

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación en pavimentos nuevos se realiza como parte de las actividades del proceso de control de calidad de la obra, con el fin de determinar si se acepta, modifica o se rechaza el tramo evaluado. Para una correcta evaluación se debe incluir estudios de la funcionalidad que es la evaluación superficial y estudios sobre la capacidad estructural que es la evaluación estructural.

En Bolivia se cuenta con el manual de carreteras proporcionado por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), el cual proporciona las evaluaciones que se deben de realizar a pavimentos nuevos, sin embargo, no se aplica, por tanto, hay desconocimiento de cómo se recepciona o entrega un pavimento, esto puede ser una de las causas del deterioro prematuro de las carreteras asfaltadas en nuestro país.

Se realizará la evaluación superficial con los métodos HI-LO, IRI, péndulo Británico, círculo de arena y la evaluación estructural con el método de la viga Benkelman, con estos métodos se podrá verificar y dar un juicio de valor sobre las condiciones de calidad del pavimento en el momento de finalizada la obra.

Con este trabajo se pretende demostrar que las evaluaciones estudiadas y normadas son de gran importancia, tanto por la comodidad, como por la seguridad de los usuarios. La evaluación superficial y estructural se realizará en el tramo de la comunidad de Carachimayo que comprende 7,4 km y los beneficiarios serán los mismo comunarios de Carachimayo.

1.2.SITUACIÓN PROBLÉMICA

1.2.1. Conceptualización puntual del objeto de estudio

Es de conocimiento que las condiciones en las que se recibe un pavimento nuevo es fundamental ya que se reflejara la serviciabilidad que ofrecerá al usuario, es por eso que para garantizar esta comodidad se debe realizar la evaluación de pavimentos nuevos mediante los métodos que correspondan.

1.2.2. Descripción del fenómeno ocurrido

En nuestro medio, a pesar de contar con el manual de carreteras, proporcionado por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), en la cual se especifica los métodos de evaluación de pavimentos nuevos.

En el trabajo de campo no se realizan las evaluaciones correspondientes, solamente en el momento de la construcción se va inspeccionando con el método de la regla de 3 m, lo cual no es suficiente ya que este método solo medirá los desniveles transversales del tramo evaluado y no así las condiciones funcionales y estructurales de la obra. Cabe mencionar que tampoco se toman muestras representativas de la obra final, sino que, el supervisor va evaluando al azar.

1.2.3. Breve explicación de la perspectiva de solución

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se propone realizar la evaluación superficial y estructural de pavimentos nuevos para verificar si las condiciones en el momento de la recepción de la obra son las óptimas y cumplen con los parámetros básicas que se encuentran establecidas en el manual de carreteras que rige en nuestro país.

1.2.4. Planteamiento del problema

¿Cómo se determina la condición superficial y estructural, de un pavimento flexible nuevo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la condición superficial y estructural del pavimento nuevo del tramo en la comunidad de Carachimayo; utilizando los métodos HI-LO, IRI, péndulo Británico, círculo de arena y viga Benkelman, de tal manera se pueda PARA verificar su calidad en el momento de su entrega.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recolectar información sobre la normativa VIGENTE en nuestro país y a nivel internacional sobre la evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles nuevos.
- Establecer la resistencia al deslizamiento mediante el péndulo Británico.
- Determinar el Índice de Rugosidad Internacional IRI.
- Determinar la textura superficial, mediante el círculo de arena.
- Registrar los altos y bajos que presenta la superficie con el detector HI-LO.

- Establecer la deflexión del pavimento mediante la viga Benkelman.
- Determinar el Índice Internacional de Fricción IFI.
- Diseñar el detector HI-LO, en base al manual técnico para el diseño de carreteras, volumen 4. Ensayos de suelos y materiales.

1.4. ALCANCE

En este trabajo se presenta la evaluación del pavimento flexible nuevo en el tramo de la comunidad de Carachimayo que lleva el nombre de: Asfaltado ruta D602 tramo cruce ruta D603 (Canasmoro), Rio Pilaya Subtramo 1: Puente Unión Europea (Prog. 0+000 a Prog. 8+660) Carachimayo Norte.

El procedimiento se lo realizara en dos partes, en primera parte se realizará la evaluación superficial que comprenderá la determinación de las irregularidades superficiales de los pavimentos mediante HI-LO, determinación de la macrotextura del pavimento mediante el ensayo del círculo de arena, determinar la resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo Británico, encontrar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con estación total y por ultimo con los datos ya obtenidos de los ensayos círculo de arena y péndulo Británico podremos determinar el Índice de Fricción Internacional (IFI).

La segunda parte comprende la evaluación estructural del pavimento flexible nuevo mediante la determinación de deflexiones, por medio del ensayo con la viga Benkelman. Con todos los datos de campo se realizarán los cálculos correspondientes para poder determinar el estado en el cual se está entregando el pavimento.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Se realizará la evaluación del pavimento flexible nuevo en el tramo de la comunidad de Carachimayo.

La entrega de un pavimento en buenas condiciones es de mucha importancia para el usuario que será el que transitara diariamente, como para la entidad contratante, por el mantenimiento prematuro que deberá realizar y la vida útil que tendrá, por esta razón es importante cumplir con los parámetros mínimos que nos brinda el manual de carreteras.

Los parámetros encontrados en la evaluación nos darán a conocer las condiciones en las que se está entregando el proyecto, si se está cumpliendo será aceptado, en caso que no cumpla estará sujeto a multas o tendrá gastos mayores para realizar las acciones correctivas, estas medidas pueden ser de algún tramo en específico o del proyecto.

Cuando se cumplen con parámetros mínimos indicados en el manual de carreteras, se podrá asegurara que se está entregando un pavimento en buenas condiciones y de esta manera el usuario tenga una buena serviciabilidad, es decir ofrecer al usuario seguridad y comodidad y a la entidad contratante menores costos de mantenimiento, garantizando la vida útil para la cual fue diseñada la carretera.

Se la realizara por métodos “no destructivos”, con la evaluación superficial y la evaluación estructural

1.6. MARCO TEÓRICO

1.6.1. Marco conceptual

Pavimento. Es el conjunto de capas de material seleccionado, asentado sobre una fundación propia, que recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática.

Pavimento flexible. Es aquel que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fino con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado.

Evaluación. Es un proceso que tiene por objeto determinar en qué medida se han logrado los objetivos previamente establecidos, que supone un juicio de valor.

Evaluación superficial. Reside en la influencia que tienen en su funcionalidad, constituyendo propiamente una de las características que interesan al usuario, ya que de ellas dependen en gran medida las condiciones de seguridad, comodidad y economía que requiere el usuario.

Evaluación estructural. Consiste 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 si cumple los requerimientos o cuando necesita rehabilitación.

Detector HI-LO. Es una regla rodante destinada a medir las irregularidades superficiales de un pavimento. Consta de una viga metálica indeformable que se traslada sobre tres ruedas; la rueda detectora dispuesta al centro de la viga se desplaza verticalmente por las

irregularidades de la superficie, las que son amplificadas en una escala graduada en milímetros.

Método IRI. Es un número estadístico utilizado para medir la magnitud de la rugosidad en un perfil longitudinal. El IRI es una medida de la influencia de la calidad del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, que representa la vibración de un vehículo típico de pasajeros como resultado de la falta de regularidad en la superficie de la vía.

Método péndulo Británico. El péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie. Esto para obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento, que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Círculo de Arena. Este método describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por este.

Macrotextura del pavimento. Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda y amplitud desde 0.5 mm hasta aquellas que no afecten la interacción entre el neumático y el pavimento.

Resistencia al deslizamiento. Es la fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

Método viga Benkelman. Mide la deflexión superficial del pavimento y el mismo permite medir el rebote de la deflexión estática de un pavimento asfáltico bajo la aplicación de una carga.

Deflexión. Es la deformación elástica recuperable que sufren los pavimentos al ser solicitados por las cargas que impone el tránsito. La deflexión que presenta un pavimento en un determinado momento es un buen indicador para estimar su vida útil remanente. Se mide en milímetros.

Serviciabilidad. La capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utilizara, ofreciendo calidad, comodidad.

Control de calidad. Es el aseguramiento de la calidad de las obras viales descansa en la interacción de un autocontrol responsable de las obras, llevado a cabo por el contratista.

1.6.2. Marco normativo

Se seguirá el procedimiento planteado por el manual técnico para el diseño de carretera, volumen 4 de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para la verificación de los resultados obtenidos se tomará en cuenta el manual de carreteras de Bolivia, el manual de carreteras de Chile.

1.7. HIPÓTESIS

Al evaluar el pavimento flexible con los métodos HI-LO, Índice de Rugosidad internacional IRI, péndulo Británico, círculo de arena y viga Benkelman en el tramo nuevo de la comunidad de Carachimayo, se podrá verificar, que la calidad supera los parámetros de diseño.

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1. Unidad de estudio o muestreo

La unidad de estudio son tramos de 100 metros que es un hectómetro.

1.8.2. Población y muestra

La población es de 74 hectómetro.

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

1.8.3. Tamaño de la muestra

Se calculará el tamaño de la muestra con los siguientes datos

$$\sigma^2 = 0,1$$

$$N = 74 \text{ Hm}$$

$$z = 1,96 \quad \text{NC} = 95\%$$

$$e = 5\% = 0,05$$

$$n = \frac{z^2 * N * \sigma^2}{(N - 1) * e^2 + z^2 * \sigma^2}$$
$$n = \frac{1.96^2 * 74 * 0.1}{(70 - 1) * 0.05^2 + 1.96^2 * 0.1}$$
$$n = 51 \text{ hm}$$

Para distribuir de forma sistematizada, se tiene que calcular el factor:

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

$$fa = \frac{70}{51}$$
$$fa = 1,37 \approx 2$$

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

Se aplicó un muestreo probabilístico simple aleatorio donde se tiene que evaluar 51 hectómetros.

El método con el detector HI-LO el manual nos indica que debemos separar transversalmente cada 25 cm, por cuestiones de tiempo se realizara cada 70 cm en los hm de unidades de muestreo.

Para el método IRI se basará en el manual cada 50 cm, se tomará en cuenta los 74 hectómetros.

En el método del Péndulo Británico siguiendo el manual será 10 puntos en cada kilómetro es decir una muestra con 10 lecturas cada hectómetro, esto en ambos carriles tomando en cuenta los 74 hm de unidad de muestra, posicionando el péndulo en la huella derecha o externa de la pista.

Para el ensayo del círculo de arena de igual forma que el péndulo Británico se realizara un ensayo cada hectómetro en los 74 hectómetros y en ambos carriles.

Para la viga Benkelman de igual forma se tomará los 74 hectómetros de unidades de muestra, cada hectómetro se realizará la lectura, al iniciar lectura inicial L_0 , a 100 cm L_{100} , a 200 cm L_{200} y a 300 cm L_{300} .

1.9.VARIABLE

Dependiente

Tramos de 100 metros.

Independiente

Condición del pavimento.

1.10. MEDIOS

Figura. 1.1. Balanza.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura. 1.2. Arena calibrada.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura .1.3. Flexómetro.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura. 1.4. Embudo.



Fuente: Elaboracion propia.

Figura. 1.5. Pala recogedora de arena.



Fuente: Elaboración propia

Figura. 1.6. Tubo de ensayo. Figura. 1.7. Dispense de agua.



Figura. 1.8. Brocha.



Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia Fuente: Elaboración propia

Figura. 1.9. Péndulo Británico y termómetro superficial.



Fuente: www.nestorhuaman.pe/sevicios

Figura. 1.10. Estación total Sokkia.



Fuente: <https://www.mertind.com/bolivia/index.php>

Figura. 1.11. Disco para esparcir.



Fuente: Elaboración propia

Figura. 1.12. Trípode y prisma.



Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-423433932-combo-1-topografia-baston>

Figura. 1.13. Viga Benkelman.



Fuente: <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/viga-de-benkelman>

Figura. 1.14. Detector HI-LO.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.PAVIMENTO

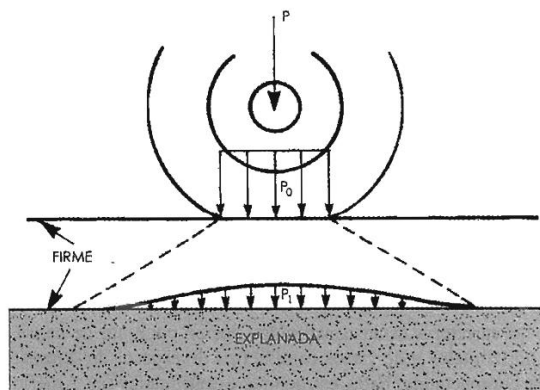
El pavimento es un sistema estructural formado por una o más capas de materiales seleccionados, estabilizados, cimentados y/o tratados, que se colocan sobre la subrasante, con el propósito de resistir las cargas impuestas por el tránsito de vehículos, en condiciones de comodidad y seguridad aceptables durante su periodo de diseño, y protegerlas de las acciones de las condiciones ambientales.

Los pavimentos deben cumplir las siguientes funciones:

Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico a lo largo de un periodo suficientemente largo de tiempo (vida útil o periodo del proyecto). Esto no obsta para que de manera más o menos continuada sean necesarias algunas actuaciones de conservaciones locales o de menor cuantía, además de una rehabilitación en las proximidades del final de dicha vida útil.

Resistir las solicitaciones previstas del tráfico pesado (camiones y autobuses) repartiendo las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la explanada solo llegue una pequeña fracción de aquellas compatible en todo caso con su capacidad de soporte (figura 2.1.). Las deformaciones, tanto recuperables como remanentes, que se produzcan en la explanada y en las diferentes capas del firme deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de las cargas y la resistencia a la fatiga de los distintos materiales.

Figura. 2.1. Transmision de la carga de una rueda a
traves del pavimento.



Fuente: Kraemer, Carlos. Ingeniería de carreteras. Volumen II.

Proteger la explanada de la intemperie y, en particular, de la acción del agua con su incidencia en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. En climas muy fríos, el firme constituye, además, una protección contra los efectos de la helada y del deshielo.

2.1.1. Características funcionales y estructurales

Los pavimentos deben poseer unas características funcionales que corresponden a las superficiales de la capa de rodadura y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que interesan más específicamente a los técnicos encargados del proyecto, de la construcción y de la conservación de los pavimentos y de la exploración de las carreteras.

Entre las características superficiales o funcionales podemos citar:

La resistencia al deslizamiento obtenida a través de una adecuada textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación y cuya influencia en la seguridad de esta es decisiva.

La regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que afecta a la comodidad de los usuarios en mayor o menor medida según las longitudes de onda de las deformaciones y la velocidad de circulación.

El ruido de rodadura, tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).

La reflexión luminosa, importante para la conducción nocturna y para el aprovechamiento de las instalaciones de iluminación.

El desagüe superficial rápido para limitar cuando llueve el espesor de la película de agua, disminuyendo así el riesgo de hidropneumático y las proyecciones de agua a los vehículos que circulan detrás.

Por otra parte, las características estructurales están relacionadas con las de los materiales empleados en las capas del pavimento. Su diferente deformabilidad da lugar a discontinuidades en las tensiones o en las deformaciones en los planos de contacto; por ello, el proyecto de una capa ha de armonizarse con el de las restantes a fin de conseguir un buen comportamiento estructural conjunto.

Mediante el empleo de modelos de cálculo, se puede evaluar la respuesta de la estructura a las cargas del tráfico en términos de tensiones, deformaciones y desplazamiento.

2.1.2. Tipos de pavimento

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

Pavimento flexible.

Pavimento rígido.

Pavimento compuesto.

Pavimento flexible con refuerzo de pavimento rígido.

Pavimento rígido con refuerzo de pavimento flexible.

Pavimento semirrígido.

Adoquinados.

Emboquillados.

2.2.PAVIMENTO FLEXIBLE

Se Denomina pavimento flexible al que está constituido por una carpeta o capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, habitualmente de materiales o suelos granulares, denominadas, base y subbase; la primera, situada sobre la segunda. Sin embargo, en función de las características particulares de cada caso, es posible prescindir de cualquiera de estas dos capas.

2.2.1. Capas del pavimento flexible

El pavimento flexible es una estructura que está conformada por las siguientes capas:

Figura. 2.2. Capas del pavimento flexible.



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

Carpeta asfáltica. Está compuesta por mezclas asfálticas y materiales pétreos.

Base. Es una capa granular ubicada bajo la carpeta asfáltica.

Subbase. Es una capa granular construida con materiales más económicos que los de las anteriores capas.

Subrasante. Es la superficie que soporta la estructura de pavimento, está compuesta por terreno natural, aunque en ocasiones es necesario mejorar las características del terreno para lo cual se requiere un proceso de mejoramiento.

2.2.2. Funciones de las capas de un pavimento flexible

Subbase granular

Función económica. Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzo en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con material de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y, no obstante, resultar más económica.

Capa de transición. La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menos cavando su calidad.

Disminución de las deformaciones. Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperaturas (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

Resistencia. La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la subrasante.

Drenaje. En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

Base granular

Resistencia. La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en la intensidad apropiada.

Función económica. Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

Carpeta

Superficie de rodamiento. La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Impermeabilidad. Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Resistencia. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

2.3.EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El conocimiento de las condiciones en que se encuentra un pavimento y de su comportamiento a través del tiempo, son tópicos de vital importancia para el organismo encargado de su diseño, construcción, conservación y operación; sin embargo, dichos tópicos interesan en forma fundamental al numeroso grupo de usuarios de los pavimentos, tanto urbanos como carreteros y aeroportuarios, por las implicaciones que tienen en la seguridad y economía del transporte.

Entre otras cosas la evaluación de un pavimento, además de proporcionar la información de su estado en el momento en que se realice, proporciona información de gran utilidad para constituir la experiencia del organismo, que contribuye a la constante mejora en los aspectos de diseño y construcción de pavimentos nuevos o sometidos a procesos de rehabilitación, así como a la eficiencia técnica y económica de estos últimos.

2.3.1. Importancia de la evaluación

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las medidas correctivas oportunas, consiguiendo con ellas, cumplir el objetivo de una serviciabilidad óptima al usuario. 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, previniendo una futura mayor inversión.

2.3.2. Tipos de evaluación

Los tipos de evaluación a realizarse se pueden dividir en dos grandes grupos que son: Evaluación superficial y evaluación estructural.

2.3.2.1. 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.

A continuación, se describen los principales equipos y/o ensayos utilizados para evaluar un pavimento:

2.3.2.1.1. Método para determinar las irregularidades superficiales de los pavimentos mediante HI-LO

Este ensayo describe el procedimiento que se debe seguir para medir las irregularidades superficiales de los pavimentos de carreteras. La conformidad dentro de los límites que se especifican para las irregularidades es fundamental en la valoración de la calidad de un pavimento nuevo. Las irregularidades de la superficie pueden causar variaciones importantes en la carga dinámica de la rueda, impedir el drenaje del agua de la superficie, en detrimento de la durabilidad de la carretera, e influir adversamente en la conducción del vehículo, seguridad, gastos, circulación y confortabilidad.

Alcance y campo de aplicación. El método describe el procedimiento para determinar las irregularidades superficiales de los pavimentos mediante un detector HI-LO. Asimismo, especifica las características a que debe ajustarse el equipo para medir, su calibración, operación y mantenimiento.

Descripción del equipo. El detector HI-LO es una regla rodante, conformada con una viga metálica indeformable que se apoya sobre tres ruedas. Al traslapar el instrumento, la rueda dispuesta en el centro de la viga y que es la rueda detectora, experimenta desplazamientos verticales debido a las irregularidades (altos y bajos) de la superficie; estas variaciones son amplificadas sobre un cuadrante mostrado en el centro del equipo, que incluye una escala graduada al milímetro y un rango de ± 10 mm. Las magnitudes de las irregularidades del pavimento pueden leerse directamente en dicha escala.

El detector HI-LO se opera por medio de una manilla de barra con sistema de dirección que controla la rueda timón delantera; está conformado por los siguientes elementos básicos (Ver figura 2.3.).

Viga metálica. Tiene una longitud de 3000 ± 50 mm y una rigidez adecuada para que el peso propio del equipo no produzca una flecha vertical ($f_v \leq 0.1$ mm) y no se generen deformaciones transversales ($f_h \leq 1$ mm). Es deseable que para su maniobrabilidad el material sea en base a aluminio, o de tal forma que su masa no sobrepase los 40 kg para los equipos de control rutinario.

Ruedas de apoyo. Deberán ser metálicas, de igual diámetro, con bujes o rodamientos que faciliten sus movimientos y con llantas de goma – neoprene de una dureza de 80 ± 5 shore A se localizarán en los extremos de la viga, de manera que la distancia entre ejes sea de 3000 ± 50 mm. Sus dimensiones serán las siguientes:

Diámetro: 200 ± 10 mm

Ancho: 40 ± 2 mm

Rueda detectora. Deberá ser metálica, con buje o rodamiento que facilite su movimiento y con llantas de gama – neoprene de una dureza de $50 \pm$ shore A; deberá ubicarse en el centro de la viga, a una distancia entre ejes de 1500 ± 25 mm, de cada rueda extrema. Sus dimensiones serán:

Diámetro: 150 ± 5 mm

Ancho: 30 ± 2 mm

Sistema transductor. Consistirá en un cuadrante tipo abanico, calibrado en milímetros con una amplitud de ± 10 mm y un sistema de conversión angular de amplificación de 1 a 15 mínimos.

Misceláneos. Es recomendable que le equipo cuente con accesorios tales como marcador de tinta, para delimitar las zonas irregulares y una chicharra o sistema de luces que acuse el comienzo y termino de las irregularidades superiores a lo admisible.

Calibración. Se realizan dos calibraciones diferentes: una tendiente a certificar que el equipo cumple con los requisitos de punto 2 y que se denomina sistemática y otra rutinaria, cuyo objetivo es verificar la posición cero al inicio de las medidas.

Calibración sistemática. Esta calibración debe efectuarla al inicio de cada faena o por lo menos una vez al año por un laboratorio competente, el que deberá certificar el cumplimiento de las especificaciones en cuanto a dimensiones, dureza de las llantas, sistema de medida y flechas.

Calibración de nivel. La posición de nivel o posición en cero de las mediciones corresponde a la recta imaginaria que une tangencialmente las tres ruedas del equipo detector HI-LO. Efectué la calibración de nivel sistemática apoyando el instrumento sobre un piso o viga plana, sin resaltes, de una longitud mínima de 3500 mm, que no sufra ningún tipo de deformación y que se encuentre libre de golpes o alteraciones de cualquier tipo; la tolerancia de desnivel de la superficie de apoyo es de 0.05 mm. Con el equipo apoyando sobre este patrón calibre la posición cero.

Control de la escala milimétrica. La calibración de la escala milimétrica, grabada en el cuadrante del HI-LO, se debe realizar con el equipo montado sobre un piso completamente nivelado. Con la aguja indicadora previamente calibrada y en posición cero, coloque bajo la rueda detectora placas de espesores conocidos entre 1 y 10 mm, para comprobar la concordancia entre lecturas del cuadrante con los espesores de las placas para irregularidades del rango de altos; para controlar la lectura del cuadrante para las irregularidades del rango de bajo, las diferentes placas de calibración se colocan simultáneamente bajo ambas ruedas de apoyo. Cualquier discordancia entre las lecturas del cuadrante y los espesores de las placas de control significa que el instrumento no puede ser aceptado; deberá ser corregido y luego controlado nuevamente hasta que cumpla con

la calibración especificada. Las placas empleadas en la calibración deben tener 30 mm de ancho por 40 mm de largo.

Verificaciones. Además, como parte de la calibración sistemática se deberán realizar los siguientes controles:

Verificar que las características de la viga y flechas estén dentro de tolerancias.

Verificar las dimensiones de cada una de las ruedas. La diferencia entre los radios máximos y mínimos deben ser inferior a 0.3 mm.

Verificar la dureza de las llantas; si presentan desgaste, este debe ser uniforme y dentro de las tolerancias aceptadas para los diámetros.

Verificar condiciones del estado mecánico.

Calibración rutinaria. Realice este tipo de calibración inmediatamente antes de emplear el equipo en cada jornada y después de cada transporte dentro de la faena. Consiste esencialmente en el chequeo de la posición cero; control que debe realizarse mediante un banco o viga de calibración nivelado, con una precisión de 0.4 mm.

Alternativamente, el control de nivel, puede efectuarlo con el equipo suspendido en el caballete, determinando la posición cero mediante un hilo nylon de pesca de 1m de diámetro, con una tensión mínima de 5 kgf. El hilo debe tensarse uniendo ambas ruedas de apoyo, lo que permite regular la rueda central o detectora de modo que, al cortar luz con esta, su posición coincida con la lectura cero del cuadrante.

1. Operación. Antes de iniciar la operación de control de irregularidades superficiales de un pavimento, debe comprobarse que el instrumento se encuentra calibrado de acuerdo a lo estipulado en 3.2 y que el pavimento se encuentra limpio y libre de suciedades que puedan alterar las lecturas del equipo.

Para operar el equipo empuje en dirección predominantemente paralela al eje del camino, a una velocidad de caminata normal y procurando que la rueda detectora no salte. Esta rueda es la que da la posición del equipo, por lo que es necesario tener presente que en todo momento las tres ruedas deben encontrarse dentro de los límites del pavimento por controlar.

En caso de encontrarse una irregularidad mayor a la permisible se procederá de acuerdo a lo señalado posteriormente.

