

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los primeros usos de los pavimentos rígidos se dieron en Estados Unidos, esto debido a la necesidad del país para el uso del transporte masivo. El crecimiento demográfico experimentado durante el siglo XIX procuraba nuevas vías de transporte.

La construcción y mantenimiento de las vías han evolucionado según el desarrollo de las ciudades, en la actualidad su desarrollo se enfoca principalmente en conseguir un mayor tiempo de durabilidad y un nivel de servicio óptimo para el cual fue diseñado cumpliendo con los niveles de seguridad, permitiendo establecer una adecuada estrategia de tratamiento que aplicada en el pavimento sea rentable y su ciclo de vida mejore, por esta razón la construcción de carreteras debe enfocarse como una inversión a largo plazo y como parte de la infraestructura de un país.

Se dice que en Bolivia los primeros pavimentos rígidos corresponden a la construcción de Aeropuertos. Para nuestro país la construcción de vías usando pavimento rígido genera empleo y fortalece la economía boliviana.

Si bien el pavimento rígido posee una alta ventaja competitiva en lo que se refiere a su ciclo de vida, mantenimiento, durabilidad e inversión; en nuestro país es muy frecuente encontrar carreteras que se encuentran en mal estado con fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos, esto debido al paso respectivo de transporte pesado provocando deformaciones en el pavimento, otro factor podría ser la falta de mantenimiento de las carreteras.

La Carretera Tarija – Potosí, es parte de la carretera Panamericana y forma parte del Corredor Oeste – Sur en Bolivia, sirve para la vinculación del territorio nacional con la República Argentina y mejora la vinculación terrestre con los departamentos de Tarija, Chuquisaca y Potosí con el resto del país.

Este proyecto pretende realizar una investigación de las principales deficiencias de la estructura actual del pavimento rígido en el tramo de LAS CARRERAS - VILLA

ABECIA que se encuentra dentro del departamento de Chuquisaca en la provincia Sud Cinti, cuantificando los daños y deterioros de la carretera.

El tramo en estudio presenta constantemente problemas, ocasionando molestias a todos los transportistas como así también a los viajeros, ya que se trata de una de las rutas de mayor tránsito interdepartamental porque conecta lo que es el departamento de Tarija con el departamento de Potosí.

No se puede señalar una causa única del deterioro del pavimento, las causas son muchas podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, de errores constructivos, entre otros.

1.2 Situación problemática

La construcción del pavimento de concreto de la carretera Tarija – Potosí en Bolivia empezó en agosto de 2005, a partir del año 2006 comenzó a mostrar señales de fisuración prematura después de que los camiones empezaron a usar el pavimento. La cantidad y severidad de la fisuración se ha incrementado muy rápido y actualmente algunas áreas exhiben un muy alto porcentaje de losas fisuradas. La existencia de un número excesivo de vehículos pesados que circulan por la carretera contribuye a agravar el deterioro de la vía.

El problema de asentamiento o rajaduras del pavimento se presenta principalmente en épocas de lluvia generando cuestionamientos de los transportistas y constructores quienes observan la falta de mantenimiento oportuno de las vías por parte de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Desde que se construyó la carretera Tarija – Potosí presentó muchos problemas desde un inicio con retrasos en su ejecución, el cambio de empresas para su construcción, entre otros. Se puede evidenciar varias losas fisuradas, algunos baches y trabajos de obra de arte inconclusos.

Las rajaduras en el camino se encuentran en varias partes del pavimento rígido, no se puede hablar de una causa única del deterioro debido a que las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores además de que no se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del

tiempo y solo se interviene cuando el deterioro es mayor y no solo se requiere un mantenimiento correctivo, sino todo lo contrario cuando se necesita un reemplazo total de la losa.

Las fisuras en losas fueron cubiertas con alquitrán otras con cementos, pero persisten especialmente en zonas como Chaupiuno o Monte Sandoval.

Es así que se vio necesario realizar una evaluación completa de dicha carretera en un tramo específico, y así poder determinar las posibles causas que provocan daños en el pavimento.

1.2.1 Problema

¿En qué estado se encuentra el pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia y qué medidas se debe implementar para mejorar la condición del pavimento?

1.2.2 Delimitación temporal y espacial del problema

A continuación, se detalla la delimitación temporal y espacial que tendrá el proyecto:

- Delimitación temporal

La investigación de este proyecto durará hasta que se realice un mantenimiento de la carretera, ya que esto ocasionará que las características de la carretera cambien.

- Delimitación espacial

La zona de estudio para este proyecto será en la carretera fundamental que une la ciudad de Tarija con el municipio de Camargo, entre el tramo Las Carreras y Villa Abecia.

1.3 Justificación del proyecto

La infraestructura vial del tramo Las Carreras – Villa Abecia es parte fundamental que une la ciudad de Tarija con el resto del país, es una carretera que pertenece a la red fundamental.

Con este proyecto de grado ***“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA”*** se pretendió dar a conocer el estado actual tanto superficial como estructural del pavimento rígido del tramo escogido.

Esta ruta presenta constantemente problemas ocasionando que la carretera se encuentre en mantenimiento en varias épocas del año generando molestias a varios sectores como

transportistas y viajeros, ya que se trata de una de las rutas de mayor tránsito interdepartamental porque conecta lo que es el Sur con el Norte del país.

Figura 1: Mantenimiento del tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia.

Transportistas aseguran que estos problemas se dan con mucha frecuencia, aparecen baches de forma inesperada, presentándose con mayor frecuencia en épocas de lluvia.

En base a inspecciones visuales realizadas se observó deterioros en el pavimento, según el encargado del mantenimiento de dicho tramo el factor que ocasiona estas fallas es que no se hizo una buena compactación al momento de construir la carretera afectando así a la capa base, también se debe a la humedad presentada en la zona lo que hace que se produzca deformaciones en la losa de la carretera provocando algunas fisuras de gran consideración, o que el hormigonado no se lo haya hecho de manera correcta.

Figura 2: Fisuras presentadas en el tramo en estudio



Fuente: Elaboración propia.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar superficial y estructuralmente el pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia, mediante el método PCI, IRI, PSI y de la Viga Benkelman para determinar el estado actual del pavimento.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de fallas en el tramo de estudio.
- Establecer el nivel de severidad de las fallas encontradas en el pavimento rígido.
- Determinar la condición superficial del pavimento mediante los métodos PCI, IRI y PSI.
- Determinar la condición estructural del pavimento por el método de la Viga Benkelman.

1.5 Hipótesis

Al realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia empleando los métodos Índice de Condición del Pavimento, Índice de Regularidad Internacional y el Índice de Serviciabilidad Presente para lo superficial y la Viga Benkelman para la evaluación estructural se determina que el estado actual del pavimento está entre regular y bueno.

Se obtendrá resultados similares entre el PCI e IRI obteniendo un valor promedio que clasifica al pavimento como regular y un PSI promedio que determina que el estado actual del pavimento está entre regular a bueno.

1.6 Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de la variable independiente

Variables	Nombre	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Independiente	Índice de Condición del Pavimento.	Es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.	PCI	-	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de fallas. - Severidad de las fallas. - Tipo de falla.
	Índice Internacional de Rugosidad.	Es una escala de la regularidad superficial de una vía, se expresa en metros por kilómetros	IRI	m/km	<ul style="list-style-type: none"> - Rugosidad.
	Índice de Serviciabilidad Presente.	Condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable	PSI	-	<ul style="list-style-type: none"> - Confortabilidad del usuario.
	Viga Benkelman	Instrumento que se usa para la evaluación estructural y mide las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento por la acción de cargas vehiculares.	Viga Benkelman	mm	<ul style="list-style-type: none"> - Deflexiones del pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Operacionalización de la variable dependiente

Variables	Nombre	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Dependiente	Capacidad superficial	Evaluación realizada en una vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.	Evaluación	-	Evaluación superficial y estructural del pavimento.
	Capacidad estructural	Es 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 de rehabilitación.		-	

Fuente: Elaboración propia.

1.6.1 Variable independiente

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

1.6.2 Variable dependiente

- Capacidad superficial del pavimento rígido.
- Capacidad estructural del pavimento rígido.

1.7 Identificación del tipo de investigación

Se trata de una investigación descriptiva porque busca describir la realidad, los tipos de fallas o daños presentes en la superficie del pavimento rígido, con el fin de poder realizar un análisis y procesamiento.

Según el tipo de datos analizados es una investigación cuantitativa, debido a que el análisis se realiza a través de diferentes procedimientos basado en la medición y los datos recopilados ayudan a confirmar o descartar una hipótesis. Los valores que se obtengan son utilizados en métodos estadísticos que se pueden plasmar a través de tablas, gráficos y otros.

Según su diseño corresponde a un estudio no experimental, debido a que no se requiere modificar las variables de estudio.

1.8 Decisión muestral

A continuación, se detalla la población y muestra tomada para el presente proyecto.

1.8.1 Población

La población tomada para la presente investigación es la infraestructura vial de la carretera Tarija – Camargo.

1.8.2 Muestra

La muestra de estudio es el tramo de Las Carreras – Villa Abecia.

1.8.3 Muestreo

Para poder evaluar el pavimento se tomó secciones al azar de los tramos más deteriorados, primero se dividió la vía cada 1 km luego subdividirla cada 200 m eligiendo así la sección que presentaba más fallas, se tomó 9 secciones para ser evaluadas.

1.9 Métodos y técnicas empleadas

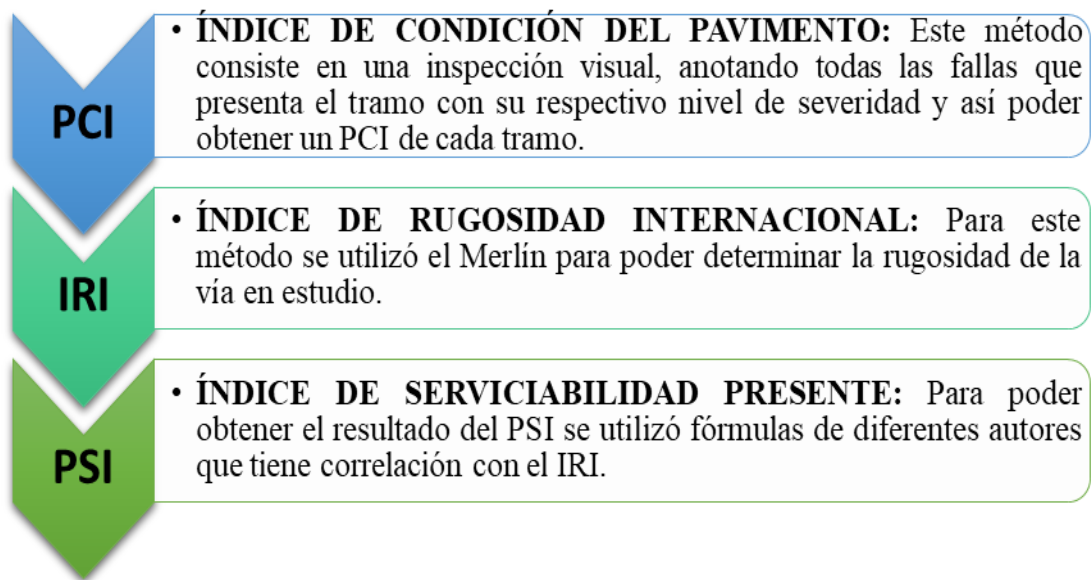
En los siguientes puntos se describe los métodos usados para la evaluación tanto superficial como estructural del pavimento rígido, como así también se muestra las técnicas empleadas para una medición y registro adecuado.

1.9.1 Métodos

A continuación, se describe diferentes métodos para realizar la investigación del tramo en estudio:

- La evaluación superficial se la realizó a través de 3 métodos los cuales son:

Figura 3: Métodos para la evaluación superficial



Fuente: Elaboración propia.

Para la evaluación estructural se utilizó lo que es la Viga Benkelman con el cual se obtuvo deflexiones del pavimento.

1.9.2 Técnicas

Para el trabajo de campo se necesitó de los implementos adecuados y suficientes para medir y registrar de forma precisa, que fueron:

- Materiales: Hoja de registro de datos, wincha métrica, pintura y pincel, regla de medición, chalecos y conos de seguridad, útiles de escritorio entre otros.
- Equipos de laboratorio: Equipo del Merlín, Nivel de Ingeniero y la Viga Benkelman.

1.10 Procesamiento de la información

Figura 4: Proceso de la información



Fuente: Elaboración propia.

Esta investigación en resumen constará de cinco etapas mostradas en el gráfico anterior.

1.10.1 Trabajos previos

En esta etapa se procedió a la recopilación del material necesario para llevar a cabo el trabajo de campo, también se buscó la bibliografía necesaria para poder registrar las fallas del pavimento y que estas sean clasificadas.

1.10.2 Trabajos de campo

En cuanto a los trabajos de campo primero se dividió el tramo escogido en secciones, con la ayuda de una wincha y pintura se marcó los puntos necesarios para identificar las secciones evaluadas, para así poder aplicar los diferentes métodos tanto para la evaluación superficial y estructural.

1.10.3 Análisis e interpretación de la información

Una vez que se obtuvo los datos de campo se pudo analizar e interpretar la información obtenida, para esto se utilizó programas como la hoja Excel, donde se realizó tablas y gráficos permitiendo así determinar el estado actual del pavimento rígido entre el tramo Las Carreras – Villa Abecia.

1.10.4 Interpretación de resultados

Concluida la tabulación de los datos se obtuvo los resultados finales, se hizo una interpretación de estos, se analizaron las fallas con mayor incidencia y se recomendó algunas alternativas de reparación para los diferentes tipos de deterioros.

1.10.5 Conclusiones y recomendaciones

Se realizó algunas conclusiones sobre los resultados que se obtuvieron y se dio algunas recomendaciones sobre el tema.

1.11 Alcance de la investigación

El presente trabajo de investigación pretende ofrecer la información básica y fundamental para el desarrollo de la evaluación superficial y estructural en el tramo en estudio.

Esta investigación constó de dos partes siendo estas una evaluación superficial y una evaluación estructural.

En lo que se refiere a la evaluación superficial, se deberá considerar las fallas presentes en el tramo en estudio de tal manera poder distinguirlas y clasificarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así obtener un indicativo referencial de su condición.

La evaluación superficial se realizó mediante la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), del Índice de Regularidad Internacional (IRI) y por la determinación de Serviciabilidad (PSI) para lo cual fue necesario una inspección visual en todo el tramo escogido, que sirvió para identificar la condición presente del pavimento, el PCI nos proveerá una medida consistente de la integridad estructural del pavimento y su condición superficial-operacional graduándole de 0 a 100. En cuanto a la evaluación estructural se realizó por métodos no destructivos como el ensayo de la Viga Benkelman que se aplicó en todo el tramo escogido con este ensayo se midió la deflexión.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS Y MÉTODOS PARA SU EVALUACIÓN

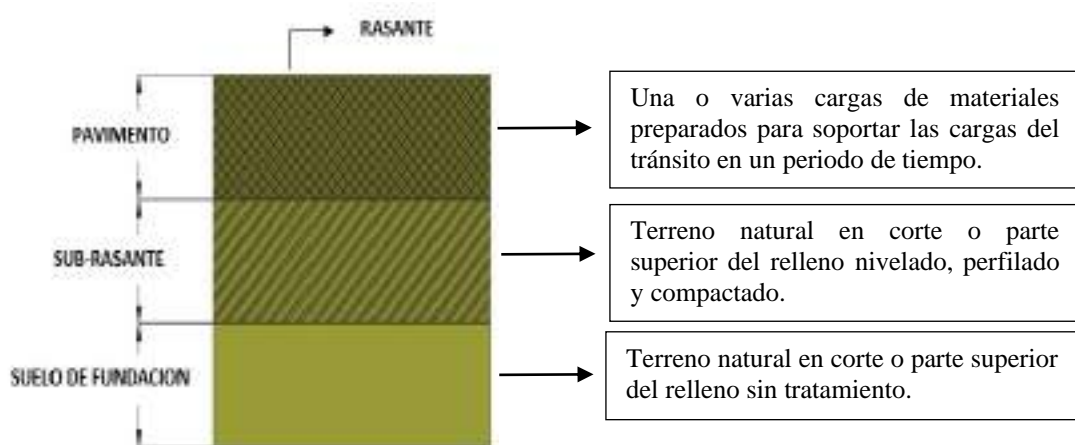
CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS Y MÉTODOS PARA SU EVALUACIÓN

2.1 Definición de pavimentos

Un pavimento es un elemento estructural, apoyado en toda su superficie, diseñado y construido para soportar cargas estáticas y/o móviles durante un periodo de tiempo predeterminado, durante el que necesariamente deberá recibir algún tipo de tratamiento tendiente a prolongar su “vida de servicio”. Estando formado por una o varias capas de espesores y calidades diferentes que se colocan sobre el terreno preparado para soportarlo, tiene por su función proporcionar una superficie resistente al desgaste y suave al deslizamiento; y un cuerpo estable y permanente bajo la acción de las cargas. (VIVAR R., 1995, P.1).

Figura 5: Estructura de un pavimento



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Componentes de los pavimentos

Un pavimento está compuesto por:

2.2.1 Capa subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada

debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. (*ALTAMIRANO, 2007, P.7*).

2.2.1 Capa sub-base

Que tiene una función primaria de protección (drenante y anticontaminante) de la base en un pavimento flexible o de las losas en un pavimento rígido; y una función secundaria resistente principalmente en el caso de los pavimentos flexibles, pudiendo ser granular o estabilizada.

2.2.2 Capa base

Es el principal elemento estructural en los pavimentos flexibles y que en los pavimentos rígidos puede reemplazar a la subbase, pudiendo ser de agregados aglomerados con asfalto (como en el caso de las Bases Negras y Estabilizadas), de agregados aglomerados con cemento Portland (como en el caso de las bases estabilizadas con cemento, o las bases de Concreto Compactado con Rodillo); o de los suelos sin aglomerar como en el caso de las bases de grava.

2.2.3 Capa rodadura

Es la capa más superficial, que estará en contacto con las sollicitaciones y tiene como función principal el proporcionar una superficie suave al deslizamiento y resistente al desgaste. En el caso de los pavimentos rígidos, constituye además el principal elemento estructural. (*VIVAR R., 1995, P.7*).

2.3 Materiales para pavimentos

En los puntos descritos a continuación se describirán los requisitos que debe tener de los materiales para un pavimento rígido.

2.3.1 Materiales para sub-base

Los materiales para subbase deberán cumplir con la graduación TM-50 a de la Tabla 4 y con los siguientes requerimientos:

- Los áridos gruesos, retenidos sobre el tamiz 4,75 mm (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo – deshielo y humedad – sequedad, no deben ser usados.
- Los áridos finos, que pasan por el tamiz 4,75 mm (N°4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por el tamiz 0,075 mm (N°200).
- Las fracciones que pasan por el tamiz 0,075 mm (N°200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por el tamiz 0,475 mm (N°40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por el tamiz 0,475 mm estarán conformes a lo indicado en la Tabla 3.

Tabla 3: Límites de consistencia o de Atterberg

	Límite líquido	Índice de plasticidad
Subbase	Máx. 35	Máx. 8
Base estabilizada	Máx. 35	Máx. 6
Carpeta de rodadura	Máx. 35	5 – 10

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras de la ABC.

- Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la Tabla 4.

Tabla 4: Bandas granulométricas para subbase, bases y capas de rodadura

Tamiz		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70-100	-	100	100	100	
25	1"	55-100	55-85	70-100	70-100	80-100	80-100	100
19	¾"	-	45-75	60-90	50-80	-	-	70-100
9,5	3/8"	30-75	35-65	40-75	25-50	50-80	50-80	50-80
4,75	N°4	20-65	25-55	30-60	10-30	35-65	35-65	35-65
2,36	N°8	-	-	-	5-15	-	-	-
2	N°10	10-50	15-45	15-45	-	25-50	25-50	25-50
0,425	N°40	5-30	5-25	10-30	0-5	10-30	10-30	10-30
0,075	N°200	0-20	0-10	0-15	0-3	5-15	5-15	5-15

Fuente: Manuales técnicos para el diseño de carreteras de la ABC.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 40%.

2.3.2 Materiales para base granular

Los materiales para la base granular (estabilización hidráulica) cumplirán con los requerimientos indicados en el punto 2.4.1. Las granulometrías deberán ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c o TM-25 de la Tabla 4; el porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%. Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm y su Índice de Plasticidad máximo será de 4% salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder el 6%.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR $\geq 80\%$; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá

ser $\text{CBR} \geq 100\%$. Cuando se emplea como subbase de pavimento de hormigón, el soporte deberá ser $\text{CBR} \geq 50\%$.

2.3.3 Materiales para carpeta de rodadura

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos del punto 2.4.1, con un contenido mínimo de chancado de 50% y con la banda TM-40c.

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte $\text{CBR} \geq 60\%$. En zonas donde se permite efectuar el ensayo sin inmersión, este valor deberá ser del 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 30%.

2.3.4 Base granular tratada con cemento (GTC)

Los materiales para GTC deberán cumplir con los requerimientos de los materiales para base granular y con una de las siguientes bandas granulométricas: TM-50c con tamaño máximo absoluto de 40 mm o TM-25.

Los materiales podrán ser solo seleccionados, siempre que cumplan con una resistencia característica a la compresión a 7 días de 2,5 Mpa.

