | Bueno         |
| 2+400       | 2+800 | 2.68 | Bueno         |
| 2+800       | 3+200 | 2.82 | Bueno         |
| 3+200       | 3+600 | 3.09 | Bueno         |

|        |       |      |       |
|--------|-------|------|-------|
| 3+600  | 4+000 | 3.08 | Bueno |
| 4+000  | 4+400 | 2.76 | Bueno |
| 4+400  | 4+800 | 2.97 | Bueno |
| 4+800  | 5+200 | 2.93 | Bueno |
| 5+200  | 5+600 | 3.36 | Bueno |
| 5+600  | 6+000 | 2.96 | Bueno |
| 6+000  | 6+400 | 2.93 | Bueno |
| Prom = |       | 2.98 | Bueno |

Fuente: Elaboración propia

Se describe con más detalle la obtención de los resultados generados en a través de la aplicación de la metodología IRI para índice de regularidad superficial en el anexo 7.

Figura N° 87 Valores del IRI para el carril derecho



Fuente: Elaboración propia

### Resultados para el carril izquierdo

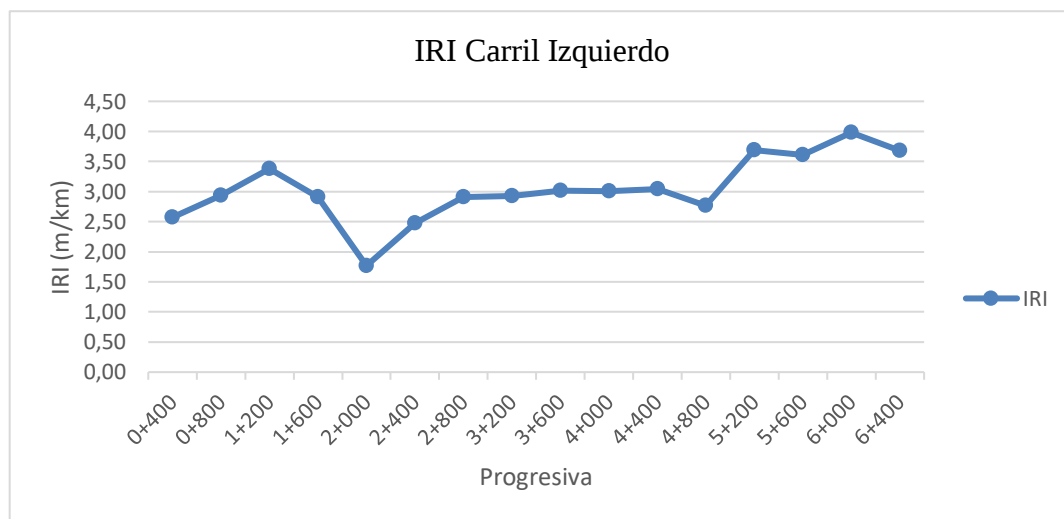
Tabla N° 50 Resultados IRI carril izquierdo

| Progresivas |       | IRI  | Clasificación |
|-------------|-------|------|---------------|
| 0+000       | 0+400 | 2.58 | Bueno         |
| 0+400       | 0+800 | 2.94 | Bueno         |
| 0+800       | 1+200 | 3.38 | Bueno         |
| 1+200       | 1+600 | 2.91 | Bueno         |
| 1+600       | 2+000 | 1.77 | Excelente     |
| 2+000       | 2+400 | 2.48 | Bueno         |
| 2+400       | 2+800 | 2.91 | Bueno         |
| 2+800       | 3+200 | 2.93 | Bueno         |

|        |       |      |         |
|--------|-------|------|---------|
| 3+200  | 3+600 | 3.02 | Bueno   |
| 3+600  | 4+000 | 3.00 | Bueno   |
| 4+000  | 4+400 | 3.04 | Bueno   |
| 4+400  | 4+800 | 2.77 | Bueno   |
| 4+800  | 5+200 | 3.69 | Regular |
| 5+200  | 5+600 | 3.61 | Regular |
| 5+600  | 6+000 | 3.98 | Regular |
| 6+000  | 6+400 | 3.68 | Regular |
| Prom = |       | 3.04 | Bueno   |

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 88 Valores del IRI para el carril izquierdo



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.4.2 Análisis de Resultados

Después de haber registrado los datos generados en campo con el equipo Rugosímetro de Merlín, se procedió a realizar los cálculos correspondientes los cuales nos brindan la siguiente información:

Para todo el tramo se tiene un IRI = 3,01 m/km que se encuentra entre el rango 2,0 – 3,5 m/km de un pavimento con calificación Bueno siendo adecuado para el tránsito de los vehículos.

El mayor valor de IRI registrado en el tramo se encuentra en el carril izquierdo en la progresiva 5+600 - 6+000 valor de 3,98 es donde termina nuestro tramo, el cual según el rango de clasificación nos indica que se encuentra en la condición de Regular.

#### 4.1.5 Evaluación superficial por el método IFI

##### Resultados para el carril derecho (Ida)

Tabla N° 51 Resultados para el carril derecho IFI

| Progr. | FRs   | Dp    | H =<br>Tx | Sp     | FR60  | F60   |
|--------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|
| 0+000  | 57.20 | 19.20 | 0.863     | 86.47  | 32.08 | 0.421 |
| 0+200  | 61.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 36.55 | 0.469 |
| 0+400  | 58.80 | 16.80 | 1.128     | 116.58 | 38.29 | 0.488 |
| 0+600  | 63.20 | 19.40 | 0.846     | 84.53  | 34.98 | 0.452 |
| 0+800  | 65.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 38.94 | 0.495 |
| 1+000  | 67.00 | 18.00 | 0.982     | 99.99  | 40.64 | 0.513 |
| 1+200  | 65.80 | 18.40 | 0.940     | 95.22  | 38.92 | 0.494 |
| 1+400  | 64.80 | 18.00 | 0.982     | 99.99  | 39.30 | 0.499 |
| 1+600  | 66.20 | 17.20 | 1.076     | 110.67 | 42.14 | 0.529 |
| 1+800  | 65.00 | 18.20 | 0.961     | 97.60  | 38.94 | 0.495 |
| 2+000  | 68.80 | 20.60 | 0.750     | 73.63  | 34.89 | 0.451 |
| 2+200  | 63.40 | 23.20 | 0.591     | 55.56  | 25.78 | 0.354 |
| 2+400  | 63.60 | 19.60 | 0.829     | 82.60  | 34.72 | 0.450 |
| 2+600  | 65.20 | 23.20 | 0.591     | 55.56  | 26.51 | 0.362 |
| 2+800  | 68.00 | 20.80 | 0.736     | 72.04  | 33.97 | 0.441 |
| 3+000  | 69.60 | 14.60 | 1.493     | 158.06 | 50.73 | 0.621 |
| 3+200  | 71.40 | 19.20 | 0.863     | 86.47  | 40.05 | 0.506 |
| 3+400  | 82.20 | 15.20 | 1.378     | 144.99 | 58.22 | 0.701 |
| 3+600  | 74.20 | 17.20 | 1.076     | 110.67 | 47.23 | 0.583 |
| 3+800  | 71.20 | 17.60 | 1.028     | 105.22 | 44.27 | 0.552 |
| 4+000  | 70.80 | 17.40 | 1.051     | 107.83 | 44.53 | 0.554 |
| 4+200  | 71.20 | 17.20 | 1.076     | 110.67 | 45.32 | 0.563 |
| 4+400  | 71.60 | 17.80 | 1.005     | 102.60 | 43.98 | 0.549 |
| 4+600  | 63.00 | 18.60 | 0.920     | 92.94  | 36.79 | 0.472 |
| 4+800  | 73.60 | 18.40 | 0.940     | 95.22  | 43.53 | 0.544 |
| 5+000  | 75.20 | 18.60 | 0.920     | 92.94  | 43.91 | 0.548 |
| 5+200  | 73.20 | 18.80 | 0.901     | 90.78  | 42.20 | 0.530 |