Operación para control correctivo. Para delimitar la superficie con irregularidades mayores a las permisibles, efectúe sucesivas pasadas, tantas veces como sea necesario, en lo posible separadas 25 cm unas de las otras, determinando la superficie afectada y las magnitudes de las irregularidades, para proceder a las correcciones de acuerdo a lo especificado en el contrato correspondiente.

Una vez efectuadas las correcciones, repita el procedimiento para asegurar que la superficie está dentro de los límites aceptables.

Operaciones para control de recepción. Una vez informado el término del control correctivo, proceda a determinar, en forma definitiva, los altos y los bajos, mediante una pasada del detector por cualquier sección longitudinal del camino y de acuerdo con lo que se indica a continuación:

Medición en asfalto. Antes de comenzar las mediciones, realice la calibración rutinaria del equipo. Enseguida, coloque el instrumento en la dirección de medición, con la rueda trasera o la central, según corresponda, en el inicio del tramo a medir; luego inicie el avance para medir. Considere que un sector presenta irregularidad cuando la rueda detectora indica en el cuadrante un valor mayor al máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos) de que se estipula en las especificaciones de lisura del contrato.

Cuando la aguja sobrepasa el máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), detenga el avance normal, para seguir lentamente con el propósito de determinar si la irregularidad va en aumento y ubicar el valor máximo. A continuación, delimite el comienzo y el fin de la zona que presenta irregularidades superiores a las admisibles (indicado por la rueda central). Luego determine el valor opuesto de la irregularidad registrada, para lo cual avance o retroceda el equipo dos metros antes y dos metros después de la zona delimitada. Si la aguja no pasa el otro lado del cero, considere cero; si pasa, considere el máximo valor a que llegó dentro de los cuatro metros. El área afectada se determina sumando cuatro metros a la zona delimitada (dos metros antes y dos metros después de esta) y multiplicando por el ancho de la pista.

En caso que la distancia entre dos zonas delimitadas sea inferior a cuatro metros, sume dos metros antes y dos metros después de cada una delimitada. Se origina así una superposición de áreas, obteniéndose dos tramos: uno con la irregularidad mayor, incluida la zona de superposición y el otro con la irregularidad menor, sin incluir la zona de

superposición. Determine el área afectada multiplicando cada tramo por el ancho de la pista.

Informe. Informe los valores de las irregularidades medidas, tanto en pavimentos asfálticos como de hormigón, aproximando al entero absoluto inmediatamente inferior.

El encabezado del informe debe incluir como antecedentes, lo siguiente:

Identificación del contrato (nombre de la obra, sector, provincia, región).

Número y fecha de la resolución que adjudica el contrato.

Empresa constructora.

Tipo de pavimento y fecha de medición.

Tramo medido y pista controlada.

Mantenimiento y transporte

Mantenimiento. Se recomienda verificar semanalmente los bujes o rodamientos del rodado, del sistema transductor de las medidas y de la rectitud de la aguja indicadora. Mensualmente verifique el desgaste de la rótula transmisora de los movimientos verticales y el desgaste de las llantas de las ruedas, especialmente de la detectora, que tiende a ovalarse. En caso de detectarse cualquiera de estas deficiencias, se deberá proceder según el punto 3.

Transporte. Dada la fragilidad y sensibilidad del detector HI-LO disponga una armazón o caballete estable, firme y liviano, que lo asegure durante los traslados; preste especialmente cuidado a la fijación de la batiente amplificadora, ya que cualquier oscilación puede provocar la descalibración y/o destrozos en el instrumento. Durante los traslados y transportes deben evitarse los golpes y los movimientos violentos.

Control de lisura

Si correspondiere efectuar el control de lisura con fines receptivos, será responsabilidad del contratista, a través de su autocontrol, verificar la lisura del pavimento, tan pronto sea posible tras su construcción. El contratista, previa autorización del inspector fiscal, deberá realizar las correcciones necesarias si se detectan valores superiores a 8 mm o 10 mm, según sea el caso.

La metodología de reparación deberá ser tales que no alteren las características estructurales, de seguridad y de serviciabilidad de la carpeta asfáltica establecidas en esta especificación (por ejemplo, el espesor de la capa).

En los controles realizados con o sin fines receptivos, la dirección de vialidad se reserva el derecho de realizar chequeos aleatorios a las mediciones realizadas, a todo el contrato o parte de él, según lo estime conveniente: de ser así, la medición efectuada por vialidad prevalecerá sobre la del autocontrol.

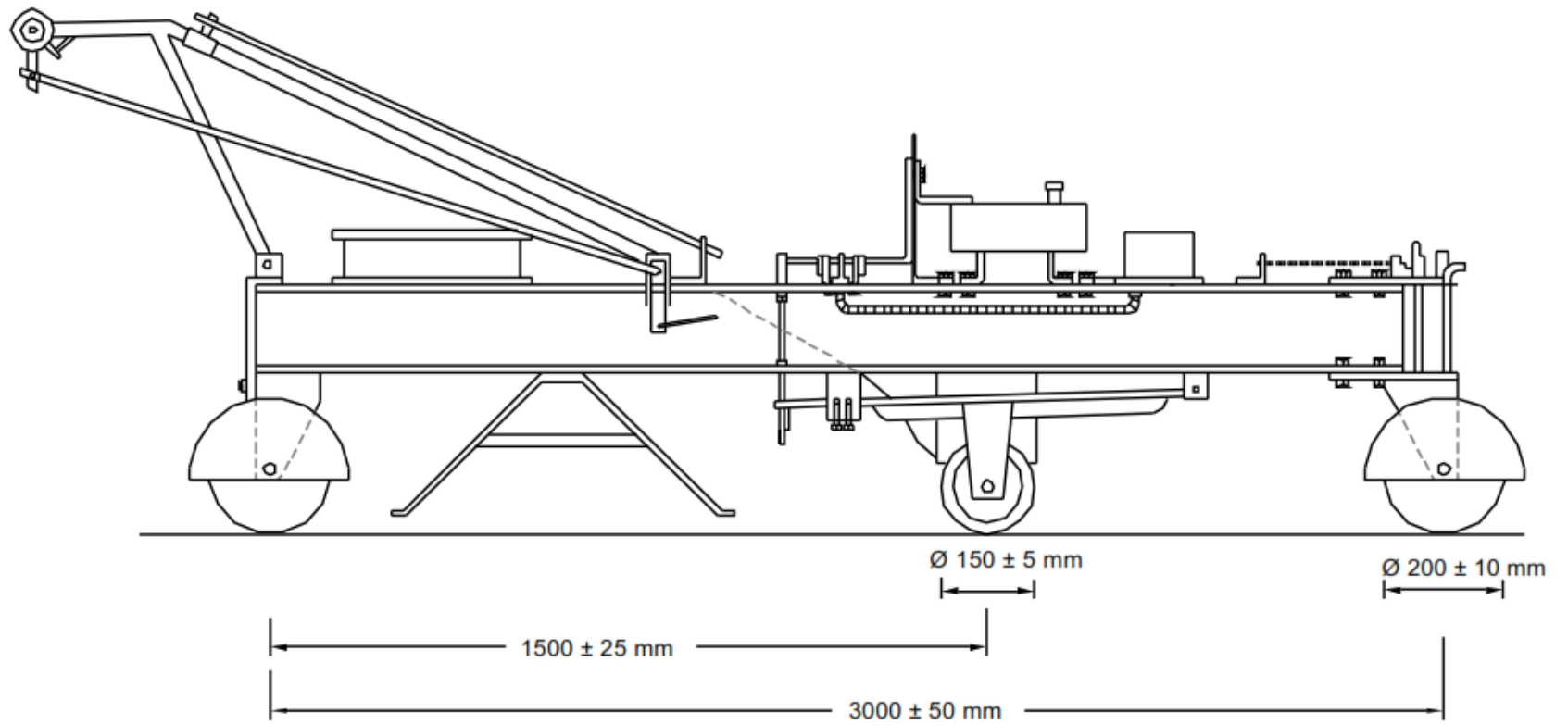
Tabla 2.1. Multas por irregularidades.

Irregularidad (mm)	Multas respecto del valor de la capa de rodadura en el área afectada.	
	TMDA \geq 1000 veh/día	TMDA <1000 veh/día
5		-
6		2%
7	10%	5%
8	15%	15%
9	30%	25%
10	100% o rehace	100% o se rehace

Fuente: Manual de carreteras. Chile. Volumen 5.

No se exigirá este control para recapados asfálticos sobre pavimentos existentes, excepto en el proyecto se establezca cotas rasantes para dichos recapados.

Figura. 2.3. Detector HI-LO.



Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

2.3.2.1.2. Método para determinar la macrotextura del pavimento mediante ensayo del círculo de arena

Alcance

Este método, llamado ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la Macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por este. El método está solo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en términos de área de contacto) entre neumático y pavimento.

La macrotextura ofrece una adecuada resistencia a altas velocidades sobre pavimentos mojados, permitiendo desplazar el agua de tal manera que el neumático esté en contacto directo con el pavimento. Depende del tamaño máximo de los agregados y de la composición de la mezcla.

Referencias

ASTM E965-96, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.

NLT-335/87 Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena.

Seguridad

En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiado de acuerdo con la normativa vigente, antes de la puesta en práctica del ensayo.

El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante, lo anterior, se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizaran los ensayos.

Terminología

Macrotextura del pavimento. Textura correspondiente a longitud de onda λ entre 0.5 mm y 50 mm, y amplitud A, entre 0.1 mm y 20 mm. Es función de las características del pavimento asfáltico (forma, tamaño y graduación del agregado) o del método de acabado del pavimento de hormigón.

Resumen del Método de ensayo

Los materiales estándares y los aparatos de muestreo consisten en: un material uniforme, un recipiente de volumen conocido, caja protectora de viento, escobillas para limpiar la superficie, un disco plano para esparcir el material en la superficie y una regla u otro dispositivo de medición que permita determinar el área cubierta por el material. Una balanza de laboratorio también es recomendable para asegurar cantidades consistente de material para cada muestra de medición.

El procedimiento de ensayo involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta, y posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento.

Al esparcir el material especificado en este método de ensayo, los huecos de superficie son rellenados completamente. Este método de ensayo no es considerado adecuado para ser usado en superficies de pavimentos que presenten huecos de superficie superiores a 25 mm de profundidad.

Significado y uso

Este método es adecuado en ensayos en sitio para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando este utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizado. Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos sean aplicados en el mismo lugar. Producto

del uso de la información obtenida mediante este método, pueden resultar mejoramiento a las prácticas de acabado y programas de conservación.

Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

Material y aparato. Los elementos esenciales para la realización del ensayo, que se muestran en la figura 2.4, consisten en los siguientes materiales y equipos:

Arenas normalizadas, obtenidas mediante la preparación de estas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado, se obtiene la arena tipo 80/100, que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100 y por otro, la arena tipo 100/200, que pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente, esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo. Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25000 mm³, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.

Disco para esparcir, plano y rígido, de 25mm de espesor y 60 a 75mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe estar cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.

Escobillas: una de cerdas dura y otra, de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.

Caja protectora de viento: pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.

Regla, de al menos 300 mm de longitud, con subdivisiones al milímetro.

Balanza: se recomienda con sensibilidad a 0.1 g, para asegurarse que el material utilizado en el ensayo sea igual en masa y volumen.

Calibración. En este equipo se requiere principal cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos, a fin de no alterar las mediciones obtenidas.

Por lo tanto, la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las

graduaciones, tanto de arena y de recipientes, como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

Procedimiento

Área de muestra. Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea, que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie, utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

Material de muestra. Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de este mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente, enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

Medida del ensayo. Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material, tomando cinco medidas igualmente esparcidas sobre el círculo. Calcule y registre el 9.4. promedio de las cinco medidas.

Para superficies muy lisas, donde el diámetro del parche de material esparcido sea mayor que 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

Cálculos.

Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

$$V = \frac{\pi * d^2 * h}{4}$$

Donde:

V = Volumen interno del cilindro, mm³.

d = Diámetro interno del cilindro, mm³.

h = Altura del cilindro, mm.

Promedio de profundidad de Macrotextura del pavimento: calcule el promedio de profundidad de Macrotextura, usando la siguiente ecuación.

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

Donde:

MTD = Profundidad media de Macrotextura, mm.

V = Volumen de arena utilizada, mm³.

D = Diámetro promedio del área cubierta por la arena, mm.

Informe. El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.

Fecha.

Volumen de material utilizado en cada ensayo realizado, mm³.

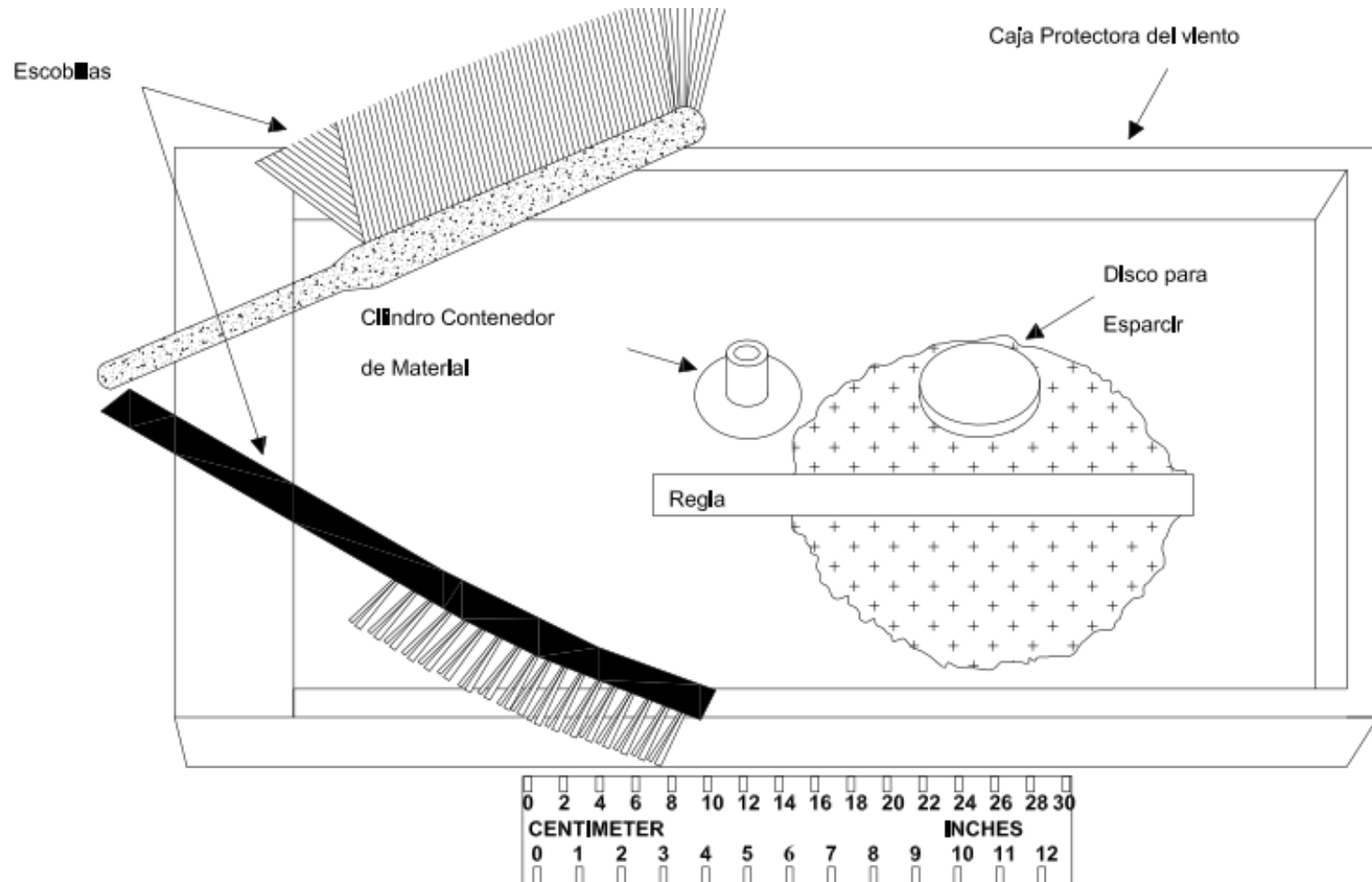
Numero de mediciones realizadas en el sector.

Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensayo.

Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensayo.

Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.

Figura. 2.4. Equipo para medir profundidad de macrotextura de la superficie del pavimento.



Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

2.3.2.1.3. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento con péndulo Británico. (TRRL)

Alcance y campo de aplicación

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico, valorando las características antideslizantes de la superficie del pavimento.

El ensayo mide la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de goma, una de cuyas aristas roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía refleja las características antideslizantes de la superficie y se mide por el complemento del ángulo de oscilaciones del péndulo.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio de probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es propósito de este método ensayar probetas para determinar el pulimiento acelerado de los áridos.

El procedimiento que se describe corresponde al uso del equipo en superficies pavimentadas y demarcaciones, para la ejecución de estudios puntuales de resistencia al deslizamiento, no siendo apto para ejecutar mediciones en tramos de medición extensos, con propósitos de gestión de fricción. Esto se debe a la baja repetibilidad espacial que presenta el péndulo Británico, y a la dificultad para obtener ecuaciones aceptables de homologación con mediciones con otros equipos.

Referencias

TM 032-07-A Prototipo de normativa de medición de resistencia al deslizamiento (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.

LNLT-175/98, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico (TRRL).

ASTM E 303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

MASTRAD (2004), Mastrad Calibration Rig S892 Operationg Instructions, United Kingdom.

Definiciones y terminología

Péndulo Británico. Equipo que permite ejecutar mediciones de resistencia al deslizamiento (RD) de manera puntual en superficies pavimentadas o demarcaciones viales.

Numero de péndulo Británico (British Pendulum Number, BPN). Corresponde a la lectura arrojada directamente en la medición obtenida con el péndulo Británico. Dependiendo del modelo, oscila entre 0 y 120.

BPN ajustado (BPN_A): Valor del BPN ajustada por temperatura.

BPN No valido (BPN_{NV}): Valores individuales de BPN que deben descartarse del procesamiento, por representar condiciones puntuales a la superficie del pavimento no atribuibles a su estado general.

Resistencia al deslizamiento características (RDC): Promedio de valores BPN en cada punto de medición.

Desviación Estándar de la resistencia al deslizamiento característica (SRDC): Desviación estándar de los valores de BPN en cada punto de medición.

Repetibilidad puntual: Valor de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, en el mismo punto, con el mismo operador, bajo las mismas condiciones de medición. Se expresa mediante la desviación estándar ponderada y el valor P obtenido del análisis de varianza de mediciones repetidas.

Espaciamiento de medición: Distancia en m, entre dos puntos sucesivos de medición a lo largo de un tramo inspeccionado.

Tramo inspeccionado: Corresponde a la longitud total de la pista sobre la que se realiza la medición de resistencia al deslizamiento con el equipo Péndulo Británico.

Línea de medición: Corresponde a la trayectoria que estadísticamente siguen las ruedas delanteras y trasera derecha de los vehículos. Sobre esta línea se deberá posicionar el equipo para medir RD de los pavimentos.

Equipo de medición y material necesario.

Péndulo del TRRL. Se emplea el aparato representado en la figura 2.5, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). es un dispositivo estático de medición de RD. posee un péndulo de caída, con una zapata de goma fijada en

su extremo interior, y una escala graduada en una placa metálica con forma de $\frac{1}{4}$ de círculo. El péndulo cae desde una posición horizontal, describiendo una trayectoria semicircular; en la parte interior de su recorrido, la zapata de goma roza la superficie a medir. En su desplazamiento, el péndulo arrastra un puntero indicador muy liviano, que queda fijo marcado el punto más elevado de la trayectoria sobre la escala graduada, una vez que le brazo del péndulo retorna sobre su trayectoria inicial.

La posición final del puntero indica la RD medida sobre la superficie evaluada, que se expresa en la escala como fracción decimal multiplicada por 100 (Numero de Péndulo Británico o BPN). Los valores de RD medidos con Péndulo Británico presentan una alta variabilidad espaciada y direccional.

El péndulo propiamente tal (véase la figura 2.5) con zapata y su placa soporte, tiene una masa de 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad está situado en el eje del brazo, a 410 ± 5 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tiene un radio de 510 ± 1 mm. La zapata ejerce una fuerza de 22.2 ± 0.5 N sobre la superficie de ensayo en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no debe ser mayor que 216 N/m.

La zapata de goma va pegada a una placa de aluminio (véase la figura 2.7), que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo. De ese modo solamente la arista posterior de la goma entra en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarse alrededor del pivote (F); así, recorre las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

Características de la zapata de goma. Las dimensiones de la zapata de goma son 76.2mm de longitud, 25.4 mm de ancho y 6.5mm de espesor (vea figura 2.8). La masa del conjunto zapata y placa soporte es de 36 ± 7 g. las zapatas se cortan de una plancha de goma de 6.5 mm de espesor y de una edad mínima de fabricación de seis meses. Las zapatas nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben efectuarse preparando el ensayo tal como se indica en el punto 7. Debe en la arista superior de 1.6 mm de alto (Figura 2.9).

Dispositivo de nivelación. El dispositivo de nivelación es del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical (Figura 2.5).

Dispositivo de desplazamiento vertical. Es un dispositivo que permite mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (figura 2.6), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127mm. El movimiento vertical de la cabeza del péndulo solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectúa por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por los mandos (B y B') de la figura 2.11. La cabeza queda fijada por medio del tornillo a presión (A).

Dispositivo de disparo del Brazo del péndulo. Es un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) de la figura 2.5, para que este caiga libremente desde su posición horizontal.

Dispositivo de medida. Es un dispositivo consistente en una aguja (vea la figura 2.5), de masa 85g y longitud 300mm, equilibrada respecto de su centro de suspensión. Cuando el brazo del péndulo se mueve libremente desde su posición inicial horizontal, arrastra la aguja hasta el final de su recorrido de ida. La aguja no acompaña al péndulo en su recorrido de regreso y queda indicado la posición a la que aquel llegó, sobre una escala circular (K) grabada en un panel. El mecanismo de suspensión de la aguja tiene un sistema de fricción regulable mediante anillo de fricción roscados (E y E' de la figura 2.12)

Material Auxiliar.

Regla graduada. Una regla graduada (figura 2.10), con marcas exteriores separadas por 127mm, y marcas interiores separadas de la exterior más próxima por 2.5mm.

Termómetro. Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de -10°C a +60°C.

Recipientes para agua. Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno, con capacidad de 10 litros y el otro, con capacidad de 0.5 litros. El más pequeño lleva en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

Cepillo. Un cepillo de cerdas de goma dura, de longitud mayor que 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.

Cinta métrica. Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m, para situar los puntos de medida.

Caja de herramientas. Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc..., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

Caja de transporte. Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

Banqueta. Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.

Calibración de péndulo Británico.

La calibración del péndulo Británico comprende básicamente la verificación del estado mecánico del mismo. Los procedimientos de calibración están regulados por el manual del fabricante.

Frecuencia de calibración:

- a) La calibración detallada deberá realizarse en forma rutinaria 1 vez al año.
- b) La calibración periódica se realizará 24 horas antes de la ejecución de campaña de medición.

Además, ambas calibraciones deberán ejecutarse en las siguientes circunstancias.

Cuando se reemplace, repare o ajuste algún componente del equipo.

Cuando se retome de una campaña de medición que se prolongue más de dos semanas.

Cuando alguna pieza no esté operando satisfactoriamente, o pueda fallar en el corto plazo.

Procedimiento de calibración detallado: El procedimiento de calibración se ajustará a las especificaciones del fabricante.

Procedimiento de calibración periódico: Esta calibración deberá considerar los siguientes pasos, ejecutados de acuerdo con las especificaciones del fabricante:

Verificación de peso del péndulo.

Verificación de centro de gravedad.

Distancia del centro de gravedad al centro de oscilación.

Verificación de peso de masa deslizante.

Verificación del estado de la zapata de goma

Nota: En caso en que le péndulo presente problemas, se deberá aplicar la calibración detallada en el punto 6.3.

Procedimiento de ensayo

Ensamblado, posicionamiento y puesta a punto del equipo. Antes de realizar las mediciones, se debe preparar y poner a punto el equipo, siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a) Armar el aparato en el sitio de medición.
- b) Para medir resistencia al deslizamiento en sentido longitudinal, el aparato deberá colocarse de modo tal que la zapata de goma quede alineada con respecto a la dirección longitudinal del elemento cuya RD se desea medir, y que el péndulo se desplace en esa misma dirección.
- c) Para medir resistencia al deslizamiento en sentido transversal, el equipo se deberá posicionar perpendicularmente a la dirección longitudinal del elemento a medir, y la zapata de goma golpeará la superficie en la forma transversal a dicha dirección.
- d) Nivelar el instrumento mediante los tornillos (L) situados en sus patas de apoyo, hasta que la burbuja de nivelación horizontal (M) esté totalmente centrada (figura 2.5).
- e) Verificar la lectura cero del péndulo. En primer lugar, se eleva la cabeza del aparato, de forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir. Luego, se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de dispar (N) (Figura 2.5). Después se desplaza la aguja indicadora (I) hacia la derecha hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de modo 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, sujetando el péndulo según se indica en 7.2, presionar el pulsador (N), lo que suelta el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solo en su oscilación hacia adelante. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso, antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de

evitar el arrastre de la aguja indicador en la oscilación de vuelta. Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel. Si la aguja no marca cero, se realizan ajustes mediante los anillos de fricción (E y E') figura 2.5 y 2.12. Por ejemplo, si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección consistirá en apretar los anillos. Volver el brazo y la aguja a su posición inicial de disparo y se repite el proceso, hasta que la guja marque cero 3 veces consecutivas.

f) Con el péndulo nivelado y suelto verticalmente, ajustar la altura del equipo, como sigue:

Regular progresivamente la elevación del eje troncal del aparato con el tornillo de ajuste, hasta que la zapata de goma entre en contacto la superficie a medir.