2.3.5 Base tratada con cemento (BTC)

Los materiales para BTC deberán tener partículas chancadas con porcentaje mayor a 50% y la resistencia a compresión debe ser de 4,5 Mpa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

2.3.6 Base abierta ligada (BAL)

Los materiales deberán cumplir con los requerimientos del punto 2.4.1 y con la banda granulométrica TM-40^a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles no mayor que 35%. *(ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS, S0102)*.

2.4 Tipos de pavimentos

Los pavimentos pueden dividirse en pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

2.4.1 Pavimentos rígidos

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se les designa, estos pavimentos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto. (*GIORDANI; LEONE, P.4*).

Figura 6: Corte transversal del pavimento rígido



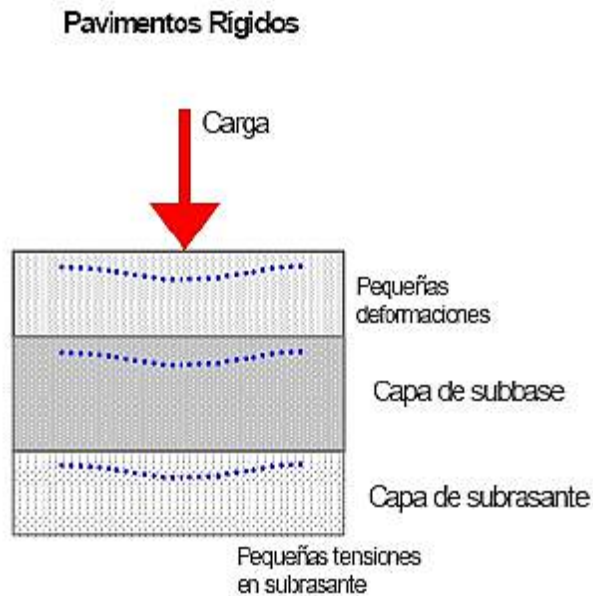
Fuente: Elaboración propia.

Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- Velocidad en su construcción.
- Mayor vida útil con alto índice de servicio.
- Mantenimiento mínimo.
- No se deforma ni deteriora con el tiempo.
- Requiere menor estructura de soporte.

En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de hormigón, se produce una buena distribución de las cargas de rueda dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. (*ALTAMIRANO, 2007, P.6-7*).

Figura 7: Distribución de las cargas en los pavimentos rígidos



Fuente: Deterioros en el pavimento rígido de Luis Altamirano.

2.4.1.1 Partes componentes de los pavimentos rígidos

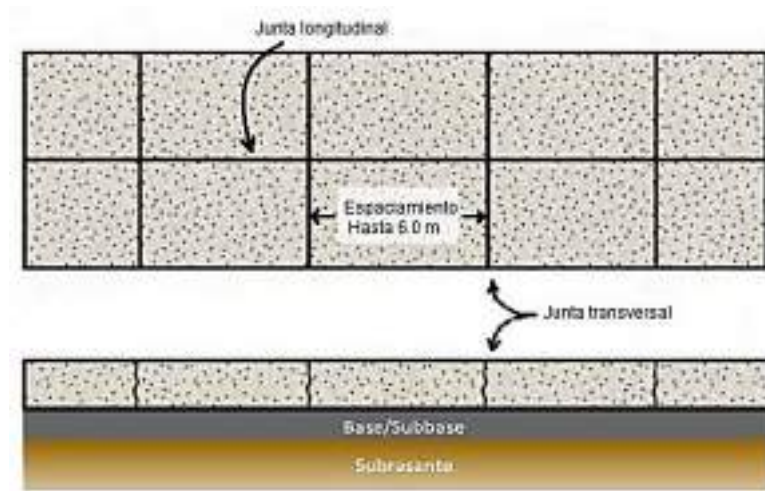
a. Losas de concreto

Es la capa más superficial, que estará en contacto con las solicitaciones y tiene como función principal el proporcionar una superficie suave al deslizamiento y resistente al desgaste.

En cuanto a su tipología, las losas de concreto rígido pueden clasificarse en:

- **Pavimentos de concreto simple:** En este tipo de pavimento las losas son relativamente cortas en general menores de 6 m de largo y 3,50 m de ancho, en las cuales la transferencia de carga se da a través de la trabazón de agregados entre juntas, no tienen refuerzo de acero ni dovelas. Los espesores pueden variar de acuerdo al uso previsto, dentro de un rango de 10 a 25 cm. Este tipo de pavimento es usado principalmente en vías de bajo tránsito.

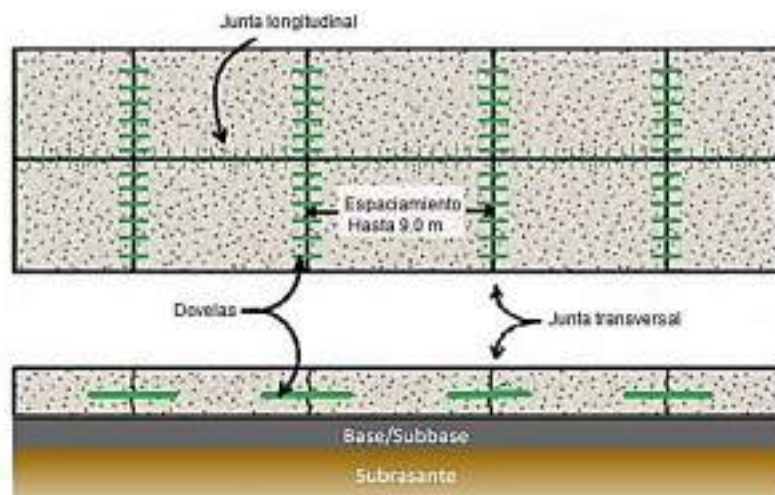
Figura 8: Pavimento de concreto simple



Fuente: Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo.

- **Pavimentos de concreto simple con dovelas:** En este tipo de pavimento se usan dovelas para la transferencia de carga entre una losa y losa adyacente evitando así el escalonamiento. La longitud de estas losas puede ser hasta de 9 m con espesor mayor o igual a 15 cm ya que usualmente se construye en vías donde el tráfico es constante y excede ejes equivalentes a 8,2 ton.

Figura 9: Pavimento de concreto simple con dovelas

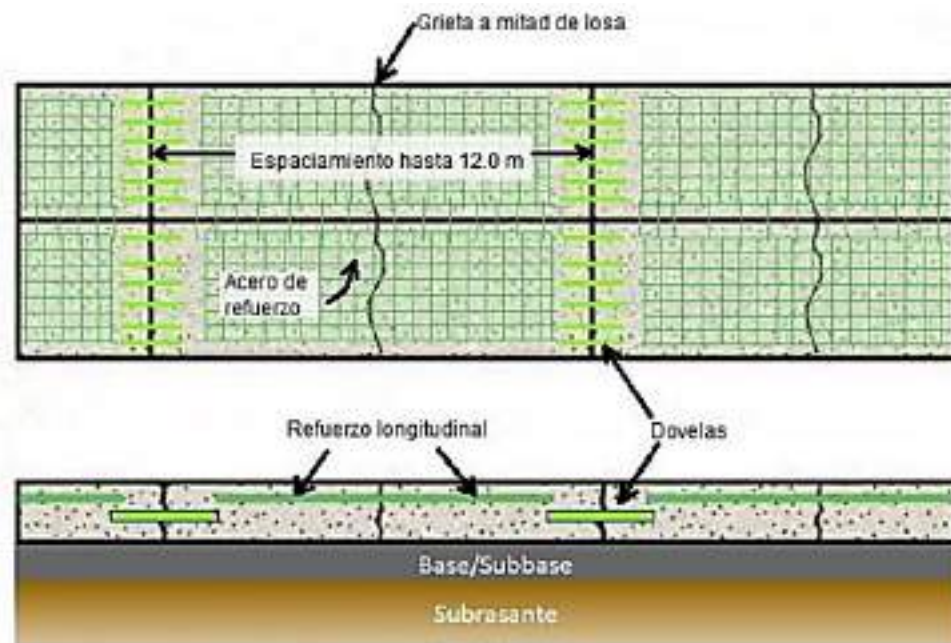


Fuente: Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo.

- **Pavimentos de concreto reforzado:** Este pavimento además de tener dovelas entre losa y losa también lleva refuerzo transversal y longitudinal a lo largo de toda la losa, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto y controlar los agrietamientos.

La separación entre juntas es mayor que los dos tipos de losa mencionados anteriormente, puede tener una longitud de 9 a 12 m.

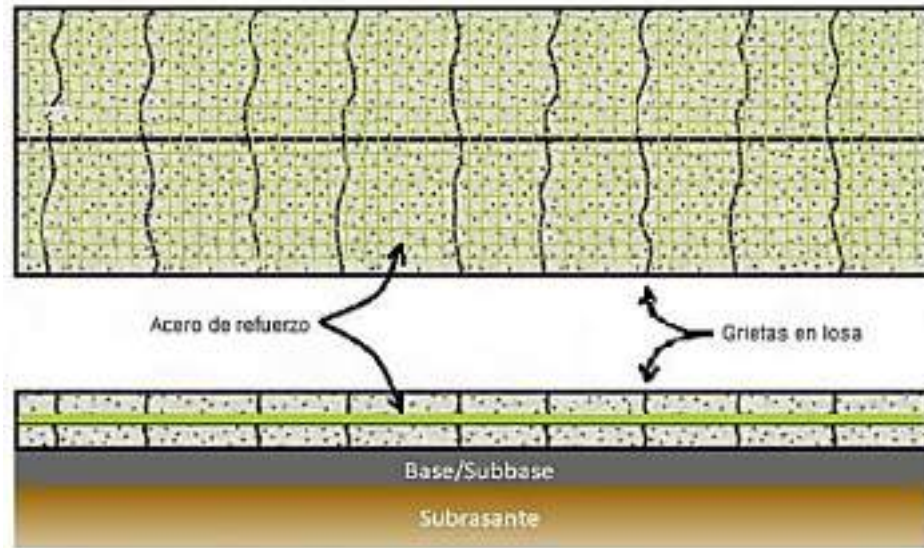
Figura 10: Pavimento de concreto reforzado



Fuente: Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo.

- **Pavimento con refuerzo:** Este pavimento no tiene juntas transversales a excepción de las juntas de construcción y está reforzado transversal y longitudinalmente con el objetivo de controlar las fisuras de contracción. La cantidad máxima de acero es 1,5% de la sección transversal.

Figura 11: Pavimento con refuerzo continuo



Fuente: Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo.

b. Base o sub-base

En pavimentos de concreto hidráulico (rígidos) a diferencia de los pavimentos asfálticos (flexibles) no es necesario colocar base; debido a sus características estructurales, por lo tanto, únicamente se colocan materiales de sub-base sobre la subrasante, cuando ésta no presente condiciones adecuadas de soporte.

La sub-base es una capa relativamente delgada de materiales seleccionados o especificados de espesor determinado colocado entre la subrasante y la losa, con el objeto de mejorar el soporte, prevenir el bombeo (perdida de finos) o controlar la humedad del suelo, para subrasantes de alto cambio volumétrico. El espesor de la sub-base oscila entre 10 y 25 cm, si son menores de los 10 cm puede ocurrir que las irregularidades de la subrasante propicien espesores de sub-bases demasiados delgados y no se dé una resistencia de soporte uniforme a la losa; por otro lado, si son mayores de 25 cm solo se ocupan cuando en la subrasante existen suelos altamente expansivos ya que la sub-base controla los hinchamientos y contracciones de estos suelos.

c. Subrasante

Es la parte de una carretera que sirve para el soporte de las capas del pavimento, por tanto, debe de cumplir con ciertas características estructurales, de manera que los materiales seleccionados que se colocan sobre ella se acomoden en espesores uniformes y su resistencia debe ser homogénea en toda la superficie para evitar fallas en el pavimento.

La subrasante es de vital importancia en cualquier tipo de pavimento, la capacidad de soporte de la subrasante y de las capas de apoyo de un pavimento se cuantifica por medio de un parámetro llamado Módulo de Reacción, conocido también como coeficiente de balasto o Módulo de Westergaard representado convencionalmente por (k); que es igual a la relación entre la presión aplicada sobre el terreno y el asentamiento correspondiente. *(Miranda Granados, 2018, P 14-18).*

2.5 Evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para que de esta manera se pueda adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

Este proyecto la evaluación se la realizará a través de métodos no destructivos.

2.5.1 Indicadores de estado superficial

Se entiende por evaluación superficial o funcional, aquella evaluación realizada en una vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.

Existen diferentes métodos para la evaluación superficial de los pavimentos. Estos métodos son sencillos de aplicar y no requieren de equipos experimentados.

Los métodos a usar para la evaluación superficial del tramo en estudio son: El método de evaluación de condición presente (PCI), método del índice de regularidad internacional (IRI) y por el método índice de serviciabilidad presente (PSI).

2.5.1.1 Método de evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

Es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presente. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. (*RICARDO VÁSQUEZ, 2006*).

Tabla 5: Rangos de calificación PCI

Estado	Rango PCI %
Fallado	0 – 10
Muy Malo	10 – 25
Malo	25 – 40
Regular	40 – 55
Bueno	55 – 70
Muy bueno	70 – 85
Excelente	85 – 100

Fuente: Manual de diseño de conservación vial, 2011 ABC.

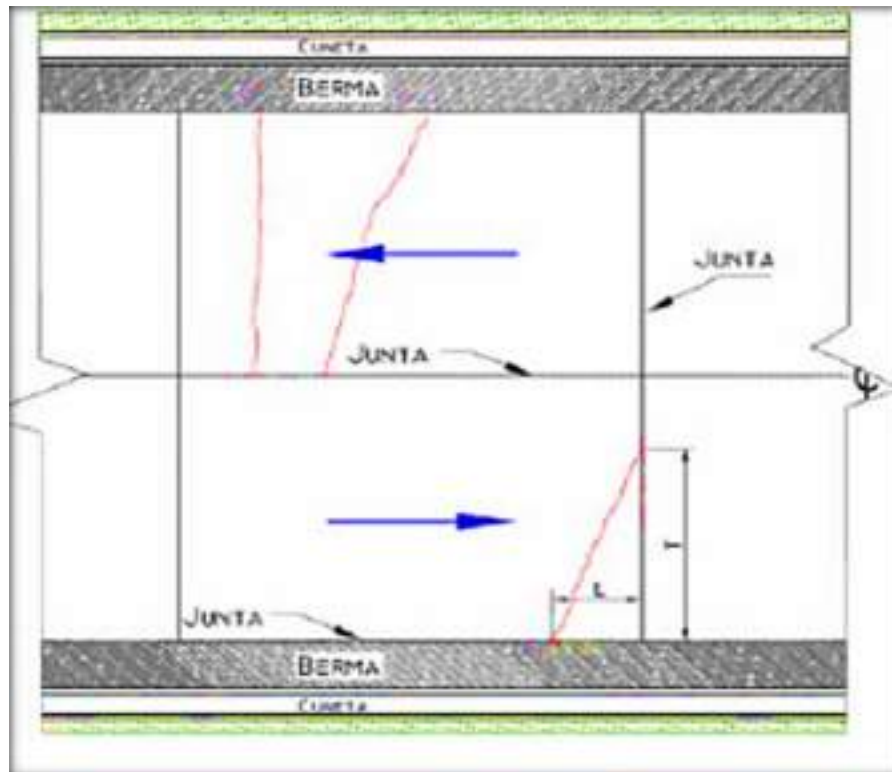
2.5.1.1.1 Fallas en pavimentos rígidos

Para cada falla se deberá valorar la calidad del daño (bajo, medio y alto), es decir la percepción que tiene el usuario al conducir a una velocidad moderna. A continuación, se lista algunas de las fallas que se presenta en los pavimentos rígidos.

a. Grietas transversales (GT)

Grietas que se presentan perpendiculares al eje de circulación de la vía. Pueden extenderse desde la junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con la junta longitudinal se encuentra a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Figura 12: Vista en planta de las grietas transversales



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Figura 13: Vista típica de las grietas transversales



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas transversales se clasifican en:

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- **Media:** Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 mm – 10 mm).
- **Alta:** Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,006 m (6 mm).

Medición

Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas transversales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles causas

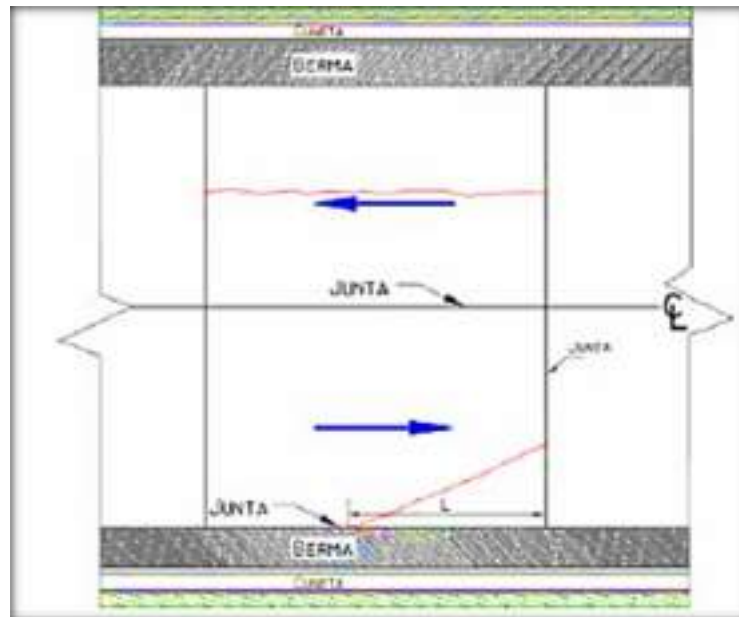
Las principales causas de las grietas transversales son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Losas de longitud excesiva.
- Junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Gradiente térmico que origina alabeos.
- Problemas de drenaje.
- Cargas excesivas.

b. Grietas longitudinales (GL)

Grietas predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Figura 14: Vista en planta de las grietas longitudinales



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS
Figura 15: Vista típica de una grieta longitudinal.



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta la abertura de la grieta, los niveles de severidad de las grietas longitudinales se clasifican en:

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible.
- **Media:** Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 mm – 10 mm).
- **Alta:** Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento mucho mayor a 0,015 m (15 mm).

Medición

Se debe medir la longitud de la grieta en metros, reportando la cantidad de grietas longitudinales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Posibles causas

Las principales causas de las grietas longitudinales son:

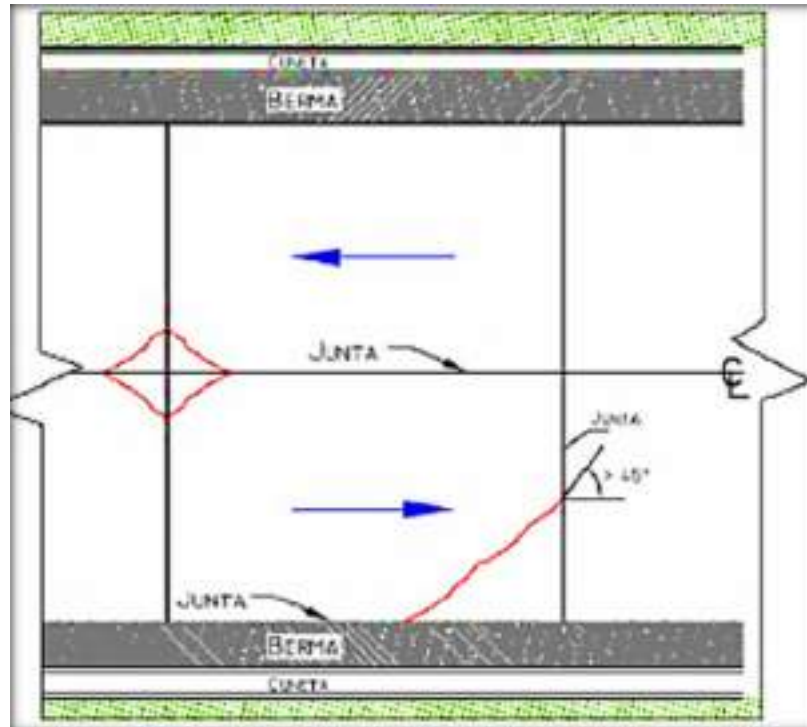
- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las dovelas y/o barras de anclaje.
- Aserrado tardío de la junta.
- Contracción del concreto.

c. Grietas de esquina (GE)

Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45°, con respecto a la dirección del tránsito. La longitud de los lados del

triángulo sobre la junta de la losa varía entre 0,3 m y la mitad del ancho de la losa. Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Figura 16: Vista en planta de las grietas de esquina



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Figura 17: Vista típica de las grietas de esquina



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta el ancho de la grieta, las severidades están dadas como sigue:

- **Baja:** Grietas selladas o con abertura menor a 0,003 m (3 mm). Escalonamiento imperceptible y el bloque de la esquina esta completo.
- **Media:** Abertura entre 0,003 m y 0,01 m (3 mm – 10 mm).
- **Alta:** Aberturas mayores a 0,01 m (10 mm). Se presenta escalonamiento y el bloque de la esquina está dividido en parias partes.

Medición

Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas de esquina presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán un nivel de severidad bajo.