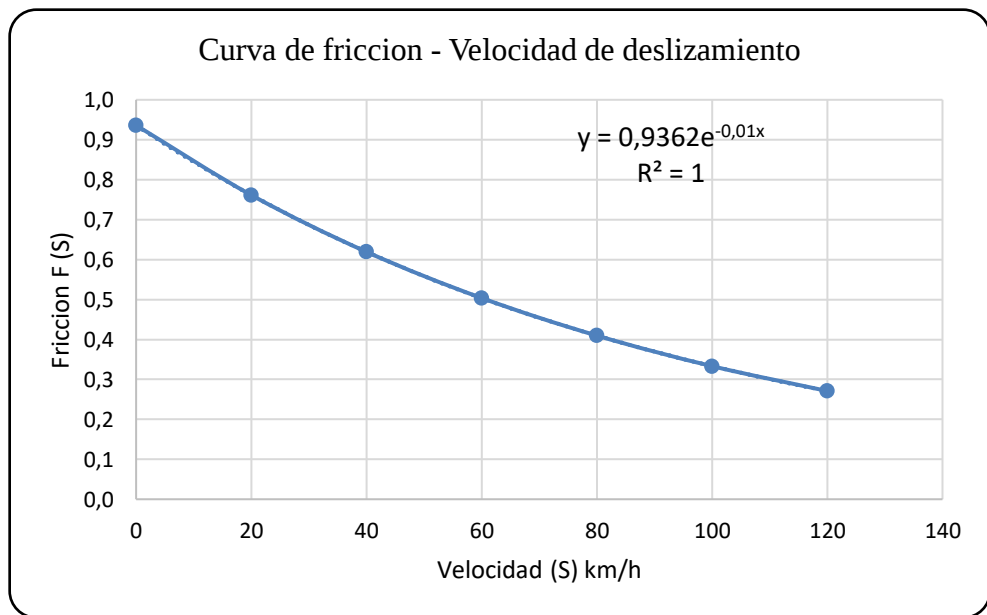
|            |       |       |       |        |       |       |
|------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 5+400      | 67.40 | 19.00 | 0.882 | 88.63  | 38.34 | 0.488 |
| 5+600      | 62.80 | 18.80 | 0.901 | 90.78  | 36.21 | 0.465 |
| 5+800      | 66.85 | 18.00 | 0.982 | 99.99  | 40.54 | 0.512 |
| 6+000      | 68.25 | 18.20 | 0.961 | 97.60  | 40.89 | 0.516 |
| Promedio = |       |       |       | 96.807 |       | 0.504 |

Fuente: Elaboración propia

| S            | 0     | 20    | 40    | 60    | 80    | 100    | 120    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|              | F(0)  | F(20) | F(40) | F(60) | F(80) | F(100) | F(120) |
| <b>F (S)</b> | 0.936 | 0.761 | 0.619 | 0.504 | 0.410 | 0.333  | 0.271  |

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0.373

Figura N° 89 Representación gráfica del IFI para el carril derecho



Fuente: Elaboración propia

### Resultados para el carril izquierdo:

Tabla N° 52 Resultados para el carril izquierdo IFI

| Progr. | FRs   | Dp    | H =<br>Tx | Sp    | FR60  | F60   |
|--------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| 0+000  | 67.25 | 18.40 | 0.940     | 95.22 | 39.78 | 0.504 |

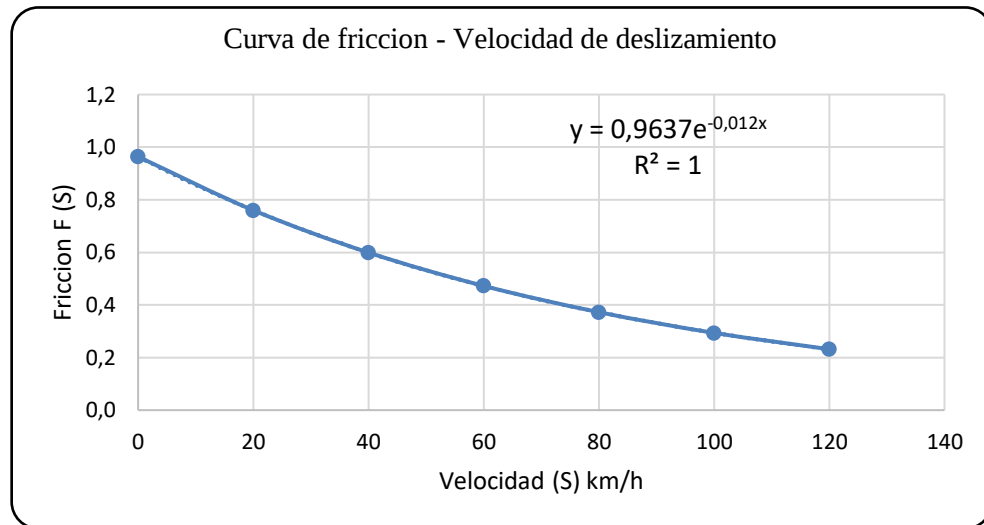
|            |       |       |       |        |       |       |
|------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 0+200      | 64.65 | 18.20 | 0.961 | 97.60  | 38.73 | 0.492 |
| 0+400      | 65.40 | 18.60 | 0.920 | 92.94  | 38.19 | 0.487 |
| 0+600      | 63.20 | 18.40 | 0.940 | 95.22  | 37.38 | 0.478 |
| 0+800      | 62.40 | 18.40 | 0.940 | 95.22  | 36.91 | 0.473 |
| 1+000      | 62.80 | 18.00 | 0.982 | 99.99  | 38.09 | 0.486 |
| 1+200      | 66.20 | 18.20 | 0.961 | 97.60  | 39.66 | 0.502 |
| 1+400      | 69.00 | 20.00 | 0.796 | 78.85  | 36.60 | 0.470 |
| 1+600      | 73.80 | 21.60 | 0.682 | 65.90  | 34.56 | 0.448 |
| 1+800      | 65.80 | 21.20 | 0.708 | 68.85  | 31.83 | 0.419 |
| 2+000      | 70.00 | 20.00 | 0.796 | 78.85  | 37.13 | 0.475 |
| 2+200      | 69.60 | 19.80 | 0.812 | 80.67  | 37.45 | 0.479 |
| 2+400      | 72.40 | 19.40 | 0.846 | 84.53  | 40.07 | 0.507 |
| 2+600      | 80.20 | 20.00 | 0.796 | 78.85  | 42.54 | 0.533 |
| 2+800      | 75.00 | 21.00 | 0.722 | 70.44  | 36.88 | 0.473 |
| 3+000      | 73.00 | 18.60 | 0.920 | 92.94  | 42.63 | 0.534 |
| 3+200      | 72.80 | 18.40 | 0.940 | 95.22  | 43.06 | 0.539 |
| 3+400      | 70.20 | 23.40 | 0.581 | 54.42  | 28.01 | 0.378 |
| 3+600      | 67.40 | 25.40 | 0.493 | 44.42  | 21.87 | 0.312 |
| 3+800      | 68.40 | 24.40 | 0.535 | 49.20  | 24.75 | 0.343 |
| 4+000      | 68.80 | 23.60 | 0.572 | 53.40  | 26.97 | 0.367 |
| 4+200      | 70.20 | 19.20 | 0.863 | 86.47  | 39.37 | 0.499 |
| 4+400      | 72.00 | 18.20 | 0.961 | 97.60  | 43.14 | 0.540 |
| 4+600      | 72.80 | 17.80 | 1.005 | 102.60 | 44.72 | 0.556 |
| 4+800      | 74.00 | 16.20 | 1.213 | 126.24 | 49.80 | 0.611 |
| 5+000      | 69.60 | 16.40 | 1.183 | 122.83 | 46.33 | 0.574 |
| 5+200      | 65.00 | 16.80 | 1.128 | 116.58 | 42.33 | 0.531 |
| 5+400      | 63.00 | 20.00 | 0.796 | 78.85  | 33.42 | 0.436 |
| 5+600      | 62.40 | 22.00 | 0.658 | 63.17  | 28.28 | 0.381 |
| 5+800      | 65.20 | 21.00 | 0.722 | 70.44  | 32.06 | 0.421 |
| 6+000      | 59.40 | 20.60 | 0.750 | 73.63  | 30.12 | 0.400 |
| Promedio = |       |       |       | 84.154 |       | 0.472 |