Mover el brazo pendular de izquierda a derecha y viceversa, verificando con la regleta graduada del equipo la separación de los puntos de contacto entre la zapata de goma y la superficie. Dicha separación deberá estar entre 124 y 127mm; en caso contrario, modificar la elevación del eje del péndulo, y repetir el proceso hasta lograr la separación requerida.

Una vez realizado los procedimientos anteriores, realizar los ensayos, aplicando la siguiente secuencia en cada medición:

Llevar el brazo y la aguja a la posición horizontal.

Esparcir suficiente agua sobre la superficie a medir y sobre la zapata de goma. Se recomienda utilizar para ello un dispositivo tipo pulverizador a gatillo. Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene nuevamente con agua.

Se sujeta el péndulo con una ligera precisión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base.

Presionar el pulsador de dispar, lo que suelta el brazo libremente. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el roce de la zapata sobre la superficie de contacto, con su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo, ayudándose de la palanca de elevación (P).

La posición de la aguja indicara el valor obtenido en el ensayo. Leer el valor obtenido con una precisión de 1 BPN. La visual del operador, al realizar la lectura, deberá ser horizontal.

Registrar en planillas la lectura efectuada.

Ejecutar la primera medición sin registrar el dato obtenido.

Ejecutar a continuación 5 mediciones consecutivas.

El equipo deberá permanecer en el sitio de medición hasta que hayan sido verificadas las tolerancias que se establecen a continuación.

Verificación de tolerancias en la medición.

Verificar que las 5 mediciones no difieran más de 3 unidades BPN entre sí.

Si solo 1 valor se encuentra fuera de la tolerancia, eliminar dicho dato. Si dos o más valores se encuentran fuera de la tolerancia, repetir las 5 mediciones nuevamente.

Repetir el procedimiento hasta un máximo de 3 veces. Si aun en la tercera repetición no se logra cumplir con la tolerancia, el equipo deberá ser recalibrado.

En caso de cumplir con las tolerancias, calcular y registrar el valor promedio de las mediciones individuales validas de BPN.

No se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia, debido a que los tornillos de calibración del cero pueden mojarse, lo que imposibilita la calibración del equipo, obteniéndose lecturas erróneas.

Otro factor climático sobre el cual se deben tomar medidas es el viento, ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación: más bien, trabaja libremente y el viento altera su recorrido, llevando a mediciones erróneas. En este caso, se debe considerar el uso de algún elemento que implica que le viento llegue directamente al equipo.

Para efectos de estudios, el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección, ya sea transversal o en algún ángulo determinado, según sea el sentido del tránsito. Es así como en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° aproximadamente respecto del desplazamiento de los vehículos. Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, este debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizar la medición.

Selección espaciamento de medición. Las mediciones con este equipo son de carácter puntual, motivo por el que previamente es necesario definir el espaciamento de la medición. Para ello, es recomendable realizar un muestreo sistemático. Este método es recomendable en los casos en que la superficie por ensayar sea relativamente homogénea, de manera que no existan singularidades que distorsionen las mediciones.

En un tramo de longitud L, el número y espaciamento de las muestras (d) está definido por la siguiente expresión.

$$d = \frac{K_a^2}{t_{\alpha/2, n-1}^2 * CV^2} * L$$

Donde:

D = espaciamento de las muestras.

K_a = error máximo admisible.

T = estadístico t-student para una confiabilidad α y n-1 grados de libertad.

L = longitud del tramo en que se toman las muestras.

CV = Coeficiente de variación de las muestras, definido como la razón entre el promedio y la desviación estándar de los datos.

El proceso de cálculo es iterativo, dado que el tamaño muestral define los grados de libertad del estadístico t. a su vez, el tamaño muestral depende del espaciamento de los puntos de muestreo.

En la tabla 2.2. se muestra valores recomendados de espaciamento obtenidos con este procedimiento, para un nivel de confianza de 95%, y diversos coeficientes de variación.

En el caso presentado en la tabla, para el cálculo se ha mantenido fijo el valor de la longitud de muestreo.

Tabla 2.2. Espaciamiento de las muestras puntuales asociadas a muestreo sistemático según CV y longitud de la unidad de muestreo (m).

L(m)	CV = 0.1	CV = 0.15	CV = 0.20	CV = 0.25
1000	150	90	60	50
2000	300	180	110	75
3000	460	270	170	115
4000	610	360	225	150
5000	760	450	280	190

Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8

En términos de puntos de medición por km, la tabla anterior puede reducirse a la expresión:

$$\text{Mediciones} = \text{entero}(94 * cv - 3.2) * (\text{puntos/km} - \text{pista})$$

Esta expresión es independiente del tipo de medida. El espaciamiento obtenido está asociado a un error máximo de 10% y a una confiabilidad de 95%. Por ejemplo, un espaciamiento de 100 m/km-pista está asociado a un CV de 14%.

En los casos en que no se disponga de datos para estimar un CV histórico, se empleara un CV de 15%, con lo que se obtiene una cantidad de 10 puntos por km – pista.

Línea de medición: La medición de BPN se efectuará en la huella externa o a una distancia de 70cm aproximadamente respecto del borde derecho de la demarcación en el sentido de avance del kilometraje.

Resultados del ensayo.

El cálculo de BPN: Se procede según la ecuación siguiente.

$$BPN = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n BPN_i$$

En que BPN_i es cada lectura individual y “n” es igual a 4 o 5.

Ajuste por temperatura: Las medidas efectuadas en pavimentos se ven afectados por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. Para asegurar la uniformidad de las medidas realizadas, bajo condiciones climáticas diferentes, los BPN deben corregirse mediante la ecuación, propuesta por el TRRL, para llevar los resultados a 20°C.

$$F_A = \frac{1}{1 - 0.00525 * (t - 20)}$$

En que F_A ES EL FACTOR DE AJUSTE Y “t” es la temperatura en °C.

Cálculo de BPN_A: Se procede según la ecuación.

$$BPN_A = BPN * F_A(20)$$

El resultado se expresa con un decimal.

Resultados del ensayo: Se expresa según la siguiente ecuación:

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

Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

Elaboración de informes de datos procesados: Los informes de datos deberán cometer lo siguiente:

Parte 1. Datos administrativos.

Nombre del operador del equipo.

Ruta inspeccionada (Nombre y Rol).

Kilometro inicial y final.

Pista medida (Consignada de acuerdo con clasificación de la dirección de vialidad).

Hito físico de referencia.

Fecha de medición.

Código registró bitácora de última calibración y fecha de calibración.

Condición climática (soleado, parcialmente nublado, nublado, precipitaciones, etc.)

Fecha de últimas precipitaciones (si está disponible).

Parte 2. Datos procesados:

1^{ra} Columna: Registro kilometro

2^{da} Columna: Temperatura

3^{ra} Columna: Factor de ajuste por Temperatura.

4^{ta} – 8^{va} Columna: lecturas individuales de BPN.

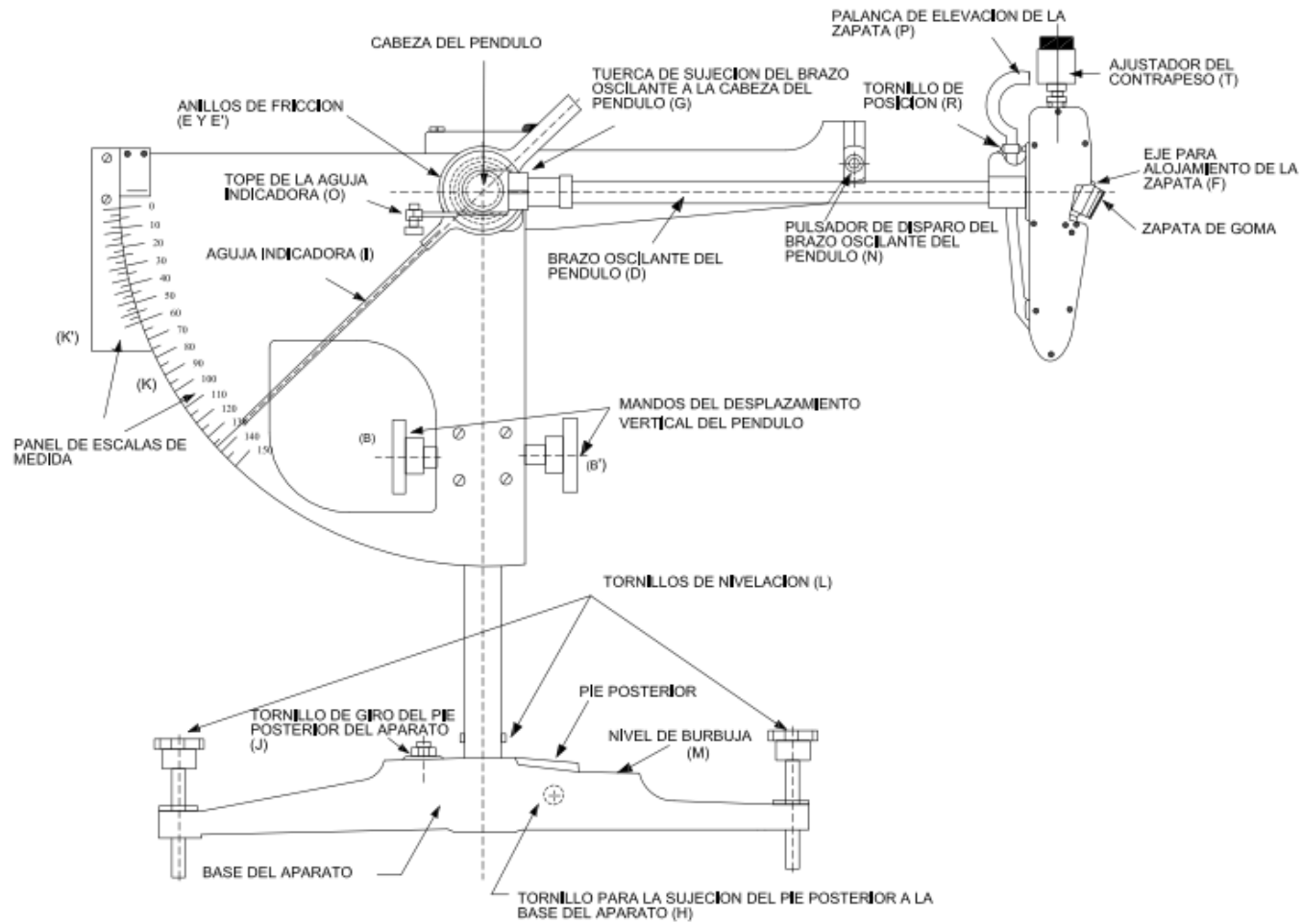
9^{na} Columna: Valor medio de BPN.

10^{ma} Columna: Valor medio corregido de BPN por temperatura, ajustado a un decimal, BPN_A.

11^{va} Columna: Valor RD: BPN_A, dividido por 100 y ajustado al segundo decimal.

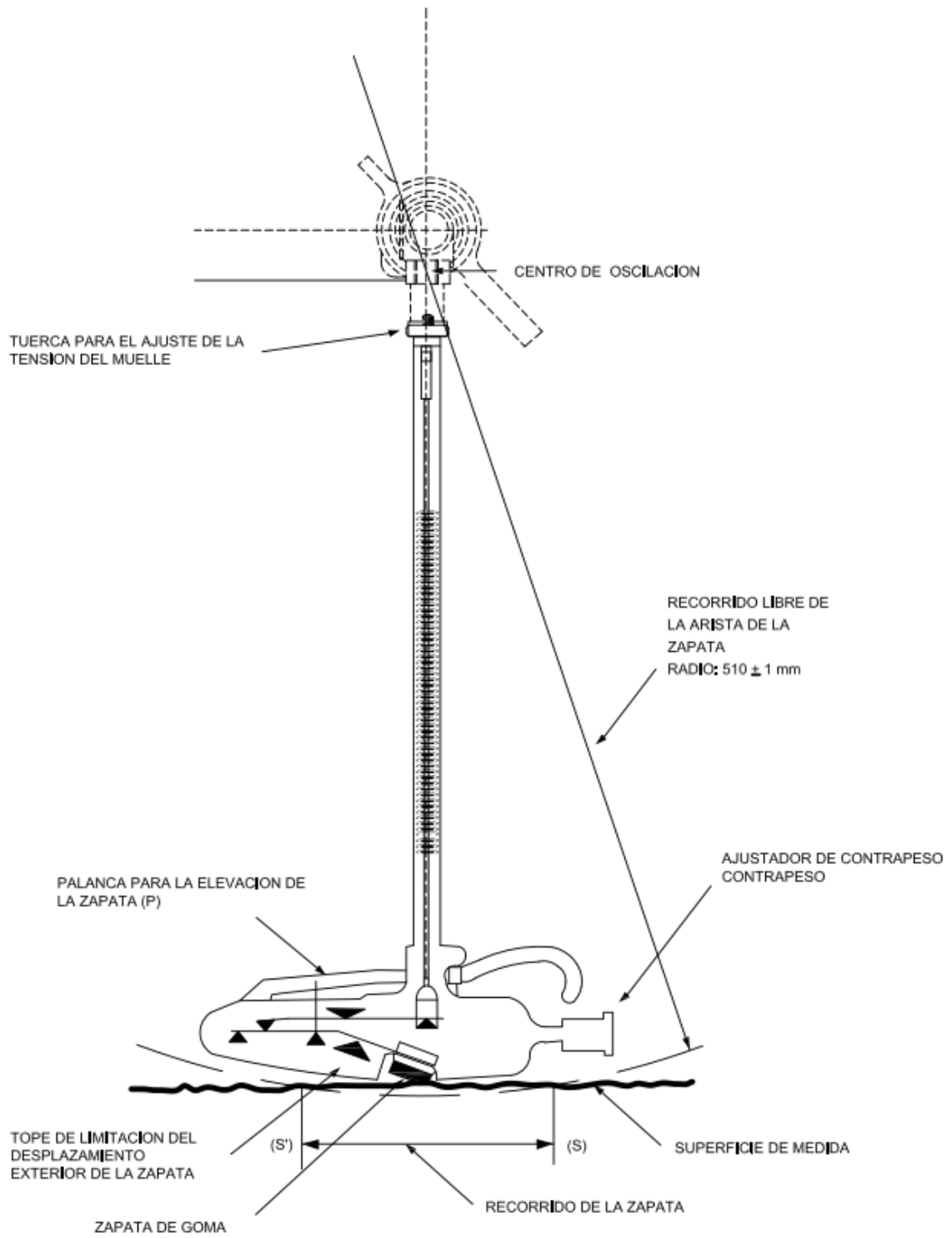
12^{ra} Columna: Observaciones: Registro de observaciones particulares respecto de situaciones especiales acontecidas durante el proceso de medición.

Figura. 2.5. Péndulo de TRRL.



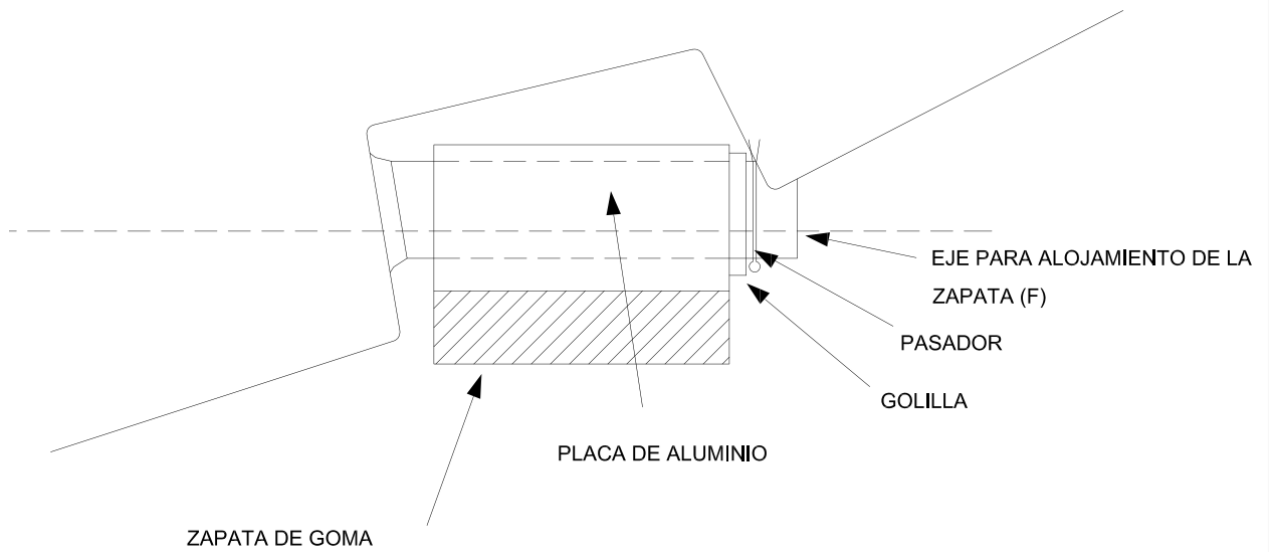
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.6. Detalle del brazo del péndulo.



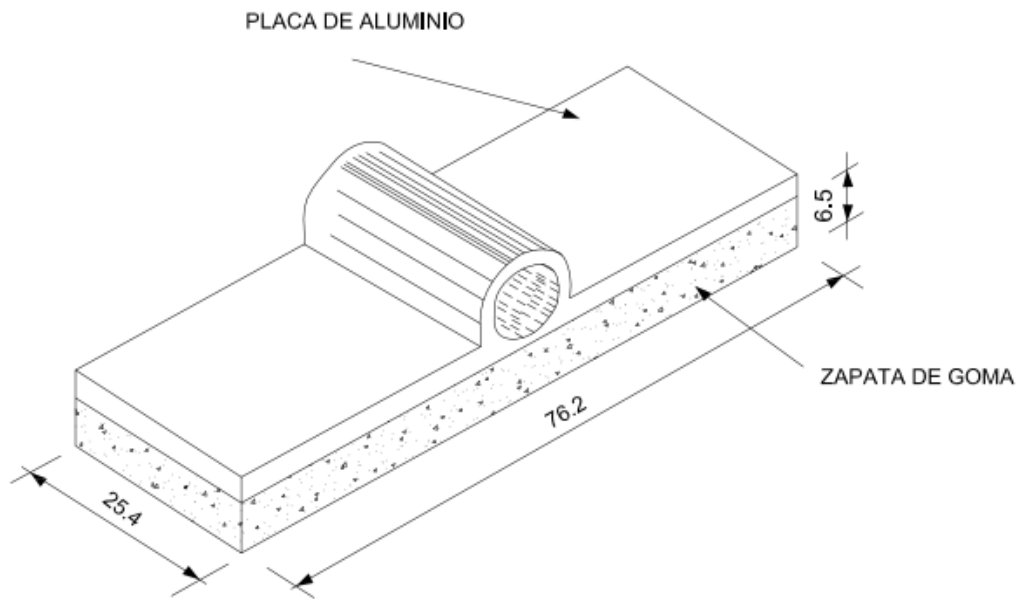
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.7. Detalle de la disposición de la zapata de goma.



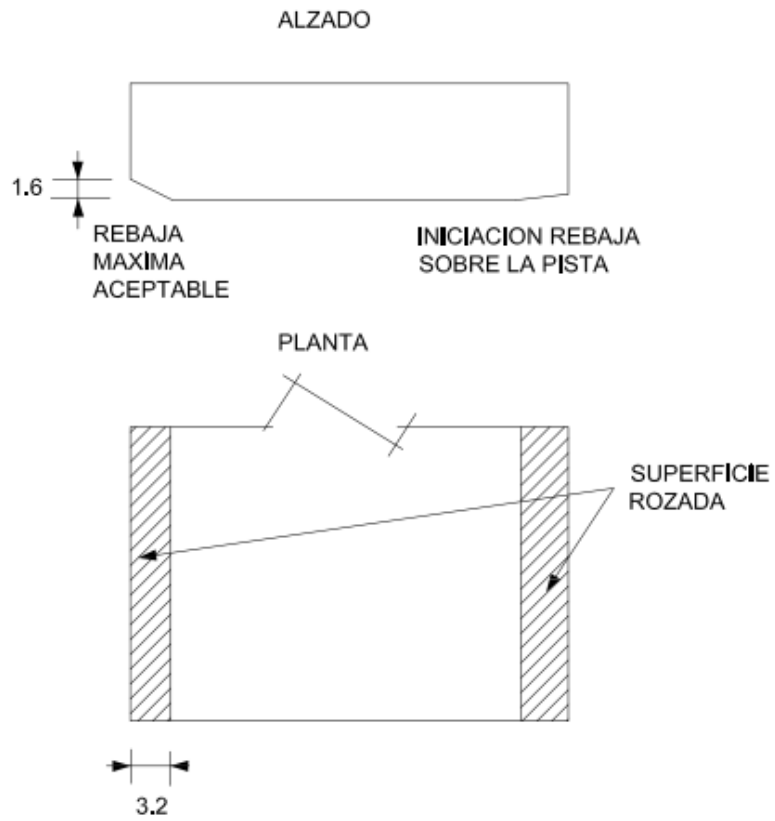
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.8. Zapata para medidas sobre pavimentos.



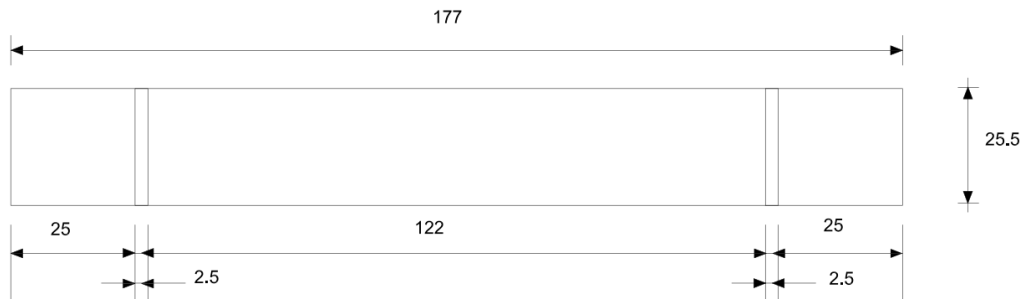
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.9. Detalle de la superficie rozada sobre la zapata.



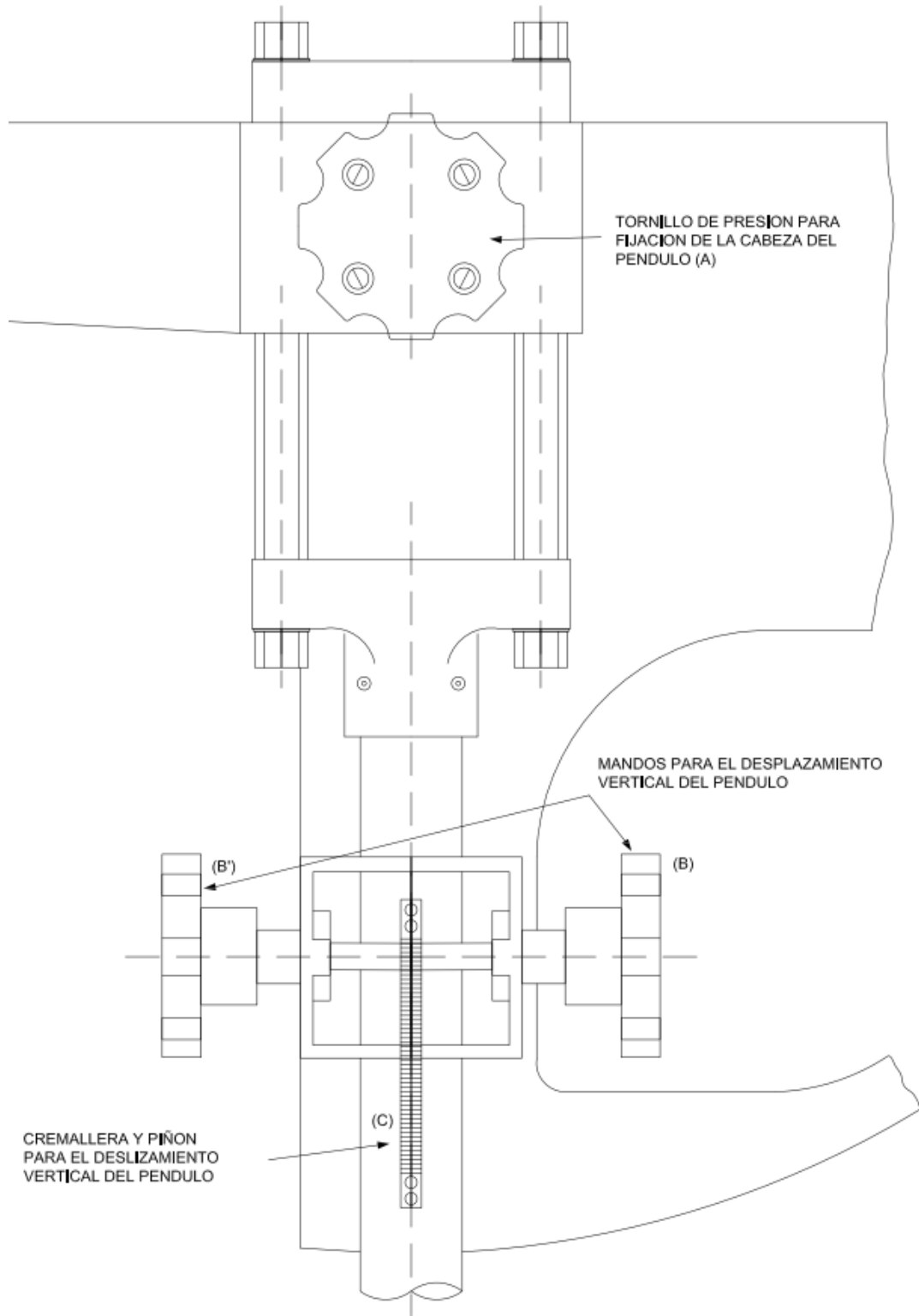
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.10. Regla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie del ensayo.