Posibles causas

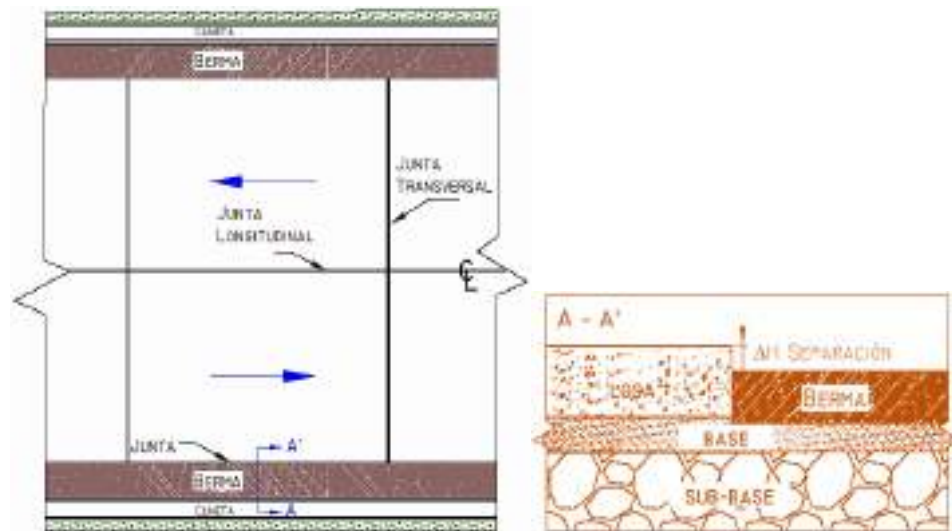
Las principales causas de las grietas de esquina son:

- Asentamiento de la base o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las losas adyacentes.

d. Descenso de la berma (DB)

Diferencia de nivel entre la superficie de la losa respecto a la superficie de la berma ocurre cuando alguna de las bermas sufre asentamientos.

Figura 18: Descenso de la berma



a. Vista en planta

b. Vista en perfil

Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta la diferencia de altura (ΔH) entre las superficies de la losa y la berma, se definieron los niveles de severidad para el descenso de la berma de la siguiente forma:

- **Baja:** La diferencia de alturas entre la losa y la berma es menor a 0,010 m (10 mm).
- **Media:** La diferencia de alturas entre la losa y la berma está entre 0,010 m (10 mm) y 0,030 m (30 mm).
- **Alta:** La diferencia de alturas entre la losa y la berma es mayor a 0,030 m (30 mm).

Medición

Se evalúa la longitud en metros de la junta afectada, definiendo si hay penetración de agua a la base.

Posibles causas

Las principales causas del descenso de la berma son:

- Asentamiento de la berma por compactación insuficiente.
- En bermas no revestidas: por la acción del tráfico o erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la losa.

- Inestabilidad de la banca.

e. Desportillamiento de juntas (DPT – DPL)

Desintegración de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con pérdida de trozos, que puede afectar hasta 0,15 m (15 cm) a lado y lado de la junta. Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rígido con juntas.

Figura 19: Vista típica de un desportillamiento



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de Severidad

Se definen combinando el estado de los bloques que se forman por el fracturamiento en contacto con la junta y sus dimensiones, se clasifican de la siguiente forma:

- **Baja:** Pequeños fracturamientos, que no se extienden más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la junta, dan lugar a pequeñas piezas que se mantienen bien firmes, aunque ocasionalmente algún pequeño trozo puede faltar.
- **Media:** Las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la misma, dando origen a piezas o trozos relativamente sueltos, que puede

ser removidos; algunos o todos los trozos pueden faltar, pero su profundidad es menor de 0,025 m (25 mm).

- **Alta:** Las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 0,08 m (80 mm) a cada lado de la misma, las piezas o trozos han sido removidos por el tránsito y tienen una profundidad mayor de 0,025 m (25 mm).

Medición

Se toma la longitud en metros de la junta afectada por placa y se reporta la severidad del daño.

Posibles causas

Las principales causas del desportillamiento son:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos.
- Desintegración del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentración de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehículos.
- Mal procedimiento de corte de la junta.
- Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

f. Deterioro del sello de las juntas (DST – DSL)

Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación. Este deterioro se presenta en pavimentos de placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Figura 20: Vista típica de un deterioro de sello



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta la longitud de la junta que se encuentra con un sellado deficiente, se clasifica de la siguiente manera:

- **Baja:** Longitud con deficiencia de sellada menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua y/o material incompresible.
- **Media:** Longitud con deficiencia de sellado entre 5 y 25% de la longitud de la junta, y el resto del material sellante se encuentra en condición regular.
- **Alta:** Longitud con deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y el resellado debe ser inmediato.

Medición

Se tomará la longitud en metros de la junta afectada por placa, especificando el nivel de severidad del daño. Se anotará la presencia de material incompresible, vegetación o entrada de agua.

Posibles causas

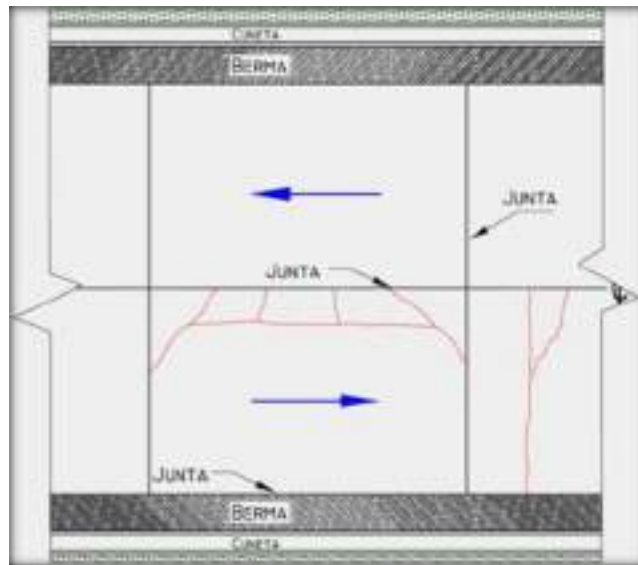
Las principales causas del deterioro de los sellos de las juntas son:

- Endurecimiento del sello: producto de mala calidad, envejecimiento.
- Pérdida de adherencia entre el sello y la placa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.
- Perdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material de sello.
- Extrusión del material del sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la vía antes del fraguado del sello.
- Incrustación de material incompresible: ocasionada por la cercanía de bermas no pavimentadas o la caída de materiales de vehículos que transitan por la vía.
- Crecimiento de la vegetación: humedad en la junta.

g. Grieta en bloque o facturación múltiple (GB)

Aparecen por la unión de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo también comprende las grietas en “Y”. Aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos, es más frecuente que se presente en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Figura 21: Vista en planta de las grietas en bloque



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Figura 22: Vista típica de una grieta en bloque



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de Severidad

Siempre se considera un deterioro de severidad alta.

Medición

Se mide el área afectada en metros cuadrados de cada placa y por severidad.

Posibles causas

La fracturación múltiple, puede ser causada por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y la continua flexión de las losas aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

h. Escalonamiento de juntas (EJL – EJT)

Es una falla provocada por el tránsito que corresponde a un desnivel de la losa en su junta con respecto a una losa vecina.

Figura 23: Vista típica de escalonamiento



Fuente: INGETAX.

Niveles de Severidad

Teniendo en cuenta la diferencia de altura (desnivel) entre las placas adyacentes, los niveles de severidad se definen como:

- **Baja:** Desnivel menor a 0,005 m (5 mm).

- **Media:** Desnivel entre 0,005 m (5 mm) y 0,01 m (10 mm).
- **Alta:** Desnivel mayor a 0,010 m (10 mm).

Medición

La medición del escalonamiento entre juntas y/o grietas, se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

- Si la losa a medir está más alta que la de referencia o contigua, registrar como escalonamiento negativo (-); en el caso contrario indique escalonamiento positivo (+).
- Definir si el desnivel se presenta en el largo o ancho de la losa y determinar su magnitud en metros, se debe tener en cuenta si el desnivel está asociado con desportillamientos o con alguna grieta definida claramente en otro tipo de daño.

Posibles causas

Las principales causas del escalonamiento entre losas son:

- Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Asentamiento diferencial de la subbase o subrasante.
- Falta de capacidad de soporte de la subrasante.

i. Desintegración (DI)

Consiste en pérdida constante de agregado grueso en la superficie, debido a la progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie con pequeñas cavidades.

Figura 24: Vista típica de una vía con nivel bajo de desintegración



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Niveles de Severidad

Se definen de acuerdo al área en la cual ha existido pérdida de material superficial, se clasifican de la siguiente forma:

- **Baja:** Pequeños desprendimientos muy superficiales, puntuales o concentrados en pequeñas áreas, como remiendos.
- **Media:** Peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una textura abierta, pero los desprendimientos se limitan a material fino, solo superficialmente.
- **Alta:** Peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una superficie rugosa, con desprendimiento de agregado grueso formando cavidades o pequeños baches superficiales.

Medición

Se mide el área por severidad del daño para cada losa.

Posibles causas

Es causado por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua,

agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso), otras posibles causas:

- Material inapropiado en el interior del hormigón tal como terrones de arcilla o cal viva.
- Mortero poco homogéneo.
- Deficiente calidad de los materiales.
- Agregados expansivos o de baja durabilidad.
- Reparaciones hechas sin seguir recomendaciones técnicas.

j. Descascaramiento (DE)

Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto.

Figura 25: Vista típica de un descascaramiento



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos de INVIAS.

Niveles de Severidad

Se definen los niveles de severidad de acuerdo a la profundidad a la cual ha existido pérdida de material superficial y se clasifican de la siguiente forma:

- **Baja:** Pérdida de material superficial a una profundidad menor a 0,005 m (5 mm).
- **Media:** Pérdida de material superficial a una profundidad de entre 0,005 m y 0.015 m (5 mm – 15 mm).
- **Alta:** Pérdida de material superficial a una profundidad mayor a 0,015 m (15 mm).

Medición

Se mide el área de cada descascamiento por placa identificando la severidad de la falla.

Posibles causas

Los descascamientos generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción.

Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascamiento de la superficie, posibilitando un levantamiento de material superficial que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascamiento en pavimentos con refuerzo, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie. *(INVIAS, 2006, P.5-32)*.

2.5.1.1.2 Procedimiento

A. Unidades de muestreo

Al realizar estas evaluaciones de alguna red se puede tener un número grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará mucho tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar procesos de muestreo. Para esto se puede utilizar la siguiente ecuación:

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

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

s= Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35).

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

A.1 Selección de las unidades de muestreo para inspección

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

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

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

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

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

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc. Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas

A.2 Selección de unidades de muestreo adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección. (*Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, 2006, P. PCI – 4 – PCI – 6*).

A.3 Selección de las unidades de muestreo al azar

Este método de selección permite que todos los elementos que constituyen la población tengan la misma posibilidad de ser incluidos en la muestra.

Los elementos se escogen en forma individual y al azar de la totalidad de la población.

B. Evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona.

La evaluación de la condición para pavimentos rígidos incluye los siguientes aspectos:

B.1 Equipo

- Regla y/o una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes.

B.2 Procedimiento

- Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo al Manual de daños, y se registra la información en el formato

correspondiente. (*Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, 2006, P. PCI – 6*).

- Se ordena los daños de acuerdo al tipo de falla y a la severidad que presenta cada losa.

C. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “valores deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad. (*Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, 2006, P. PCI – 6*)

- Una vez ordenado los daños de acuerdo al tipo de falla y severidad se proceden a sacar la DENSIDAD, para esto se divide la cantidad total de cada tipo de falla en diferente nivel de severidad entre el número total de losas de cada unidad de muestra y el resultado se multiplica por 100 para obtener la densidad porcentual.

$$\text{DENSIDAD (\%)} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de losas de cada falla}}{\text{N}^\circ \text{ de losas total del tramo}} * 100 \quad \text{Ec. 3}$$

- Con la densidad obtenida y utilizando las curvas del *Anexo 4* se consigue el VALOR DEDUCIDO (DV) para cada tipo de falla a diferente severidad.
- Se determina el “Valor Deducido Total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- Para el cálculo del NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS: Si solo dos valores deducidos son mayores a 2 para carreteras, se utiliza el valor deducido total sin ajustes, caso contrario se debe seguir los siguientes pasos:
 - Se lista los valores deducidos individuales de mayor a menor.
 - Se determina el “número máximo admisible de valores deducidos (m)”, utilizando la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV_i) \quad \text{Ec. 4}$$

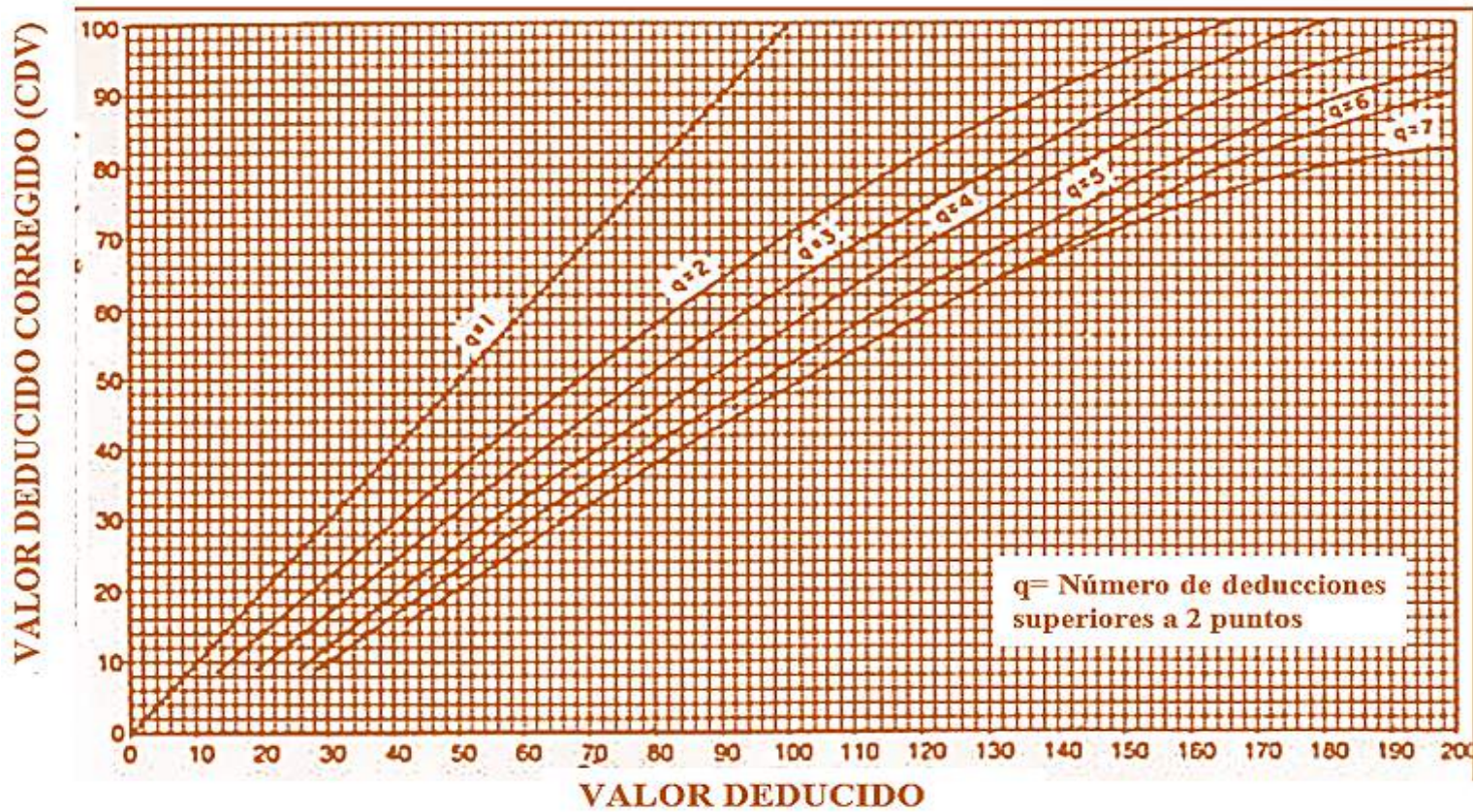
Donde:

m= Número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez).

HDV= El mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

- El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.
- Una vez que se ordena de mayor a menor los valores deducidos, se determina el número de valores deducidos, **q**, mayores que 2.
- Se reduce a 2 todos los valores deducidos.
- Se determina el “Total de los valores deducidos” sumando todos los valores deducidos individuales.
- Se determina el CDV con **q** y el “Total de los valores deducidos” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento utilizando la *Figura 26*.
- El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos.
- Se calcula el PCI restando de 100 el máximo CDV. (*Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, 2006, P. PCI – 7 – PCI* – 8).

Figura 26: Curvas para el máximo valor deducido corregido (CDV)



Fuente: Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras, traducido por el Ing. Luis Ricardo Vásquez, abril de 2006.

2.5.1.2 Método de evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E – 867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje. (PERERA & KOHN, 2002).

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en m por km. (SAYERS Y KARAMIHAS, 1996).

Figura 27: Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos



Fuente: Banco Mundial.

La norma ASTM E 1926, también presenta una escala donde se aprecia el grado de confort en función a la rugosidad que presenta un camino. El rango de rugosidad en que ha sido realizada la modelación oscila entre 2 a 4 m/km, rango que permite un manejo confortable hasta una velocidad de 120 m/km tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6: Escalas en la estimación de la rugosidad de pavimentos

IRI (m/km)	
0	
3	Manejo confortable arriba de 120 km/hr. Ondulación levemente perceptible 80 km/hr, en el rango de 1,3 a 1,8. Depresiones, baches o corrugaciones no son fácilmente visibles; depresiones < 2mm/3m.
6	Manejo confortable entre 100-120 km/hr. Movimientos moderadamente perceptibles o largas ondulaciones puede ser percibidas. Superficie defectuosa: depresiones ocasionales, parches o baches.
9	Manejo confortable entre 70 y 90 Km/h, grandes movimientos perceptibles y oscilaciones. Usualmente asociadas con defectos: frecuentes depresiones moderadas y variables o parches.
11	Manejo confortable entre 50-60 Km/h, frecuentes movimientos puntuales u oscilaciones. Asociadas con severos defectos: frecuentes depresiones profundas y variables o parches.
	Necesario reducir velocidad por debajo de 50 Km/h muchas depresiones profundas, baches y desintegraciones severa.

Fuente: Norma ASTM E 1926.

Existe diversos valores referenciales del IRI para carreteras nuevas por tipo de superficie. La Administradora Boliviana de Carreteras como Institución Vial del país deberá realizar los estudios correspondientes para determinar umbrales y rangos de aceptación según el tipo de carpeta de rodado ya sea que esta corresponda a una etapa de construcción, pavimentación o rehabilitación.

Tabla 7: Escala del IRI

Condición del camino	Pavimento asfáltico (m/km)	Pavimento hidráulico (m/km)
Muy bueno	< 3,2	< 2,8
Bueno	3,2 – 3,9	2,8 – 3,5
Regular	4,0 – 4,6	3,6 – 4,3
Malo	> 4,6	> 4,3

Fuente: Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México.

2.6.1.2.1 Métodos para el cálculo de la rugosidad

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existen en el mundo pueden agruparse de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial en cuatro clases genéricas, en base a tan directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

A. Métodos clase 1: Perfiles de alta precisión

Basados en la medición de perfiles topográficos de gran precisión, estos métodos son los más exactos que existen para la determinación del IRI.

Los métodos de la clase 1 establecen la rugosidad a través de la determinación muy exacta del perfil longitudinal de un pavimento, con medidas espaciadas cada 0,25 m y cotas con una precisión de 0,5 mm. A esta clase pertenecen los métodos basados en la medición del perfil del pavimento con el perfilómetro TRRL Beam y con mira y nivel de precisión.

A.1 Levantamiento con mira y nivel

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal. (*BADILLA VARGAS, 2009, P.33*).

Este equipo determina el perfil real del pavimento; se consigue fácilmente y a bajo costo, pero el procedimiento de trabajo es muy lento, por lo tanto, es mejor emplearlo cuando se requiere medir longitudes reducidas.

Los valores obtenidos en el levantamiento se convierten a unidades IRI mediante la aplicación de un programa elemental de cómputo. (MAQUERA CRUZ, P.53).

Figura 28: Nivel y mira topográfica



Fuente: Elaboración propia.

A.2 Dipstick

Originalmente fue desarrollado para medir irregularidades particulares en losas de edificios, consiste en un acelerómetro montado en una estructura con pequeños apoyos separados a 300 mm. Posee un mango que permite hacer “caminar” al Dipstick a lo largo de la huella a medida que pivotea en cada uno de sus pequeños apoyos y va rotando en 180°.

- Un microcomputador incorporado al Dipstick graba y permite calcular resúmenes estadísticos de la rugosidad. Un acelerómetro mide la inclinación del aparato. Conociendo la inclinación y la separación entre los apoyos, es posible determinar la diferencia de altura entre ellos.

- El rendimiento de las mediciones del Dipstick puede, sobrepasar los 250 m por hora en una sola huella. Las ventajas de este dispositivo son su bajo costo inicial y su simplicidad de operación. Aunque es más rápido que medir con mira y nivel, la principal desventaja sigue siendo la lentitud.

Figura 29: Empleo del Face Dipstick en la medición de rugosidad



Fuente: Rugosidades y deflexiones en pavimentos de Maquera Cruz.