Fuente: Elaboración propia

| S            | 0     | 20    | 40    | 60    | 80    | 100    | 120    |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
|              | F(0)  | F(20) | F(40) | F(60) | F(80) | F(100) | F(120) |
| <b>F (S)</b> | 0.964 | 0.760 | 0.599 | 0.472 | 0.372 | 0.294  | 0.232  |

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0,373

Figura N° 90 Representación gráfica del IFI para el carril izquierdo



Fuente: Elaboración propia

Los resultados de este estudio se pueden observar con más detalle en el anexo 8.

Tabla N° 53 Macrotextura (Círculo de arena)

|                       |       |   |                       |
|-----------------------|-------|---|-----------------------|
| Volumen de la muestra | 25 ml | = | 25000 mm <sup>3</sup> |
|-----------------------|-------|---|-----------------------|

| Progresiva | Diámetro de los círculos (mm) |     |     |     |     | Promedio | MTD  | Textura parcial |
|------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|------|-----------------|
|            | 1                             | 2   | 3   | 4   | 5   |          |      |                 |
| 0+000      | 190                           | 210 | 180 | 190 | 190 | 192.00   | 0.86 | Gruesa          |
| 0+200      | 190                           | 190 | 180 | 180 | 170 | 182.00   | 0.96 | Gruesa          |
| 0+400      | 170                           | 160 | 170 | 160 | 180 | 168.00   | 1.13 | Gruesa          |
| 0+600      | 200                           | 210 | 190 | 180 | 190 | 194.00   | 0.85 | Gruesa          |
| 0+800      | 190                           | 180 | 180 | 170 | 190 | 182.00   | 0.96 | Gruesa          |
| 1+000      | 180                           | 190 | 180 | 170 | 180 | 180.00   | 0.98 | Gruesa          |
| 1+200      | 190                           | 190 | 180 | 170 | 190 | 184.00   | 0.94 | Gruesa          |
| 1+400      | 180                           | 170 | 190 | 190 | 170 | 180.00   | 0.98 | Gruesa          |
| 1+600      | 170                           | 170 | 160 | 180 | 180 | 172.00   | 1.08 | Gruesa          |

|       |     |     |     |     |     |        |      |            |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|------|------------|
| 1+800 | 190 | 170 | 180 | 180 | 190 | 182.00 | 0.96 | Gruesa     |
| 2+000 | 210 | 210 | 220 | 200 | 190 | 206.00 | 0.75 | Media      |
| 2+200 | 230 | 240 | 220 | 240 | 230 | 232.00 | 0.59 | Media      |
| 2+400 | 190 | 200 | 190 | 200 | 200 | 196.00 | 0.83 | Gruesa     |
| 2+600 | 220 | 240 | 230 | 240 | 230 | 232.00 | 0.59 | Media      |
| 2+800 | 200 | 190 | 220 | 210 | 220 | 208.00 | 0.74 | Media      |
| 3+000 | 130 | 140 | 160 | 140 | 160 | 146.00 | 1.49 | Muy gruesa |
| 3+200 | 200 | 190 | 200 | 190 | 180 | 192.00 | 0.86 | Gruesa     |
| 3+400 | 140 | 160 | 150 | 170 | 140 | 152.00 | 1.38 | Muy gruesa |
| 3+600 | 170 | 180 | 180 | 170 | 160 | 172.00 | 1.08 | Gruesa     |
| 3+800 | 170 | 180 | 190 | 170 | 170 | 176.00 | 1.03 | Gruesa     |
| 4+000 | 170 | 170 | 180 | 180 | 170 | 174.00 | 1.05 | Gruesa     |
| 4+200 | 180 | 170 | 160 | 180 | 170 | 172.00 | 1.08 | Gruesa     |
| 4+400 | 130 | 160 | 210 | 160 | 230 | 178.00 | 1.00 | Gruesa     |
| 4+600 | 170 | 190 | 200 | 180 | 190 | 186.00 | 0.92 | Gruesa     |
| 4+800 | 190 | 170 | 180 | 180 | 200 | 184.00 | 0.94 | Gruesa     |
| 5+000 | 180 | 170 | 190 | 200 | 190 | 186.00 | 0.92 | Gruesa     |
| 5+200 | 200 | 180 | 180 | 190 | 190 | 188.00 | 0.90 | Gruesa     |
| 5+400 | 180 | 190 | 190 | 210 | 180 | 190.00 | 0.88 | Gruesa     |
| 5+600 | 190 | 190 | 200 | 170 | 190 | 188.00 | 0.90 | Gruesa     |
| 5+800 | 190 | 170 | 180 | 190 | 170 | 180.00 | 0.98 | Gruesa     |
| 6+000 | 180 | 190 | 190 | 170 | 180 | 182.00 | 0.96 | Gruesa     |

|      |               |
|------|---------------|
| MTD  | Textura final |
| 0.95 | Gruesa        |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 54 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