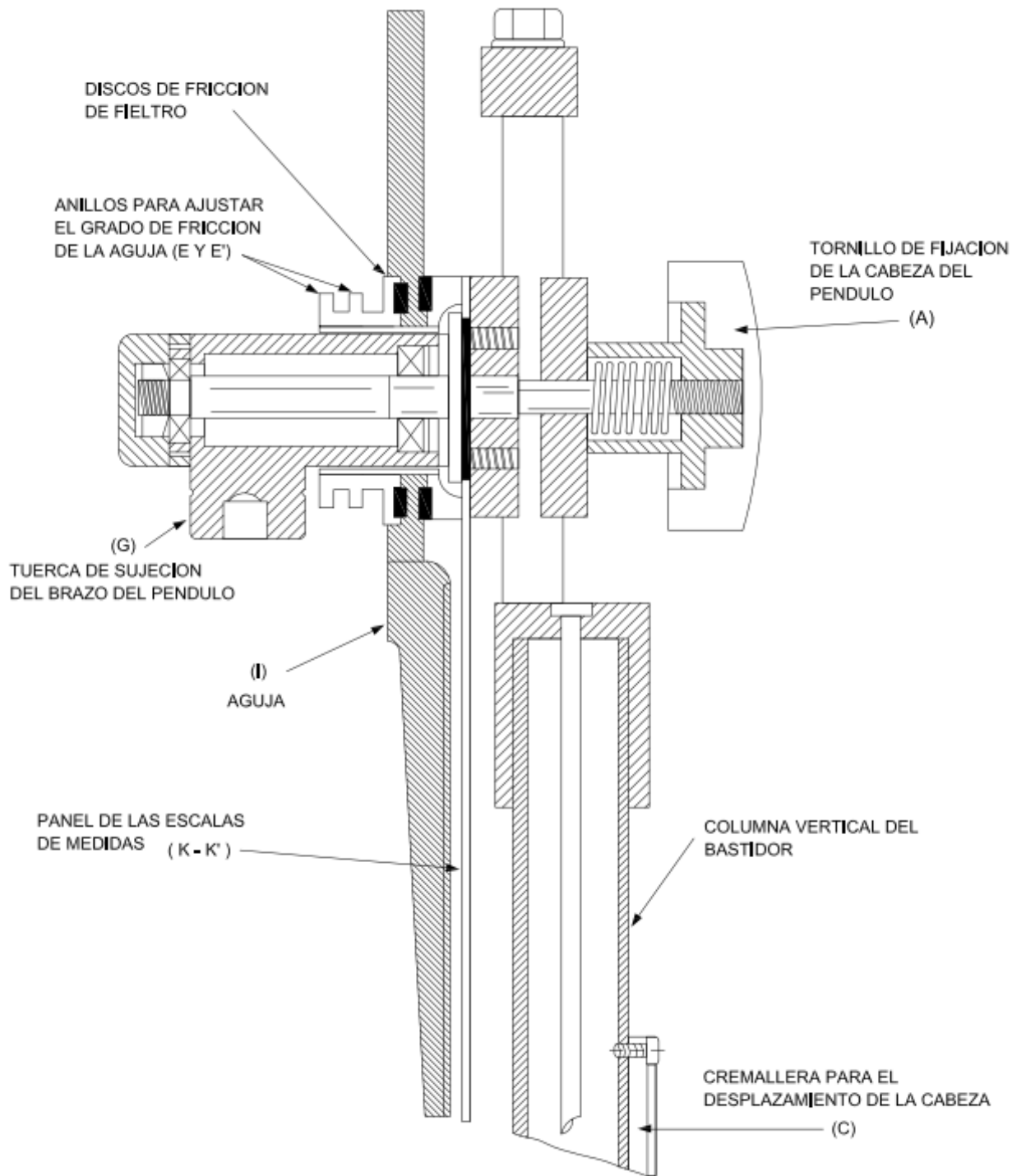
Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.11. Detalle del dispositivo del desplazamiento vertical del péndulo.



Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

Figura. 2.12. Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.



Fuente: Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

2.3.2.1.4. Método para el Índice de Regularidad Internacional IRI.

La regularidad es la característica que más influye en las sensaciones de confort y seguridad que experimenta un usuario al circular por una carretera. Cabe destacar que la regularidad superficial es mucho más valorada por el conductor que la capacidad portante en sí y que esta última tan solo le interesa en cuanto incide en la primera por la aparición de baches y otras deformaciones.

Diferentes investigaciones realizadas, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando la velocidad de circulación, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible.

Los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no solo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones de la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por estas razones, conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o en cualquier momento de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente. Debido a que el Índice de Regularidad Internacional (IRI) es geográficamente transferible, repetible y estable con el tiempo, se ha convertido en medición atractiva y conveniente para el control de calidad de la construcción de nuevos pavimentos; ya que permite evaluar la regularidad superficial de las mismas, y refleja el confort y seguridad de los usuarios, garantizando de manera indirecta el desempeño estructural del pavimento.

Es posible encontrar investigaciones en las cuales se ha evaluado la influencia de los valores iniciales de IRI con el comportamiento del pavimento a largo plazo (Zaghloul, 1996). Estas demuestran que valores iniciales elevados de IRI ocasionan mayores deterioros en el tiempo, mayor costo de mantenimiento, una vida útil de servicio inadecuada y rehabilitaciones o reconstrucciones a temprana edad del pavimento. Aun solucionándose los deterioros iniciales, el pavimento siempre presentara fallas funcionales en el tiempo más graves que aquel pavimento que inicio su vida útil con un valor de IRI menor.

En 1988 Michael S. Janoff del JMJ Research, estudio el efecto de la regularidad inicial sobre el rendimiento del pavimento a largo plazo. Los resultados fueron presentados en

1990 en la reunión anual de la NAPA, en la publicación titulada “The Effect of Increased Pavement Smoothness On Long Term Pavement Performance & Annual Pavement Maintenance Cost”.

Algunos de los resultados obtenidos de este estudio fueron:

Los pavimentos con una menor regularidad inicial tienen niveles más bajos de regularidad para los siguientes 10 años a la construcción.

Los pavimentos con una menor regularidad inicial tienen niveles más bajos que agrietamiento para los siguientes 10 años a la construcción.

Los pavimentos con una menor regularidad inicial tienen costos anuales medios de mantenimiento más bajos para los siguientes 10 años a la construcción.

Debido a estas razones es importante profundizar en el conocimiento de la forma de medición del índice de Regularidad Internacional (IRI), así como las especificaciones internacionales que garantizan el desempeño óptimo de las carreteras, de manera tal que se pueda contar con una metodología única que permita evaluar la condición superficial, representada por el IRI, de forma homogénea y objetiva, y posteriormente realizar mediciones en diferentes tramos y compararlos con los valores o especificaciones que habitualmente se usan en el mundo.

La implementación de estas mediciones puede conllevar a la introducción de nuevas tecnologías o técnicas que se emplearan en las obras de pavimentación, que garanticen el desempeño funcional, lo cual dará repercusiones positivas en la construcción de carreteras.

Definición de regularidad superficial.

Las vías terrestres, además de ser medios de comunicación indispensable para los usuarios, deben permitir desplazamientos rápidos, seguros y cómodos. El buen estado de la infraestructura carretera resulta además vital para la operación del transporte, el cual tiene una influencia preponderante en el estado general de la economía de un país. Considerando estos aspectos, la American Association of State Highway Officials (AASHO), en el desarrollo del proyecto AASHO Road Test en 1962, introdujo el concepto de serviciabilidad, la cual debe ser definida en relación a el propósito de un pavimento construido, esto es, proveer un viaje confortable, seguro y suave a los usuarios.

En otras palabras, la serviciabilidad debe estar explícitamente relacionada con los usuarios.

En el ensayo de AASHO, la serviciabilidad se cuantificó inicialmente a través del Present Serviciability Rating (PSR); el cálculo de este índice se realizó por medio de una apreciación subjetiva sobre la calidad de rodado, realizando por un grupo de personas especialmente seleccionadas que formaron parte de un panel evaluador, de modo que representaran a los usuarios. De esta evaluación subjetiva surgió una escala de clasificación que calificó la calidad de ruedo con valores entre 0 (intransitable) y 5 (excelente).

En vista que dicha metodología contenía aspectos subjetivos, dentro del proyecto de AASHO Road Test, se realizaron correlaciones entre el PSR y mediciones objetivas de la condición del pavimento, lo cual contribuyó a determinar el Present Serviciability Index (PSI). De esta forma fue posible estimar el PSI con una función derivada de variables como el “Slope Variance”, (SV), la cual corresponde a la varianza de las medidas de desnivel del perfil longitudinal, y considerando el aporte de deterioros como agrietamientos y bacheo.

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle – Pavement Systems, se define el concepto de Roughness, cuya traducción al español es Rugosidad y viene dada por:

Desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, como el perfil longitudinal, perfil transversal.

Algunos autores prefieren utilizar el término regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliográfica que trata indistintamente los conceptos de regularidad y rugosidad; sin embargo, para efectos del presente documento prefiere utilizarse regularidad, para referirse a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

Cálculo de índice de regularidad superficial

El perfil longitudinal de un camino es una representación en dos dimensiones de la superficie del mismo, a lo largo de una línea imaginaria. Por tanto, la medición del perfil es una serie de números que representan elevaciones relativas respecto a un nivel de referencia.

De esta manera, se tiene que el índice de un perfil es un valor calculado que resume las variaciones en el perfil de la superficie. Los detalles del cálculo determinan el significado y significancia del índice. El valor del índice puede estar relacionado con un modelo matemático del movimiento de un vehículo o por otro índice comúnmente utilizado.

Se dice que un índice es portable y reproducible, cuando este puede ser calculado a partir de un perfil verdadero y por cualquier perfilógrafo válido. Además, se habla que es este en el tiempo, cuando puede ser comparado en el tiempo; puesto que el concepto de perfil verdadero tiene el mismo significado año a año y la subsecuente transformación matemática del perfil verdadero también es estable con el tiempo.

A partir de un simple perfil puede calcularse muchos índices de regularidad. En términos generales, todos los índices de regularidad pueden calcularse empleando transformaciones matemáticas en cuatro pasos básicos. Los detalles en cada uno definirán el índice. A continuación, se describe cada uno de estos pasos:

Determinación de la cantidad de perfiles iniciales. La mayoría de los índices son calculados a partir de un perfil simple, pero algunos índices requieren dos perfiles (generalmente uno sobre cada huella del carril).

Filtrado de longitudes de onda y datos. Algunos análisis requieren aplicar una secuencia de filtros.

Acumulación y reducción del perfil filtrado. La secuencia de cantidades filtradas debe ser reducida a un valor o índice. Comúnmente se realiza una acumulación de los valores absolutos, o una acumulación de los valores elevados al cuadrado, de todos los números. El resultado es un único valor acumulado.

Escalonamiento del índice. El paso final es convertir el valor acumulado a una escala apropiada. Esto en generalmente involucre una división por la cantidad de puntos del perfil o la longitud del perfil para normalizar la regularidad por la longitud cubierta.

Índice de regularidad internacional (IRI)

Con el objetivo de unificar los diferentes parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realiza en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promovido por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para un número de vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial, el cual satisface completamente criterios de ser estable en el tiempo, transferible y relevante, denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

El IRI como indicador estadístico de la irregularidad superficial de pavimento representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de $IRI = 0$ es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo. Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito.

Las consideraciones más importantes sobre el IRI son:

El IRI se determina mediante un cálculo matemático realizado con las ordenadas o cotas de una línea de perfil longitudinal cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil.

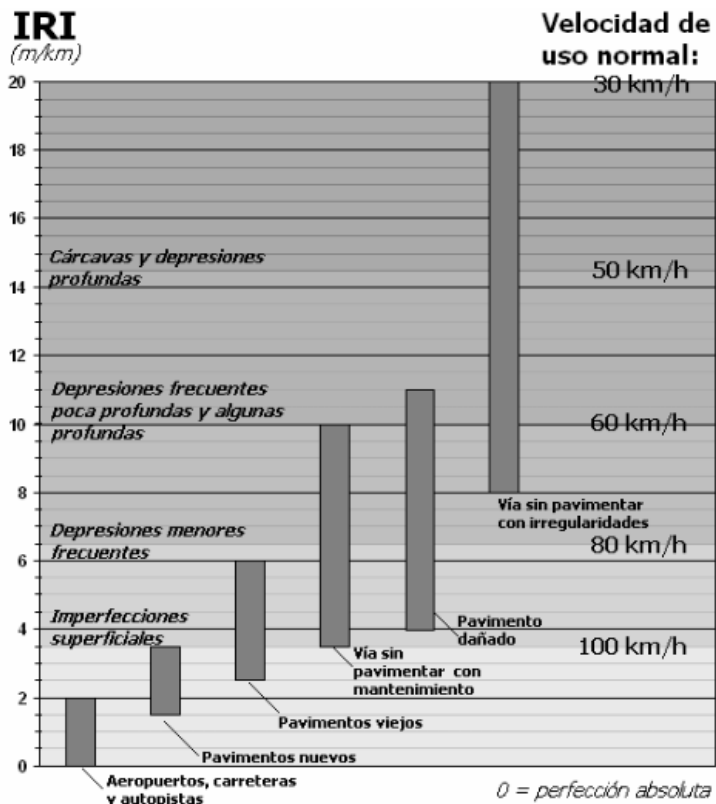
Para el cálculo del IRI es importante considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtienen el perfil y la frecuencia del muestreo utilizado.

La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial es uno de los temas más complejos de decir y valorar.

El cálculo matemático del IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del Sistema de suspensión de un vehículo modelo, dividida entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/hr, y se expresa en mm/m o m/km. Para caminos pavimentados el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie

perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20. A partir del estudio realizado por el Banco mundial, se propuso un escala de medición de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías. (figura 2.13)

Figura. 2.13. Escala para cuantificar el IRI.



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Reviw. Vol 33. Número 1. Enero – febrero 2002.

Consideraciones e implicaciones de la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

En lo que respecta a la medición del IRI se deben considerar los siguientes requisitos:

El IRI es calculado a partir de un solo perfil a lo largo de una de las huellas de las llantas de un vehículo. El intervalo de muestreo del perfil debe ser no mayor a 300 mm para cálculos precisos. La resolución requerida depende del nivel de regularidad, necesitándose resoluciones más finas para pavimentos más lisos. Una resolución de 0.5 mm en la obtención del perfil es apropiada para todas las condiciones.

Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre puntos contiguos de elevación.

El perfil es primero suavizado mediante el uso de medias móviles cuyo largo base es de 250 mm. Esto es realizado por dos motivos: simular el comportamiento de la envolvente de los neumáticos y reducir la sensibilidad de la simulación del cuarto de carro al espaciamiento de muestreo del perfil longitudinal.

El perfil suavizado es filtrado utilizando la simulación del cuarto de carro, RQCS, con parámetros específicos, a una velocidad de 80 km/hr

El movimiento de la suspensión simulada es acumulada y dividida por el largo del perfil para así obtener el valor de IRI; es de esta forma que el IRI es expresado generalmente en unidades de mm/m o m/km.

El IRI está definido como una propiedad de un solo perfil longitudinal, por lo tanto, si se desea establecer un valor por pista se debería establecer criterios de cuantos perfiles tomar; generalmente se toman los perfiles en ambas huellas de las llantas de un vehículo para así derivar un valor por carril.

Equipos existentes para la medición de la regularidad superficial de los pavimentos

Existen diferentes equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados:

Nivel y mira topográfica

Dispstick

Perfilografos

Equipos tipo respuesta (RTRRMS)

Perfilómetro inercial

A continuación, se resumen las principales características de los equipos utilizados para la medición de la regularidad superficial. Tabla 3.

Tabla 2.3. Equipos utilizados para la medición de la regularidad superficial de pavimentos.

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy simple	Poco práctico y costos elevados para proyectos largos
Perfilografos	Medio	Control del calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar las condiciones a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados n son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del momento del vehículo
Perfilometro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. S principal uso es la evaluación de red viales grandes.

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

Especificaciones de IRI empleadas en otros países, y metodologías empleadas

Actualmente en otros países se están llevando a cabo proyectos para afinar más aun el valor del IRI inicial en la construcción de pavimentos:

Tabla. 2.4. Parámetros del IRI en Chile. Ministerio de obras públicas de Chile

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
IRI obtenido en 5 tramos consecutivos con un intervalo de medición de 200 m	Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 2.0 m/km Promedio Individual ≤ 2.8 m/km		Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 3.0 m/km Promedio Individual ≤ 4.0 m/km.
Recepción de Obra Nueva			
No se indica el intervalo de medición	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los datos. IRI ≤ 1.9 m/km, en el 85% de los datos. IRI ≤ 2.3 m/km, en el 99% de los datos.	IRI ≤ 2.0 m/km, en el 50% de los datos. IRI ≤ 2.5 m/km, en el 85% de los datos. IRI ≤ 2.8 m/km, en el 99% de los datos.	IRI ≤ 2.4 m/km, en el 50% de los datos. IRI ≤ 2.9 m/km, en el 85% de los datos. IRI ≤ 3.4 m/km, en el 99% de los datos.

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Tabla. 2.5. Parámetros del IRI. CR - 2002

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
IRI obtenido en 5 tramos consecutivos con un intervalo de medición de 200 m	Promedio de 5 tramos consecutivos ≤ 2.0 m/km Promedio individual ≤ 3.0 m/km		

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Tabla. 2.6. Parametro del IRI. Ministerio de Fomento de España

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
IRI obtenido en tramos con un intervalo de medición de 100 m.	IRI \leq 1.5 m/km, en el 50% de los datos. IRI \leq 2.0 m/km, en el 80% de los datos. IRI \leq 2.5 m/km, en el 100% de los datos.		

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Tabla. 2.7 Parámetro del IRI. WisDOT, Wisconsin Estados Unidos

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie			
	Asfalto		Hidráulico	Tratamiento superficial
IRI obtenido en tramos de 1.609 km (1 milla)	IRI m/km	Tiempo		
	< 1.1	Pav. Nuevo		
	< 1.17	1 año.		
	< 1.29	2 año.		
	< 1.33	3 año.		
	< 1.37	4 año.		
	< 1.45	5 año.		

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Tabla. 2.8. Parámetro del IRI. Suecia

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial

IRI obtenido en tramos de 20 m	$IRI \leq 1.4$ m/km.	
IRI obtenido en tramos de 200 m	$IRI \leq 2.4$ m/km.	

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica.
2008.

Tabla. 2.9. Parámetro del IRI. Ministerio de Obras Publicas de El Salvador

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
Caminos rurales			
IRI obtenido en tramos de 100m	$IRI \leq 3.0$ m/km		
Vías Interurbanas			
IRI obtenido en tramos de 100m	$IRI \leq 2.0$ m/km.	$IRI \leq 2.52$ m/km.	

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica.
2008.

Tabla. 2.10. Parametro del IRI. Quebec, Canada.

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
IRI obtenido entramos de 100m	$IRI \leq 1.2$ m/km, en el 70% de los datos. $IRI \leq 1.4$ m/km, en el 100% de los datos		

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica.
2008.

Tabla. 2.11. Parámetro del IRI. Eslovenia.

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
Carreteras de alto transito			

IRI obtenido en 20m.	$2.0 \leq \text{IRI} \leq 2.6 \text{ m/km}$		
IRI obtenido en tramos de 100m.	$1.2 \leq \text{IRI} \leq 1.8 \text{ m/km}$		
Carreteras de bajo tránsito			
IRI obtenido en tramos de 20m	$4.0 \leq \text{IRI} \leq 4.6 \text{ m/km}$		
IRI obtenido en tramos de 100m	$3.0 \leq \text{IRI} \leq 3.8 \text{ m/km}$		

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Tabla 2.12. Paramero del IRI. Portugal.

Procedimiento general	Requerimientos de IRI según el tipo de pavimento o superficie		
	Asfalto	Hidráulico	Tratamiento superficial
No se indica el intervalo de medición	$\text{IRI} \leq 1.5 \text{ m/km}$, en el 50% de los datos.	$\text{IRI} \leq 2.0 \text{ m/km}$, en el 50% de los datos.	
	$\text{IRI} \leq 2.5 \text{ m/km}$, en el 80% de los datos.	$\text{IRI} \leq 2.5 \text{ m/km}$, en el 75% de los datos.	
	$\text{IRI} \leq 3.0 \text{ m/km}$, en el 90% de los datos.	$\text{IRI} \leq 3.0 \text{ m/km}$, en el 100% de los datos.	

Fuente: Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo IRI. Costa Rica. 2008.

Procedimiento de la práctica

Para la ejecución del ensayo 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 trecho de aproximadamente 20 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Paso seguido, el operador toma el instrumento para tomar lecturas con la estación total y luego pasar la información a un flash.

En gabinete se tendrá que realizar los respectivos cálculos del IRI a continuación se da una breve explicación de cómo se realiza.

Verificar los datos si tuvieron una buena medición

Tener datos de alturas y distancias parciales de cada punto

Con las alturas y acumulación de las distancias para hallar la ecuación de la curva teórica que de una aproximación de la curva real

-Hallar el valor del IRI con la diferencia de cotas del perfil real con el teórico dividido entre la longitud parcial en valor absoluto.

2.3.2.1.5. Método para el Índice de Fricción Internacional IFI

La superficie del pavimento debe brindar una fricción adecuada y mantener un nivel adecuado de rodadura para asegurar la satisfacción de los usuarios. En el diseño de la superficie del pavimento es importante considerar que la combinación de una adecuada fricción, altos niveles de regularidad y bajos niveles de ruido se combinen de manera adecuada.

Entre los componentes de la fricción se reconoce:

Adhesión: La adhesión es el resultado de la resistencia al corte provisto por la interacción molecular de la goma del neumático y de los áridos. Su magnitud es determinada por la naturaleza d los dos materiales en contacto.

Histéresis o deformación: La deformación o histéresis de origen viscoelásticos es causada por perdida de amortiguamiento en la gama, cuando esta es desgastada sobre y alrededor de las partículas minerales.

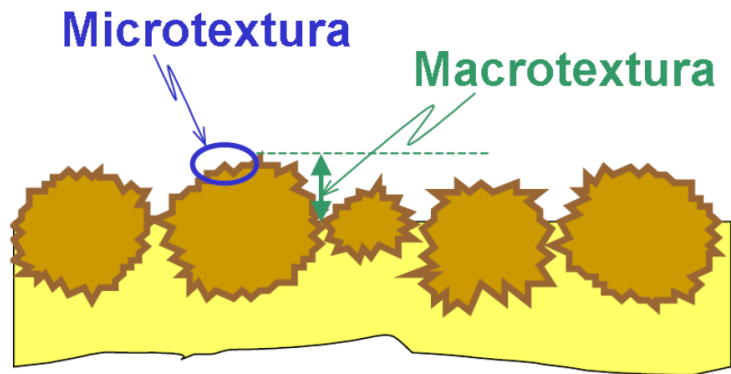
En los pavimentos mojados, la película de agua que se interpone entre las dos superficies de contacto impide el contacto molecular, anulándose la componente de adherencia en pavimentos mojados se traduce en un incremento del porcentaje de accidentes por deslizamiento.

Sobre superficies secas, el roce del neumático / superficie producido por adherencia predomina sobre el roce producido por deformación, siendo proporcional al área de contacto llanta/pavimento, disminuyendo al aumentar la temperatura y variando con la velocidad.

La resistencia al derrape sobre la superficie de una carretera se ve fuertemente afectada por la microtextura y la macrotextura. En la figura se ilustra el concepto de la microtextura y la macrotextura. La microtextura se relaciona principalmente con la textura superficial de los agregados: en el caso de la macrotextura, se relaciona con la textura superficial del pavimento proveniente del tipo de mezcla. La macrotextura provee el componente de histéresis de la fricción y permite un rápido drenaje del agua en el contacto entre la llanta

y pavimento lo ayuda a disminuir la probabilidad de hidroplaneo. Por su parte, la microtextura provee el contacto directo entre la llanta – pavimento y contribuye a la componente de la adhesión de la fricción. En general, se puede decir que la microtextura tiene influencia directa en la fricción a bajas velocidades de circulación, mientras que la macrotextura tiene mayor importancia a velocidades altas de circulación.

Figura. 2.14. Macrotextura y microtextura.