B. Métodos clase 2: Otros métodos perfilométricos

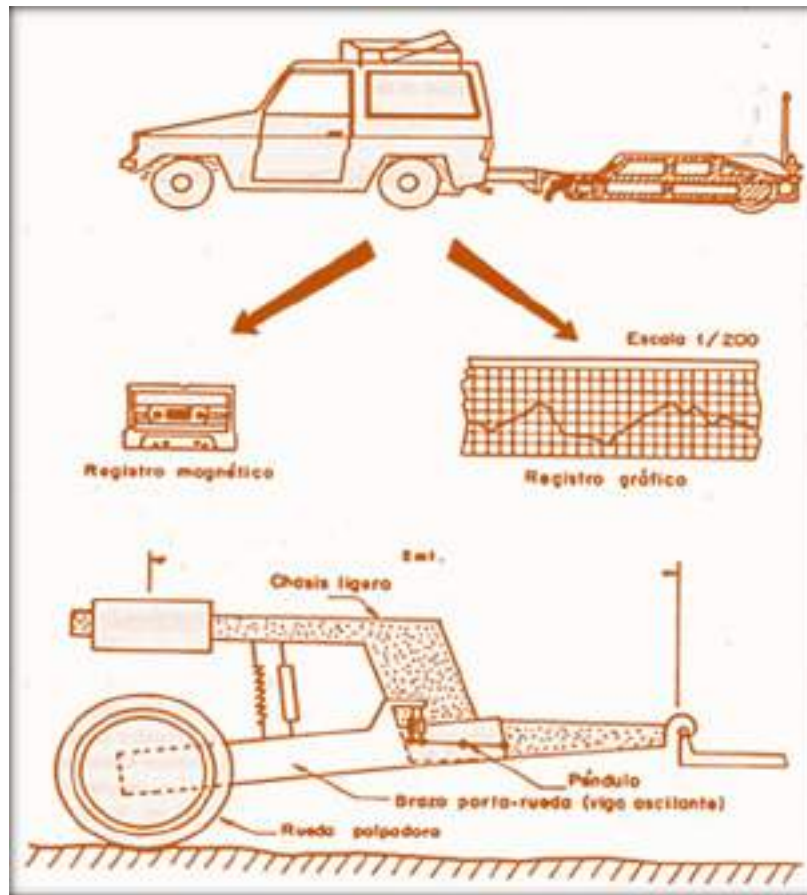
Esta clase incluye todos los otros métodos en los cuales la rugosidad se determina sobre la base de la medición del perfil longitudinal, pero con una exactitud menor que los de la Clase 1. Estos métodos recurren al uso de perfilómetros de alta velocidad o mediciones estáticas con equipos similares a los de Clase 1, pero con niveles inferiores de exactitud.

B.1 Perfilómetro inercial APL

El analizador de perfiles longitudinales APL, ha sido concebido para hacer evaluaciones continuas con gran gravedad. Tiene un rendimiento de 100 – 300 km de carretera al día.

Mide los desplazamientos verticales de una rueda respecto de un péndulo inercial, el equipo se encuentra en un remolque de medición el cual es arrastrado por un vehículo que se desliza a velocidad constante.

Figura 30: Representación gráfica del perfilómetro inercial APL



Fuente: Rugosidades y deflexiones en pavimentos de Maquera Cruz.

B.2 Perfilómetro del tipo RSP

Los elementos principales que lo componen son:

- **Laser;** registra diferencias de altura entre este y la superficie del pavimento se recorre la vía.
- **Acelerómetro;** es un péndulo inercial que da la línea de referencia horizontal del vehículo.
- **Lector de distancia;** registra la distancia recorrida por el vehículo.
- **Interfaces;** convierten los registros analógicos del láser del acelerómetro en valores digitales para el computador y viceversa.

- **Computador;** registra los valores medidos por el acelerómetro, el láser y el medidor de distancia, estableciendo el perfil longitudinal y determinando la rugosidad en términos de IRI. (*MAQUERA CRUZ, P.53 – 58*)

Figura 31: Perfilómetro del tipo RSP, para la medición del IRI



Fuente: Perfilador de superficie vial (RSP), Dynatest.

C. Métodos clase 3: Estimaciones mediante correlaciones

C.1 Perfilógrafo California

Tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas. (*BADILLA VARGAS, 2009, P.33*).

Figura 32: Perfilógrafo California modelo CS8500H



Fuente: Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos.

D. Métodos clase 4: Valoraciones subjetivas

D.1 Merlín

Aparato constituido por una armazón metálica; una llanta que sirve como apoyo y como elemento de movilización y, en la parte central, un brazo móvil cuyo extremo inferior está en contacto con el piso mediante un patín ajustable que se adecua a las irregularidades de la superficie, mientras su extremo superior termina en un indicador que se desliza sobre un tablero, de acuerdo con la posición que adopte el patín al entrar en contacto con el pavimento. (*MAQUERA CRUZ, P.61*).

Figura 33: Merlín

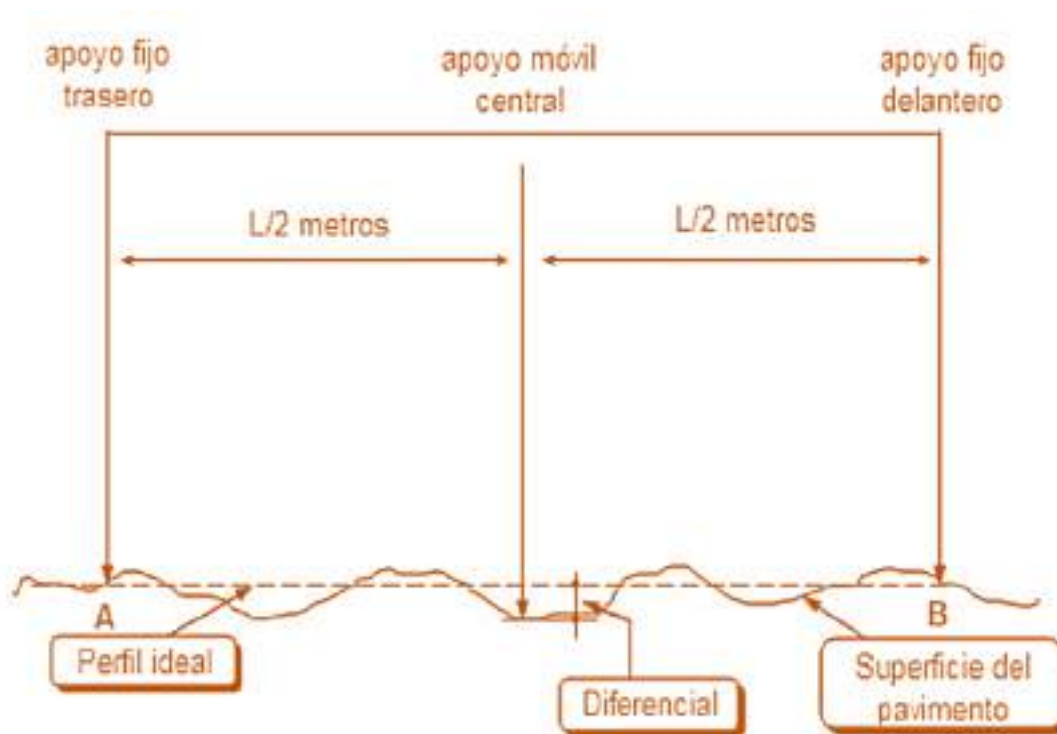


Fuente: Elaboración propia.

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. En la *Figura 34* se ilustra como el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como la desviación respecto a la cuerda promedio.

Se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. (*PABLO DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, P.5*).

Figura 34: Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio

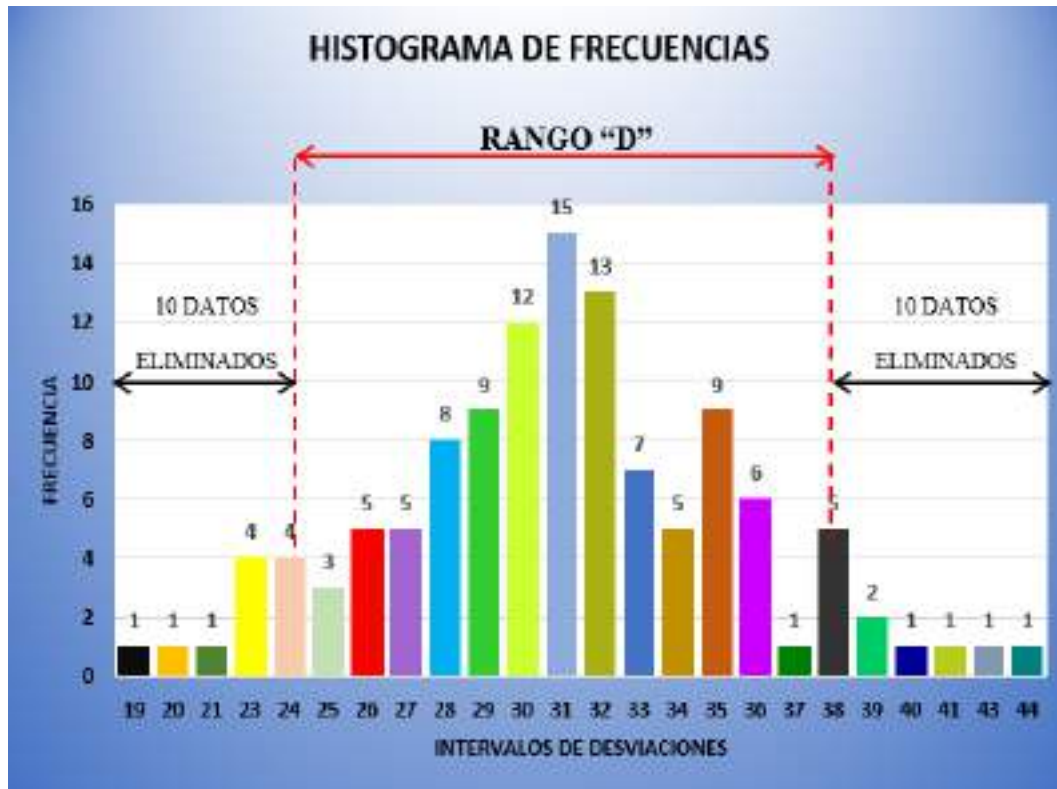


Fuente: Manual del usuario Merliner de Pablo del Águila Rodríguez, 1999.

HISTOGRAMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias, en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones, en la *Figura 35* se muestra el parámetro estadístico D que representa la rugosidad del pavimento en escala Merlín, luego de hacer la depuración del 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango D debe ser convertido en unidades IRI mediante ecuaciones de correlación. (*FABRIZIO ALLENDE GARCÍA, 2017, P. 141*).

Figura 35: Histograma de la distribución de frecuencias



Fuente: Elaboración propia.

Correlación "D" versus IRI

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLÍN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

a. Cuando $2,4 < IRI < 15,9$ entonces:

$$IRI = 0,593 + 0,0471D \quad \text{Ec. 5}$$

b. Cuando $IRI < 2,4$ entonces:

$$IRI = 0,0485D \quad \text{Ec. 6}$$

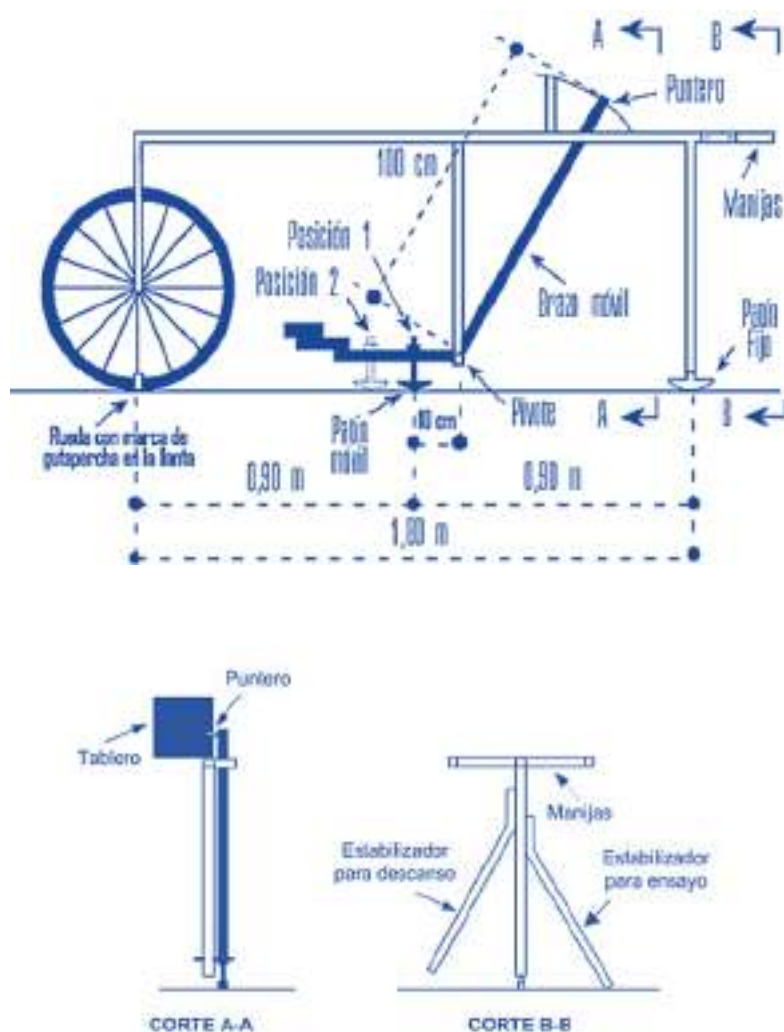
La *E – 5* es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982. La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La *E – 6* es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3.000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos. (*PABLO DEL ÁGUILA RODRÍGUEZ, P.5*).

Esquema y representación de las partes del Merlín

El Merlín es un equipo sencillo y de fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera. En la *Figura 36* se muestran las partes del equipo Merlín.

Figura 36:Esquema del rugosímetro de Merlín



Fuente: Manual del usuario Merliner de Pablo del Águila Rodríguez, 1999.

El tablero del Merlín

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

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones de 5 mm de espesor cada una, que va adherido en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero, que se presenta en la *Figura 37. (FABRIZIO ALLENDE GARCÍA, 2017, P. 143 – 145).*

Figura 37: Escala para la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento

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

Fuente: Manual del usuario Merliner de Pablo del Águila Rodríguez, 1999.

2.6.1.2.2 Procedimiento con Merlín

- Primero se debe seleccionar las secciones de la carretera, para la ejecución de este método es necesario por lo menos tres personas: Uno que opera, uno que anota las desviaciones y otro que se encarga de los conos de tránsito para desviar los vehículos.
- Las desviaciones detectadas por el patín móvil son indicadas en el tablero de la *Figura 37*, se realizan las observaciones cada que la rueda del Merlín de una vuelta completa.
- En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: La rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador como se indica en la *Figura 36 corte B-B*.
- Las anotaciones de las observaciones realizadas deben ser hechas en un formato adecuado.
- Una vez que se tiene los datos de campo, estos deben ser representados en un histograma como se muestra en la *Figura 35* como parte del trabajo de la evaluación de la rugosidad del pavimento.
- Se saca un factor de corrección utilizando la siempre ecuación:

$$FC = \frac{(EP * 10)}{[(L_i - L_f) * 5]} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

EP= Espesor de la pastilla

Li=Posición inicial del puntero

Lf=Posición final del puntero

- Para el cálculo del rango D se debe eliminar el 5% (10 datos) a cada lado del histograma, a esto se suma los intervalos de desviaciones que quedan en el centro del histograma.
- Para poder obtener el rango D corregido, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{\text{cor.}} = D * FC * 5 \quad \text{Ec. 8}$$

- Una vez que se obtiene el rango D corregido se procede a sacar el valor del IRI de cada tramo, para esto se utiliza las ecuaciones 5 y 6 siempre y cuando cumplan las condiciones que tiene cada una.

2.5.1.3 Método de evaluación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El Índice de Serviciabilidad Presente se define como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Es como la calidad de servicio del pavimento.

La AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue la primera en sistematizar un procedimiento objetivo para establecer el nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural. Introdujo para ello el concepto de serviciabilidad. La serviciabilidad como se dijo, es la percepción que tienen los usuarios del nivel de servicio del pavimento y es por lo tanto un aspecto subjetivo. (*MANUAL DE DISEÑO DE CONSERVACIÓN VIAL, 2011, P.2 – 7*)

Al ser esta medición subjetiva podía reflejar un panorama inexacto del estado del pavimento. En las ecuaciones para determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se incluyen, dependiendo el tipo de pavimento, mediciones de ahuellamiento, agrietamiento, baches e irregularidades del pavimento en un tiempo en particular durante la vida de servicio del pavimento, siendo esta ultima la que domina los estimados de Serviciabilidad.

La escala de calificaciones AASHTO es la siguiente:

Tabla 8: Calificación del Índice de Serviciabilidad Presente

Estado del pavimento	Clasificación
Excelente	4,5 – 5,0
Bueno	3,1 – 4,4
Regular a bueno	2,6 – 3,0
Regular a malo	2,1 – 2,5
Malo	1,1 – 2,0
Muy malo	0,0 – 1,0

Fuente: Manual de diseño de conservación vial, ABC.

2.6.1.3.1 Procedimiento

La metodología propuesta por la AASTHO consiste en seleccionar un grupo de personas para formar un panel evaluador; cada persona expresa su opinión propia y subjetiva acerca de la calidad de la carretera o del tramo evaluado y la expresa en una cartilla especialmente diseñada IPSR (Individual Present Serviciability Rating).

El número de personas, para tener una estimación adecuada, deberá estar comprendido entre 5 y 10 personas como mínimo. Es conveniente que la apreciación se realice individualmente y con el mismo tipo de vehículo que la persona que la persona que califica utiliza normalmente.

El método utilizado en el presente trabajo es más práctico puesto que expresa el estado de la superficie en términos de severidad y los coeficientes de acuerdo a apreciaciones en el terreno; se los identifica según los criterios del proyectista.

El Índice de Serviciabilidad Presente da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese el estado de la superficie del pavimento en términos de serviciabilidad.

Para poder calcular el PSI se utiliza la siguiente expresión:

$$PSI = 6,20 - 0,8 * C_1 - 0,3 * C_2 - 0,1 * C_3 \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

C_1, C_2, C_3 = Son apreciaciones del terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la *Tabla 9*.

Tabla 9: Escala de determinación de coeficientes de estado del pavimento rígido

Rugosidad longitudinal	Valor C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
Intensidad de grietas y parches	Valor C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
Deformación transversal	Valor C3
Sin deformidad, ni ahullamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: Evaluación superficial de pavimentos, Jhonny Fulque Bruno

Para el cálculo del Índice de Servicio Presente de la sección del pavimento se utiliza la siguiente expresión:

$$PSI = \frac{\sum PSI}{n} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

PSI = PSI de cada unidad evaluada

n= N° unidades existentes en la sección

Tanto el IRI como el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se calculan a partir de prácticamente el mismo parámetro, de manera que se han desarrollado varias correlaciones entre el IRI y el PSI.

Paterson (1987) sugiere el cálculo del IRI en función del índice PSI según la siguiente ecuación:

$$IRI = 5,5 * Ln\left(\frac{5}{PSI}\right)$$

$$PSI = \frac{5}{\frac{IRI}{e^{5.5}}} \quad \text{Ec. 11}$$

Investigaciones realizadas por Al-Omari & Darter (1994) correlacionan el IRI y el PSI con la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{(-0.24*IRI)} \quad \text{Ec. 12}$$

En Chile Dujisin & Arroyo (1995) observaron que el IRI y el PSI puede correlacionarse con la ecuación:

$$PSI = 5,85 - (1,68 * IRI^{0.5}) \quad \text{Ec. 13}$$

La AASHTO define la siguiente ecuación para pavimentos de hormigón: (*MANUAL DE DISEÑO DE CONSERVACIÓN VIAL, 2011, P.2 – 12*).

$$PSI = 5,769 - 1,589\sqrt{IRI} \quad \text{Ec. 14}$$

2.5.2 Métodos de evaluación estructural

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuesta, a través de las paredes de esta y realizando ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

Por otro lado, se pueden realizar perforaciones con la ayuda de equipos de calado, sacar muestras; esta alternativa en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito.

Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en los análisis no destructivos de pavimentos. La

magnitud de la deflexión producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman, otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de impacto.