Tabla N° 55 Microtextura (Péndulo británico)

| Progresiva | Temp | FA    | Lecturas |    |    |    |    | Prom. | BPNA | RD   | Calificación parcial |
|------------|------|-------|----------|----|----|----|----|-------|------|------|----------------------|
|            | (°C) |       | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  |       |      |      |                      |
| 0+000      | 30   | 1.055 | 48       | 58 | 57 | 58 | 55 | 55.20 | 58.3 | 0.58 | Regular a bueno      |
| 0+200      | 30   | 1.055 | 58       | 60 | 60 | 64 | 53 | 59.00 | 62.3 | 0.62 | Bueno                |
| 0+400      | 30   | 1.055 | 55       | 57 | 57 | 58 | 57 | 56.80 | 59.9 | 0.60 | Regular a bueno      |
| 0+600      | 30   | 1.055 | 54       | 64 | 68 | 60 | 60 | 61.20 | 64.6 | 0.65 | Bueno                |
| 0+800      | 30   | 1.055 | 60       | 52 | 68 | 74 | 61 | 63.00 | 66.5 | 0.66 | Bueno                |
| 1+000      | 30   | 1.055 | 60       | 65 | 68 | 67 | 65 | 65.00 | 68.6 | 0.69 | Bueno                |
| 1+200      | 30   | 1.055 | 59       | 65 | 62 | 67 | 66 | 63.80 | 67.3 | 0.67 | Bueno                |
| 1+400      | 30   | 1.055 | 65       | 62 | 60 | 65 | 62 | 62.80 | 66.3 | 0.66 | Bueno                |
| 1+600      | 30   | 1.055 | 64       | 60 | 68 | 65 | 64 | 64.20 | 67.8 | 0.68 | Bueno                |
| 1+800      | 30   | 1.055 | 64       | 62 | 64 | 61 | 64 | 63.00 | 66.5 | 0.66 | Bueno                |
| 2+000      | 30   | 1.055 | 72       | 61 | 61 | 70 | 70 | 66.80 | 70.5 | 0.71 | Bueno                |
| 2+200      | 30   | 1.055 | 50       | 62 | 72 | 62 | 61 | 61.40 | 64.8 | 0.65 | Bueno                |
| 2+400      | 30   | 1.055 | 60       | 64 | 62 | 60 | 62 | 61.60 | 65.0 | 0.65 | Bueno                |
| 2+600      | 30   | 1.055 | 60       | 65 | 63 | 67 | 61 | 63.20 | 66.7 | 0.67 | Bueno                |
| 2+800      | 30   | 1.055 | 63       | 67 | 68 | 66 | 66 | 66.00 | 69.7 | 0.70 | Bueno                |
| 3+000      | 30   | 1.055 | 50       | 85 | 83 | 50 | 70 | 67.60 | 71.3 | 0.71 | Bueno                |
| 3+200      | 30   | 1.055 | 68       | 70 | 69 | 69 | 71 | 69.40 | 73.2 | 0.73 | Bueno                |
| 3+400      | 30   | 1.055 | 64       | 85 | 87 | 85 | 80 | 80.20 | 84.6 | 0.85 | Bueno a regular      |
| 3+600      | 30   | 1.055 | 72       | 73 | 72 | 76 | 68 | 72.20 | 76.2 | 0.76 | Bueno                |
| 3+800      | 30   | 1.055 | 76       | 67 | 72 | 65 | 66 | 69.20 | 73.0 | 0.73 | Bueno                |
| 4+000      | 30   | 1.055 | 65       | 70 | 73 | 70 | 66 | 68.80 | 72.6 | 0.73 | Bueno                |
| 4+200      | 30   | 1.055 | 69       | 61 | 70 | 74 | 72 | 69.20 | 73.0 | 0.73 | Bueno                |
| 4+400      | 30   | 1.055 | 70       | 68 | 65 | 75 | 70 | 69.60 | 73.5 | 0.73 | Bueno                |
| 4+600      | 30   | 1.055 | 64       | 62 | 62 | 52 | 65 | 61.00 | 64.4 | 0.64 | Bueno                |
| 4+800      | 30   | 1.055 | 66       | 73 | 80 | 66 | 73 | 71.60 | 75.6 | 0.76 | Bueno                |
| 5+000      | 30   | 1.055 | 70       | 75 | 76 | 75 | 70 | 73.20 | 77.3 | 0.77 | Bueno                |
| 5+200      | 30   | 1.055 | 75       | 70 | 70 | 69 | 72 | 71.20 | 75.1 | 0.75 | Bueno                |

|       |    |       |    |    |    |    |    |       |      |      |       |
|-------|----|-------|----|----|----|----|----|-------|------|------|-------|
| 5+400 | 30 | 1.055 | 70 | 65 | 62 | 65 | 65 | 65.40 | 69.0 | 0.69 | Bueno |
| 5+600 | 30 | 1.055 | 62 | 61 | 60 | 59 | 62 | 60.80 | 64.2 | 0.64 | Bueno |
| 5+800 | 29 | 1.050 | 65 | 64 | 65 | 66 | 65 | 65.00 | 68.2 | 0.68 | Bueno |
| 6+000 | 29 | 1.050 | 65 | 63 | 69 | 70 | 65 | 66.40 | 69.7 | 0.70 | Bueno |

|      |                    |
|------|--------------------|
| RD   | Calificación final |
| 0.69 | Bueno              |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 56 Rangos de Fricción

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| RD       | Calificación                  |
| 0.5      | Malo (Deslizamiento)          |
| 0,51-0,6 | De regular a malo             |
| 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.

### Resultados para el carril izquierdo (Vuelta)

Tabla N° 57 Macro textura (Círculo de arena)

Volumen de la muestra                      25   ml                      =                      25000   mm<sup>3</sup>

| Progresiva | Diámetro de los círculos (mm) |     |     |     |     | Promedio | MTD  | Textura parcial |
|------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|------|-----------------|
|            | 1                             | 2   | 3   | 4   | 5   |          |      |                 |
| 0+000      | 180                           | 190 | 190 | 180 | 180 | 184.00   | 0.94 | Gruesa          |
| 0+200      | 180                           | 180 | 190 | 190 | 170 | 182.00   | 0.96 | Gruesa          |
| 0+400      | 180                           | 170 | 190 | 200 | 190 | 186.00   | 0.92 | Gruesa          |
| 0+600      | 180                           | 190 | 190 | 180 | 180 | 184.00   | 0.94 | Gruesa          |
| 0+800      | 170                           | 180 | 190 | 200 | 180 | 184.00   | 0.94 | Gruesa          |
| 1+000      | 190                           | 190 | 170 | 170 | 180 | 180.00   | 0.98 | Gruesa          |
| 1+200      | 170                           | 200 | 190 | 180 | 170 | 182.00   | 0.96 | Gruesa          |