Fuente: Programa de infraestructura del transporte. Índice de Fricción Internacional (IFI): Implementación y medición en carreteras de Costa Rica.

La medición de la macrotextura puede ser dividida en dos clases principales: mediciones estáticas y mediciones dinámicas. Entre los métodos estáticos de macrotextura se puede mencionar el método de la mancha de arena y CTMeter (Circular Textura Meter, CTM). En el caso del método de la mancha de arena los resultados dependen en gran medida del operador, lo cual puede influir significativamente la repetibilidad del ensayo. Sin embargo, este método ha sido considerado como el ensayo de referencia en las primeras investigaciones debido a su disponibilidad alrededor del mundo. Por su parte, en el caso de las mediciones dinámicas, actualmente se ha dado un mayor uso a los sistemas perfilométricos laser para la captura y levantamiento de información.

En el caso de la microtextura en general se emplean mediciones utilizando bajas velocidades tales como el péndulo inglés (British Portable Tester, BPT), el Dynamic Friction Tester (DFT) y los equipos de rueda bloqueadas.

Se han desarrollado diversos equipos para la medición de la fricción, cada uno con principios y procedimientos diferente para la medición, procesamiento y reporte de los resultados. Con la finalidad de armonizar los resultados obtenido por cada uno de los equipos se definió el Índice de Fricción Internacional (IFI) como un indicador que define

el estado de una carretera, este índice incorpora mediciones de macrotextura y medición de fricción que reconoce la dependencia de la fricción a la velocidad y la textura. El IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por una coma, el primero representa la fricción y el segundo la macrotextura. El primero es un número adimensional y el segundo un número positivo sin límites determinados y unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno adherencia.

El IFI (ASTM E1960) es un método para evaluar en escala común para las diferentes mediciones obtenidas por diferentes mediciones obtenida por diferentes equipos. El índice consiste de dos parámetros: el Sp , la constante de velocidad mediante las mediciones de la macrotextura, y el $F60$, es una estimación de la fricción armonizada a 60 km/h. El cálculo del IFI reconoce los tres pasos que se detallan a continuación:

1. Estimar el coeficiente del gradiente de velocidad Sp , usando la medición del macrotextura:

$$Sp = a + b * TX$$

Donde:

TX = medición de la macrotextura (mm).

a, b = constantes para diferentes métodos / dispositivos.

2. Obtener la medida de fricción a una velocidad estándar de 60 km/h a partir de la velocidad de medición S del instrumento de medición utilizado:

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

Donde:

$FR(60)$ = Valor de fricción ajustado.

$FR(S)$ = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad del deslizamiento S .

S = Velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo, km/h.

Sp = Gradiente de velocidad calculado en el paso anterior, km/h.

3. Calcular el número de fricción IFI $F(60)$ empleando los coeficientes desarrollados por la AIPCR para el instrumento de medición utilizando:

$$F(60) = A + B * FR(60)$$

Donde:

A, B = constantes de calibración para el dispositivo seleccionado para la medición de fricción (ASTM E1960).

TX = Medición de la macrotextura (mm).

2.3.2.2. Evaluación estructural de pavimentos flexibles

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades, ya sea de corrección o rehabilitación.

2.3.2.2.1. Métodos de evaluación estructural

Ante el problema de evaluación estructural, tradicionalmente se recurre a las perforaciones de calicatas, a la toma de muestras para ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego al sistema denominado pavimento y deducir acerca de las características del mismo. Esta metodología es lenta y es destructiva.

En la actualidad se está aplicando nueva tecnología no destructiva NDT (non destructive test) basándose en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Su medición de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Su medición es simple, rápida, económica y lo más importante no altera el equilibrio de la estructura porque es una metodología no destructiva.

2.3.2.2.2. Métodos directos de evaluación

Los métodos directos de auscultaciones son métodos destructivos, que deterioran la estructura del pavimento.

El uso de los métodos directos, presentan las siguientes desventajas como la obtención de datos requiere mayor cantidad de tiempo, costos más elevados, mayores molestias en el tráfico y otros.

Entre los métodos directos de evaluación estructural utilizados se puede mencionar:

Calicatas o pozos a cielo abierto.

Extracción de núcleos.

Cabe mencionar que ninguno de estos métodos es recomendable para un pavimento nuevo.

Calicatas o pozos a cielo abierto. Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar, por lo tanto, es un método de exploración confiable, pero sacrifica la estructura del pavimento y tiene muy bajo rendimiento.

El área que utiliza es más o menos un metro cuadrado y la profundidad varía según las exigencias de la investigación. Estas suelen realizarse, generalmente, centradas en la línea de borde de la carretera, frente a juntas o grietas.

Extracción de núcleos. Con la extracción de núcleos, se obtienen volúmenes muy pequeños de material físico del pavimento, en comparación con el volumen obtenido con las calicatas; son cilindros con diámetros entre los 10 a 15 cm, en los se puede verificar el espesor de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento y los elementos que los componen a cada uno de ellos. Muchas veces es difícil la extracción de núcleos en base y subrasante cuando son materiales granulares ya que existe desprendimiento de material. La extracción de núcleos suele tener un buen rendimiento, partiendo del estado en que se encuentre el equipo, la experiencia del operario y la toma de ensayos sea relativamente cerca. Por lo general los testigos son tomados en el borde exterior del carril en sentido del tráfico y en los hombros de la vía. Además, se extraen núcleos sobre grietas para ver su alcance y si transmite a las capas inferiores.

2.3.2.2.3. Métodos indirectos de evaluación

Se puede llamar métodos indirectos de evaluación estructural, a aquellos métodos con los cuales se logra determinar la capacidad estructural del pavimento, sin tener que dañar la estructura, dichos métodos se basan en hipótesis y modelos matemáticos.

Estos métodos se realizan por medio de metodologías conocidas tales como no destructivas NDT, que se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de los pavimentos.

Al definir el término deflexión, lo más acertado sería considerarlo como la medida de la deformación elástico que experimenta un pavimento, al paso de una carga en función del tipo y del estado del pavimento. El cuco de deflexión se define como el conjunto de deflexiones que se producen entre el punto de aplicación de la carga en un pavimento y sus alrededores.

Los equipos de deflectometría pueden registrar deflexiones en diferentes puntos lo que ayuda a definir completamente las caracterizaciones de las deformaciones conocido como cuenco de deflexiones.

De forma general, hay tres tipos de equipo para determinar las deflexiones del pavimento según metodologías no destructivas los cuales son:

Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.

Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias.

Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas de impacto.

Para cualquiera de ellos el principio es el mismo y consiste en aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y medir las deflexiones.

Para nuestro interés nos basaremos en deflexión estática o de movimiento lento.

2.3.2.2.4. Medición de deflexión estática o de movimiento lento

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

2.3.2.2.4.1. Viga Benkelman

Figura. 2.15. Ensayo den la Viga Benkelman



Fuente: <https://i.ytimg.com/vi/bddUwLp-in4/maxresdefault.jpg>

La viga Benkelman, llamada así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayo vial de la AASSHO Road Test. Desde entonces

su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por su naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

La viga, no mide la deformación elástica del pavimento, ante la acción de una carga, lo que realiza es la medición de la recuperación del pavimento ante el retiro de la carga sobre el pavimento.

Ensayo empleando la viga Benkelman

Finalidad y alcanza

La deflexión es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada. Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza.

El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las sollicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si este presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente.

El método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada.

El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales en un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8 ton en el eje posterior del camión.

La superficie del pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

Referencias normativas. ASTM D 4695: “Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements”.

Equipo y Material

Equipo

Viga simple de un solo brazo con su correspondiente dial y las siguientes características:

De acuerdo al esquema de la figura 2.16, la viga consta esencialmente de dos partes:

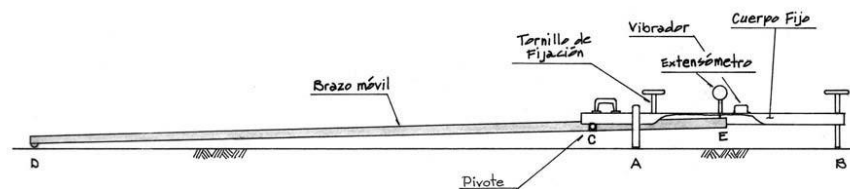
Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B.

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 del dial de movimiento vertical – punto E ($DC = 2.44$ m, $CE = 0.61$ m). 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.

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un movimiento vertical en el vástago, generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial.

La operación expuesta representa el principio de medición con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el dial – EE' – no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes (figura 2.16).

Figura. 2.16. Viga Benkelman.



Fuente: Manual de carreteras: ensayo de materiales, (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2016).

Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales (al 0.01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones:

Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2.44 m.

Longitud del primer brazo (Brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0.61m.

Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2.19 m.

Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0.5475 m.

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).

Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesara en la balanza 8.2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5.6 kg/cm^2 (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medidos de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual debe de ser de 32 cm.

Reloj convencional con indicador de segundo.

Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10°C a 50°C y precisión de 1°C .

Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.

Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por una cuenta metros y una cinta métrica de bolsillo de 2 o 3 m de longitud.

Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuado para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.

Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.

Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.

Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad

Procedimiento

El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la tabla.

Tabla 2.13. Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento.

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
3,6 m o mas	0,90 m

Fuente: Manual de carreteras. Ensayo de materiales. Perú.

La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada anteriormente de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.

Viga simple

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que este coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D).

Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: se coloca la viga en la posición como si estuviera entre las llantas, pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de tal manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

De igual forma con la finalidad de obtener el cuenco de deflexiones, se puede efectuar, a partir de la primer, sucesivas marcas a distancia elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (Puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de análisis se

requiere de por lo menos tres lecturas, pero se puede obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea grafica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberán hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.

Una vez instalada de viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial, se verificará que esta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.

Viga doble

Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.

Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.

Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la circunferencia si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).

Se pone en marcha el cronometro y vibrador, se hace avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada una de ellos no difieran de más de 0.01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las ultimas lecturas observadas.

Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camino. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.

El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:

Límite inferior: 5 °C

Límite superior: 35°C

No obstante, el límite superior indicado en el párrafo anterior, el ensayo no se deberá ejecutar a temperaturas inferiores i ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:

Una vez registrada las lecturas, se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plastica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser. Debía, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga.

Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aun cuando no se deberá deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constatará que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registrada las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo. Cuando se observe que le dial comienza a desplazarse

acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo anterior y se detiene el retroceso del camión. Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea de esa distancia, si es mayor de 2.40m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga.

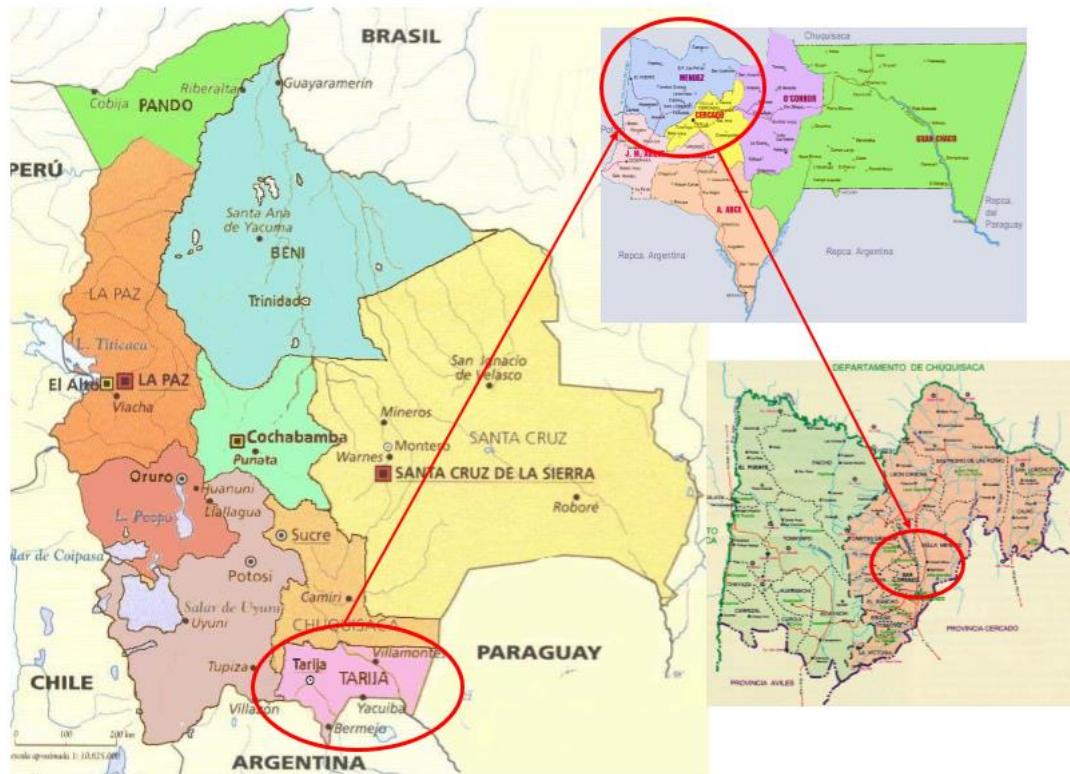
CAPITULO III
APLICACIÓN DE LA PRACTICA

CAPITULO III. APLICACIÓN DE LA PRÁCTICA

3.1. UBICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo en estudio se encuentra ubicado en Bolivia, en el departamento de Tarija, provincia Méndez, primera sección San Lorenzo, comunidad de Carachimayo.

Figura. 3.1. Ubicación del lugar.



Fuente: <https://www.pinterest.com>

Las coordenadas son:

Inicio:

Latitud 21°22'24.96"S

Longitud 64°44'47.05"O

Fin:

Latitud 21°19'10.03"S

Longitud 64°43'35.90"O

Datos y especificaciones del tramo

Tipo de pavimento = Pavimento flexible

Capa asfáltica (e)	=	5 cm
Capa base	=	15 cm
Capa sub base	=	20 cm
Subrasante mejorada	=	50 cm
Calzada	=	7 m
Carril	=	2 carriles de 3.50 m
Pendiente longitud máxima	=	7%
Longitud	=	7.40 km

Construcción 3 puentes de 30m, 12m, 9m.

Modalidad de ejecución: Administración directa.

Empresa adjudicada: SEDECA.

Costo del proyecto: 29333128.17 bs.

Fecha de inicio: 05/12/2010.

Fecha de conclusión: 30/08/2019.

Figura. 3.2. Banner de inauguración.

Proyecto: CONSTRUCCIÓN ASFALTADO RUTA D602 TRAMO CRUCE RUTA D603 (CANASMORO) - RIO PILAYA
Sub Tramo 1: Puente Unión Europea - Carachimayo

Sedeca
 CONSOLIDANDO LAS VIAS DE NUESTRO MINISTERIO

7,40 Km PAVIMENTADOS

Bs. 29 MM DE INVERSIÓN

TRAMO CONCLUIDO

Adrián Oliva

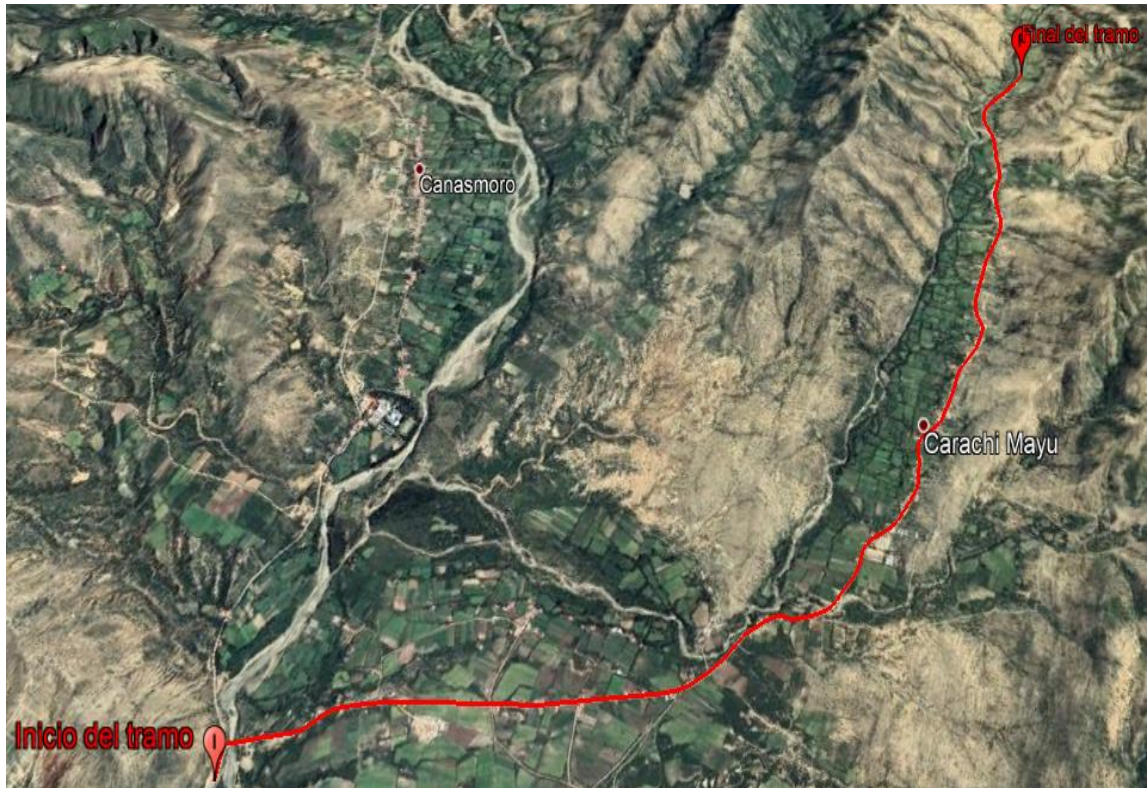
DESCRIPCIÓN	
7.40 Km de carretera pavimentada	
Carpeta asfáltica e = 5 cm	
Capa Base = 15 cm	
Copa Sub base = 20 cm	
Subrasante Mejorada = 50cm	
Calzada 7.00 mts. (2 carriles de 3.50)	
Pendiente longitud máxima: 7. %	
Construcción 3 Puentes de 30m, 12m y 9m	

Modalidad de Ejecución:	ADMINISTRACIÓN DIRECTA
Empresa Adjudicada:	SEDECA
Costo de Proyecto:	29.333.128,17 Bs
Fecha de Inicio:	05/12/2010
Fecha de conclusión:	30/08/2019

Fuente: Elaboración propia.

La carretera evaluada se encuentra en la comunidad de Carachimayo aproximadamente a 20 km de la ciudad de Tarija, fue entregada el día viernes 30 de agosto del 2019, con 7.4 km de asfaltado y lleva el nombre de: Asfaltado ruta D602 tramo cruce ruta D603 (Canasmoro), Rio Pilaya Subtramo 1: Puente Unión Europea (Prog. 0+000 a Prog. 8+660) Carachimayo Norte”.

Figura. 3.3. Tramo evaluado.



Fuente: Google Earth Pro

3.2.EVALUACIÓN SUPERFICIAL

3.2.1. Método HI-LO

3.2.1.1.Procedimiento de la práctica

La práctica se la realizo desde la progresiva 0+000 hasta la progresiva 7+400 en ambos carriles, cada pasada separada cada 70 cm, teniendo un total de 11 pasadas por sección evaluada. Cada sección es de 100 m y se realizó uno por medio teniendo un total de 48 secciones. El procedimiento que se siguió se describe a continuación:

Se comenzó con la calibración de rutita, posteriormente se delimito cada 70 cm en todo el ancho de la pista y 100 m a lo largo.

Se colocó el equipo con la rueda central en el inicio de la delimitación, comenzamos el avance a paso normal hasta que la rueda central llegue al final de la delimitación de los 100 m, seguidamente se da vuelta el equipo y lo colocamos a la siguiente marcación a 70 cm de la anterior, continuamos con el mismo procedimiento hasta concluir con todas las marcaciones señaladas.

Cuando se encontraba alguna irregularidad se procedía a realizar varias pasadas en el sector hasta encontrar su inicio el cual era marcado, el máximo de igual forma marcado y el final igual marcándolo. Una vez delimitado se detenía totalmente el equipo y se procedía a anotar los datos necesarios de la irregularidad.

Este procedimiento se lo realizó cada 100 metros por medio en los 7.4 km de vía.

Figura. 3.4. Equipo HI-LO, puesto en marcha.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.5. Visualización de un bajo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.6. Equipo detector HI-LO.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2.Datos de campo

Tabla 3.1. Datos de HI-LO.

Informe control de lisura mediante HI-LO						
Para pavimentos asfálticos						
Contratista: Castillo Segovia Cynthia Vanessa						
Tipo de pavimento: Asfáltico						
Fecha de control: 30 y 31 de octubre.						
Tramo: Carachimayo						
Prog.	Ubicación	Irregularidad		Carril	Longitud (m)	Obsv.
		Altos (mm)	Bajos (mm)			
0+000	0+000	-	6		1,48	
	0+080	-	7		2,09	
	0+220	-	8		1,47	
	0+240	-	10		1,06	
1+000	1+420	-	6		0,98	
	1+870	-	5		0,64	
2+000	2+080	-	6		1,24	
	2+430	-	6		1,81	
3+000	3+240	-	7		1,61	
	3+800	-	8		1,05	
4+000	4+600	-	5		0,84	
	4+800	-	7		1,62	
	4+870	-	5		0,36	
5+000	5+070	-	5		0,74	
	5+630	-	6		0,67	
6+000	6+420	-	5		1,09	
7+000	7+040	-	5		0,88	
	7+230	-	8		0,46	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3.Procedimiento de cálculo

Obtenemos el área afectada

$$\text{Area afectada en 6mm} = (L + \text{adicional}) * \text{Ancho de carril}$$

$$\text{Area afectada en 6mm} = (1.48 + 4) * 3.5$$

$$\text{Area afectada en 6mm} = 19.18 \text{ m}^2$$

Tabla. 3.2. Calculo HI-LO.

Informe control de lisura mediante HI-LO								
Para pavimentos asfálticos								
Contratista: Castillo Segovia Cynthia Vanessa								
Tipo de pavimento: Asfáltico								
Fecha de control: 30 y 31 de octubre.								
Tramo: Carachimayo								
Prog.	Ubicación	Irregularidad		Adicional (m)	Ancho de carril (m)	Carril	Longitud (m)	Área afectada m ²
		Altos (mm)	Bajos (mm)					
0+000	0+000	-	6	4	3,5		1,48	19,18
	0+080	-	7	4	3,5		2,09	21,315
	0+220	-	8	4	3,5		1,47	19,145
	0+240	-	10	4	3,5		1,06	17,71
1+000	1+420	-	6	4	3,5		0,98	17,43
	1+870	-	5	4	3,5		0,64	16,24
2+000	2+080	-	6	4	3,5		1,24	18,34
	2+430	-	6	4	3,5		1,81	20,335
3+000	3+240	-	7	4	3,5		1,61	19,635
	3+800	-	8	4	3,5		1,05	17,675
4+000	4+600	-	5	4	3,5		0,84	16,94
	4+800	-	7	4	3,5		1,62	19,67
	4+870	-	5	4	3,5		0,36	15,26
5+000	5+070	-	5	4	3,5		0,74	16,59
	5+630	-	6	4	3,5		0,67	16,345
6+000	6+420	-	5	4	3,5		1,09	17,815
7+000	7+040	-	5	4	3,5		0,88	17,08
	7+230	-	8	4	3,5		0,46	15,61

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4. Análisis de resultados

Se tomo en cuenta el manual de carreteras de Bolivia y el manual de carreteras de Chile. De acuerdo al manual de carreteras de Bolivia el cual no es muy específico ya que solamente nos se hace mención en el control geométrico, terminación de la superficie que no se debe exceder a 0.50 cm, es decir 5 mm.

Se presentaron en los 7.4 km evaluados 18 secciones que exceden lo permitido, siendo 10 mm el máximo, cabe mencionar que solo se presentaron bajos.

Tomando en cuenta el manual de carreteras de Chile se tiene: 6 valores que tiene 5 mm de bajo los cuales no corresponde multa, 5 valores que tienen 6 mm de bajo que corresponde a un 2% de multa, 3 valores que tienen 7 mm de bajo este corresponde a 5% de multa, 3 valores que tienen 8 mm de bajo este corresponde una multa de 15% y 1 valor que tiene 10 mm de bajo este corresponde a 100% de multa o se rehace.

Tabla 3.3. Multas por Irregularidades superficiales.

Irregularidad mm	Multas respecto del valor de la capa de rodadura en el área afectada	
	TMDA \geq 1000 veh/día	TMDA < 1000 veh/día
5	-	-
6	10%	2%
7	15%	5%
8	30%	15%
9	100% o se rehace	25%
10	-	100% o se rehace

Fuente: Manual de Carreteras. Volumen 5. Chile

Bajo	N° de veces	Multa
5	6	No corresponde multa
6	5	2%
7	3	5%
8	3	15%
9	0	25%
10	1	100% o se rehace

3.2.2. Método círculo de arena

3.2.2.1. Procedimiento de la práctica

Se comenzó de la progresiva 0+000. El ensayo se realizó en ambos carriles cada 100 metros, efectuándolo en la huella externa de cada carril. El procedimiento fue el siguiente: Con todo el material necesario se comenzó el ensayo, se introdujo la arena en la probeta de volumen conocido hasta los 25 ml y la pesamos registrando su peso.