2.5.2.1 Método de evaluación de la Viga Benkelman

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento rígido, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “VIGA BENKELMAN”, llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quien la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la WASHO (WASHO Road Test). Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

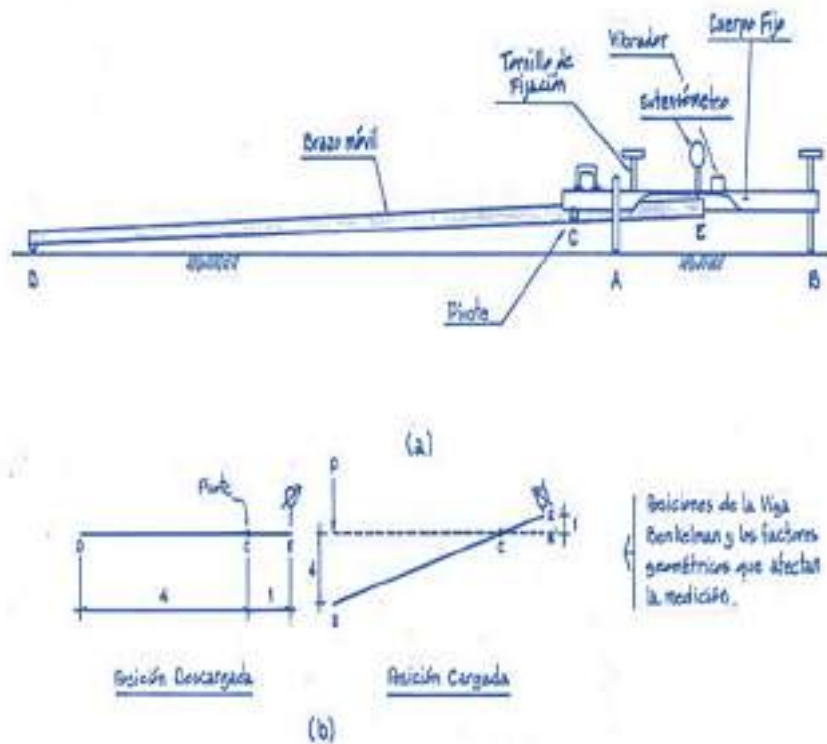
El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la *Figura 38*, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos “A” y uno trasero regulable “B”) y (2) un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote “C”, uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto “D”) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto “E”). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas, como se verá más adelante.

El extremo “D” o “punta de la viga” es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo “C”, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo “E” produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran

luego las llantas cargadas, el punto “D” se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el “principio de medición” con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo 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 ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE’) no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes.

Figura 38: Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones por el Ing. Mario S. Hoffman y Ing. Pablo M. Del Águila, octubre 1985.

Equipo requerido

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

- Deflectómetro Viga Benkelman.
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm.
- Camión cargado, con eje trasero de 18000 lb igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 psi a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar al personal y equipo misceláneo.
- Balanza portátil para pesar el camión, con capacidad de 10 t.
- Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, pintura, lapiceras, señales de seguridad, etc)

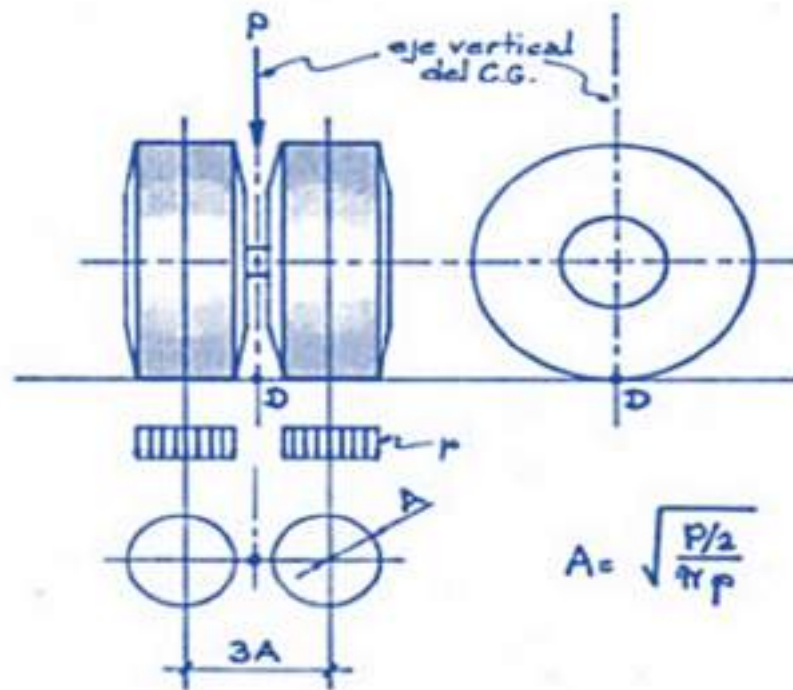
2.6.1.1.1 Procedimiento

a. Procedimiento de campo

La carga aplicada al pavimento para la realización de ensayos de deflexiones ha sido estandarizada en 9000 lb (4090 kg), y es proporcionada por una de las llantas dobles del eje trasero de un camión. Previamente a la realización de los ensayos deberá verificarse que se cumpla esta condición, así como que la presión de las llantas sea la requerida.

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 50 cm o 100 cm de distancia, una vez definidos los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles ver *Figura 39*.

Figura 39: Configuración geométrica del sistema de carga



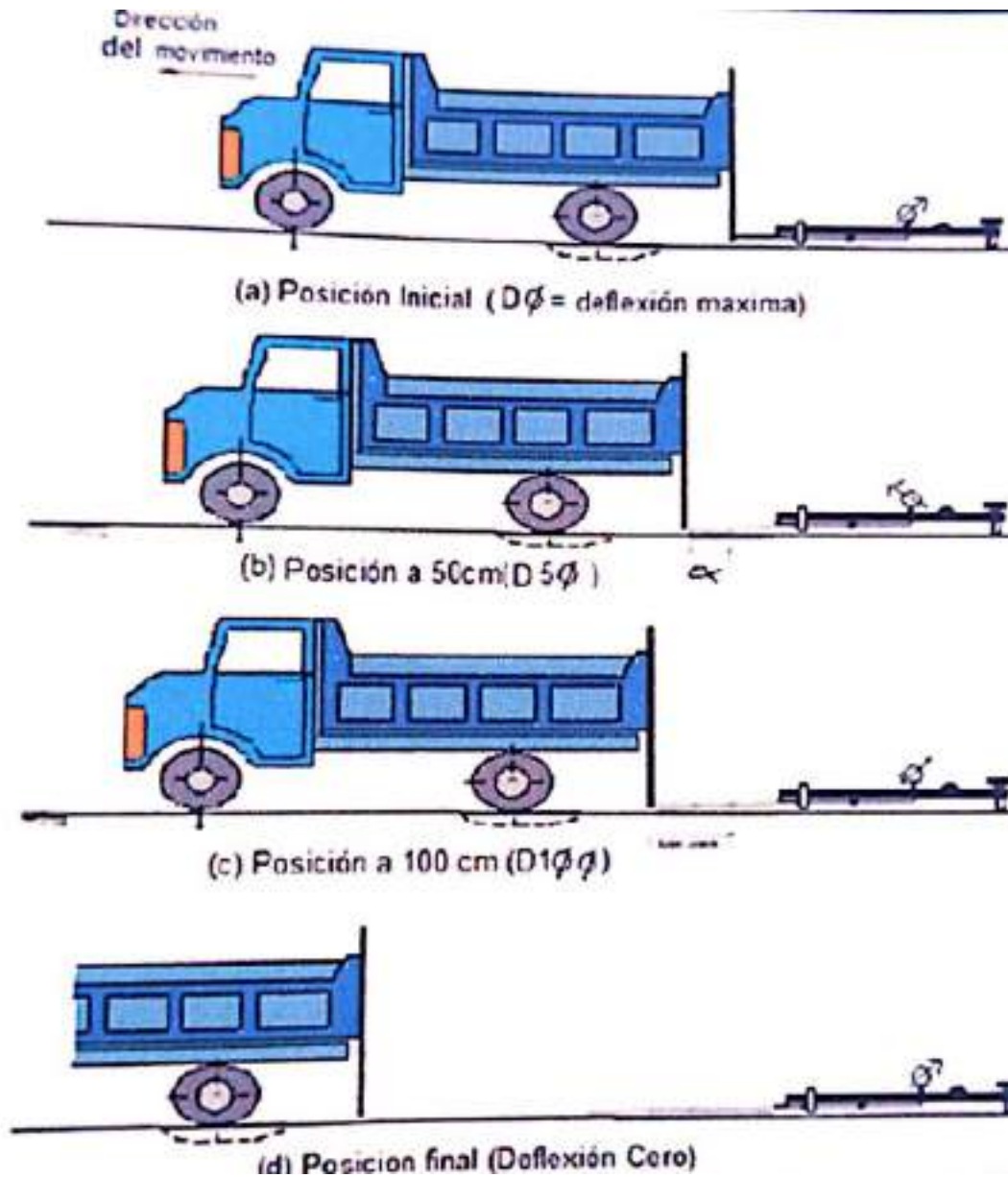
Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones por el Ing. Mario S. Hoffman y Ing. Pablo M. Del Águila, octubre 1985

Dado que esto 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, en el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad.

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

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce.

Figura 40: Esquematación del proceso de medición con la Viga Benkelman



Fuente: Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones por el Ing. Mario S. Hoffman y Ing. Pablo M. Del Águila, octubre 1985.

Para la realización de esta rutina será necesario la participación de tres operadores: Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por

un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo, así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, capa freática, estado del pavimento, etc.). (*Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones (Ensayos no destructivos)*, 1985, Ing. Mario S. Hoffman y Ing. Pablo M. Del Águila).

b. Cálculo de las deflexiones

Luego de terminar el trabajo de campo se procede a sacar las deflexiones utilizando la siguiente fórmula:

$$D_c = k * (L_{m\acute{a}x} - L) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

D= Deflexiones

k= Relación de brazos de la Viga Benkelman (1:2 o 1:4)

L_{máx}=Lectura máxima

L=Lectura de la cual se quiere conocer la deflexión

c. Cálculo de la deflexión característica

Las deflexiones también siguen una distribución normal, cuando nos encontramos en la necesidad de obtener un parámetro representativo que nos permite un buen diseño de refuerzo, la deflexión característica juega un papel importante ya que ella representa mejor a una sección del pavimento.

La División de Carreteras de California recomienda utilizar el percentil 80% para obtener la deflexión característica, mientras que el Instituto de Asfalto lo hace en función de un valor de probabilidad “t”, el cual expresa la probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica en un área total. En la *Tabla 10* se muestran los valores de probabilidad “t” y la deflexión característica en la siguiente ecuación:

$$D_c = D + t * D_s \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

Dc= Deflexión característica.

D= Deflexión recuperable promedio.

t= Constante de probabilidad (*Tabla 10*)

Ds= Desviación estándar. (*Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento, 2017, Javier Balarezo Zapata*).

Tabla 10: Valor de “t” y probabilidad de ocurrencia

Valor de diseño	t
50	0
75	0,674
85	1
90	1,3
95	1,645
98	2
99	2,23
99,9	3

Fuente: Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento, 2017, Javier Balarezo Zapata.

c. Cálculo de la deflexión admisible

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

$$D_{adm} = \left(\frac{1,15}{N} \right)^{0,25} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

Dadm= Deflexión admisible.

N= Número total de ejes equivalentes

Tabla 11: Espesores de losas según el número de ESALs del diseño original

Tramo	N° ESALs	h (mm)
Cucho Ingenio – Lecori	2.351.037	191
Lecori – Camargo	2.026.819	187
Camargo – El Puente	2.112.660	186
El Puente – Iscayachi	2.339.301	190
Iscayachi – Santa Bárbara	3.137.455	199

Fuente: Agrietamiento prematuro de la estructura del pavimento de hormigón en la carretera Tarija – Potosí, Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D. Alberto Benítez Reynoso.

2.5.2.2 Alabeo en losas de concreto

El alabeo es la distorsión que sufre una losa tomando una forma curva hacia arriba o abajo encorvando sus bordes. Esta distorsión puede levantar los bordes de la losa respecto a la base, dando lugar a un borde o esquina sin apoyo que puede agrietarse cuando se aplican cargas pesadas.

Algunas veces el alabeo es evidente a una edad temprana, en otros casos las losas pueden alabarse durante un período de tiempo mayor.

Los factores que afectan la magnitud del alabeo en una losa son determinados por los cambios de humedad y temperatura en la losa, estos incluyen el material de base, las características de la mezcla, el manejo del concreto y las condiciones en servicio después de la construcción.

a. Gradientes de temperatura

Cuando el cemento entra en contacto con el agua inicial, este se hidrata y empieza a experimentar cambios en su temperatura, ocasionando la denominada reacción exotérmica.

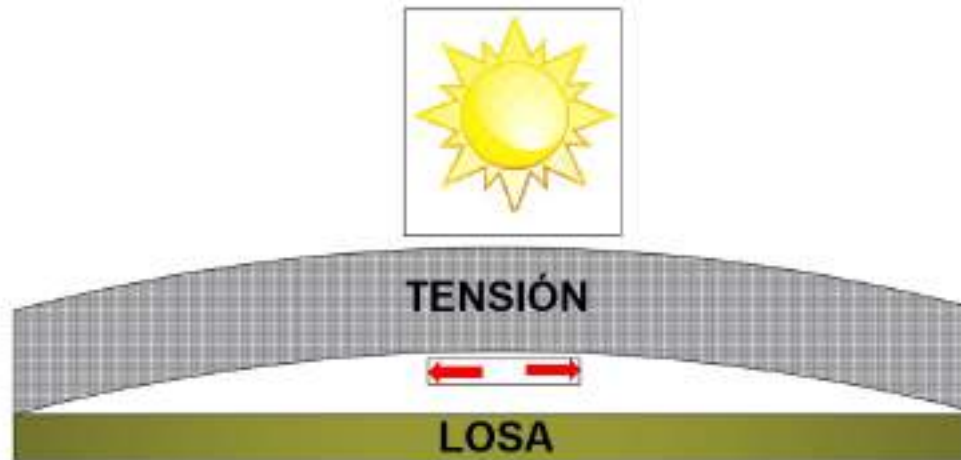
La mayoría de los cuerpos se dilatan cuando aumenta su temperatura y se contraen cuando la temperatura disminuye. Mientras la temperatura va en aumento el concreto gana resistencia, endureciendo y a la vez dilatándose hasta que se convierte en sólido. Al bajar la temperatura el concreto sufre un proceso de contracción denominado contracción térmica, posteriormente este cuerpo sólido va a experimentar la expansión

y contracción a lo largo de su vida considerando los cambios de temperatura del ambiente y el diferencial de humedad entre la parte superior e inferior de la losa.

El alabeo puede presentarse en las losas de forma convexa o cóncava dependiendo del diferencial de temperatura entre la parte superior e inferior de la losa, provocando esfuerzos de compresión y tensión.

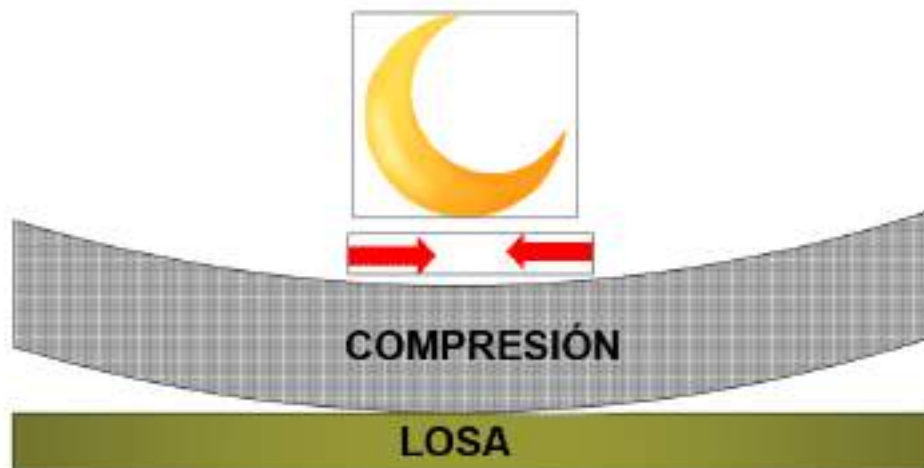
Durante el día la superficie de la losa de concreto se encuentra expuesta a los rayos de sol aumentando su temperatura y provocando la expansión de la parte superior respecto a su eje de simetría causando alabeo con los bordes hacia abajo produciendo esfuerzos de tensión en la superficie y esfuerzos de compresión en la parte inferior de la losa como se muestra en la *Figura 41*. Mientras tanto por la noche la temperatura en la parte superior es menor respecto a la parte inferior de la losa causando alabeo hacia arriba de los bordes provocando esfuerzos de compresión en la parte superior y esfuerzos de tensión en la parte inferior como se muestra en la *Figura 42*.

Figura 41: Situación diurna



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Situación nocturna



Fuente: Elaboración propia.

b. Gradientes de humedad

Las condiciones de humedad causan efectos similares a los térmicos en las estructuras de pavimento dado que el incremento de humedad en el concreto endurecido provoca expansión y, por lo tanto, esfuerzos de tensión. Por lo general, pese a que en la superficie se encuentra seca, a unos cuantos cm de profundidad en la losa se tiene un nivel de humedad prácticamente constante.

Los gradientes de humedad provocan un labeo de la losa hacia arriba, similar al alabeo producto de un diferencial térmico negativo, por lo que el efecto en las respuestas mecánicas (especialmente en esfuerzos de tensión longitudinales en la superficie de la losa), es considerable.

En la práctica, es usual convertir este gradiente de humedad en un gradiente de temperatura equivalente. (*Modelación de pavimentos de concreto hidráulico para la obtención de la respuesta estructural del mismo, 2018, Lilian Margarita Miranda Granados*).

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA EN EL TRAMO DE ESTUDIO

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA EN EL TRAMO DE ESTUDIO

3.1 Antecedentes

El 14 de julio de 2004 se inauguró la construcción de la carretera Tarija- Potosí, a cargo de la empresa constructora Queiroz Galvao. Este proyecto que forma parte del corredor de integración Oeste – Sur (Desaguadero – Bermejo), formando así parte de la red fundamental de carreteras de Bolivia.

A partir de esa fecha, se comenzó con los trabajos preliminares, alcantarillas, movimiento de tierras, construcción de subrasante mejorada y la subbase.

El inicio de las obras de pavimentado del tramo, tuvieron una duración aproximada de seis meses; comenzaron el 10 de junio de 2006, concluyendo el 11 de diciembre de 2006. A continuación de este ítem de pavimentación y respetando los índices de resistencia que debía cumplir la losa de hormigón, se desarrollaron los trabajos de ejecución de bermas y sellado de juntas; posteriormente se desarrolló las mediciones de rugosidad y relevamiento de deterioros.

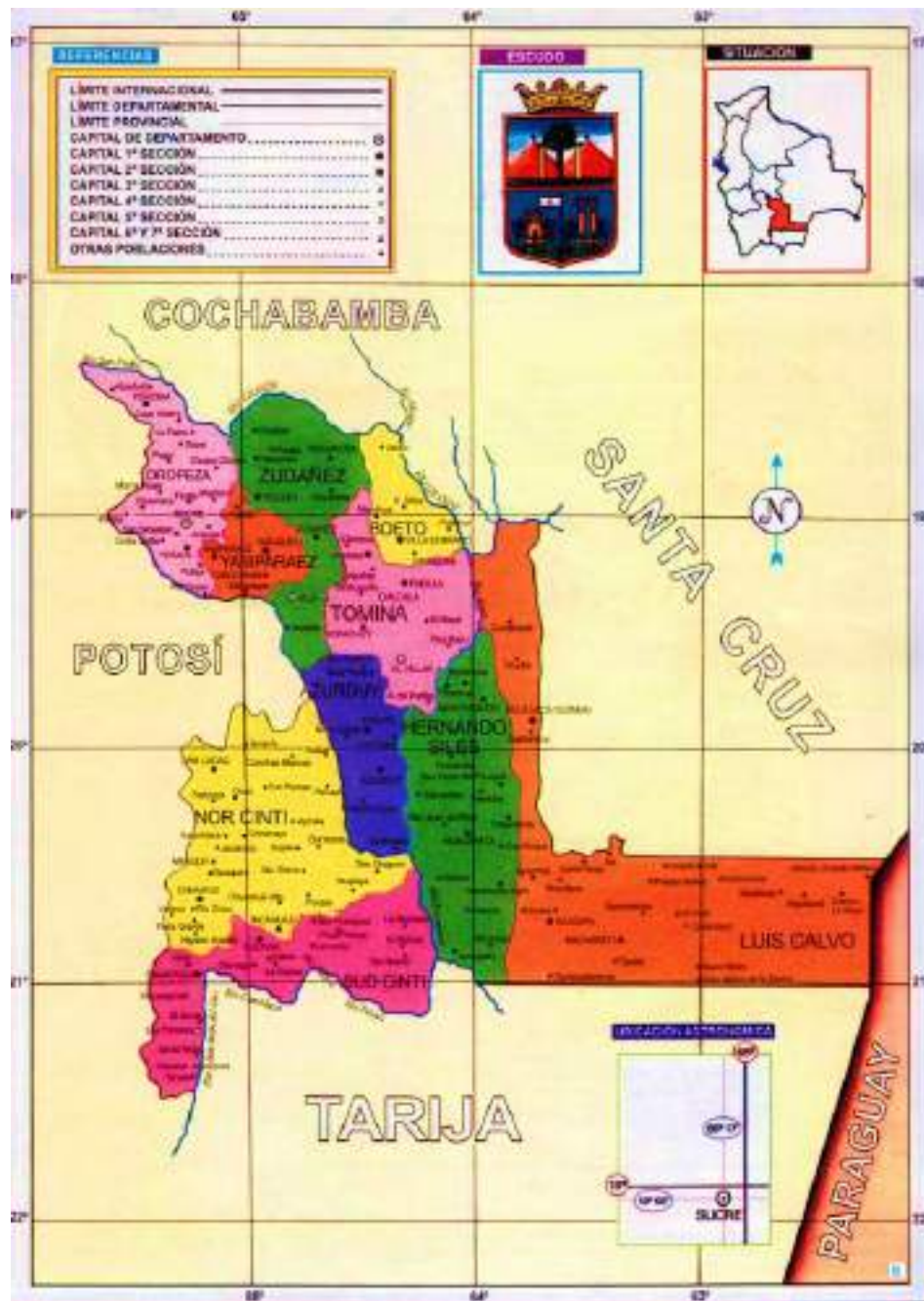
3.2 Ubicación de la zona de estudio

El tramo en estudio se encuentra en la carretera Tarija – Potosí, que es parte de la ruta N° 1 de la red fundamental del Sistema vial Nacional, que vincula los departamentos de Chuquisaca, Potosí y Tarija con el resto del país, específicamente entre las localidades de Las Carreras y Villa Abecia del departamento de Chuquisaca con latitud de $19^{\circ}1'60''$ y longitud de $65^{\circ}15'45,9''$, dentro de la provincia Sud Cinti; teniendo como capital provincia a Villa Abecia, esta provincia tiene una superficie de 5.484 km^2 , lo que representa un 10,64 % de la superficie departamental.