|       |     |     |     |     |     |        |      |            |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|------|------------|
| 1+400 | 200 | 170 | 210 | 210 | 210 | 200.00 | 0.80 | Media      |
| 1+600 | 220 | 200 | 200 | 240 | 220 | 216.00 | 0.68 | Media      |
| 1+800 | 200 | 220 | 200 | 230 | 210 | 212.00 | 0.71 | Media      |
| 2+000 | 200 | 210 | 190 | 200 | 200 | 200.00 | 0.80 | Media      |
| 2+200 | 190 | 200 | 200 | 210 | 190 | 198.00 | 0.81 | Gruesa     |
| 2+400 | 200 | 190 | 180 | 210 | 190 | 194.00 | 0.85 | Gruesa     |
| 2+600 | 200 | 200 | 190 | 210 | 200 | 200.00 | 0.80 | Media      |
| 2+800 | 200 | 230 | 220 | 200 | 200 | 210.00 | 0.72 | Media      |
| 3+000 | 180 | 180 | 220 | 180 | 170 | 186.00 | 0.92 | Gruesa     |
| 3+200 | 200 | 160 | 180 | 190 | 190 | 184.00 | 0.94 | Gruesa     |
| 3+400 | 250 | 240 | 220 | 210 | 250 | 234.00 | 0.58 | Media      |
| 3+600 | 260 | 250 | 250 | 260 | 250 | 254.00 | 0.49 | Media      |
| 3+800 | 240 | 250 | 230 | 250 | 250 | 244.00 | 0.53 | Media      |
| 4+000 | 240 | 230 | 240 | 230 | 240 | 236.00 | 0.57 | Media      |
| 4+200 | 180 | 200 | 190 | 200 | 190 | 192.00 | 0.86 | Gruesa     |
| 4+400 | 170 | 180 | 190 | 190 | 180 | 182.00 | 0.96 | Gruesa     |
| 4+600 | 190 | 180 | 180 | 170 | 170 | 178.00 | 1.00 | Gruesa     |
| 4+800 | 170 | 160 | 150 | 170 | 160 | 162.00 | 1.21 | Muy gruesa |
| 5+000 | 170 | 170 | 160 | 160 | 160 | 164.00 | 1.18 | Gruesa     |
| 5+200 | 180 | 170 | 160 | 170 | 160 | 168.00 | 1.13 | Gruesa     |
| 5+400 | 200 | 200 | 190 | 200 | 210 | 200.00 | 0.80 | Media      |
| 5+600 | 240 | 230 | 190 | 230 | 210 | 220.00 | 0.66 | Media      |
| 5+800 | 200 | 200 | 200 | 220 | 230 | 210.00 | 0.72 | Media      |
| 6+000 | 220 | 200 | 210 | 220 | 180 | 206.00 | 0.75 | Media      |

|      |               |
|------|---------------|
| MTD  | Textura final |
| 0.84 | Gruesa        |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 58 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

Tabla N° 59 Micro textura (Péndulo británico)

| Progresiva | Temp<br>(°C) | FA    | Lecturas |    |    |    |    | Prom. | BPNA | RD   | Calificación parcial |
|------------|--------------|-------|----------|----|----|----|----|-------|------|------|----------------------|
|            |              |       | 1        | 2  | 3  | 4  | 5  |       |      |      |                      |
| 0+000      | 30           | 1.055 | 48       | 58 | 57 | 58 | 55 | 55.20 | 58.3 | 0.58 | Regular a bueno      |
| 0+200      | 30           | 1.055 | 58       | 60 | 60 | 64 | 53 | 59.00 | 62.3 | 0.62 | Bueno                |
| 0+400      | 30           | 1.055 | 55       | 57 | 57 | 58 | 57 | 56.80 | 59.9 | 0.60 | Regular a bueno      |
| 0+600      | 30           | 1.055 | 54       | 64 | 68 | 60 | 60 | 61.20 | 64.6 | 0.65 | Bueno                |
| 0+800      | 30           | 1.055 | 60       | 52 | 68 | 74 | 61 | 63.00 | 66.5 | 0.66 | Bueno                |
| 1+000      | 30           | 1.055 | 60       | 65 | 68 | 67 | 65 | 65.00 | 68.6 | 0.69 | Bueno                |
| 1+200      | 30           | 1.055 | 59       | 65 | 62 | 67 | 66 | 63.80 | 67.3 | 0.67 | Bueno                |
| 1+400      | 30           | 1.055 | 65       | 62 | 60 | 65 | 62 | 62.80 | 66.3 | 0.66 | Bueno                |
| 1+600      | 30           | 1.055 | 64       | 60 | 68 | 65 | 64 | 64.20 | 67.8 | 0.68 | Bueno                |
| 1+800      | 30           | 1.055 | 64       | 62 | 64 | 61 | 64 | 63.00 | 66.5 | 0.66 | Bueno                |
| 2+000      | 30           | 1.055 | 72       | 61 | 61 | 70 | 70 | 66.80 | 70.5 | 0.71 | Bueno                |
| 2+200      | 30           | 1.055 | 50       | 62 | 72 | 62 | 61 | 61.40 | 64.8 | 0.65 | Bueno                |
| 2+400      | 30           | 1.055 | 60       | 64 | 62 | 60 | 62 | 61.60 | 65.0 | 0.65 | Bueno                |
| 2+600      | 30           | 1.055 | 60       | 65 | 63 | 67 | 61 | 63.20 | 66.7 | 0.67 | Bueno                |
| 2+800      | 30           | 1.055 | 63       | 67 | 68 | 66 | 66 | 66.00 | 69.7 | 0.70 | Bueno                |
| 3+000      | 30           | 1.055 | 50       | 85 | 83 | 50 | 70 | 67.60 | 71.3 | 0.71 | Bueno                |
| 3+200      | 30           | 1.055 | 68       | 70 | 69 | 69 | 71 | 69.40 | 73.2 | 0.73 | Bueno                |
| 3+400      | 30           | 1.055 | 64       | 85 | 87 | 85 | 80 | 80.20 | 84.6 | 0.85 | Bueno a regular      |
| 3+600      | 30           | 1.055 | 72       | 73 | 72 | 76 | 68 | 72.20 | 76.2 | 0.76 | Bueno                |
| 3+800      | 30           | 1.055 | 76       | 67 | 72 | 65 | 66 | 69.20 | 73.0 | 0.73 | Bueno                |
| 4+000      | 30           | 1.055 | 65       | 70 | 73 | 70 | 66 | 68.80 | 72.6 | 0.73 | Bueno                |
| 4+200      | 30           | 1.055 | 69       | 61 | 70 | 74 | 72 | 69.20 | 73.0 | 0.73 | Bueno                |
| 4+400      | 30           | 1.055 | 70       | 68 | 65 | 75 | 70 | 69.60 | 73.5 | 0.73 | Bueno                |
| 4+600      | 30           | 1.055 | 64       | 62 | 62 | 52 | 65 | 61.00 | 64.4 | 0.64 | Bueno                |
| 4+800      | 30           | 1.055 | 66       | 73 | 80 | 66 | 73 | 71.60 | 75.6 | 0.76 | Bueno                |
| 5+000      | 30           | 1.055 | 70       | 75 | 76 | 75 | 70 | 73.20 | 77.3 | 0.77 | Bueno                |
| 5+200      | 30           | 1.055 | 75       | 70 | 70 | 69 | 72 | 71.20 | 75.1 | 0.75 | Bueno                |
| 5+400      | 30           | 1.055 | 70       | 65 | 62 | 65 | 65 | 65.40 | 69.0 | 0.69 | Bueno                |

|       |    |       |    |    |    |    |    |       |      |      |       |
|-------|----|-------|----|----|----|----|----|-------|------|------|-------|
| 5+600 | 30 | 1.055 | 62 | 61 | 60 | 59 | 62 | 60.80 | 64.2 | 0.64 | Bueno |
| 5+800 | 29 | 1.050 | 65 | 64 | 65 | 66 | 65 | 65.00 | 68.2 | 0.68 | Bueno |
| 6+000 | 29 | 1.050 | 65 | 63 | 69 | 70 | 65 | 66.40 | 69.7 | 0.70 | Bueno |

|      |                    |
|------|--------------------|
| RD   | Calificación final |
| 0.69 | Bueno              |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 60 Rangos de Fricción

|          |                               |
|----------|-------------------------------|
| RD       | Calificación                  |
| 0.5      | Malo (Deslizamiento)          |
| 0,51-0,6 | De regular a malo             |
| 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

#### 4.1.5.1 Análisis de resultados

Una vez tabulados y procesados los valores de los datos obtenidos en campo a treves de los métodos del círculo de arena y el péndulo británico se puede determinar los siguiente:

En el carril derecho se obtiene un valor de IFI de (0,504; 96,80) siendo estos los valores de Sp y F60 respectivamente, lo cual indica que se trata de un pavimento con una textura ligeramente áspera que según el valor de fricción mínima la ABC de 0.373 nos genera una velocidad máxima segura de 92,03 Km/hr.