Continuamos eligiendo el lugar específico y limpiando completamente con ayuda de un cepillo de cerdas finas y platicas, una vez limpio con ayuda del embudo se vació la arena en el pavimento, a continuación, con ayuda del disco esparcidor se esparció la arena formando un círculo hasta que se cubrió completamente el sector y quedó sin bordes. Se prosiguió a medir 5 diámetros y a registrarlos en la planilla.

Este procedimiento se lo realizó a lo largo de toda la vía.

Figura. 3.7. Pesaje de la arena.



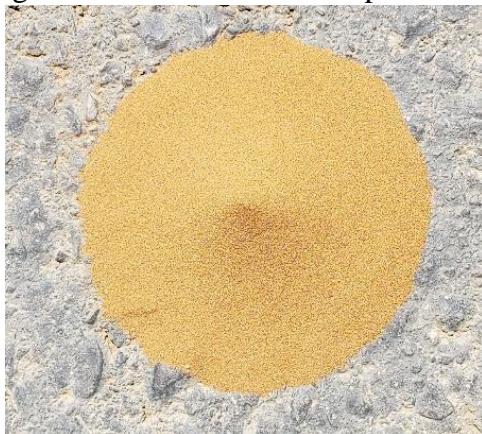
Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.8. Limpieza del sector.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.9. Arena sobre la superficie. Figura. 3.10. Vaciado de la arena sobre la superficie.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.11. Esparcimiento de la arena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.12. Realizando el ensayo del círculo de arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2.Procedimiento de cálculo

Para el ensayo del círculo de arena se midieron cinco diámetros por cada ensayo.

Primeramente, se realiza el análisis por progresiva y después de todo el tramo en conjunto.

El dato común para todos los ensayos realizados, es el volumen de la muestra que es de $V=25000 \text{ mm}^3$.

Cálculos por progresiva.

El ejemplo que se muestra es de la progresiva 3+600.

Comenzamos obteniendo el promedio de los cinco diámetros obtenidos:

$$\text{Promedio} = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5}$$

$$\text{Promedio} = \frac{235 + 218 + 215 + 226 + 230}{5}$$

$$\text{Promedio} = 224.8 \text{ mm}$$

Calculamos el promedio de profundidad de Macrotextura:

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

$$MTD = \frac{4 * 25000}{\pi * 224.8^2}$$

$$MTD = 0.63 \text{ mm}$$

Resultados por parciales por ensayo realizado:

Tabla 3.4. Resultado de la macrotextura de la progresiva ejemplo.

Prog	Peso	Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD (mm)
	gr	1	2	3	4	5		
3+600	35,1	235	218	215	226	230	224,8	0,63

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3. Análisis de resultados de círculo de arena

De acuerdo al manual de carreteras de Bolivia nos indica que los requisitos mínimos para mantener una resistencia al resbalamiento satisfactoria a velocidades de 90 km/h será de 1 mm para superficies bituminosas, lo cual en los tramos evaluados ninguno cumple con este parámetro.

Tomando en cuenta el manual de carreteras de Chile solamente dos de los siete tramos cumplen ya que los demás se encuentran por debajo del mínimo que es 0.6 mm. Cabe mencionar que este parámetro no está afectado a multas, aceptándose solo efectuar acciones correctivas en los tramos con deficiencia, para dar cumplimiento a lo especificado en cada sector.

De acuerdo a la normativa podemos clasificar la textura de cada tramo, de 16 tramos evaluados 12 tramos se clasifican con una textura media mientras que 4 tramos se clasifican con textura fina.

Tabla 3.5. Resultados Círculo de Arena.

Prog. inicial	Prog. Final	MTD (mm) ida	Textura	MTD (mm) vuelta	Textura
0+000	0+900	0,31	Fina	0,29	Fina
1+000	1+900	0,32	Fina	0,27	Fina
2+000	2+900	0,46	Media	0,55	Media
3+000	3+900	0,64	Media	0,73	Media
4+000	4+900	0,55	Media	0,49	Media
5+000	5+900	0,55	Media	0,51	Media
6+000	6+900	0,51	Media	0,50	Media
7+000	7+400	0,61	Media	0,61	Media

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Método Péndulo Británico

3.2.3.1. Procedimiento de la práctica

Como en la anterior practica se comenzó de la misma progresiva 0+000. El ensayo se realizó en ambos carriles cada 100 metros, efectuándolo en la huella externa de cada carril.

Con el equipo en el lugar y con ayuda del personal de laboratorio se procedió a su armado.

Una vez colocado en el sitio elegido se realizó la nivelación con guía del nivel de burbuja que tiene. También colocamos el termómetro en el suelo cerca del péndulo, pero sin que perjudique al equipo. Una vez nivelado se procedió a medir la longitud de rose de la zapata con ayuda del tornillo superior hasta lograr la longitud que nos indica la regla del equipo.

Ya con todas las nivelaciones se procede a colocar el brazo del péndulo en posición horizontal hasta que quede enganchado automáticamente en el equipo. Se rocío con agua el sector del suelo donde oscilaría, colocando la aguja indicadora en cero siguiendo presionamos el pulsador que suelta el brazo del péndulo para que oscile. Realizamos la lectura y anotación del ángulo de oscilación que nos indica el panel. Realizamos este mismo procedimiento 5 veces obteniendo 5 lecturas. Encaso de que dos o más BPN difiera más de 3 unidades se procede a volver a realizar las 5 mediciones consecutivas. Se concluyo con el ensayo realizando el registro de la temperatura del pavimento con el termómetro colocado a un inicio del ensayo.

Se realizaron 75 ensayos de ida y 75 ensayos de vuelta teniendo un total de 150 ensayos.

Figura. 3.13. Calibración del péndulo Británico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.15. Medición de la huella de la zapata de goma.

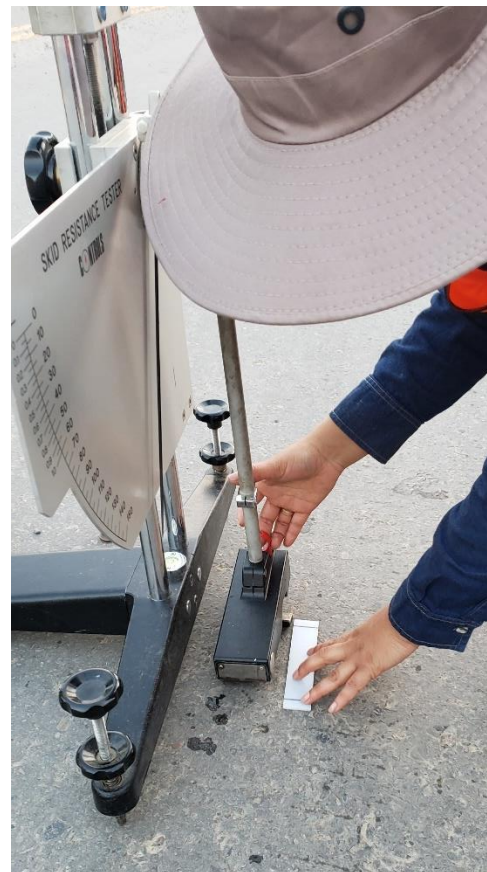


Figura. 3.15. Inicio del ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.16. Ensayo péndulo Británico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.17. Lecturación ensayo péndulo Británico.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2.Procedimiento de cálculo

Tomaremos como ejemplo la progresiva 0+400.

Realizamos el ajuste por temperatura.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0.00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0.00525 * (33 - 20))} = 1.073$$

Obtenemos el promedio

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5}$$

$$Prom = \frac{72 + 74 + 73 + 72 + 73}{5} = 72.8$$

Cálculo del valor de BPN ajustada por temperatura.

$$BPN_A = BPN * F_A$$

$$BPN_A = 72.8 * 1.073 = 78.1$$

Resultado del ensayo.

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

$$RD = \frac{78.1}{100} = 0.78$$

Encontramos la calificación.

Tabla 3.6. Calificación referencial.

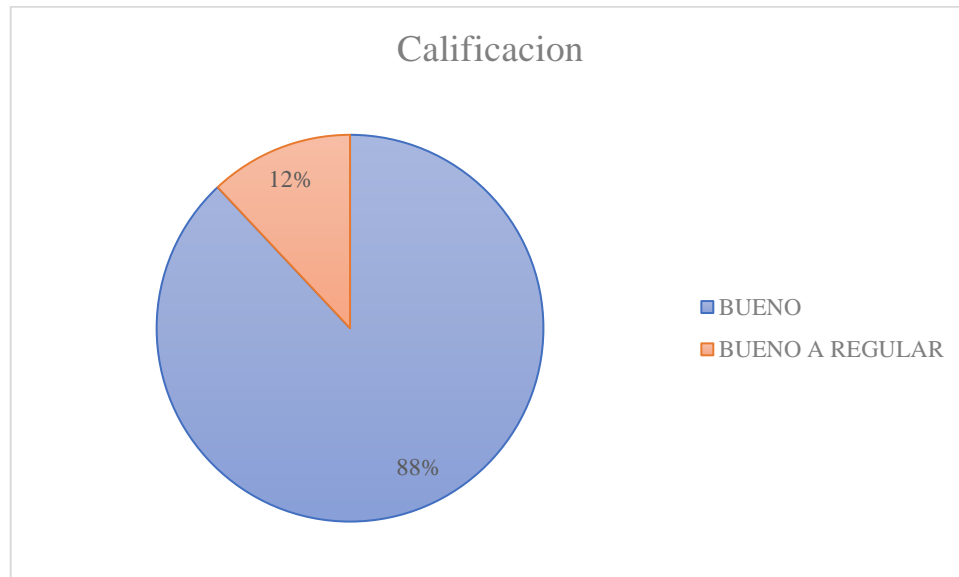
RD	Calificación
0,5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional. Instituto mexicano del transporte.

Nuestro RD es igual a 0.78 de acuerdo a la tabla su calificación es un pavimento bueno

3.2.3.3. Análisis de resultados del péndulo Británico

Figura. 3.18. Calificación.



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que un 88% de los tramos evaluados nos da una calificación de bueno, mientras que un 12% nos da de bueno a regular.

En el manual de carreteras Boliviano nos indica que el valor de la fricción debe ser mayor o igual a 0.45, teniendo en cuenta que el valor mínimo obtenido en nuestra evaluación es de 0.63 podemos decir que se encuentra aceptable es decir tiene una buena resistencia al deslizamiento.

De acuerdo al manual de carreteras Chileno el valor mínimo para la medición de la fricción con péndulo Británico es: en sectores singulares un mínimo de 65 y en sectores sin singularidades un mínimo de 55. Mencionar que en caso de incumplimiento de los valores exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia. En los tramos evaluados el mínimo que se obtuvo es de 63 por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros y es aceptado.

3.2.4. Método IRI

3.2.4.1. Procedimiento de la práctica

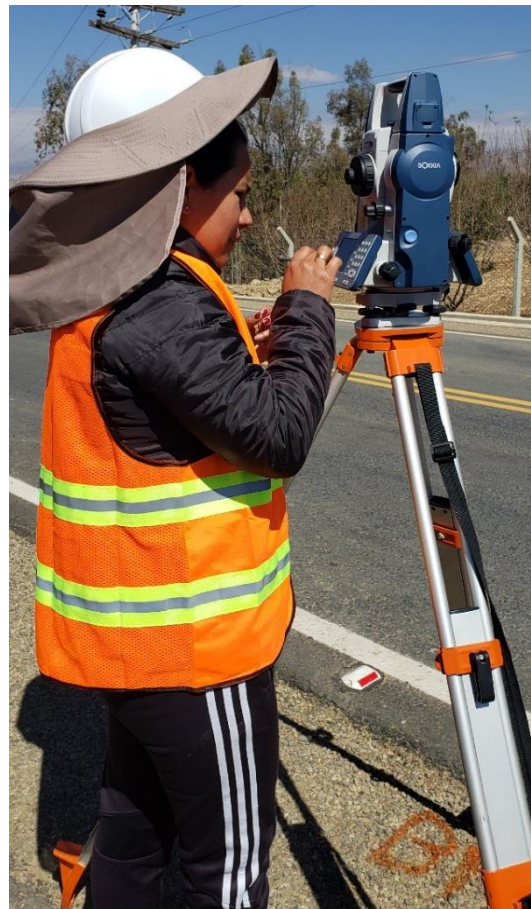
Se realizó el levantamiento topográfico con estación total SOKIA, de todo el tramo comenzado en la progresiva 0+000.00 hasta la progresiva 7+380.00, cada 0.50 m.

Figura. 3.19. Nivelando la estación total.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.20. Almacenado de datos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.21. Prismas en posición.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2. Datos y cálculos de la practica

Tomamos como ejemplo la progresiva 0+261.00

Valor medio de línea de correlación.

Ecuación de la gráfica.

$$y = 0.0525 * x + 2037.9$$

Remplazamos x = distancia acumulada

$$y = 0.0525 * 1 + 2037.9 = 2037.9525$$

Calculamos el valor del IRI

$$IRI = |y \text{ actual} - y \text{ anterior}| * 1000$$

$$IRI = |2037.9525 - 2037.9523| * 1000$$

$$IRI = 0.20$$

Resultados.

Tabla 3.7. Datos del IRI ejemplo.

Nº	Cota	Distancia	Distancia Acumulada	Valor medio línea de correlación	Valor del IRI
0+260,00	2037,8998	0,00	0,00	2037,9000	
0+260,50	2037,9260	0,50	0,50	2037,9263	0,25
0+261,00	2037,9523	0,50	1,00	2037,9525	0,20
0+261,50	2037,9786	0,50	1,50	2037,9788	0,15
0+262,00	2038,0048	0,50	2,00	2038,0050	0,20
0+262,50	2038,0311	0,50	2,50	2038,0313	0,15
0+263,00	2038,0574	0,50	3,00	2038,0575	0,10
0+263,50	2038,0836	0,50	3,50	2038,0838	0,15
0+264,00	2038,1099	0,50	4,00	2038,1100	0,10
0+264,50	2038,1362	0,50	4,50	2038,1363	0,05
0+265,00	2038,1624	0,50	5,00	2038,1625	0,10
0+265,50	2038,1887	0,50	5,50	2038,1888	0,05
0+266,00	2038,2150	0,50	6,00	2038,2150	0,00
0+266,50	2038,2412	0,50	6,50	2038,2413	0,05
0+267,00	2038,2675	0,50	7,00	2038,2675	0,00
0+267,50	2038,2938	0,50	7,50	2038,2938	0,05
0+268,00	2038,3200	0,50	8,00	2038,3200	0,00
0+268,50	2038,3463	0,50	8,50	2038,3463	0,05
0+269,00	2038,3726	0,50	9,00	2038,3725	0,10

0+269,50	2038,3988	0,50	9,50	2038,3988	0,05
0+270,00	2038,4251	0,50	10,00	2038,4250	0,10
0+270,50	2038,4514	0,50	10,50	2038,4513	0,15
0+271,00	2038,4776	0,50	11,00	2038,4775	0,10
0+271,50	2038,5039	0,50	11,50	2038,5038	0,15
0+272,00	2038,5302	0,50	12,00	2038,5300	0,20
0+272,50	2038,5564	0,50	12,50	2038,5563	0,15
0+273,00	2038,5827	0,50	13,00	2038,5825	0,20
0+273,50	2038,6090	0,50	13,50	2038,6088	0,25
0+274,00	2038,6352	0,50	14,00	2038,6350	0,20
0+274,50	2038,6615	0,50	14,50	2038,6613	0,25
0+275,00	2038,6878	0,50	15,00	2038,6875	0,30
0+275,50	2038,7140	0,50	15,50	2038,7138	0,25
0+276,00	2038,7403	0,50	16,00	2038,7400	0,30
0+276,50	2038,7666	0,50	16,50	2038,7663	0,35
0+277,00	2038,7928	0,50	17,00	2038,7925	0,30
0+277,50	2038,8191	0,50	17,50	2038,8188	0,35
0+278,00	2038,8454	0,50	18,00	2038,8450	0,40
0+278,50	2038,8716	0,50	18,50	2038,8713	0,35
0+279,00	2038,8979	0,50	19,00	2038,8975	0,40
0+279,50	2038,9242	0,50	19,50	2038,9238	0,45
0+280,00	2038,9504	0,50	20,00	2038,9500	0,40
0+280,50	2038,9767	0,50	20,50	2038,9763	0,45
0+281,00	2039,0030	0,50	21,00	2039,0025	0,50
0+281,50	2039,0292	0,50	21,50	2039,0288	0,45
0+282,00	2039,0555	0,50	22,00	2039,0550	0,50
0+282,50	2039,0818	0,50	22,50	2039,0813	0,55
0+283,00	2039,1080	0,50	23,00	2039,1075	0,50
0+283,50	2039,1343	0,50	23,50	2039,1338	0,55
0+284,00	2039,1606	0,50	24,00	2039,1600	0,60
0+284,50	2039,1868	0,50	24,50	2039,1863	0,55
0+285,00	2039,2131	0,50	25,00	2039,2125	0,60
0+285,50	2039,2394	0,50	25,50	2039,2388	0,65
0+286,00	2039,2656	0,50	26,00	2039,2650	0,60
0+286,50	2039,2919	0,50	26,50	2039,2913	0,65
0+287,00	2039,3182	0,50	27,00	2039,3175	0,70
0+287,50	2039,3444	0,50	27,50	2039,3438	0,65
0+288,00	2039,3707	0,50	28,00	2039,3700	0,70
0+288,50	2039,3970	0,50	28,50	2039,3963	0,75

0+289,00	2039,4232	0,50	29,00	2039,4225	0,70
0+289,50	2039,4495	0,50	29,50	2039,4488	0,75
0+290,00	2039,4758	0,50	30,00	2039,4750	0,80
0+290,50	2039,5020	0,50	30,50	2039,5013	0,75
0+291,00	2039,5283	0,50	31,00	2039,5275	0,80
0+291,50	2039,5546	0,50	31,50	2039,5538	0,85
0+292,00	2039,5808	0,50	32,00	2039,5800	0,80
0+292,50	2039,6071	0,50	32,50	2039,6063	0,85
0+293,00	2039,6334	0,50	33,00	2039,6325	0,90
0+293,50	2039,6596	0,50	33,50	2039,6588	0,85
0+294,00	2039,6859	0,50	34,00	2039,6850	0,90
0+294,50	2039,7122	0,50	34,50	2039,7113	0,95
0+295,00	2039,7384	0,50	35,00	2039,7375	0,90
0+295,50	2039,7647	0,50	35,50	2039,7638	0,95
0+296,00	2039,7910	0,50	36,00	2039,7900	1,00
0+296,50	2039,8172	0,50	36,50	2039,8163	0,95
0+297,00	2039,8435	0,50	37,00	2039,8425	1,00
0+297,50	2039,8698	0,50	37,50	2039,8688	1,05
0+298,00	2039,8960	0,50	38,00	2039,8950	1,00
0+298,50	2039,9223	0,50	38,50	2039,9213	1,05
0+299,00	2039,9486	0,50	39,00	2039,9475	1,10
0+299,50	2039,9748	0,50	39,50	2039,9738	1,05
0+300,00	2040,0011	0,50	40,00	2040,0000	1,10
0+300,50	2040,0274	0,50	40,50	2040,0263	1,15
0+301,00	2040,0536	0,50	41,00	2040,0525	1,10
0+301,50	2040,0799	0,50	41,50	2040,0788	1,15
0+302,00	2040,1062	0,50	42,00	2040,1050	1,20
0+302,50	2040,1325	0,50	42,50	2040,1313	1,25
0+303,00	2040,1587	0,50	43,00	2040,1575	1,20
0+303,50	2040,1850	0,50	43,50	2040,1838	1,25
0+304,00	2040,2113	0,50	44,00	2040,2100	1,30
0+304,50	2040,2375	0,50	44,50	2040,2363	1,25
0+305,00	2040,2638	0,50	45,00	2040,2625	1,30
0+305,50	2040,2901	0,50	45,50	2040,2888	1,35
0+306,00	2040,3163	0,50	46,00	2040,3150	1,30
0+306,50	2040,3426	0,50	46,50	2040,3413	1,35
0+307,00	2040,3689	0,50	47,00	2040,3675	1,40
0+307,50	2040,3951	0,50	47,50	2040,3938	1,35
0+308,00	2040,4214	0,50	48,00	2040,4200	1,40

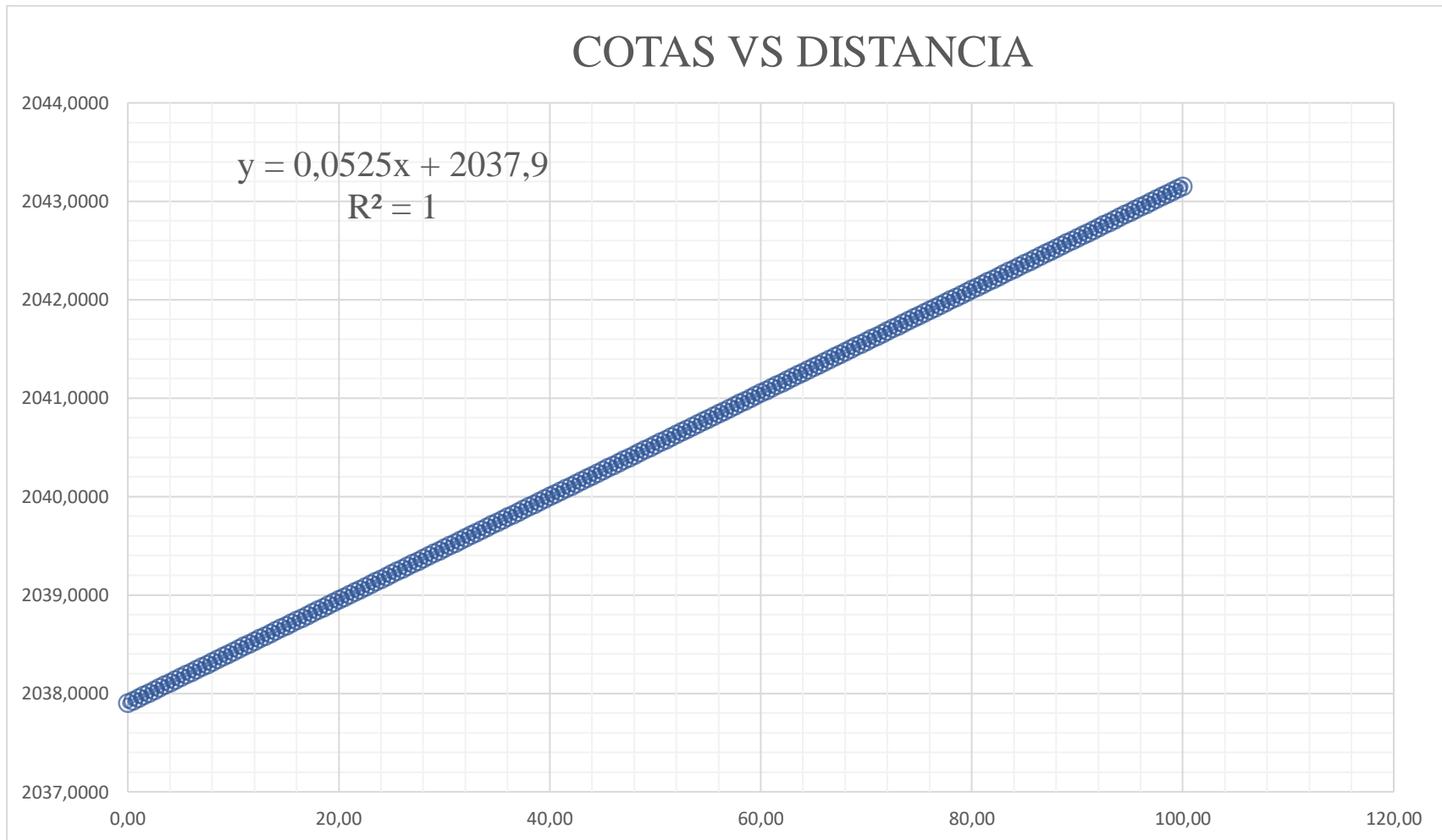
0+308,50	2040,4477	0,50	48,50	2040,4463	1,45
0+309,00	2040,4739	0,50	49,00	2040,4725	1,40
0+309,50	2040,5002	0,50	49,50	2040,4988	1,45
0+310,00	2040,5265	0,50	50,00	2040,5250	1,50
0+310,50	2040,5527	0,50	50,50	2040,5513	1,45
0+311,00	2040,5790	0,50	51,00	2040,5775	1,50
0+311,50	2040,6053	0,50	51,50	2040,6038	1,55
0+312,00	2040,6315	0,50	52,00	2040,6300	1,50
0+312,50	2040,6578	0,50	52,50	2040,6563	1,55
0+313,00	2040,6841	0,50	53,00	2040,6825	1,60
0+313,50	2040,7103	0,50	53,50	2040,7088	1,55
0+314,00	2040,7366	0,50	54,00	2040,7350	1,60
0+314,50	2040,7629	0,50	54,50	2040,7613	1,65
0+315,00	2040,7891	0,50	55,00	2040,7875	1,60
0+315,50	2040,8154	0,50	55,50	2040,8138	1,65
0+316,00	2040,8417	0,50	56,00	2040,8400	1,70
0+316,50	2040,8679	0,50	56,50	2040,8663	1,65
0+317,00	2040,8942	0,50	57,00	2040,8925	1,70
0+317,50	2040,9205	0,50	57,50	2040,9188	1,75
0+318,00	2040,9467	0,50	58,00	2040,9450	1,70
0+318,50	2040,9730	0,50	58,50	2040,9713	1,75
0+319,00	2040,9993	0,50	59,00	2040,9975	1,80
0+319,50	2041,0255	0,50	59,50	2041,0238	1,75
0+320,00	2041,0518	0,50	60,00	2041,0500	1,80
0+320,50	2041,0781	0,50	60,50	2041,0763	1,85
0+321,00	2041,1043	0,50	61,00	2041,1025	1,80
0+321,50	2041,1306	0,50	61,50	2041,1288	1,85
0+322,00	2041,1569	0,50	62,00	2041,1550	1,90
0+322,50	2041,1831	0,50	62,50	2041,1813	1,85
0+323,00	2041,2094	0,50	63,00	2041,2075	1,90
0+323,50	2041,2357	0,50	63,50	2041,2338	1,95
0+324,00	2041,2619	0,50	64,00	2041,2600	1,90
0+324,50	2041,2882	0,50	64,50	2041,2863	1,95
0+325,00	2041,3145	0,50	65,00	2041,3125	2,00
0+325,50	2041,3407	0,50	65,50	2041,3388	1,95
0+326,00	2041,3670	0,50	66,00	2041,3650	2,00
0+326,50	2041,3933	0,50	66,50	2041,3913	2,05
0+327,00	2041,4195	0,50	67,00	2041,4175	2,00
0+327,50	2041,4458	0,50	67,50	2041,4438	2,05