Limita al norte con la provincia Nor Cinti, al oeste con el departamento de Potosí, al sur con el departamento de Tarija y al este con la provincia Hernando Siles.

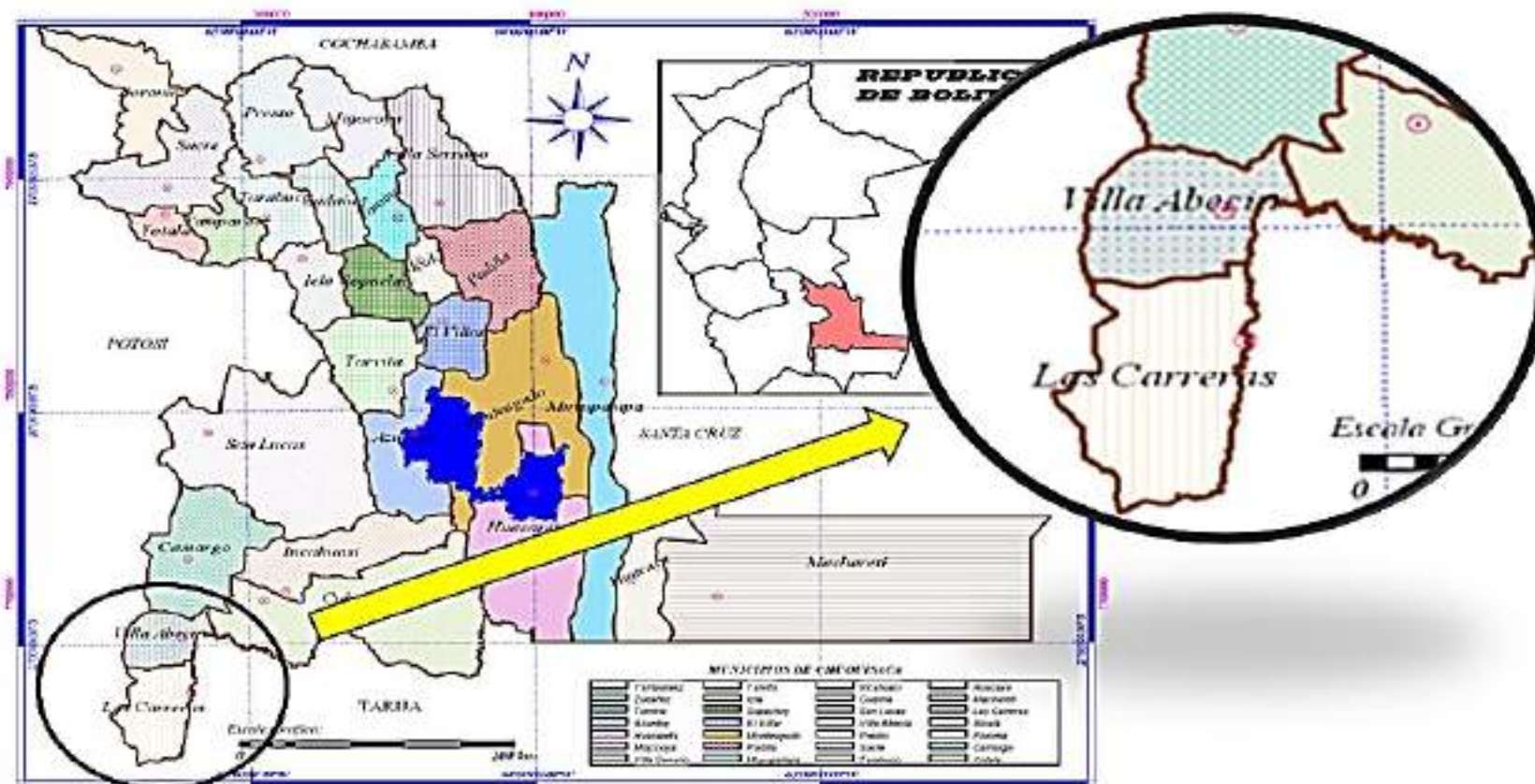
Dicho tramo forma parte de la red fundamental de caminos de Bolivia, sirviendo de nexo entre el departamento de Tarija con el Norte del país.

Figura 43: Mapa del departamento de Chuquisaca



Fuente: <https://www.educa.com.bo/content/departamento-chuquisaca>

Figura 44: Ubicación del proyecto



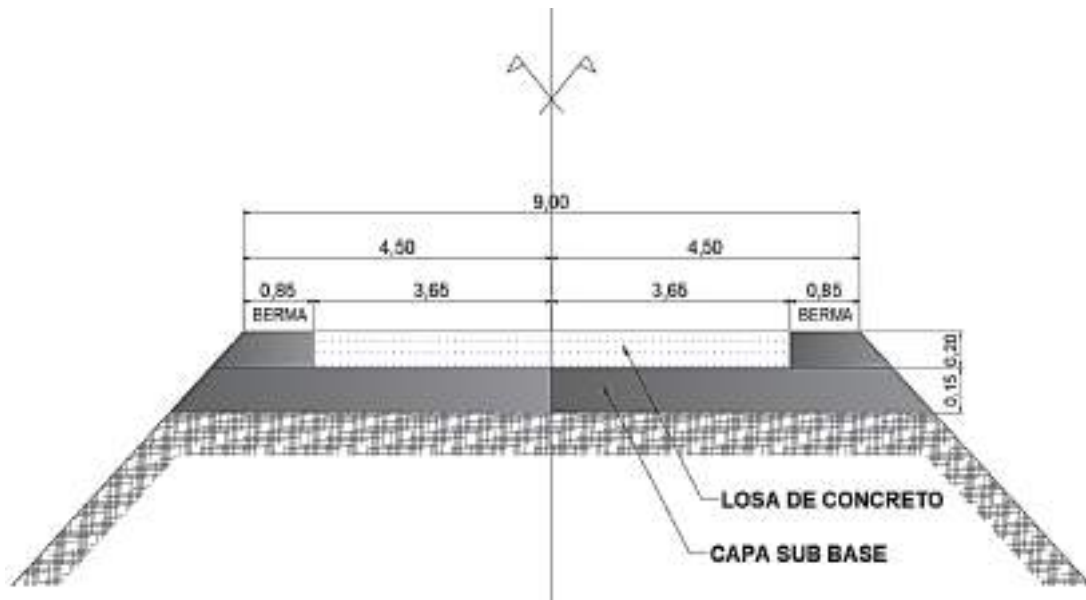
Fuente: Elaboración propia.

3.3 Características geométricas del tramo

Se ha considera que la plataforma del pavimento rígido tiene en su coronamiento un ancho de 9 m sin tomar en cuenta los sobre anchos, los taludes del terraplén tienen una inclinación de 1:1,5 (V:H).

La calzada del pavimento rígido tiene un ancho de 7,30 m (sin sobre ancho) y una berma de 0,85 m cada lado de acuerdo a la sección transversal de la *Figura 45*. Tiene una sub base granular de 0,15 m, juntas transversales a cada 4 m, barras pasajuntas de acero de diámetro de 25 mm y 45 cm de longitud espaciadas cada 30 cm (transversalmente) y barras pasajuntas de 12 mm diámetro y 75 cm de longitud espaciadas cada 100 cm (longitudinalmente). El espesor de la losa de concreto es de 0,20 m.

Figura 45: Sección transversal de la carretera Tarija – Potosí



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Medición del espesor de la losa de concreto



Fuente: Elaboración propia.

El diseño del pavimento rígido se efectuó según las recomendaciones de la “Guía para Diseño de Estructuras de Pavimentos” – AASTHO – 93 para un horizonte de 20 años, para lo cual se estudiaron los aspectos relacionados con el tráfico solicitante de la carretera, los materiales a ser empleados en la construcción, los aspectos operativos, etc.

3.4 Unidades de muestreo

Para poder obtener las secciones a ser evaluadas se optó por la selección de las unidades de muestreo al azar, el cual consistió en dividir todo el tramo cada 1 km, para luego subdividirla cada 200 m tal como se muestra en la *Figura 47*, se tomó como progresiva 0+000 en donde empieza el pavimento rígido (Monte Sandoval).

Se eligió las secciones más críticas es decir las más deterioradas, para esto se utilizó la tabla que se presenta en el *Anexo 1*. Para poder realizar la evaluación se evaluó 9 unidades de muestreo, las cuales se muestran en el *Anexo 8*.

Figura 47: Marcación de las progresivas en el tramo en estudio



Fuente: Google Earth Pro.

3.5 Procedimiento del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Paso 1: Se inspeccionó cada unidad de muestreo para poder obtener el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo a las fallas presentados en el capítulo 2. Para esto se utilizó el formato del *Anexo 2*.

El registro para la sección 1 se muestra en la *Tabla 12*, los demás registros se muestran en el *Anexo 9*.

En las fotografías de la *Figura 48* se realiza la medición de la abertura de las fallas encontradas para poder determinar el tipo de severidad a la que pertenece.

Figura 48: Medición de las aberturas de las fallas encontradas



Fuente: Elaboración propia.

Se observa la medición de las fallas longitudinales en la *Figura 49*.

Figura 49: Medición de una falla longitudinal



Fuente: Elaboración propia.

En la *Figura 50* se muestra la medición que se realizó para las fallas transversales.

Figura 50: Medición de una falla transversal



Fuente: Elaboración propia.

Registro de las fallas encontradas tipo, severidad y medida. En la *Tabla 12* se muestra el registro que se realizó para la sección 1 para ambos carriles.

Figura 51: Registro de las fallas encontradas en los tramos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Registro de los daños en el pavimento rígido de la sección 1

PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA	
REALIZADO POR: MARÍA GABRIELA LÓPEZ ACUÑA	
PROGRESIVA: 0+000 – 0+200	N° LOSA: 50
SECCIÓN: 1	FECHA: 21/02/2021

Progresiva		N° losa	Sentido carril	Dimensiones de la losa (m)		Tipo de falla	Severidad	Medidas de la falla (m)
Inicio	Final			Largo	Ancho			
0+004	0+008	2	CD	4,0	3,65	GT	B	2,500
			CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CD	4,0	3,65	GB	A	1,747
			CD	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CD	4,0	3,65	GT	A	1,200
			CI	4,0	3,65	GT	M	3,500
			CI	4,0	3,65	GL	B	4,000
0+008	0+012	3	CD	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
0+012	0+016	4	CD	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
0+016	0+020	5	CD	4,0	3,65	DB	B	0,009
0+020	0+024	6	CD	4,0	3,65	DB	B	0,010
			DSL	4,0	3,65	DSL	A	0,500
0+024	0+028	7	CI	4,0	3,65	DSL	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
0+028	0+032	8	CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CD	4,0	3,65	GT	M	1,200
			CI	4,0	3,65	DSL	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
0+032	0+036	9	CD	4,0	3,65	GT	A	3,500
			CD	4,0	3,65	GB	A	0,623
			CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CD	4,0	3,65	GE	A	0,060
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,010

0+036	0+040	10	CI	4,0	3,65	GT	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DE	M	0,039
			CI	4,0	3,65	DSL	M	0,490
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CD	4,0	3,65	DSL	M	0,300
0+040	0+044	11	CI	4,0	3,65	DI	B	4,000
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,008
0+044	0+048	12	CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DB	M	0,015
0+048	0+052	13	CD	4,0	3,65	DSL	M	0,300
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DSL	M	0,360
0+052	0+056	14	CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CD	4,0	3,65	GT	B	1,100
			CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DB	M	0,015
0+056	0+060	15	CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CI	4,0	3,65	DI	B	4,000
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
0+060	0+064	16	CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
			CD	4,0	3,65	GT	M	1,500
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DPL	M	3,500
0+064	0+068	17	CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
			CD	4,0	3,65	GT	A	2,200
			CD	4,0	3,65	DE	M	0,080
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
0+068	0+072	18	CI	4,0	3,65	GE	M	0,030
			CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CI	4,0	3,65	GE	M	0,086
			CI	4,0	3,65	DPT	M	2,000
0+072	0+076	19	CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CI	4,0	3,65	GL	B	2,000
0+076	0+080	20	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	GL	B	4,000

0+080	0+084	21	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	GL	M	1,200
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+084	0+088	22	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	GE	B	0,060
			CI	4,0	3,65	GL	B	2,200
			CI	4,0	3,65	GL	B	2,700
0+088	0+092	23	CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DPT	B	0,200
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+092	0+096	24	CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DST	M	0,800
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+096	0+100	25	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CD	4,0	3,65	GB	A	0,040
			CI	4,0	3,65	DST	M	0,250
0+100	0+104	26	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+104	0+108	27	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	DPT	M	3,500
0+108	0+112	28	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CD	4,0	3,65	GL	B	0,900
0+112	0+116	29	CI	4,0	3,65	DB	B	0,009
			CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
0+116	0+120	30	CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+120	0+124	31	CI	4,0	3,65	DB	B	0,008
			CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
0+124	0+128	32	CI	4,0	3,65	DB	B	0,007
			CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
0+128	0+132	33	CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
0+132	0+136	34	CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DST	A	3,500
			CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
0+136	0+140	35	CI	4,0	3,65	DB	M	0,012
			CI	4,0	3,65	DSL	A	2,000
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+140	0+144	36	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CD	4,0	3,65	DPL	M	0,320
			CD	4,0	3,65	GL	B	1,300
			CI	4,0	3,65	DB	B	0,006

0+144	0+148	37	CI	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+148	0+152	38	CI	4,0	3,65	DPT	M	0,460
			CI	4,0	3,65	DPT	B	0,520
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+148	0+156	39	CI	4,0	3,65	DPT	B	3,500
			CD	4,0	3,65	DST	A	1,000
			CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+156	0+160	40	CD	4,0	3,65	GL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	GE	B	0,001
			CI	4,0	3,65	GL	M	1,300
0+160	0+164	41	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	GL	B	4,000
0+164	0+168	42	CD	4,0	3,65	GL	B	2,900
			CD	4,0	3,65	GL	B	2,500
			CI	4,0	3,65	GL	B	4,000
0+168	0+172	43	CD	4,0	3,65	GL	B	2,000
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+172	0+176	44	CD	4,0	3,65	GL	B	4,000
			CI	4,0	3,65	DST	A	1,720
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+176	0+180	45	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	DST	M	0,490
			CI	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+180	0+184	46	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+184	0+188	47	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
0+188	0+192	48	CD	4,0	3,65	GL	M	4,000
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
			CI	4,0	3,65	DB	M	0,013
			CD	4,0	3,65	GT	M	1,600
0+192	0+196	49	CD	4,0	3,65	DB	B	0,010
			CI	4,0	3,65	DB	A	0,030
			CI	4,0	3,65	DSL	A	4,000
0+196	0+200	50	CD	4,0	3,65	DB	M	0,018
			CI	4,0	3,65	DB	M	0,020

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Se ordenó los daños de acuerdo al tipo de falla y severidad para esto se utilizó la tabla que se presenta en el *Anexo 3*.

Paso 3: Para el cálculo de la DENSIDAD se utilizó la ecuación 3 que se presenta en el capítulo 2.

$$\text{DENSIDAD} = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de losas de cada falla}}{\text{N}^\circ \text{ total de losas del tramo}} \right) * 100$$

$$\text{DENSIDAD} = \left(\frac{2}{50} \right) * 100$$

$$\text{DENSIDAD} = 4\%$$

Paso 4: Con la densidad y utilizando las curvas del *Anexo 4* se consiguió el VALOR DEDUCIDO (DV) para cada tipo de falla a diferente severidad. Por ejemplo, para una densidad del 4% de una grieta transversal con severidad baja se obtuvo un DV de 3,00.

Paso 5: Para el VALOR DEDUCIDO TOTAL se sumó todos los valores deducidos individuales.

Paso 6: El NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS se calculó con la ecuación 4 que se presenta en el capítulo 2.

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - \text{HDV}_i)$$

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - 28)$$

$$m = 8,00$$

Todo este cálculo se resume en la *Tabla 13* para la sección 1. (Ver *Anexo 10*)

Tabla 13: Cálculo de los valores deducidos de la sección 1

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

MÉTODO PCI ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO			PROGRESIVA: 0+000 – 0+200	
PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA			SECCIÓN: 1	UNIDADES DE MUESTRA: 9
EJECUTOR: LÓPEZ ACUÑA MARÍA GABRIELA			FECHA: 25/02/2021	NÚMERO DE LOSAS: 50
1. Grietas transversales o diagonal (GT)	5. Desportillamiento de juntas (DPT – DPL)	9. Desintegración (DI)	<u>NIVEL DE SEVERIDAD:</u> B=BAJA M=MEDIA A=ALTA	
2. Grietas longitudinales (GL)	6. Deterioro del sello (DST – DSL)	10. Descascaramiento (DE)		
3. Grietas de esquina (GE)	7. Grieta en bloque o facturación múltiple (GB)			
4. Descenso de la berma (DB)	8. Escalonamiento de juntas (EJL – EJT)			
Daño	Severidad	N° de losas	Densidad (%)	Valor deducido
1	B	2	4,00	3,00
1	M	4	8,00	7,00
1	A	4	8,00	17,00
2	B	22	44,00	18,00
2	M	27	54,00	28,00
2	A	9	18,00	28,00
3	B	2	4,00	3,00
3	M	2	4,00	6,00
3	A	1	2,00	6,00
4	B	20	40,00	3,00
4	M	6	12,00	5,00
4	A	1	2,00	2,00
5	B	3	6,00	1,00
5	M	5	10,00	4,00

6	M	7	14,00	4,00
6	A	27	54,00	8,00
7	A	3	6,00	20,00
9	B	2	4,00	0,00
10	M	2	4,00	5,00
Valor deducido total (VDT)=				163,00
Valor deducido más alto (HDVi)=				28,00
Número máximo admisible de valores deducidos (m)=				8,00

Fuente: Elaboración propia.

Paso 7: Se redujo los valores individuales al máximo admisible, ordenándolos de mayor a menor y reduciendo a 2 todos los valores deducidos utilizando el formato del *Anexo 5*, tal como se presenta en la *Tabla 14* para la sección 1.

Paso 8: Para obtener el CDV se utilizó las curvas de la *Figura 26*.

Tabla 14: Cálculo del PCI de la sección 1

N°	Valores deducidos								Total	q	CDV
1	28,00	18,00	17,00	8,00	6,00	4,00	3,00	1,00	85,00	7	41,67
2	28,00	18,00	17,00	8,00	6,00	4,00	2,00	1,00	84,00	6	43,00
3	28,00	18,00	17,00	8,00	6,00	2,00	2,00	1,00	82,00	5	45,67
4	28,00	18,00	17,00	8,00	2,00	2,00	2,00	1,00	78,00	4	45,80
5	28,00	18,00	17,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	72,00	3	46,00
6	28,00	18,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	57,00	2	43,80
7	28,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	41,00	1	41,00

Fuente: Elaboración propia.

Máximo valor deducido corregido (Máx CDV)	46,00
--	--------------

Cálculo del PCI de la progresiva 0+000 – 0+200:

$$PCI = 100 - MÁX CDV$$

Índice de la Condición del Pavimento (PCI):	54,00
--	--------------

Condición del Pavimento:	REGULAR
---------------------------------	----------------

3.6 Procedimiento del IRI (Índice de Regularidad Internacional)

Esta evaluación se la realizó en las mismas secciones que se seleccionó para el cálculo del PCI. Las mediciones fueron realizadas en ambos carriles tanto derecho como izquierdo.

A continuación, se detallará el cálculo del IRI para la sección 1 carril derecho, así mismo se mostrará el cálculo de las demás secciones en el *Anexo II*.

Paso 1: Primero se procedió a la calibración del Merlín, tomando datos que sirvieron para poder obtener el factor de corrección.

Figura 52: Calibración del Merlín



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Una vez calibrado el aparato con el puntero del tablero en 25 (lectura inicial) y la rueda con la válvula en el piso, se procede a tomar las observaciones, cada que la rueda de una vuelta completa. Como cada sección mide 200 m se tomó solo 120 observaciones por carril.

Figura 53: Toma de las observaciones con el Merlín



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Los datos de campo fueron anotados en el formato que se presenta en el *Anexo 6*. Las observaciones para la sección 1 carril derecho se presentan en la *Tabla 15*.