En el carril izquierdo se obtiene un valor de IFI de (0,472; 84,154) siendo estos los valores de Sp y F60 respectivamente, lo cual indica que se trata de un pavimento con una textura un poco más cerrada que según el valor de fricción mínima la ABC de 0.373 nos genera una velocidad máxima segura de 79,10 Km/hr.

Realizando un análisis general del tramo se puede determinar que la vía cuenta con una textura sobre la superficie ligeramente áspera que admite valores de velocidades máximas seguras por encima de los 60 km/hr el cual es un valor aceptable.

#### **4.1.6 Evaluación estructural por el método de la viga Benkelman**

##### **4.1.6.1 Resultados de la evaluación estructural**

A continuación, se muestran los resultados de las deflexiones y radios de curvatura obtenidos en la evaluación estructural siguiendo el método de la viga Benkelman, estos resultados deben ser comparados con los rangos teóricos mínimos y máximos, los cuales se muestra a continuación:

Tabla N° 61 Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho

| (N°) | Progresiva | Lecturas del dial |         |         |         |         |         | Parámetros de evaluación |           |      | Parámetros de evaluación corregidos |           |         | Temperaturas |         | Espesor |
|------|------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|-----------|------|-------------------------------------|-----------|---------|--------------|---------|---------|
|      | (Km)       | L-0cm             | L-50cm  | L-100cm | L-150cm | L-200cm | L-500cm | Do                       | D50       | RC   | Do'                                 | D50'      | RC'     | Amb          | Asfalto | asfalto |
|      |            | 0.01 mm           | 0.01 mm | 0.01 mm | 0.01 mm | 0.01 mm | 0.01 mm | (0.01 mm)                | (0.01 mm) | (m)  | (0.01 mm)                           | (0.01 mm) | (m)     | °C           | °C      | (cm)    |
| 1    | 0+000      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2.00                     | 0.00      | 1563 | 2.06                                | 0.00      | 1517.05 | 17           | 37      | 4       |
| 2    | 0+200      | 0                 | 2       | 4       | 6       | 6       | 8       | 8.00                     | 6.00      | 1563 | 8.24                                | 6.18      | 1517.05 | 17           | 37      | 4       |
| 3    | 0+400      | 0                 | 4       | 8       | 8       | 10      | 12      | 12.00                    | 8.00      | 781  | 12.36                               | 8.24      | 758.52  | 17           | 37      | 4       |
| 4    | 0+600      | 0                 | 2       | 2       | 6       | 8       | 10      | 10.00                    | 8.00      | 1563 | 10.30                               | 8.24      | 1517.05 | 18           | 37      | 4       |
| 5    | 0+800      | 0                 | 2       | 2       | 4       | 6       | 6       | 6.00                     | 4.00      | 1563 | 6.18                                | 4.12      | 1517.05 | 18           | 37      | 4       |
| 6    | 1+000      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2.00                     | 0.00      | 1563 | 2.05                                | 0.00      | 1522.73 | 18           | 38      | 4       |
| 7    | 1+200      | 0                 | 6       | 6       | 8       | 8       | 10      | 10.00                    | 4.00      | 521  | 10.26                               | 4.10      | 507.58  | 19           | 38      | 4       |
| 8    | 1+400      | 0                 | 12      | 14      | 14      | 14      | 14      | 14.00                    | 2.00      | 260  | 14.37                               | 2.05      | 253.79  | 19           | 38      | 4       |
| 9    | 1+600      | 0                 | 6       | 8       | 10      | 10      | 12      | 12.00                    | 6.00      | 521  | 12.31                               | 6.16      | 507.58  | 19           | 38      | 4       |
| 10   | 1+800      | 0                 | 2       | 4       | 6       | 6       | 8       | 8.00                     | 6.00      | 1563 | 8.18                                | 6.13      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |
| 11   | 2+000      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.09                                | 2.04      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |
| 12   | 2+200      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.09                                | 2.04      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |
| 13   | 2+400      | 0                 | 2       | 2       | 4       | 4       | 6       | 6.00                     | 4.00      | 1563 | 6.11                                | 4.07      | 1534.09 | 19           | 40      | 4       |
| 14   | 2+600      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.07                                | 2.04      | 1534.09 | 19           | 40      | 4       |
| 15   | 2+800      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2.00                     | 0.00      | 1563 | 2.04                                | 0.00      | 1534.09 | 19           | 40      | 4       |
| 16   | 3+000      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.07                                | 2.04      | 1534.09 | 19           | 40      | 4       |
| 17   | 3+200      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 4       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.07                                | 2.04      | 1534.09 | 19           | 40      | 4       |
| 18   | 3+400      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 4       | 4.00                     | 2.00      | 1563 | 4.09                                | 2.04      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |
| 19   | 3+600      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2.00                     | 0.00      | 1563 | 2.04                                | 0.00      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |
| 20   | 3+800      | 0                 | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2.00                     | 0.00      | 1563 | 2.04                                | 0.00      | 1528.41 | 19           | 39      | 4       |

|    |       |   |   |   |   |    |    |       |      |      |       |      |         |    |    |   |
|----|-------|---|---|---|---|----|----|-------|------|------|-------|------|---------|----|----|---|
| 21 | 4+000 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4  | 6  | 6.00  | 4.00 | 1563 | 6.11  | 4.07 | 1534.09 | 20 | 40 | 4 |
| 22 | 4+200 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 4  | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.07  | 2.04 | 1534.09 | 20 | 40 | 4 |
| 23 | 4+400 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2.00  | 0.00 | 1563 | 2.04  | 0.00 | 1534.09 | 20 | 40 | 4 |
| 24 | 4+600 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2.00  | 0.00 | 1563 | 2.04  | 0.00 | 1534.09 | 20 | 40 | 4 |
| 25 | 4+800 | 0 | 2 | 2 | 2 | 2  | 4  | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.09  | 2.04 | 1528.41 | 20 | 39 | 4 |
| 26 | 5+000 | 0 | 2 | 2 | 4 | 6  | 6  | 6.00  | 4.00 | 1563 | 6.13  | 4.09 | 1528.41 | 20 | 39 | 4 |
| 27 | 5+200 | 0 | 2 | 4 | 6 | 6  | 10 | 10.00 | 8.00 | 1563 | 10.22 | 8.18 | 1528.41 | 20 | 39 | 4 |
| 28 | 5+400 | 0 | 4 | 6 | 6 | 12 | 12 | 12.00 | 8.00 | 781  | 12.31 | 8.21 | 761.36  | 20 | 38 | 4 |
| 29 | 5+600 | 0 | 2 | 4 | 6 | 8  | 8  | 8.00  | 6.00 | 1563 | 8.21  | 6.16 | 1522.73 | 20 | 38 | 4 |
| 30 | 5+800 | 0 | 2 | 4 | 4 | 6  | 8  | 8.00  | 6.00 | 1563 | 8.21  | 6.16 | 1522.73 | 20 | 38 | 4 |
| 31 | 6+000 | 0 | 2 | 2 | 2 | 4  | 4  | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.10  | 2.05 | 1522.73 | 20 | 38 | 4 |