0+328,00	2041,4721	0,50	68,00	2041,4700	2,10
0+328,50	2041,4983	0,50	68,50	2041,4963	2,05
0+329,00	2041,5246	0,50	69,00	2041,5225	2,10
0+329,50	2041,5509	0,50	69,50	2041,5488	2,15
0+330,00	2041,5771	0,50	70,00	2041,5750	2,10
0+330,50	2041,6034	0,50	70,50	2041,6013	2,15
0+331,00	2041,6297	0,50	71,00	2041,6275	2,20
0+331,50	2041,6559	0,50	71,50	2041,6538	2,15
0+332,00	2041,6822	0,50	72,00	2041,6800	2,20
0+332,50	2041,7085	0,50	72,50	2041,7063	2,25
0+333,00	2041,7347	0,50	73,00	2041,7325	2,20
0+333,50	2041,7610	0,50	73,50	2041,7588	2,25
0+334,00	2041,7873	0,50	74,00	2041,7850	2,30
0+334,50	2041,8135	0,50	74,50	2041,8113	2,25
0+335,00	2041,8398	0,50	75,00	2041,8375	2,30
0+335,50	2041,8661	0,50	75,50	2041,8638	2,35
0+336,00	2041,8923	0,50	76,00	2041,8900	2,30
0+336,50	2041,9186	0,50	76,50	2041,9163	2,35
0+337,00	2041,9449	0,50	77,00	2041,9425	2,40
0+337,50	2041,9711	0,50	77,50	2041,9688	2,35
0+338,00	2041,9974	0,50	78,00	2041,9950	2,40
0+338,50	2042,0237	0,50	78,50	2042,0213	2,45
0+339,00	2042,0499	0,50	79,00	2042,0475	2,40
0+339,50	2042,0762	0,50	79,50	2042,0738	2,45
0+340,00	2042,1025	0,50	80,00	2042,1000	2,50
0+340,50	2042,1287	0,50	80,50	2042,1263	2,45
0+341,00	2042,1550	0,50	81,00	2042,1525	2,50
0+341,50	2042,1813	0,50	81,50	2042,1788	2,55
0+342,00	2042,2075	0,50	82,00	2042,2050	2,50
0+342,50	2042,2338	0,50	82,50	2042,2313	2,55
0+343,00	2042,2601	0,50	83,00	2042,2575	2,60
0+343,50	2042,2863	0,50	83,50	2042,2838	2,55
0+344,00	2042,3126	0,50	84,00	2042,3100	2,60
0+344,50	2042,3389	0,50	84,50	2042,3363	2,65
0+345,00	2042,3651	0,50	85,00	2042,3625	2,60
0+345,50	2042,3914	0,50	85,50	2042,3888	2,65
0+346,00	2042,4177	0,50	86,00	2042,4150	2,70
0+346,50	2042,4439	0,50	86,50	2042,4413	2,65
0+347,00	2042,4702	0,50	87,00	2042,4675	2,70

0+347,50	2042,4965	0,50	87,50	2042,4938	2,75
0+348,00	2042,5227	0,50	88,00	2042,5200	2,70
0+348,50	2042,5490	0,50	88,50	2042,5463	2,75
0+349,00	2042,5753	0,50	89,00	2042,5725	2,80
0+349,50	2042,6015	0,50	89,50	2042,5988	2,75
0+350,00	2042,6278	0,50	90,00	2042,6250	2,80
0+350,50	2042,6541	0,50	90,50	2042,6513	2,85
0+351,00	2042,6803	0,50	91,00	2042,6775	2,80
0+351,50	2042,7066	0,50	91,50	2042,7038	2,85
0+352,00	2042,7329	0,50	92,00	2042,7300	2,90
0+352,50	2042,7591	0,50	92,50	2042,7563	2,85
0+353,00	2042,7854	0,50	93,00	2042,7825	2,90
0+353,50	2042,8117	0,50	93,50	2042,8088	2,95
0+354,00	2042,8379	0,50	94,00	2042,8350	2,90
0+354,50	2042,8642	0,50	94,50	2042,8613	2,95
0+355,00	2042,8905	0,50	95,00	2042,8875	3,00
0+355,50	2042,9167	0,50	95,50	2042,9138	2,95
0+356,00	2042,9430	0,50	96,00	2042,9400	3,00
0+356,50	2042,9693	0,50	96,50	2042,9663	3,05
0+357,00	2042,9955	0,50	97,00	2042,9925	3,00
0+357,50	2043,0218	0,50	97,50	2043,0188	3,05
0+358,00	2043,0481	0,50	98,00	2043,0450	3,10
0+358,50	2043,0743	0,50	98,50	2043,0713	3,05
0+359,00	2043,1006	0,50	99,00	2043,0975	3,10
0+359,50	2043,1269	0,50	99,50	2043,1238	3,15
0+360,00	2043,1531	0,50	100,00	2043,1500	3,10
IRI					1,4765

Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.22. Cota vs distancia.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.3. Análisis de resultados del IRI

Resultado por tramo

El Índice de Rugosidad Internacional es un parámetro muy importante debido a que refleja lo que ve y siente el usuario. Este análisis se lo realizó tomando en cuenta el manual de carreteras Boliviano, el manual de carreteras Chileno y el Banco mundial para la cuantificación del IRI.

De acuerdo al manual de carreteras Boliviano se obtuvo: de once tramos evaluados en 7.4 km, 10 tramos con “aprobación sin multa” siendo un 90.9%, y un tramo con 20% de multa siendo un 9.1%. También nos indica que para superficies de rodadura deben ser menores a 2 m/km y ningún valor individual debe superar a 2.8, para nuestro proyecto tenemos un tramo que supera lo establecido.

Respecto al banco mundial para la cuantificación del IRI, diez tramos se encuentran clasificados como pavimento nuevo mientras que uno como pavimento viejo.

Realizando la comparación con el manual de carreteras Chileno que es uno de los más estrictos del Latinoamérica obtenemos: un tramo con 50% de multa, un tramo con 100% de multa o tiene que rehacerse y nueve tramos con aprobación. Al tener un valor superior al aceptable se deberá realizar las reparaciones correspondientes para llegar a un valor del IRI inferior a 2.8 m/km.

Tabla. 3.8. Resultados IRI por tramo.

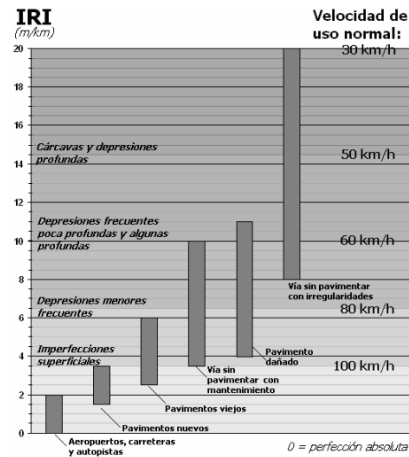
Prog. inicial	Prog. final	IRI	Multa con respecto al Valor de la capa superficie del tramo	Manual Chileno
0+000.00	0+100.00	2,4447761	Aprobado sin multas	50%
0+260.00	0+360.00	1,4765	Aprobado sin multas	Aprobado
0+400.00	0+500.00	1,149	Aprobado sin multas	Aprobado
0+780.00	0+880.00	1,118	Aprobado sin multas	Aprobado
1+200.00	1+300.00	3,63035	20%	100% o se rehace
2+450.00	2+550.00	1,991	Aprobado sin multas	Aprobado
3+200.00	3+300.00	1,604	Aprobado sin multas	Aprobado
4+150.00	4+250.00	1,554	Aprobado sin multas	Aprobado
5+400.00	5+500.00	1,014	Aprobado sin multas	Aprobado
6+100.00	6+200.00	1,191	Aprobado sin multas	Aprobado
7+050.00	7+150.00	1,1894	Aprobado sin multas	Aprobado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.9. Multas por incumplimiento del IRI.

IRI	Multas con respecto
m/km	Al valor de la capa
ASTM E-1170	superficie del tramo
$3.0 > \text{IRI}$	Aprobado sin multas
$3.2 > \text{IRI} > 3.0$	5%
$3.5 > \text{IRI} > 3.2$	10%
$4.0 \geq \text{IRI} > 3.5$	20%
$4.0 < \text{IRI}$	No certificado o reparación

Fuente: Manual de carreteras Boliviano de ABC.



Fuente: Banco mundial para la cuantificación del IRI

Resultado del proyecto

Tabla. 3.10. Resultado del IRI, comparación manual Boliviano y Chileno

Prog. inicial	Prog. final	IRI	Multa con respecto al valor de la capa superficie del tramo	Manual Chileno
0+000.00	7+150.00	1,6693	Aprobado sin multas	Aprobado

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al manual de carreteras de Bolivia tomando en cuenta todo el proyecto se tiene un nivel de aprobación sin multa, debido a que nuestro manual de carreteras permite que el IRI para la construcción presente valores inferiores a 2.0 m/km.

Según el banco mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías se clasifica como un pavimento nuevo, que es lo que corresponde al proyecto.

Realizando la comparación con el manual de carreteras Chileno del tramo completo tiene una rugosidad aceptable ya que su valor se encuentra inferior a 2.0 m/km.

3.2.5. Método IFI

3.2.5.1. Cálculos del IFI por tramo

Tomaremos como ejemplo la progresiva 0+000.

Promedio de las lecturas de campo.

Círculo de arena

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5} = \frac{32 + 33.5 + 33 + 34.5 + 34}{5} = 33.4$$

Péndulo Británico

$$Prom = \frac{BPN_1 + BPN_2 + BPN_3 + BPN_4 + BPN_5}{5} = \frac{65 + 67 + 68 + 68 + 64}{5} = 66.4$$

Tabla. 3.11. Cálculos de promedios para IFI.

Cálculo de IFI													
Tramo: Carachimayo													
Operador: Castillo Segovia Cynthia Vanessa													
Prog	Medidas con el círculo de arena					Prom	T °C	Lecturas BPN					Prom
0+000	32	33,5	33	34,5	34	33,4	37	65	67	68	68	64	66,4
0+100	33,5	32,9	33,8	34,1	33,6	33,58	40	72	72	72	73	74	72,6
0+200	32,5	32,8	33,4	32,1	32,4	32,64	40	79	76	78	78	77	77,6
0+300	32,3	32,4	31,2	31,4	31,1	31,68	39	79	77	79	78	78	78,2
0+400	32,9	32,5	33,1	31,9	32,6	32,6	33	72	74	73	72	73	72,8
0+500	31,5	32,6	31,8	31,5	32,7	32,02	34	74	73	74	75	75	74,2
0+600	32,9	32,5	32,6	31,7	32,1	32,36	38	73	74	72	73	74	73,2
0+700	31,2	30,5	31,6	31,3	32,6	31,44	38	70	71	70	69	71	70,2
0+800	30,8	30,2	31,6	30,8	31,9	31,06	39	71	74	74	72	73	72,8
0+900	31,6	31,8	32	31,2	30,9	31,5	39	76	74	75	75	76	75,2

Fuente: Elaboración propia.

Corrección por temperatura en el péndulo Británico.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0.00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0.00525 * (37 - 20))} = 1.098$$

Tabla. 3.12. Lecturas corregidas por temperatura.

Péndulo de Británico									Círculo de arena	
Prog	Tem	FA	Lecturas corregidas					Prom	DP	V
0+000	37	1,098	71,37	73,57	74,66	74,66	70,27	72,91	33,4	25
0+100	40	1,117	80,45	80,45	80,45	81,56	82,68	81,12	33,6	25
0+200	40	1,117	88,27	84,92	87,15	87,15	86,03	86,70	32,6	25
0+300	39	1,111	87,75	85,53	87,75	86,64	86,64	86,86	31,7	25
0+400	33	1,073	77,27	79,42	78,35	77,27	78,35	78,13	32,6	25
0+500	34	1,079	79,87	78,79	79,87	80,95	80,95	80,09	32,0	25
0+600	38	1,104	80,62	81,72	79,51	80,62	81,72	80,84	32,4	25
0+700	38	1,104	77,31	78,41	77,31	76,20	78,41	77,53	31,4	25
0+800	39	1,111	78,87	82,20	82,20	79,98	81,09	80,87	31,1	25
0+900	39	1,111	84,42	82,20	83,31	83,31	84,42	83,53	31,5	25
Promedio del tramo=								80,86	32,2	

Fuente: Elaboración propia.

Error absoluto.

$$\text{Error absoluto} = |\text{Promedio} - \text{Lectura acutal}| = |72.91 - 71.57| = 1.40$$

$$DV = \frac{Ea_1 + Ea_2 + Ea_3 + Ea_4 + Ea_5}{n} = \frac{1.4 + 0.1 + 0.4 + 1.1 + 0.6}{5} = 0.72$$

$$E\% = \frac{DV}{\text{Prom}} * 100 = \frac{0.72}{33.4} * 100 = 2.16$$

Tabla. 3.13. Tratamiento estadístico de círculo de arena y péndulo Británico

Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos														
Prog	Círculo de arena					DV	E%	Péndulo Británico					DV	E%
	Error Absoluto							Error Absoluto						
0+000	1,40	0,10	0,40	1,10	0,60	0,72	2,16	1,4	0,6	1,6	1,6	2,4	1,52	2,29
0+100	0,08	0,68	0,22	0,52	0,02	0,30	0,91	0,6	0,6	0,6	0,4	1,4	0,72	0,99
0+200	0,14	0,16	0,76	0,54	0,24	0,37	1,13	1,4	1,6	0,4	0,4	0,6	0,88	1,13
0+300	0,62	0,72	0,48	0,28	0,58	0,54	1,69	0,8	1,2	0,8	0,2	0,2	0,64	0,82
0+400	0,30	0,10	0,50	0,70	0,00	0,32	0,98	0,8	1,2	0,2	0,8	0,2	0,64	0,88
0+500	0,52	0,58	0,22	0,52	0,68	0,50	1,57	0,2	1,2	0,2	0,8	0,8	0,64	0,86
0+600	0,54	0,14	0,24	0,66	0,26	0,37	1,14	0,2	0,8	1,2	0,2	0,8	0,64	0,87
0+700	0,24	0,94	0,16	0,14	1,16	0,53	1,68	0,2	0,8	0,2	1,2	0,8	0,64	0,91
0+800	0,26	0,86	0,54	0,26	0,84	0,55	1,78	1,8	1,2	1,2	0,8	0,2	1,04	1,43
0+900	0,10	0,30	0,50	0,30	0,60	0,36	1,14	0,8	1,2	0,2	0,2	0,8	0,64	0,85
Valor máximo							2,16	Valor máximo					2,29	

Fuente: Elaboración propia.

$FR_S = \text{Promedio de lectura corregida de pendulo britanico}$

$DP = DP \text{ circulo de arena}$

$$MTD = Tx = \frac{4 * V}{\pi * DP^2} = \frac{4 * 25000}{\pi * 334^2} = 0.29$$

$$Sp = a + b * MDT = -11.5981 + 113.632 * 0.29 = 20.825$$

$$FR60 = FR_S * e^{\frac{60-S}{Sp}} = 72.91 * e^{\frac{60-10}{20.825}} = 6.608$$

$$F60 = A + B * FR60 = 0.078 + 0.0107 * 6.608 = 0.149$$

Tabla. 3.14. Resultados de IFI.

Prog	FRs	Dp	MTD=Tx	Sp	FR60	F60
0+000	72,91	334	0,29	20,825	6,608	0,149
0+100	81,12	336	0,28	20,479	7,059	0,154
0+200	86,70	326	0,30	22,353	9,260	0,177
0+300	86,86	317	0,32	24,442	11,231	0,198
0+400	78,13	326	0,30	22,436	8,414	0,168
0+500	80,09	320	0,31	23,680	9,695	0,182
0+600	80,84	324	0,30	22,943	9,144	0,176
0+700	77,53	314	0,32	24,994	10,487	0,190
0+800	80,87	311	0,33	25,895	11,727	0,203
0+900	83,53	315	0,32	24,855	11,174	0,198
Promedio				23,290		0,179

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.15. Fricción para diferentes velocidades.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
F(S)	2,3590	0,9995	0,4235	0,1794	0,0760	0,0322	0,0136

Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.23. Curva de comportamiento del tramo.



Fuente: Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0.373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 2,359 * e^{-0,043*0.373}$$

$$V_{max} = 42,893 \text{ km/hr}$$

3.2.5.2. Análisis de resultados del IFI por tramo

Teniendo en cuenta que los valores de la textura no cumplen con lo mínimo esto indica que no tiene la suficiente macrotextura lo cual influye bastante en las velocidades de tránsito, esto también podemos observar debido a que las velocidades máximas obtenidas no llegan a los 90 km/h establecidos, siendo 71.6 km/h la velocidad máxima alcanzada en un tramo.

Tabla. 3.16. Resultados por tramo IFI.

Prog. Inicial	Prog. Final	Velocidad máxima	
		Ida	Vuelta
0+000	0+900	42,893	40,571
1+000	1+900	41,039	40,814
2+000	2+900	52,022	59,251
3+000	3+900	71,572	76,413
4+000	4+900	57,470	52,367
5+00	5+900	57,855	54,827
6+000	6+900	56,671	54,600
7+000	7+900	69,485	66,822

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.3. Cálculos del IFI tomando en cuenta todo el tramo

Tabla. 3.17. Datos generales para el IFI.

Método IFI												
Tramo: Carachimayo												
Fecha: 28/09/2019 y 29/09/2019												
Operador: Castillo Segovia Cynthia Vanessa												
Carril de ida												
Prog	Peso gr	Diámetro de los círculos (mm)					T °C	Lecturas				
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
0+000	33,9	320	335	330	345	340	37	65	67	68	68	64
0+100	34,6	335	329	338	341	336	40	72	72	72	73	74
0+200	34,8	325	328	334	321	324	40	79	76	78	78	77
0+300	33,5	323	324	312	314	311	39	82	83	82	81	81
0+400	33,9	329	325	331	319	326	33	72	74	73	72	73
0+500	34,8	315	326	318	315	327	34	74	73	74	75	75
0+600	35,6	329	325	326	317	321	38	73	74	72	73	74
0+700	34,1	312	305	316	313	326	38	70	72	70	71	71
0+800	33,8	308	302	316	308	319	39	71	74	74	72	73
0+900	35,1	316	318	320	312	309	39	76	75	75	75	76
1+000	33,9	320	304	308	300	303	39	61	60	63	61	63
1+100	34,6	316	318	305	317	302	39	65	63	63	63	64
1+200	35,1	326	319	325	324	328	39	60	60	62	62	62
1+300	34,2	319	316	315	325	321	39	58	60	60	60	58
1+400	34,8	319	312	315	307	320	40	60	62	61	60	60
1+500	33,9	302	305	309	304	316	40	57	57	58	59	57
1+600	34,3	316	323	312	310	309	42	55	58	58	58	57
1+700	35,2	332	319	336	321	328	42	64	64	63	65	65
1+800	34,5	312	314	306	312	301	42	68	68	67	68	69
1+900	34,8	302	301	298	294	302	44	61	59	59	60	59
2+000	34,8	280	285	276	268	265	41	64	63	62	61	61
2+100	35,1	292	295	297	301	289	41	63	65	65	64	63
2+200	34,9	286	284	281	292	290	41	68	66	66	67	67
2+300	34,5	264	274	275	265	268	41	75	72	72	73	74
2+400	35,1	275	264	268	251	256	40	73	72	75	72	72
2+500	34,9	268	251	264	263	258	40	70	72	70	71	70
2+600	35,2	251	264	267	249	251	40	72	70	71	71	71
2+700	34,6	258	261	258	251	234	35	63	63	63	64	64
2+800	34,2	251	246	259	243	247	35	65	66	65	65	64
2+900	35,8	256	234	258	246	249	35	68	65	68	68	68

3+000	35	225	245	243	250	247	42	69	68	68	70	68
3+100	34,5	213	225	231	216	219	42	70	72	72	73	72
3+200	34,9	221	216	222	219	234	42	68	69	68	68	67
3+300	35,2	243	224	216	238	237	36	71	71	72	74	74
3+400	35,4	222	219	232	200	212	42	70	71	69	69	69
3+500	34,9	213	199	225	203	215	42	63	64	63	64	62
3+600	35,1	235	218	215	226	230	40	67	67	67	68	68
3+700	34,7	231	217	224	227	216	40	66	64	64	65	64
3+800	34,6	229	225	236	214	225	40	69	70	70	71	69
3+900	34,2	218	213	224	216	234	40	67	69	69	68	69
4+000	34,7	230	215	225	215	220	43	60	61	59	59	59
4+100	35,1	245	251	250	246	241	43	63	63	61	62	62
4+200	34,9	241	236	248	241	245	42	64	64	65	66	65
4+300	35,3	251	253	246	239	252	42	59	60	60	59	58
4+400	35,3	253	240	246	251	238	43	70	72	72	71	71
4+500	35,1	261	250	248	254	259	43	60	63	61	62	60
4+600	34,8	230	225	228	234	231	42	65	63	63	65	64
4+700	34,7	251	267	254	249	243	40	63	64	64	65	64
4+800	34,8	246	253	257	251	248	40	61	59	59	60	60
4+900	35,2	231	224	236	232	233	40	63	62	63	63	64
5+000	34,8	235	232	240	245	237	44	65	66	66	66	66
5+100	34,5	246	261	242	253	241	44	68	67	68	68	68
5+200	34,6	243	245	256	231	248	40	60	61	60	61	61
5+300	34,8	251	238	240	235	244	40	63	63	64	65	64
5+400	34,5	223	246	235	236	238	40	61	62	62	62	60
5+500	33,8	234	251	254	237	239	44	59	58	59	59	60
5+600	34,4	243	230	229	224	235	44	62	63	63	62	61
5+700	34,6	258	246	241	236	251	44	66	67	68	69	69
5+800	35,2	250	249	251	253	245	44	58	59	60	60	58
5+900	34,7	241	242	231	234	238	46	60	61	60	60	62
6+000	35,2	256	267	258	250	260	45	56	57	57	59	58
6+100	34,9	249	245	243	257	246	45	60	59	61	61	61
6+200	35,3	251	264	254	259	247	45	65	65	66	68	68
6+300	34,6	248	245	232	248	245	45	75	75	77	76	75
6+400	34,3	236	245	238	231	238	44	71	70	69	71	71
6+500	34,8	251	246	259	261	254	44	65	64	66	65	64
6+600	35,1	264	265	251	259	253	45	64	66	65	66	66
6+700	34,8	256	258	254	246	243	46	59	59	60	60	61
6+800	34,6	251	245	246	238	257	46	70	69	70	70	68

6+900	34,8	259	254	256	243	259	46	68	70	70	69	69
7+000	35,7	223	227	205	230	214	46	64	65	64	64	64
7+100	35,4	219	221	216	214	225	46	65	63	63	65	63
7+200	35,6	234	236	225	229	241	46	67	67	69	69	69
7+300	35,2	246	236	238	227	229	47	71	70	70	72	72
7+400	35,1	230	233	252	240	238	46	73	75	76	76	77

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.18. Tratamiento estadístico.

Parámetro	Peso		Diámetro		Temperatura		BPN	
Media	34,776		263,256		41,440		66,253	
Desv. estándar	0,472		36,769		3,150		5,476	
$X \pm 2 \cdot \sigma$	35,721	33,831	336,794	189,718	47,741	35,139	77,206	55,300
Media	34,749		262,418		41,658		65,973	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.19. Corrección por temperatura y clasificación del péndulo Británico.

FA	1,128	FRs	74,44	0,7444	BUENO
----	-------	-----	-------	--------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.20. Constantes

a	-11,5981	A	0,078
b	113,6325	B	0,0107

Fuente: Elaboración propia.

Tabla. 3.21. Resultados de fricción y textura.

Tx	0,462236
Sp	40,92689
FR60	21,939
F60	0,313

Fuente: Elaboración propia.