Tabla 15: Datos de campo de la sección 1 carril derecho (IRI – Merlín)

PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA	
REALIZADO POR: MARÍA GABRIELA LÓPEZ ACUÑA	
PROGRESIVA: 0+200 – 0+400	CARRIL: DERECHO
SECCIÓN: 1	FECHA: 29/04/2021

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25,00	34,00	34,00	37,00	40,00	36,00	34,00	27,00	38,00	37,00
2	29,00	45,00	40,00	41,00	50,00	40,00	32,00	42,00	31,00	40,00
3	42,00	35,00	31,00	34,00	38,00	35,00	40,00	33,00	45,00	40,00
4	36,00	37,00	41,00	41,00	39,00	40,00	33,00	36,00	44,00	38,00
5	38,00	40,00	40,00	46,00	42,00	40,00	40,00	44,00	38,00	40,00
6	43,00	38,00	40,00	39,00	41,00	40,00	38,00	39,00	37,00	36,00
7	41,00	34,00	41,00	36,00	39,00	30,00	40,00	32,00	40,00	30,00
8	40,00	34,00	34,00	34,00	41,00	29,00	35,00	25,00	40,00	35,00
9	39,00	32,00	40,00	35,00	36,00	36,00	41,00	39,00	40,00	45,00
10	45,00	45,00	28,00	40,00	36,00	32,00	45,00	33,00	41,00	40,00
11	43,00	43,00	42,00	35,00	42,00	41,00	42,00	40,00	39,00	38,00
12	40,00	37,00	43,00	43,00	40,00	39,00	40,00	38,00	32,00	43,00

Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Con los datos obtenidos se calcula la distribución de frecuencias de las lecturas, las cuales se presentan en la *Tabla 16* para la sección 1 carril derecho.

Tabla 16: Distribución de frecuencias de la sección 1 carril derecho (IRI – Merlín)

Intervalo de desviaciones	Frecuencia	Intervalo de desviaciones	Frecuencia
25,00	2	37,00	5
27,00	1	38,00	9
28,00	1	39,00	8
29,00	2	40,00	26
30,00	2	41,00	10
31,00	2	42,00	6
32,00	5	43,00	6
33,00	3	44,00	2
34,00	8	45,00	6
35,00	6	46,00	1
36,00	8	50,00	1
TOTAL		120	

Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Con los datos de la *Tabla 16* se realiza un histograma que se presenta en la *Figura 54*.

Figura 54: Histograma de frecuencias de la sección 1 carril derecho (IRI – Merlín)



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Para el cálculo del factor de corrección se utiliza la ecuación 7 presentada en el capítulo 2.

$$F. C. = \frac{(E_p * 10)}{[(L_i - L_f) * 5]}$$

$$F. C. = \frac{(6,2 * 10)}{[(25 - 10) * 5]}$$

$$FC = 0,827$$

Paso 7: Para 120 observaciones se eliminó el 3% (6 datos) del lado izquierdo del histograma y 3% (6 datos) del lado derecho.

$$\text{Lado izquierdo} = \frac{2 - 2}{2} = 0$$

$$\text{Lado derecho} = \frac{6 - 4}{6} = 0,333$$

Paso 8: Para el cálculo del rango D, a los resultados del paso 7 se suma los intervalos de desviaciones restantes del histograma en este caso para la *Figura 54* quedan 19 intervalos.

$$D = 0 + 15 + 0,33$$

$$D = 15,333$$

Paso 9: La corrección del rango D se la realizó utilizando la ecuación 8 que fue presentada en el capítulo 2.

$$D_{\text{correg.}} = D * FC * 5$$

$$D_{\text{correg.}} = 15,333 * 0,827 * 5$$

$$D_{\text{correg.}} = 79,911$$

Paso 10: Para el cálculo del IRI se utiliza las ecuaciones 5 y 6 que fueron presentadas en el capítulo 2, en este caso se usó la ecuación 5 porque cumple con la condición propuesta en la manual del usuario Merliner.

$$\text{IRI} = 0,5930 + 0,0471 * D_{\text{correg.}}$$

$$\text{IRI} = 0,5930 + 0,0471 * 79,911$$

$$\text{IRI} = 4,357 \text{ m/km} - \text{MALO}$$

(2,4 < IRI < 15,9) – ¡CUMPLE!

3.7 Procedimiento del PSI (Índice de Serviabilidad Presente)

Para poder calcular el Índice de Serviabilidad Presente se utilizó las fórmulas propuestas por algunos autores los cuales se propuso en el capítulo 2, en la *Tabla 17* se muestran los resultados que se obtuvo con las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 en relación al IRI de cada sección.

Tabla 17: Resultados de las secciones por el método PSI (con el uso de fórmulas)

N° de Secciones	Progresiva	Valor del IRI promedio (m/km)	PSI				Promedio	Clasificación
			PETERSON	AL-OMARI & DARTER	DUJISIN & ARROYO	AASHTO		
1	0+000 – 0+200	3,862	2,478	1,979	2,548	2,646	2,413	Regular a malo
2	1+800 – 2+000	3,121	2,835	2,364	2,882	2,962	2,761	Regular a bueno
3	2+200 – 2+400	2,816	2,997	2,544	3,031	3,103	2,919	Regular a bueno
4	4+800 – 5+000	2,879	2,962	2,505	2,999	3,073	2,885	Regular a bueno
5	5+200 – 5+400	3,265	2,762	2,284	2,814	2,898	2,689	Regular a bueno
6	7+800 – 8+000	4,370	2,259	1,752	2,338	2,447	2,199	Regular a malo
7	10+400 – 10+600	3,816	2,498	2,001	2,568	2,665	2,433	Regular a malo
8	15+600 – 15+800	4,560	2,182	1,674	2,263	2,376	2,124	Regular a malo
9	17+600 – 15+800	3,689	2,557	2,063	2,623	2,717	2,490	Regular a malo
PROMEDIO							2,546	
CLASIFICACIÓN								REGULAR A BUENO

Fuente: Elaboración propia.

3.8 Procedimiento de las deflexiones con la Viga Benkelman

Primero se verificó los materiales necesarios para la medición de las deflexiones, se utilizó un deflectómetro Viga Benkelman, un extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0,01 mm, un camión cargado con ripio cuyo eje trasero pesó 9,239 t y las llantas dobles con una presión de inflado de 80 psi, un termómetro de piso, accesorios de seguridad: conos, chalecos de seguridad, entre otros como se muestra en la *Figura 55*. También fue necesario un vehículo auxiliar para transportar al personal de apoyo y el equipo que se utilizó.

Figura 55: Materiales usados para las mediciones de las deflexiones



Fuente: Elaboración propia.

Paso 1: Para iniciar con las mediciones de las deflexiones, primero se definió los puntos donde se tomó las medidas, en este caso las lecturas fueron tomadas en un punto 0, a 50 cm, a 100 cm, 150 cm, 200 cm y una última lectura a 200 m. Luego se procedió a calibrar la Viga Benkelman.

Figura 56: Calibración de la Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Una vez marcadas las medidas se ubicó la Viga Benkelman en medio de las llantas del camión tal como se muestra en la *Figura 57*, se activó el extensómetro poniendo a cero el dial.

Figura 57: Ubicación de la Viga Benkelman



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: El camión se debe desplazar muy lentamente a los puntos marcados para poder anotar las lecturas en el formato presentado en el *Anexo 7*. Este procedimiento se repite en cada sección tanto en carril derecho como en el carril izquierdo.

Paso 4: Con los datos de campo se procedió a sacar las deflexiones.

Paso 5: La deflexión característica fue calculada con la ecuación 16 donde “D” es el valor promedio de la deflexión máxima, “t” al 95% y según la *Tabla 10* toma un valor de 1,645 y “Ds” es la desviación estándar de la deflexión máxima.

$$D_c = D + t * D_s$$

$$D_c = 0,12 + 1,645 * 0,03$$

$$D_c = 0,1728 E^{-2} \text{mm}$$

Paso 6: La deflexión admisible fue calculada con la ecuación 17, donde el número total de ejes equivalentes es 2.112.660.

$$D_{adm} = \left(\frac{1,15}{N} \right)^{0,25}$$

$$D_{adm} = \left(\frac{1,15}{2.112.660} \right)^{0,25}$$

$$D_{adm} = 2,70 E^{-2} \text{mm}$$

Los datos necesarios para el cálculo de las deflexiones se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18: Datos para el cálculo de las deflexiones – Viga Benkelman

Datos	N° de ejes equivalentes ESALs	2.112.660
	Espesor de la losa	18,6 cm
	Radio huella circular contacto (A)	11,43 cm
	Presión de inflado (p)	80 psi
	Distancia mide deflexión (R)	150 cm
	Carga sobre la llanta	9,239 t 20.368,508 lb

Fuente: Elaboración propia.

3.9 Procedimiento para las medidas del alabeo en losas

Paso 1: Primero se ubicó las losas donde se iba a medir el alabeo, los materiales usados fueron hilo y clavos.

Paso 2: Los clavos fueron ubicados en las cuatro esquinas de la losa.

Figura 58: Ubicación de los clavos en la losa



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Se amarró el hilo en cada clavo, dejando este al ras del pavimento tal como se muestra en las fotografías de la *Figura 59*.

Figura 59: Amarrado del hilo para la medición del alabeo



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Como primer dato se tomó la temperatura a la que se encuentra el pavimento.

Paso 5: Luego se procede a medir el alabeo que se presenta en cada losa a diferente horario, sin olvidarse de la temperatura que el pavimento presenta.

Figura 60: Alabeo presente en una losa de la sección 1



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Resultados y análisis del PCI

Cuantificando los daños presentados en cada sección se determinó que el daño más representativo son las grietas longitudinales (GL) con un 35,71% para una severidad baja como se muestra en la *Tabla 19*, este daño se presenta en un total de 380 losas, un 12,59% para una severidad media que equivale a 134 losas, esto puede ser debido al alabeo térmico, asentamiento de la base o la subrasante entre otros.

Las grietas transversales (GT) es otro daño que sobre sale con un 7,61% para una severidad baja, esto puede ser causado por las mismas razones de las grietas longitudinales. En un porcentaje menor se encuentran los demás daños.

Tabla 19: Porcentaje de los tipos de fallas (PCI)

Tipo de daño	Severidad	Secciones									Total	Porcentaje %
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Grietas transversales (GT)	B	2	10	10	20	2	13	6	10	8	81	7,61
	M	4	2	5	15			2	4		32	3,01
	A	4	1						1		7	0,66
Grietas longitudinales (GL)	B	22	49	40	49	43	35	45	40	57	380	35,71
	M	27	20	5	5	15	8	12	22	20	134	12,59
	A	9				9	2	3	17	32	72	6,77
Grietas de esquina (GE)	B	2	1	1		1			2		7	0,66
	M	2	1	1							4	0,38
	A	1									1	0,09
Descenso de la berma (DB)	B	20	10		2				14	26	72	6,77
	M	6	14	4	9				8	28	69	6,48
	A	1	7	1	13				4	18	44	4,14
Desportillamiento de juntas (DPT-DPL)	B	3	2	2					3		10	0,94
	M	5	5	5					7	2	24	2,26
	A								1		1	0,09
Deterioro del sello (DST-DSL)	B		1		1				2		4	0,38
	M	7	3		12				1		23	2,16
	A	27	1		5						33	3,10
Grieta en bloque (GB)	A	3	2		6				21	10	42	3,95
Desintegración (DI)	B	2	2						2		6	0,56
	M								1		1	0,09
Descascaramiento (DE)	B		4							1	5	0,47
	M	2	3	1						2	8	0,75
	A		2	1						1	4	0,38
TOTAL											1064	100,00

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos se realiza un resumen del estado de las secciones dando como resultado:

Tabla 20: Resultados de las secciones evaluadas por el método PCI

N° de secciones	Progresiva	Valor del PCI	Clasificación
1	0+000 – 0+200	54,00	Regular
2	1+800 – 2+000	54,00	Regular
3	2+200 – 2+400	64,00	Bueno
4	4+800 – 5+000	37,00	Malo
5	5+200 – 5+400	52,00	Regular
6	7+800 – 8+000	67,00	Bueno
7	10+400 – 10+600	64,00	Bueno
8	15+600 – 15+800	22,00	Muy malo
9	17+600 – 17+800	40,00	Regular
PCI PROMEDIO		51,00	
CLASIFICACIÓN			REGULAR

Fuente: Elaboración propia.

Para poder clasificar las secciones evaluadas se utilizó los rangos propuestos por la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) en el manual de diseño de conservación vial que fueron presentadas en la *Tabla 5* del capítulo 2.

En la *Tabla 20* se muestra la clasificación que se obtuvo para cada sección, de las cuales 1 sección tiene un estado MUY MALO que pertenece a la sección 8 en la progresiva 15+600 – 15+800, la progresiva 4+800 – 5+000 sección 4 presenta un estado MALO. La sección 1,2, 5 y 9 presenta un estado REGULAR en cuanto a las secciones 3, 6 y 7 se tiene un estado BUENO lo que puede significar que las secciones no presentan muchos daños en el pavimento.

Sacando un valor promedio para poder determinar la condición del pavimento por el método PCI para las 9 secciones da como resultado un valor numérico de **51,00** lo que significa que el tramo en estudio está en un estado **REGULAR**.

Figura 61: Porcentaje de estado de daño por sección del PCI



Fuente: Elaboración propia.

En la *Figura 61* se presenta porcentajes de los estados que se obtiene con la metodología del PCI, se presenta 4 estados de clasificación; según la información obtenida el 45% que equivale a 4 secciones del total tiene una clasificación de REGULAR, otro 33% pertenece a una clasificación BUENO que son 3 secciones y el 11% que es representado por 1 sección se encuentra en un estado MAL y el otro 11% presenta un estado MUY MALO.

4.2 Resultados y análisis del IRI

Para poder saber el estado del pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia por el método IRI con el Merlín, se utilizó los rangos propuestos en el país de Uruguay, por el Banco Mundial y por la Norma ASTM E – 1926.

En la *Tabla 21* se muestran los resultados promedios del IRI de cada sección de los cuales las secciones 6 y 8 presentan un estado MALO, en cuanto a las secciones 1, 7 y 9 presentan un estado REGULAR las demás secciones presentan un estado BUENO el cual puede significar que en esas secciones las irregularidades que presentan son bajas.

Sacando un valor promedio de las 9 secciones para poder determinar la regularidad del pavimento da como resultado un valor numérico de **3,598** lo significa que el tramo presenta un estado **REGULAR** según los rangos que recomienda la ABC, el Banco Mundial con el valor promedio que se obtuvo clasifica al pavimento como un pavimento viejo que presenta imperfecciones superficiales.

Tabla 21: Resultados de las secciones evaluadas por el método IRI – Merlín

N° de secciones	Progresiva	Carril	Valor del IRI (m/km)	Valor del IRI promedio (m/km)	Clasificación
1	0+000 – 0+200	Derecho	4,357	3,862	Regular
		Izquierdo	3,367		
2	1+800 – 2+000	Derecho	2,816	3,121	Bueno
		Izquierdo	3,427		
3	2+200 – 2+400	Derecho	2,410	2,816	Bueno
		Izquierdo	3,221		
4	4+800 – 5+000	Derecho	3,040	2,879	Bueno
		Izquierdo	2,718		
5	5+200 – 5+400	Derecho	2,880	3,265	Bueno
		Izquierdo	3,649		
6	7+800 – 8+000	Derecho	4,837	4,370	Malo
		Izquierdo	3,903		
7	10+400 – 10+600	Derecho	3,280	3,816	Regular
		Izquierdo	4,353		
8	15+600 – 15+800	Derecho	4,584	4,560	Malo
		Izquierdo	4,535		
9	17+600 – 17+800	Derecho	3,757	3,689	Regular
		Izquierdo	3,621		
IRI PROMEDIO				3,598	
CLASIFICACIÓN	Según los valores que recomienda la ABC		Regular		
	Según el Banco Mundial		El pavimento tiene imperfecciones superficiales y según su velocidad pertenece a pavimentos viejos.		
	Según la Norma ASTM E – 1926		Manejo confortable arriba de 120 km/hr. Ondulación levemente perceptible 80 km/hr, en el rango de 1,3 a 1,8. Depresiones, baches o corrugaciones no son fácilmente visibles.		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 62: Porcentaje de estado de daño por sección del IRI – Merlín



Fuente: Elaboración propia.

En la *Figura 62* se presenta los porcentajes de los estados que presenta las secciones evaluadas por el método IRI, se presenta 3 estados: con un porcentaje alto del 44,44% que equivale a 4 secciones presenta un estado BUENO, un 33,33% presenta un estado REGULAR que es representado por 3 secciones y un 22,22% tiene un estado MALO el cual se presenta en 2 secciones.

4.3 Resultados y análisis del PSI

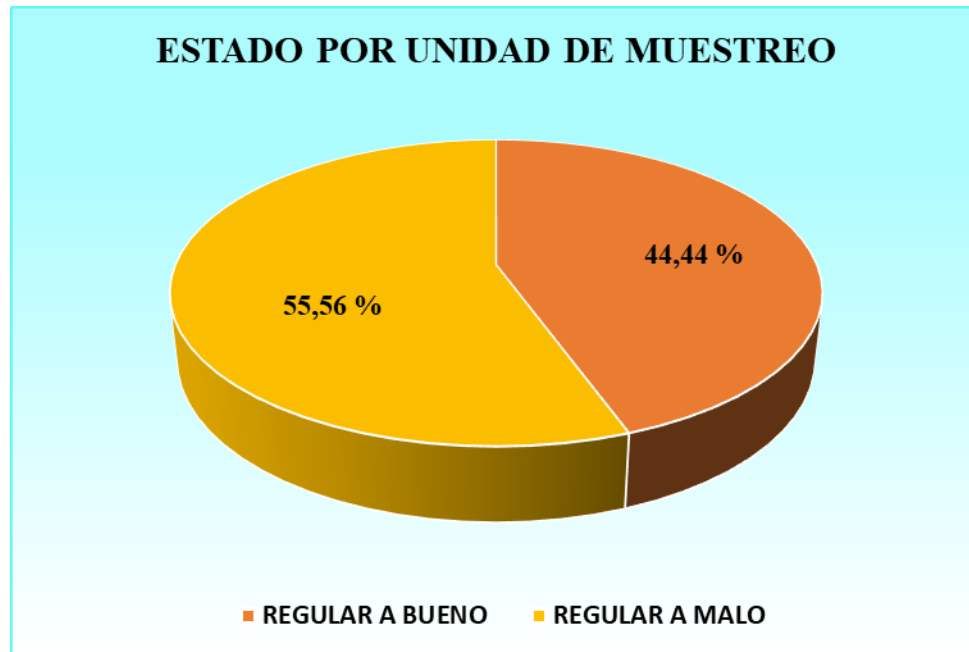
En la *Tabla 22* se muestra los valores obtenidos del PSI utilizando fórmulas propuestas por algunos autores, el valor promedio del PSI por este método fue de **2,546** lo que califica al pavimento de **REGULAR A BUENO**, definiendo al pavimento como una vía que se encuentra en buenas condiciones brindando un viaje cómodo a los usuarios.

Tabla 22: Resultados de las secciones por el método PSI (con el uso de fórmulas)

N° de Secciones	Progresiva	Valor del IRI promedio (m/km)	PSI				Promedio	Clasificación
			PETERSON	AL-OMARI & DARTER	DUJISIN & ARROYO	AASHTO		
1	0+000 – 0+200	3,862	2,478	1,979	2,548	2,646	2,413	Regular a malo
2	1+800 – 2+000	3,121	2,835	2,364	2,882	2,962	2,761	Regular a bueno
3	2+200 – 2+400	2,816	2,997	2,544	3,031	3,103	2,919	Regular a bueno
4	4+800 – 5+000	2,879	2,962	2,505	2,999	3,073	2,885	Regular a bueno
5	5+200 – 5+400	3,265	2,762	2,284	2,814	2,898	2,689	Regular a bueno
6	7+800 – 8+000	4,370	2,259	1,752	2,338	2,447	2,199	Regular a malo
7	10+400 – 10+600	3,816	2,498	2,001	2,568	2,665	2,433	Regular a malo
8	15+600 – 15+800	4,560	2,182	1,674	2,263	2,376	2,124	Regular a malo
9	17+600 – 15+800	3,689	2,557	2,063	2,623	2,717	2,490	Regular a malo
PROMEDIO							2,546	
CLASIFICACIÓN								REGULAR A BUENO

Fuente: Elaboración propia.

Figura 63: Porcentaje de estado de daño por sección del PSI



Fuente: Elaboración propia.

En la *Figura 63* se presenta los porcentajes de los estados que presenta las secciones evaluadas por el método PSI, se presenta 2 estados: con un porcentaje alto del 55,56% que equivale a 5 secciones presenta un estado de REGULAR A BUENO, un 44,44% presenta un estado de REGULAR A MALO que es representado por 4 secciones.

4.4 Resultados y análisis de las deflexiones con la Viga Benkelman

En la *Tabla 23* se puede ver que la deflexión máxima promedio obtenida de la evaluación estructural para el carril derecho del tramo Las Carreras – Villa Abecia es de $D_0 = 0,17 E^{-2}$ mm que está por debajo de la deflexión admisible que es de $D_{adm} = 2,70 E^{-2}$ mm, en la *Tabla 24* el carril izquierdo tiene una deflexión máxima promedio de $D_0 = 0,13 E^{-2}$ mm que es menor que la deflexión admisible $D_{adm} = 2,70 E^{-2}$ mm, por lo tanto, se puede decir que el pavimento evaluado tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño.