### Cálculo deflexión característica (Dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 6,1

Ds = Desviación standard = 3,7

t = constante de probabilidad al 95% = 1,645

|               |              |                             |
|---------------|--------------|-----------------------------|
| <b>Dc =</b>   | <b>12.20</b> | <b>x 10<sup>-2</sup> mm</b> |
| <b>Dadm =</b> | <b>77.99</b> | <b>x 10<sup>-2</sup> mm</b> |

|                    |        |        |         |
|--------------------|--------|--------|---------|
| NÚMERO DE MUESTRAS | 31     | 31     | 31      |
| SUMATORIA          | 190.58 | 104.54 | 42510.4 |
| PROMEDIO:          | 6.15   | 3.37   | 1371.30 |
| DEFLEXIÓN MÍNIMA   | 2.04   | 0.00   | 253.79  |
| DEFLEXIÓN MÁXIMA   | 14.37  | 8.24   | 1534.09 |

|   |          |        |
|---|----------|--------|
|   | Rcmín =  | 80 m   |
| → | RCc (m)= | 1981.3 |

Figura N° 91 Deflexiones máximas y radios de curvatura carril derecho



Tabla N° 62 Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo.

| (N°) | Progresiva<br>(Km) | Lecturas del dial |            |            |            |            |            | Parámetros de evaluación |              |      | Parámetros de evaluación<br>corregidos |              |         | Temperaturas |         | Espesor<br>asfalto<br>(cm) |
|------|--------------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------|--------------|------|----------------------------------------|--------------|---------|--------------|---------|----------------------------|
|      |                    | L-0cm             | L-50cm     | L-100cm    | L-150cm    | L-200cm    | L-500cm    | Do                       | D50          | RC   | Do'                                    | D50'         | RC'     | Amb          | Asfalto |                            |
|      |                    | 0.01<br>mm        | 0.01<br>mm | 0.01<br>mm | 0.01<br>mm | 0.01<br>mm | 0.01<br>mm | (0.01<br>mm)             | (0.01<br>mm) | (m)  | (0.01<br>mm)                           | (0.01<br>mm) | (m)     | °C           | °C      |                            |
| 1    | 6+200              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.05                                   | 0.00         | 1522.73 | 20           | 38      | 4                          |
| 2    | 6+000              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 4          | 4.00                     | 2.00         | 1563 | 4.10                                   | 2.05         | 1522.73 | 20           | 38      | 4                          |
| 3    | 5+800              | 0                 | 2          | 2          | 4          | 4          | 6          | 6.00                     | 4.00         | 1563 | 6.13                                   | 4.09         | 1528.41 | 20           | 39      | 4                          |
| 4    | 5+600              | 0                 | 2          | 4          | 6          | 8          | 10         | 10.00                    | 8.00         | 1563 | 10.22                                  | 8.18         | 1528.41 | 20           | 39      | 4                          |
| 5    | 5+400              | 0                 | 2          | 4          | 4          | 6          | 6          | 6.00                     | 4.00         | 1563 | 6.13                                   | 4.09         | 1528.41 | 21           | 39      | 4                          |
| 6    | 5+200              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 4          | 4.00                     | 2.00         | 1563 | 4.09                                   | 2.04         | 1528.41 | 21           | 39      | 4                          |
| 7    | 5+000              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 4          | 6          | 6.00                     | 4.00         | 1563 | 6.13                                   | 4.09         | 1528.41 | 21           | 39      | 4                          |
| 8    | 4+800              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 9    | 4+600              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 10   | 4+400              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 11   | 4+200              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 12   | 4+000              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 13   | 3+800              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 4          | 6          | 6.00                     | 4.00         | 1563 | 6.11                                   | 4.07         | 1534.09 | 21           | 40      | 4                          |
| 14   | 3+600              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 4          | 4          | 4.00                     | 2.00         | 1563 | 4.07                                   | 2.04         | 1534.09 | 22           | 40      | 4                          |
| 15   | 3+400              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 22           | 40      | 4                          |
| 16   | 3+200              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 23           | 40      | 4                          |
| 17   | 3+000              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 23           | 40      | 4                          |
| 18   | 2+800              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 2          | 2          | 2.00                     | 0.00         | 1563 | 2.04                                   | 0.00         | 1534.09 | 23           | 40      | 4                          |
| 19   | 2+600              | 0                 | 2          | 2          | 2          | 4          | 6          | 6.00                     | 4.00         | 1563 | 6.11                                   | 4.07         | 1534.09 | 23           | 40      | 4                          |

|    |       |   |   |   |    |    |   |       |      |      |       |      |         |    |    |   |
|----|-------|---|---|---|----|----|---|-------|------|------|-------|------|---------|----|----|---|
| 20 | 2+400 | 0 | 2 | 2 | 4  | 6  | 6 | 6.00  | 4.00 | 1563 | 6.11  | 4.07 | 1534.09 | 23 | 40 | 4 |
| 21 | 2+200 | 0 | 2 | 4 | 6  | 8  | 8 | 8.00  | 6.00 | 1563 | 8.15  | 6.11 | 1534.09 | 23 | 40 | 4 |
| 22 | 2+000 | 0 | 4 | 8 | 10 | 8  | 8 | 10.00 | 6.00 | 781  | 10.19 | 6.11 | 767.05  | 23 | 40 | 4 |
| 23 | 1+800 | 0 | 2 | 2 | 4  | 6  | 6 | 6.00  | 4.00 | 1563 | 6.11  | 4.07 | 1534.09 | 24 | 40 | 4 |
| 24 | 1+600 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2 | 2.00  | 0.00 | 1563 | 2.04  | 0.00 | 1534.09 | 24 | 40 | 4 |
| 25 | 1+400 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2 | 2.00  | 0.00 | 1563 | 2.04  | 0.00 | 1534.09 | 24 | 40 | 4 |
| 26 | 1+200 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 4 | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.07  | 2.04 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |
| 27 | 1+000 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 2 | 2.00  | 0.00 | 1563 | 2.04  | 0.00 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |
| 28 | 0+800 | 0 | 2 | 2 | 4  | 6  | 8 | 8.00  | 6.00 | 1563 | 8.15  | 6.11 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |
| 29 | 0+600 | 0 | 2 | 2 | 6  | 10 | 8 | 10.00 | 8.00 | 1563 | 10.19 | 8.15 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |
| 30 | 0+400 | 0 | 2 | 2 | 2  | 4  | 4 | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.07  | 2.04 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |
| 31 | 0+200 | 0 | 2 | 2 | 2  | 2  | 4 | 4.00  | 2.00 | 1563 | 4.07  | 2.04 | 1534.09 | 25 | 40 | 4 |