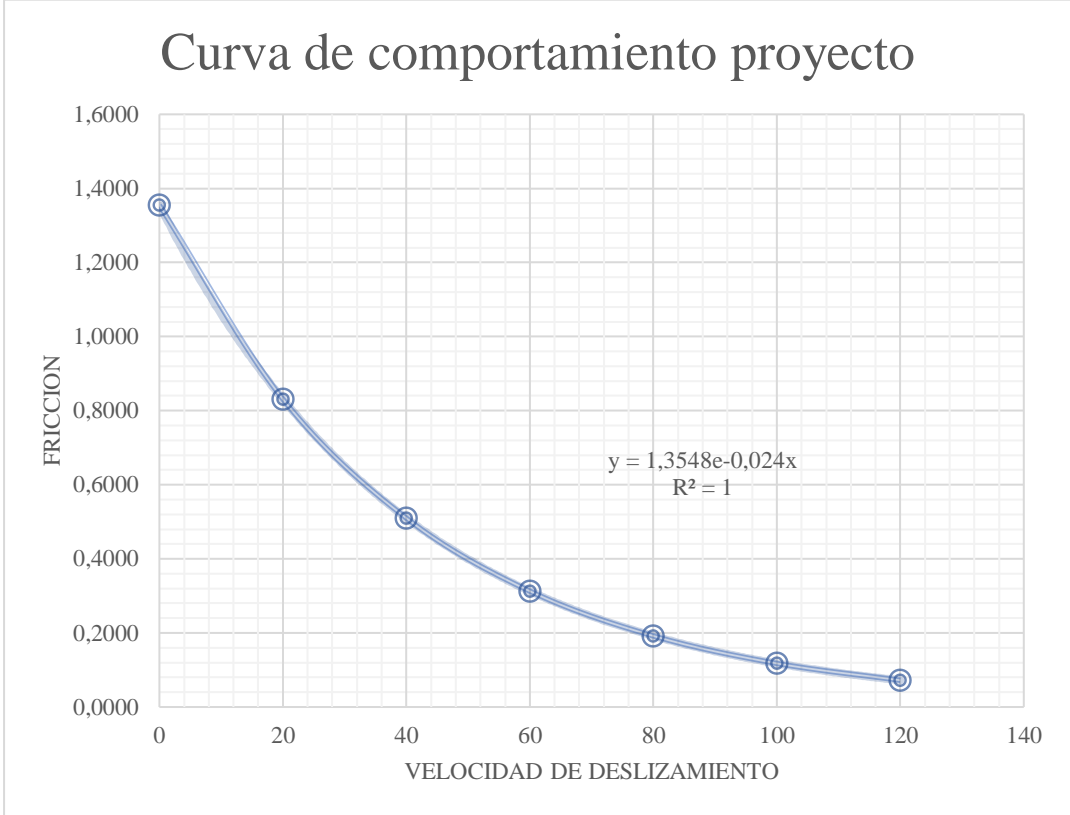
Tabla. 3.22. Fricción para distintas velocidades de todo el proyecto

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F(S)	1,3548	0,8311	0,5098	0,3127	0,1918	0,1177	0,0722

Fuente: Elaboración propia.

Velocidad máxima segura =	53,742946	km/hr
---------------------------	-----------	-------

Figura. 3.24 Curva de comportamiento.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.4. Análisis de resultados del IFI

Tomando en cuenta todo el proyecto se ve reflejado lo ya expuesto por tramos debido a que se tiene una calificación buena para la fricción del pavimento de 0,74 y no así para la macrotextura, esta al ser baja influye directamente a la velocidad máxima que en todo el tramo viene a ser: 53,7 km/hr, siendo muy baja esta para el parámetro establecido como 90 km/hr.

3.3.EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

3.3.1. Viga Benkelman

3.3.1.1.Procedimiento de la práctica

Este ensayo comenzamos con el pesaje de la volqueta a ser utilizada, una vez el en lugar se inició en la progresiva 0+000, realizando el ensayo cada 100 metros primeramente por el carril de ida y posteriormente por el carril de vuelta, el procedimiento fue el siguiente:

Una vez armada la viga comenzamos con el ensayo, se realizo en la huella interna. Escogido el lugar se procedió a colocar el brazo móvil de la viga Benkelman entre las dos ruedas de la volqueta, cuando se encuentra seguro se indica que la volqueta comience su marcha lentamente. Las lecturaciones que se tomaron del extensómetro de la viga Benkelman fueron al inicio, a 100 cm, a 200 cm y a 300 cm.

Figura. 3.25. Pesaje de la volqueta.

The image shows a receipt from 'BALANZA "MENDOZA"'. The receipt includes the following information:

- Address: KM 7.5 CARR. AL CHACO - CEL. 70218371- 73451178, Tarija - Bolivia
- Client: CYNTHIA V. CASTILLO S.
- Material: VOLQUETA
- Driver: PLACIDO SOLIZ
- Destination: NULL
- Observation: BALANZA ELECTRONICA
- Weighting Data:
 - BRUTO: 0
 - TARA: 8,020
 - NETO: 8,020
- Additional Data:
 - Ingreso: 14/09/2019 08:14:42 AM
 - Salida: 10/10/2019 08:12:18 AM
 - 174.34 qq
 - Monto Bs: 20.0
 - Placa: 647 CGK

There is a stamp at the bottom of the receipt that reads 'BALANZA ELECTRONICA "MENDOZA"' and includes the address and phone numbers. A signature is visible over the stamp.

Fuente: Balanza electrónica Mendoza.

Figura. 3.26. Posicionamiento de la viga Benkelman.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.27. Colocado a 0 el dial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.28. Puesta en marcha de la volqueta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.29. Recuperación del asfalto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.30. Lecturación.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2. Datos de la práctica

Se tomará como ejemplo la progresiva 1+000 a la progresiva 1+900.

Tabla. 3.23. Datos de campo viga Benkelman de la progresiva 1+000 a 1+900

Ensayo viga Benkelman										
Norma:	Manual de especificaciones técnicas generales de construcción. Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).									
Prog.	Carril de ida					Carril de vuelta				
	T	Lecturas (0.01 mm)				T	Lecturas (0.01 mm)			
	°C	L ₀	L ₁₀₀	L ₂₀₀	L ₃₀₀	°C	L ₀	L ₁₀₀	L ₂₀₀	L ₃₀₀
1+000	39	38	16	6	4	46	58	38	0	0
1+100	39	42	24	8	8	46	54	36	12	2
1+200	40	40	22	24	6	46	44	28	8	2
1+300	40	34	16	4	4	47	40	22	8	0
1+400	40	28	8	8	0	47	38	16	2	0
1+500	40	30	10	2	2	47	46	24	10	4
1+600	40	30	8	6	4	46	42	20	8	0
1+700	40	24	4	2	0	46	36	12	2	0
1+800	41	26	8	4	4	46	50	28	14	2
1+900	41	30	10	18	6	46	48	26	10	0

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.3. Procedimiento de cálculo

Corrección por temperatura. Se realiza esta corrección ya que las lecturaciones deben llevarse a una temperatura estándar de 20°C.

$$L_0^I = \frac{L_0}{k * (t - 20) * e + 1}$$

$$L_0^I = \frac{36}{0.001 * (37 - 20) * 5 + 1}$$

$$L_0^I = 33.18$$

Corrección por estacionalidad.

$$L_0^{II} = Fce * L_0^I$$

$$L_0^{II} = 1.3 * 33.18$$

$$L_0^{II} = 43.13$$

Deflexión máxima.

$$D_0 = K * (L_0^{II} - L_f^{II})$$

$$D_0 = 1 * (43.13 - 0)$$

$$D_0 = 43.13$$

$$D_0 = 43.13 * 0.01$$

$$D_0 = 0.4313 \text{ mm}$$

Radio de curvatura

$$Rc = \frac{6250}{k * (D_0 - D_{100})}$$

$$Rc = \frac{6250}{1 * (43.13 - 0)}$$

$$Rc = 372.60$$

Deflexión admisible

Debido a la dificultad para obtener datos por parte del Servicio departamental de caminos (SE.DE.CA), tomamos como numero de ejes equivalentes $W18 = 1060260$ para un periodo de 20 años.

$$D_a = \left(\frac{1.15}{W18} \right)^{1/4}$$

$$D_a = \left(\frac{1.15}{1.060260} \right)^{1/4}$$

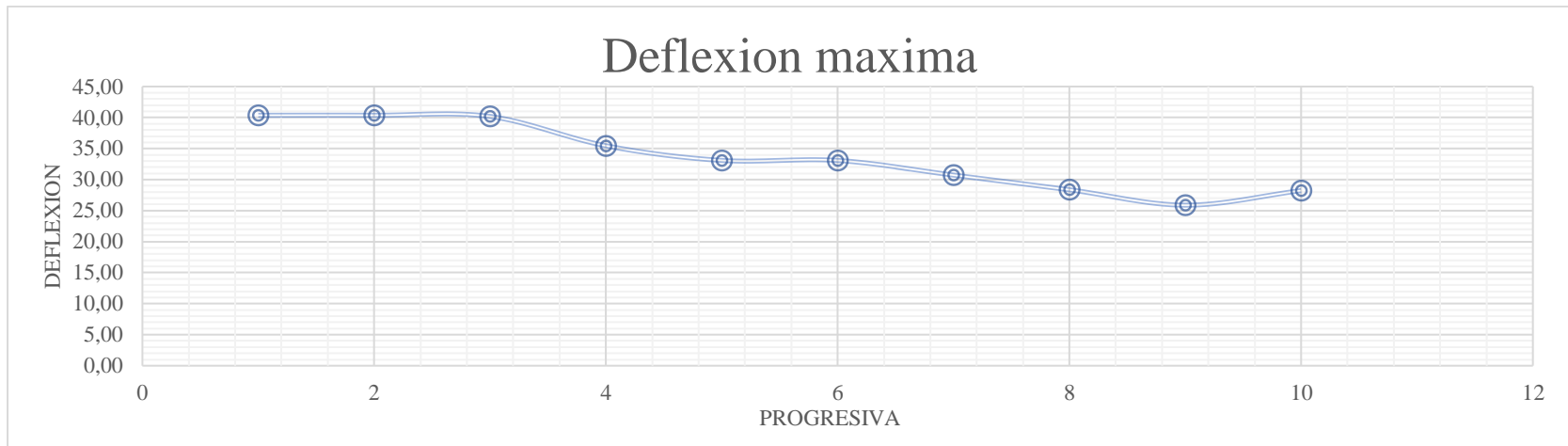
$$D_a = 1.0205 \text{ mm}$$

Tabla. 3.24. Resultados del tramo ejemplo

Ensayo con la viga Benkelman																	
Tramo: Carachimayo																	
Progresiva inicial: 1+000									Progresiva final: 1+900								
Fecha: 28/09/2019 y 29/09/2019																	
Carril de ida																	
Prog.	T °C	Lecturas de campo (0.01 mm)				Lecturas corregidas por temperatura				Lecturas corregidas por estacionalidad				Deflexión a (0.01 mm):			RC
		L 0	L 100	L 200	L 300	L 0	L 100	L 200	L 300	L 0	L 100	L 200	L 300	D Máxima	D 100	D 200	
1+000	39	38	16	6	4	34,70	14,61	5,48	3,65	45,11	19,00	7,12	4,75	40,37	14,25	2,37	239,29
1+100	39	42	24	8	8	38,36	21,92	7,31	7,31	49,86	28,49	9,50	9,50	40,37	19,00	0,00	292,47
1+200	40	40	22	24	6	36,36	20,00	21,82	5,45	47,27	26,00	28,36	7,09	40,18	18,91	21,27	293,80
1+300	40	34	16	4	4	30,91	14,55	3,64	3,64	40,18	18,91	4,73	4,73	35,45	14,18	0,00	293,80
1+400	40	28	8	8	0	25,45	7,27	7,27	0,00	33,09	9,45	9,45	0,00	33,09	9,45	9,45	264,42
1+500	40	30	10	2	2	27,27	9,09	1,82	1,82	35,45	11,82	2,36	2,36	33,09	9,45	0,00	264,42
1+600	40	30	8	6	4	27,27	7,27	5,45	3,64	35,45	9,45	7,09	4,73	30,73	4,73	2,36	240,38
1+700	40	24	4	2	0	21,82	3,64	1,82	0,00	28,36	4,73	2,36	0,00	28,36	4,73	2,36	264,42
1+800	41	26	8	4	4	23,53	7,24	3,62	3,62	30,59	9,41	4,71	4,71	25,88	4,71	0,00	295,14
1+900	41	30	10	18	6	27,15	9,05	16,29	5,43	35,29	11,76	21,18	7,06	28,24	4,71	14,12	265,63

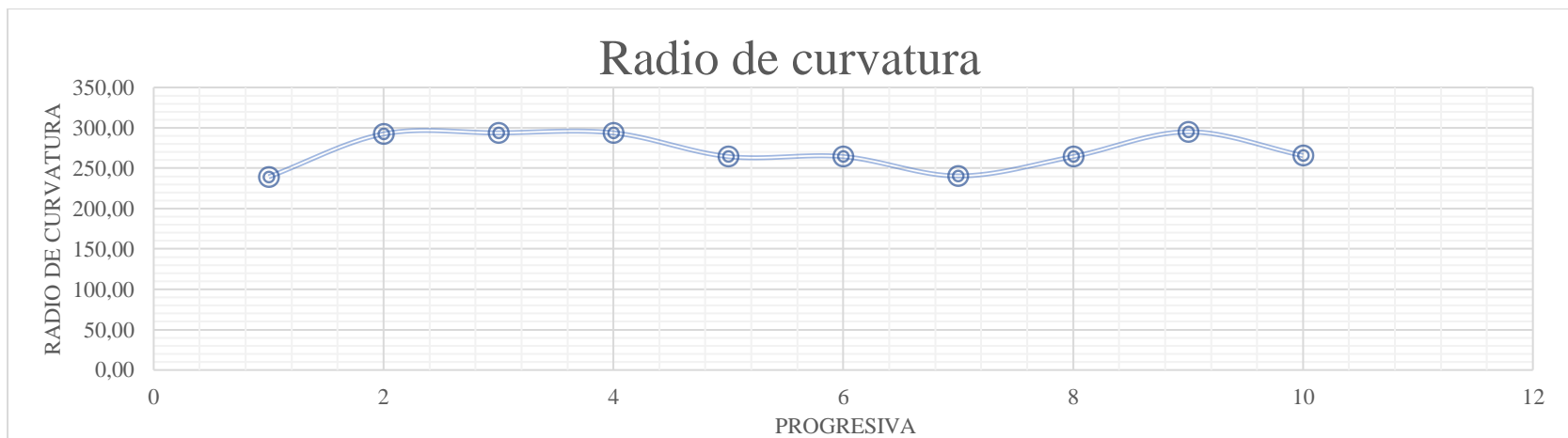
Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.32. Deflexión máxima



Fuente: Elaboración propia.

Figura. 3.33. Radio de curvatura.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.4. Análisis de resultados

Para la tabla de resultados se tomó en cuenta la transformación de unidades colocando todos los resultados de las deflexiones a mm. También se realizó por tramos de un kilómetro tomando en cuenta la deflexión máxima, buscando el valor mínimo, el cual se lo comparara con la deflexión admisible obtenida. En los radios de curvatura se eligió el máximo ya que será el que compararemos.

Tabla. 3.25. Resultados de la deflexión.

Prog. Inicial	Prog. Final	Deflexión Admisible (mm)	Deflexión máxima (mm)		Radio de curvatura	
			Ida	Vuelta	Ida	Vuelta
0+000	0+900	1.0205	0,43	0,30	440,71	456,73
1+000	1+900	1.0205	0,26	0,41	295,14	339,54
2+000	2+900	1.0205	0,28	0,32	379,46	389,77
3+000	3+900	1.0205	0,25	0,23	333,53	391,48
4+000	4+900	1.0205	0,23	0,27	384,62	391,48
5+000	5+900	1.0205	0,23	0,18	338,04	538,46
6+000	6+900	1.0205	0,25	0,16	388,05	679,09
7+000	7+400	1.0205	0,28	0,32	452,72	248,03

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos del ensayo de la viga Benkelman nos muestran que ante el paso de carga de diseño de 8.02 Toneladas que era lo que pesaba la volqueta con la que se realizó el ensayo todas las deflexiones son menores a la deflexión admisible lo cual nos indica que el pavimento evaluado cuenta con una buena subrasante.

Podemos observar que los valores de las deflexiones máximas de cada tramo no sobrepasan la deflexión admisible por lo tanto nos indica que no existen fallas estructurales en el pavimento.

Según el manual de carreteras Boliviano los radios de curvatura no pueden exceder de 500, en nuestro tramo evaluado existen dos tramos que exceden el límite uno con 679.09 que pertenece al carril de vuelta, a la progresiva 6+000 a 6+900 y la otra con un valor de 538.46 que de igual forma pertenece al carril de vuelta pero a la progresiva 5+000 a 5+900.

3.4.CUADROS RESUMEN

Tramo	Péndulo Británico				Círculo de arena				Viga Benkelman			
	RD	Calificación	Bolivia	Chile	MTD	Textura	Bolivia	Chile	Vel. Max	Defl. Max	Defl. Adm	Calificación
0+000-0+900	0,81	Bueno a reg	Cumple	Cumple	0,31	Fina	-	No Cumple	42,89	0,55	1,0205	Cumple
	0,70	Bueno	Cumple	Cumple	0,29	Fina	-	No Cumple	40,57	0,39	1,0205	Cumple
1+000-1+900	0,69	Bueno	Cumple	Cumple	0,32	Fina	-	No Cumple	41,04	0,40	1,0205	Cumple
	0,75	Bueno	Cumple	Cumple	0,27	Fina	-	No Cumple	40,81	0,67	1,0205	Cumple
2+000-2+900	0,75	Bueno	Cumple	Cumple	0,46	Media	-	No Cumple	52,02	0,45	1,0205	Cumple
	0,76	Bueno	Cumple	Cumple	0,55	Media	-	No Cumple	59,25	0,50	1,0205	Cumple
3+000-3+900	0,77	Bueno	Cumple	Cumple	0,64	Media	-	Cumple	71,57	0,33	1,0205	Cumple
	0,73	Bueno	Cumple	Cumple	0,73	Media	-	Cumple	76,41	0,36	1,0205	Cumple
4+000-4+900	0,71	Bueno	Cumple	Cumple	0,55	Media	-	No Cumple	57,41	0,30	1,0205	Cumple
	0,70	Bueno	Cumple	Cumple	0,49	Media	-	No Cumple	52,37	0,39	1,0205	Cumple
5+000-5+900	0,71	Bueno	Cumple	Cumple	0,55	Media	-	No Cumple	57,85	0,33	1,0205	Cumple
	0,74	Bueno	Cumple	Cumple	0,50	Media	-	No Cumple	54,83	0,30	1,0205	Cumple
6+000-6+900	0,76	Bueno	Cumple	Cumple	0,51	Media	-	No Cumple	56,67	0,32	1,0205	Cumple
	0,71	Bueno	Cumple	Cumple	0,50	Media	-	No Cumple	54,60	0,30	1,0205	Cumple
7+000-7+400	0,79	Bueno	Cumple	Cumple	0,61	Media	-	Cumple	69,49	0,35	1,0205	Cumple
	0,75	Bueno	Cumple	Cumple	0,61	Media	-	Cumple	66,82	0,52	1,0205	Cumple

Índice de Rugosidad Internacional					
Prog inicial	Prog final	IRI	Bolivia	Chile	Banco mundial para la cuantificación del IRI
0+000.00	0+100.00	2,4447761	Aprobado sin multas	50%	Nuevo
0+260.00	0+360.00	1,4765	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
0+400.00	0+500.00	1,149	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
0+780.00	0+880.00	1,118	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
1+200.00	1+300.00	3,63035	20%	100%	Viejo
2+450.00	2+550.00	1,991	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
3+200.00	3+300.00	1,604	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
4+150.00	4+250.00	1,554	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
5+400.00	5+500.00	1,014	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
6+100.00	6+200.00	1,191	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo
7+050.00	7+150.00	1,1894	Aprobado sin multas	Aprobado	Nuevo

Detector HI-LO			
Bajo (mm)	N° de bajos	Bolivia	Chile
5	6	Cumple	No corresponde multa
6	5	No cumple	2%
7	3	No cumple	5%
8	3	No cumple	15%
9	0	No cumple	25%
10	1	No cumple	100% o se rehace

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1.CONCLUSIONES.

Después de todos los ensayos realizados se llegan a las siguientes conclusiones:

Para la evaluación del pavimento flexible nuevo, se realizaron ensayos no destructivos. En el caso de la evaluación superficial se tuvieron los ensayos del detector HILO, Circulo de arena, péndulo Británico, Índice de Rugosidad Internacional (IRI); para la evaluación estructural el ensayo de la viga Benkelman, los que se ejecutaron satisfactoriamente.

La información obtenida muestra, que los manuales de carreteras, proporcionados por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), indican los ensayos a realizar a un pavimento nuevo, pero no indican penalizaciones por incumplimiento de estos parámetros, a diferencia de los manuales de carreteras de Chile, que especifica los ensayos a realizar, parámetros a cumplir, multas o penalizaciones en caso de falla o incumplimiento de los mismos

Los resultados del péndulo Británico nos dan una resistencia al deslizamiento (RD) de 74.4 este nos indica un pavimento bueno, siendo el mínimo para el manual de 45, proporcionando una adecuada resistencia al deslizamiento a baja velocidad, menor a 50 km/h.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) nos da 1.67 calificado como pavimento nuevo, cumpliendo con un parámetro establecido en el manual, lo que estipula que debe ser inferior a 2.3 m/km, este índice es muy importante debido a que nos indica que deberá tener un buen tiempo de vida útil, además dará sensación de confort al usuario.

La macrotextura que se obtuvo con la mancha de arena, es baja 0.46 mm, lo que indica que está por debajo de lo establecido de 1,00 mm para velocidades de 90 km/h, esta nos indica que no tiene buena capacidad de evacuar agua, tampoco ofrece una adecuada resistencia a altas velocidades sobre el pavimento mojado, lo que significa que existe el riesgo que la rueda patine o se deslice causando accidentes.

La lisura del pavimento nos muestra ciertos tramos que tienen que ser multado y un tramo que se debería rehacer puesto que el bajo que presenta (10 mm) supera el límite permitido, por la poca cantidad de puntos irregulares que presenta, se tiene un pavimento con buena lisura.

En la evaluación estructural presentan deflexiones máximas inferiores a la admisible, por lo tanto, la estructura del pavimento es adecuada.

Con los datos del péndulo Británico y el círculo de arena se realizó el cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI) este nos da una velocidad máxima de 53,7 km/h, este valor es bajo, se puede comprobar lo anteriormente dicho, el pavimento tiene buena resistencia a velocidades bajas y mala resistencia a velocidades altas, es decir que si supera la velocidad máxima establecida se corre el riesgo de causar accidente.

La señalización, tanto horizontal como vertical, en toda la carretera nos muestra un límite de velocidad máximo de 50 km/h, este valor comparando con el obtenido en la evaluación que es de 53,7 km/h, podemos señalar que la carretera se encuentra con la restricción de velocidad correcta.

Realizando una comparación entre el índice de rugosidad internacional (IRI) y la lisura, que son los dos parámetros de confort al usuario, en ambos casos tenemos valores aceptables, el IRI con un valor bajo y la lisura con un solo tramo que supera el límite establecido de 10 mm.

Tomando en cuenta solo el confort que se da al usuario, entre los dos métodos realizados, el detector HI-LO es más práctico y rápido, mientras que el IRI realizado con estación total debe tener una distancia entre puntos máxima de 50 cm, en proyectos con distancias considerables toma demasiado tiempo.

Siguiendo los manuales boliviano y chileno se construyó de manera satisfactoria el detector HILO.

Debido a que se asignan muy pocos recursos para la conservación de una carretera, realizar el control en el momento de la entrega es una buena solución, de manera que al asegurarnos que cumplan con los parámetros establecidos nos garantizarán que cumplirán con la vida útil señalada.

Con los todos los resultados obtenidos podemos verificar que la calidad del pavimento flexible nuevo, en el momento de su entrega se encuentra en buenas condiciones, cumpliendo los parámetros de los manuales de carreteras de la ABC.

7.2.RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar la evaluación superficial y estructural; lo cual nos garantizara que los parámetros sean cumplidos y de no ser de así, estarán sujetos a multa y gastos para acciones correctivas.

Es importante realizar un análisis de las evaluaciones, para ejecutar y cumplir con los objetivos que fueron planteados para la carretera en cuestión.

Se tiene que tener mucho cuidado en el transporte del detector HILO ya que este presenta una precisión de 2 mm. El transportarlo de manera incorrecta puede ocasionar la descalibración y/o destrozos del mismo, se debe evitar los golpes y movimientos violentos.

Es importante verificar la calibración antes de usar el detector HILO en una superficie completamente lisa y colocando laminas o placas de 2 mm de espesor para verificar que las mediciones coincidan con el panel de lecturación.

Al ser evaluaciones que se realizan en campo, se debe seguir las normas de seguridad, el uso indispensable de chaleco reflectivo y conos como mínimo para evitar cualquier accidente.

Los equipos con los que se realizan las evaluaciones son de precisión, por tanto, el personal que se encargue de esta tarea tiene que tener conocimiento o recibir la capacitación correspondiente.

Los ensayos que se realizan en las evaluaciones son de precisión, por tanto, se debe realizar siguiendo paso a paso la metodología indicada por el manual de carreteras, para así una vez en gabinete se pueda obtener resultados confiables.