### Cálculo deflexión característica (dc):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 4,5

Ds = Desviación standard = 2,7

t = constante de probabilidad al 95% = 1,645

|               |              |                             |
|---------------|--------------|-----------------------------|
| <b>Dc =</b>   | <b>9.02</b>  | <b>x 10<sup>-2</sup> mm</b> |
| <b>Dadm =</b> | <b>77.99</b> | <b>x 10<sup>-2</sup> mm</b> |

|                    |        |       |          |
|--------------------|--------|-------|----------|
| NÚMERO DE MUESTRAS | 31     | 31    | 31       |
| SUMATORIA          | 140.72 | 75.47 | 46738.64 |
| PROMEDIO:          | 4.54   | 2.43  | 1507.70  |



#### **4.1.6.2 Análisis de resultados de la evaluación estructural**

Una vez registrados y calculados todos los datos de las deflexiones en tramo “San Lorenzo – Sella Méndez”, se realizará un análisis de ambos carriles a continuación:

La deflexión máxima promedio obtenida de la evaluación estructural del tramo San Lorenzo – Sella Méndez es de  $Do = 12,30 \cdot 10^{-2}$  mm y la deformación admisible del tramo obtenida en función de N18 (ejes equivalentes de diseño) que establece un límite para la deflexión máxima es de  $Da = 89,71 \cdot 10^{-2}$  mm donde los valores por encima del cual se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado, se puede observar que las deformaciones obtenidas mediante el ensayo de la Viga Benkelman Do (deformación máxima) de todo el tramo son menores a la  $Da$  (deformación admisible), por lo tanto el pavimento sujeto a evaluación tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño.

##### **Carril derecho**

Según el desarrollo de los cálculos realizados en el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de  $14,37 \cdot 10^{-2}$  mm que es mayor al valor de la deflexión característica de  $12,20 \cdot 10^{-2}$  mm.

##### **Carril izquierdo**

En el carril izquierdo se puede observar que el valor de la deflexión máxima es de  $10,22 \cdot 10^{-2}$  mm el cual es menor al valor de la deflexión característica de  $9,02 \cdot 10^{-2}$  mm.

Los valores obtenidos de deflexión máxima son menores a la deflexión admisible y los valores de radio de curvatura obtenidos muestran que no existe fallas estructurales en el tramo San Lorenzo – Sella Méndez, ya que las deflexiones máximas se encuentran entre ( $14,37 \cdot 10^{-2}$  y  $10,22 \cdot 10^{-2}$  mm) menores a la deflexión admisible ( $Da = 89,71 \cdot 10^{-2}$  mm).

Se puede apreciar en los puntos anteriores que las deflexiones en el tramo en general presentan valores bajos lo cual indica que el paquete estructural se encuentra en buenas condiciones a pesar del tránsito que tiene el mencionado tramo.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Después de haber concluido con la evaluación superficial y estructural en el tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” se llegó a las siguientes conclusiones:

- El pavimento flexible está superficialmente en una condición de “Muy Bueno” según los resultados obtenidos en la evaluación superficial con el método PCI realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03, con un resultado final del PCI de 79,12, por lo tanto, el pavimento en cuestión, se encuentra en condiciones óptimas de circulación.
- Se estableció la cantidad mínima necesaria de unidades de muestras que se deben evaluar según la metodología PCI es de 69 unidades de muestra para tener un rango de datos confiables del 98% y se determinó que el intervalo de muestreo que se aplicará en el ensayo es cada 3 unidades de muestra, para el cual se realizó el levantamiento de datos en la planilla correspondiente al método detallando el tipo de falla e índice de severidad.
- Con la metodología PCI (Índice de Condición del Pavimento), se identificó 10 fallas superficiales diferentes, la falla predominante en el tramo “San Lorenzo – Sella Méndez” son Grietas Longitudinales y Transversales con un 64,57 %, otra falla considerable en el tramo es desprendimiento de agregados con un 12,77 % y la falla parcheo y acometida con un 12,15%.
- Los resultados finales del IFI (Índice de Fricción Internacional) indica que la calificación por textura que presenta el pavimento es Gruesa, esto significa que no existe una disgregación en el pavimento, por otro lado, la calificación por fricción se encuentra en 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.

- Mediante los resultados obtenidos a lo largo de la evaluación superficial para el IRI del tramo “San Lorenzo - Sella Méndez” aplicando el método del rugosímetro de Merlín para la vía en general se determinó valor de 3,04 m/km que se encuentra dentro del rango de 2.0 – 3.5 m/km con clasificación “Bueno” donde se tiene buenas condiciones de servicio para los usuarios.
- En la evaluación estructural presentan deflexiones máximas inferiores a la admisible, por lo tanto, la estructura del pavimento es adecuada; la deflexión máxima promedio es de  $D_o = 12,30 \cdot 10^{-2}$  mm y la deformación admisible del tramo obtenida en función de N18 (ejes equivalentes) que establece un límite para la deflexión máxima es de  $D_a = 89,71 \cdot 10^{-2}$  mm donde los valores por encima del cual se garantiza un comportamiento satisfactorio de la estructura durante el periodo considerado.
- Se complementó la presente investigación realizando la caracterización del paquete estructural es decir la Sub Rasante, Sub Base y Base, cabe mencionar que este trabajo se realizó en un solo punto debido a que no permitieron realizar más muestreos por la institución encargada de la vía, obteniendo en laboratorio para el tramo en estudio los valores de CBR de 55,60% al 100% y 52,03% al 95% para la base, un CBR de 25,46 % al 100% y 22,15% al 95% para la sub base y un CBR de 11,56% al 100% y 8,60 al 95% para la sub rasante.
- Las operaciones de mantenimiento y rehabilitación adecuadas se las debe realizar en función a las fallas y condición del pavimento flexible.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio adecuado acerca de las metodologías (PCI, IRI, IFI y Viga Benkelman) para no tener problemas al momento de la ejecución de los mismos.
- Contar con todos los equipos de seguridad necesarios para realizar la evaluación en campo como ser, conos, chalecos fosforescentes, y letreros de precaución a la hora de realizar los ensayos.
- El inventario de fallas debe hacerse lo más preciso posible, considerando todas las muestras que presenten deterioro visible, si estas no estuvieran consideradas en el cálculo de muestras.

- Calibrar de manera adecuada siguiendo el manual del usuario del equipo Rugosímetro de Merlín para obtener datos más precisos a lo largo de la ejecución del método, y así poder obtener resultados más confiables.
- Para la ejecución del método del círculo de arena se debe tomar en cuenta el factor climático ya que la vía se debe encontrar seca y no debe existir corrientes de viento ya que esos motivos generan dificultades a la hora de realizar la práctica.
- La evaluación estructural mediante el equipo Viga Benkelman se debe realizar bajo la supervisión de un personal técnico capacitado ya que se trata de un equipo de alta precisión y el uso indebido del mismo puede generar datos erróneos.
- Se debe verificar el peso del camión a ser utilizado para la evaluación con la viga Benkelman ya que la normativa exige un peso mínimo de 8,2 toneladas para validar los resultados.