Las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman son valores bajos, esto debido a que se trata de un pavimento rígido con juntas que se interconectan por medio de barras de unión tal como se puede apreciar en la *Figura 64*, la finalidad de construir losas con barras de

unión es la de mantener la losa unida, pero sobre todo para transmitir cargas de una losa a otra, para evitar que se deforme.

Figura 64: Detalle de construcción del pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23:Deflexiones por el método de la Viga Benkelman del carril derecho



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN
“LABORATORIO DE ASFALTOS”
“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO”
ENSAYO CON VIGA BENKELMAN



PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA
REALIZADO POR: MARÍA GABRIELA LÓPEZ ACUÑA
CARRIL: DERECHO **FECHA:** 29/04/2021

DATOS DE CAMPO														
N°	PROGR. Km	Esp. cm	Temp Pav °C	LECTURA DE CAMPO E ⁻² mm						DEFLEXIONES E ⁻² mm				
				L-0	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L _{MAX}	D0	D50	D100	D150	D200
1	0+000	20,00	21,00	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01	0,04	0,08	0,04	0,08	0,04	0,06
2	0+200	20,00	23,00	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00	0,06	0,12	0,02	0,10	0,08	0,12
3	1+800	20,00	25,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,04	0,07	0,14	0,12	0,12	0,14	0,06
4	2+000	20,00	24,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,06	0,12	0,10	0,12	0,12	0,04
5	2+200	20,00	25,00	0,02	0,06	0,06	0,04	0,06	0,07	0,14	0,02	0,02	0,06	0,02
6	2+400	20,00	24,00	0,00	0,05	0,01	0,05	0,00	0,08	0,16	0,06	0,14	0,06	0,16
7	4+800	20,00	25,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,08	0,06	0,06	0,06	0,08
8	5+000	20,00	24,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,08	0,04	0,04	0,02	0,08
9	5+200	20,00	24,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04	0,06	0,12	0,10	0,12	0,10	0,04
10	5+400	20,00	24,00	0,01	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,14	0,06	0,04	0,04	0,02



11	7+800	20,00	25,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,05	0,06	0,12	0,08	0,12	0,08	0,02
12	8+000	20,00	26,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,08	0,04	0,08	0,08	0,06
13	10+400	20,00	26,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,05	0,07	0,14	0,12	0,12	0,12	0,04
14	10+600	20,00	25,00	0,04	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
15	15+600	20,00	26,00	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04	0,05	0,10	0,08	0,02	0,08	0,02
16	15+800	20,00	27,00	0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,09	0,18	0,14	0,10	0,14	0,16
17	17+600	20,00	25,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,04	0,08	0,16	0,04	0,02	0,16	0,08
18	17+800	20,00	24,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01	0,07	0,14	0,10	0,14	0,08	0,12
ESTAD.	PROMEDIO	20,00	24,61	0,01	0,03	0,02	0,02	0,03		0,12	0,07	0,08	0,08	0,07
	D. ESTÁNDAR	-	1,33	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02		0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
	MÁXIMO	20,00	27	0,04	0,06	0,07	0,05	0,06		0,18	0,14	0,14	0,16	0,16
	MÍNIMO	20,00	21	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00		0,08	0,02	0,02	0,02	0,02

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA:	0,1728 E⁻² mm
DEFLEXIÓN ADMISIBLE:	2,70 E⁻² mm

Fuente: Elaboración propia.


 Univ. General Francisco de Paula Santander
 ESTUDIANTE CIV 502




 Ing. Bertha Claudia Avila Sandoval
 RESPONSABLE LAB. DE ASFALTOS

En la *Figura 65* se puede apreciar en los puntos que las deflexiones en los tramos para el carril derecho son muy bajas, lo que indica que el paquete estructural se encuentra en buenas condiciones a pesar del tránsito y el tráfico que circula actualmente por la vía, vehículos que sobrepasan el peso permitido.

Figura 65: Deflexiones máximas del carril derecho



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Deflexiones por el método de la Viga Benkelman del carril izquierdo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN
“LABORATORIO DE ASFALTOS”
“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO”
ENSAYO CON VIGA BENKELMAN



PROYECTO: EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO ENTRE EL TRAMO LAS CARRERAS – VILLA ABECIA
REALIZADO POR: MARÍA GABRIELA LÓPEZ ACUÑA
CARRIL: IZQUIERDO **FECHA:** 29/04/2021

DATOS DE CAMPO														
N°	PROGR Km	Esp. cm	Temp Pav °C	LECTURA DE CAMPO E ⁻² mm						DEFLEXIONES E ⁻² mm				
				L-0	L-50cm	L-100cm	L-150cm	L-200cm	L MÁX.	D0	D50	D100	D150	D200
1	0+000	20,00	24,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	0,08	0,06	0,06	0,02	0,06
2	0+200	20,00	25,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,05	0,10	0,06	0,08	0,08	0,06
3	1+800	20,00	25,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,04	0,08	0,02	0,08	0,08	0,04
4	2+000	20,00	24,00	0,02	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,14	0,12	0,08	0,06	0,04
5	2+200	20,00	25,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,06	0,06	0,06	0,04
6	2+400	20,00	25,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,10	0,08	0,08	0,06	0,02
7	4+800	20,00	26,00	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,06	0,02	0,04	0,02	0,04
8	5+000	20,00	26,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,06	0,12	0,10	0,10	0,06	0,04
9	5+200	20,00	25,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,10	0,06	0,08	0,06	0,08
10	5+400	20,00	25,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04



11	7+800	20,00	26,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,06	0,02	0,06	0,06	0,02
12	8+000	20,00	26,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,04	0,06	0,12	0,10	0,06	0,10	0,04
13	10+400	20,00	26,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,04	0,05	0,10	0,06	0,10	0,06	0,02
14	10+600	20,00	25,00	0,01	0,03	0,00	0,03	0,02	0,04	0,08	0,02	0,08	0,02	0,04
15	15+600	20,00	26,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,04	0,08	0,06	0,08	0,04	0,06
16	15+800	20,00	27,00	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,06	0,12	0,08	0,04	0,06	0,06
17	17+600	20,00	25,00	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,06	0,12	0,08	0,08	0,10	0,10
18	17+800	20,00	24,00	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,05	0,10	0,04	0,04	0,06	0,10

ESTAD.	PROMEDIO	20,00	25,28	0,01	0,02	0,01	0,02		0,05	0,09	0,06	0,07	0,06	0,05
	D. ESTÁNDAR	-	0,83	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
	MÁXIMO	20,00	27	0,03	0,03	0,04	0,04		0,07	0,14	0,12	0,10	0,10	0,10
	MÍNIMO	20,00	24	0,00	0,01	0,00	0,00		0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02

DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA:	0,1332 E⁻² mm
DEFLEXIÓN ADMISIBLE:	2,70 E⁻² mm

Fuente: Elaboración propia.

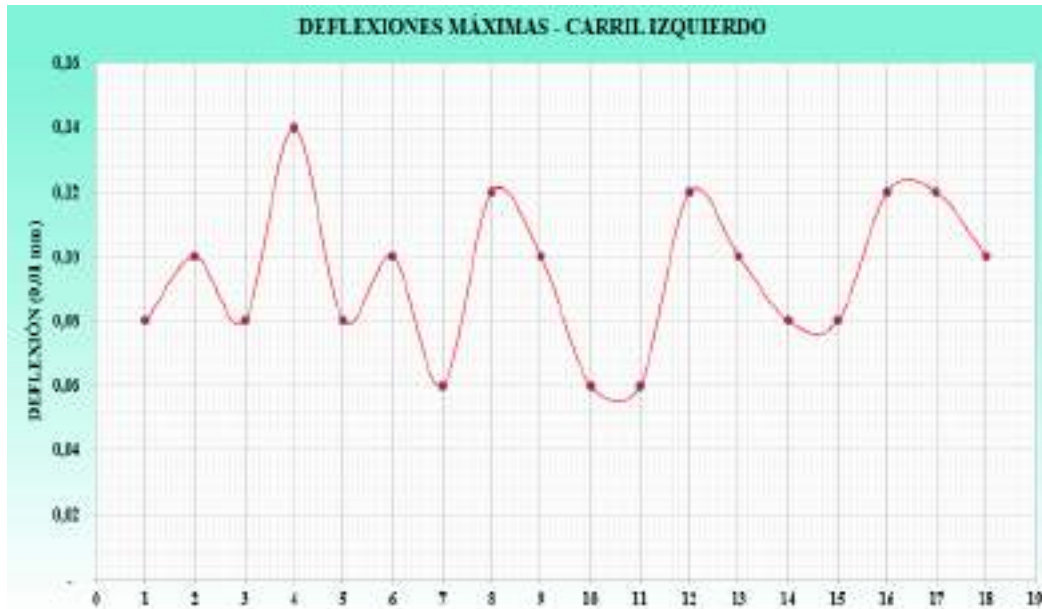

 Univ. Central de Venezuela
 ESTUDIANTE CIV 502




 Ing. Sella Claudia Avila Sanabria
 RESPONSABLE LAB. DE ASFALTOS

Como se indicó para el carril derecho, las deflexiones que se obtuvieron para el carril izquierdo fueron mínimas tal como se puede observar en la *Figuras 66* indica que el paquete estructural se encuentra en buenas condiciones.

Figura 66: Deflexiones máximas del carril izquierdo



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Resultados y análisis del alabeo que se presenta en el pavimento rígido

Uno de los problemas más frecuentes que se da en losas de los pavimentos rígidos es el alabeo que esta presenta ya sea por humedad o temperatura generando grietas longitudinales y transversales.

En las *Tablas 25* y *26* se muestran los datos que se obtuvieron del alabeo en campo tanto del lado transversal y longitudinal de la losa, tomando las temperaturas a cada hora y midiendo la distorsión que sufre la losa.

Se puede ver que, en la parte transversal de la losa se da mayor alabeo a comparación de la parte longitudinal, esto puede ser una explicación del por qué se encuentran grietas longitudinales en mayor porcentaje.

Tabla 25: Alabeo que se da en la parte transversal de la losa en la sección 1

Sábado 24/07/2021				
Hora		Temperatura °C	Tipo de curva	
			Curva convexa mm	Curva cóncava mm
a.m.	06:00:00	2	5,00	
	07:00:00	3	5,00	
	08:00:00	8	5,00	
	09:00:00	10	3,00	
	10:00:00	13	3,00	
	11:00:00	16	1,00	
	12:00:00	20	1,00	
p.m.	01:00:00	24	0,00	
	02:00:00	24	0,00	
	03:00:00	25		1,00
	04:00:00	25		1,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Alabeo que se da en la parte longitudinal de la losa en la sección 1

Sábado 24/07/2021				
Hora		Temperatura °C	Tipo de curva	
			Curva convexa mm	Curva cóncava mm
a.m.	06:00:00	2	3,00	
	07:00:00	3	3,00	
	08:00:00	8	3,00	
	09:00:00	10	2,00	
	10:00:00	13	2,00	
	11:00:00	16	1,00	
	12:00:00	20	1,00	
p.m.	01:00:00	24		0,00
	02:00:00	24		0,00
	03:00:00	25		1,00
	04:00:00	25		1,00

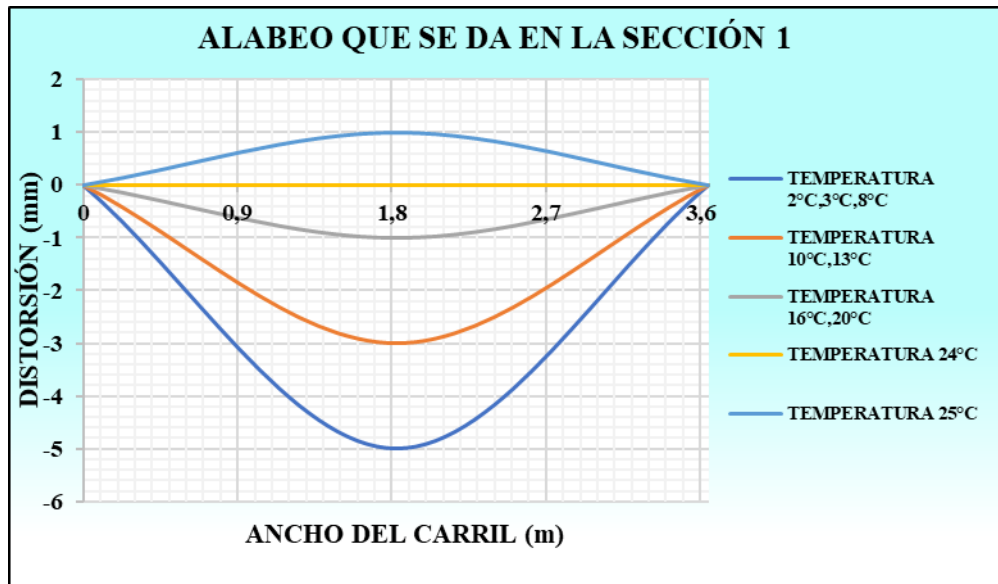
Fuente: Elaboración propia.

Se puede ver en la *Figura 67* la distorsión que sufre una losa de acuerdo a la temperatura que esta se encuentre, en las losas escogidas se pudo observar una distorsión mínima.

Se pudo comprobar la teoría del alabeo en temperaturas bajas la losa sufre un pandeo en forma convexa es decir que la losa se hace para abajo y en temperaturas altas cuando ya

la losa caliente esta llega a su estado original o forma una curva cóncava es decir la losa se hace para arriba.

Figura 67: Distorsión que sufre la losa según la temperatura en la sección 1

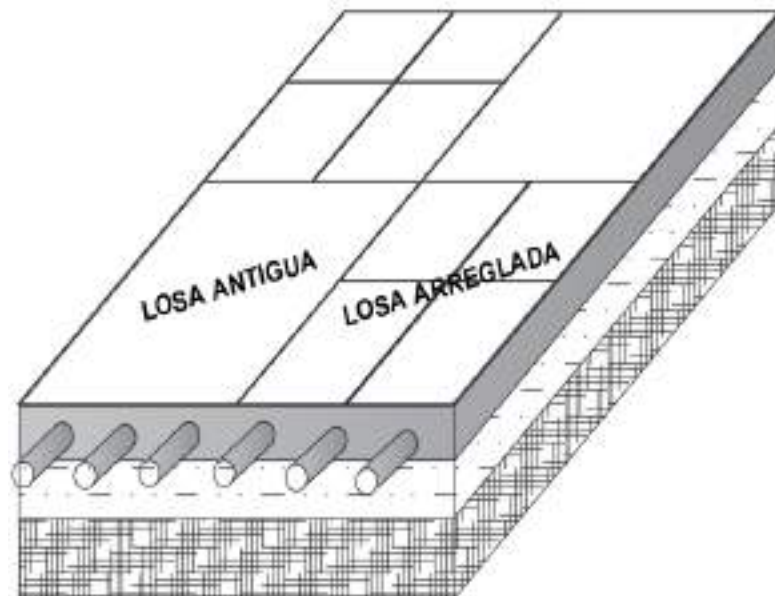


Fuente: Elaboración propia.

El mayor problema que se observó en el pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia es la aparición de las fallas longitudinales, las cuales tienden a incrementar su severidad y longitud afectado consecuentemente el comportamiento del pavimento, esto es provocado por el gradiente térmico que genera esfuerzos de tracción y compresión creando fisuras tanto longitudinales como transversales así también por la humedad que se presenta en la zona, ya que el encargado del mantenimiento de la carretera asegura que tanto la subrasante como la capa sub base tienen una buena compactación y los materiales que la componen cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la construcción del pavimento.

Una solución que se dio a este problema fue que se cortó la losa en cuatro secciones, disminuyendo así el alabeo que se da en una losa de dimensiones comunes tal como se muestra en la *Figura 68*.

Figura 68: Mantenimiento de las losas



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

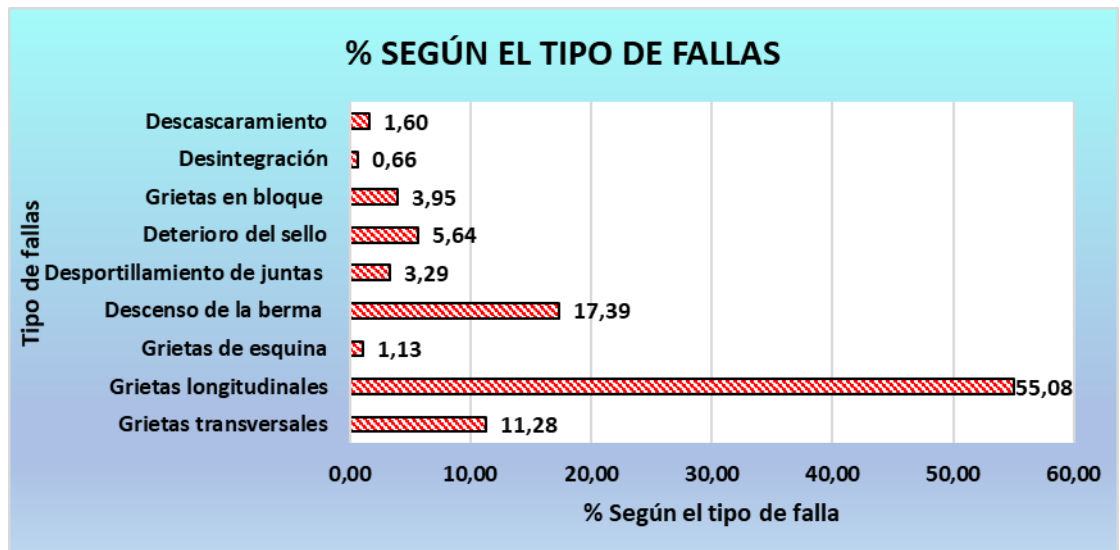
5.1 Conclusiones

Después de realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento rígido en el tramo Las Carreras – Villa Abecia se puede indicar lo siguiente:

5.1.1 Índice de Condición del Pavimento (PCI)

- Con la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) se identificó 9 tipos de fallas dentro de las secciones evaluadas con diferentes niveles de severidad, de las cuales las que mayor porcentaje presentan son las GRIETAS LONGITUDINALES (GL), el DESCENSO DE LA BERMA y las GRIETAS TRANSVERSALES los 6 tipos de fallas restantes se presentan en un menor porcentaje, tal como se muestra en la figura siguiente:

Figura 69: Porcentaje de los tipos de fallas (PCI)



Fuente: Elaboración propia.

- Al realizar el levantamiento de campo, se pudo visualizar que la vía recibió trabajos de mantenimiento hasta la fecha estos trabajos continúan en diferentes sectores de la carretera Tarija – Potosí mejorando así la condición del pavimento.

- Para la aplicación del método PCI se dividió al tramo de estudio en 9 secciones de las cuales en función a su rango del PCI presentan 4 tipos de estado: REGULAR (45%), BUENO (33%), MALO (11%) y MUY MALO (11%).
- El pavimento rígido del tramo en estudio presentó un PCI promedio de 51,00 valor que clasifica a la vía con un estado “REGULAR”, esta condición puede mejorar si se realiza un mantenimiento de la vía haciendo el curado de las fisuras que presentan las losas o realizar un cambio de las losas más dañadas.
- Se puede decir que las fallas se originan por el gradiente térmico que genera alabeos o por la humedad que se presenta en la zona, ya que el encargado del mantenimiento de la carretera indica que tanto la sub rasante como la capa sub base tiene una buena compactación y los materiales que la componen cumplen con las especificaciones técnicas requeridas para la construcción del pavimento.
- Entre algunas soluciones de tratamiento para las fallas encontradas en el pavimento rígido del tramo en estudio están:

Tabla 27: Posibles tratamientos de las fallas del pavimento

Tipo de falla	Posible tratamiento
Grietas transversales	Sellado de juntas y grietas, reparación en todo el espesor de la losa, colocación de barras de traspaso de carga o pasadores.
Grietas longitudinales	Sellado de juntas y grietas, reparación en todo el espesor de la losa, colocación de barras en cruz.
Grietas de esquina	Sellado de juntas y grietas, reparación en todo el espesor de la losa.
Descenso de la berma	Mejorar el sistema de drenaje, cepillado de la superficie, estabilización de losas y mejor transferencia de cargas.
Desportillamiento de juntas	Sellado de juntas y grietas, reparación de espesor parcial de la losa.
Deterioro del sello	
Grietas en bloque	Reparación en todo el espesor de la losa, reemplazando longitudinal y transversalmente toda la zona afectada.
Desintegración	Reparación del espesor parcial de la losa, recubrir con una mezcla asfáltica y garantizar la adherencia entre capas.
Descascaramiento	Sellado de juntas y grietas, reparación de espesor parcial de la losa.

Fuente: Elaboración propia

- La cantidad y severidad de la fisuración se ha incrementado muy rápido y actualmente algunas áreas exhiben un muy alto porcentaje de losas fisuradas, siendo estas áreas críticas cerradas al tráfico para su reparación.

5.1.2 Índice de Regularidad Internacional (IRI)

- Se realizó la evaluación y el análisis del Índice de Regularidad Internacional (IRI) del tramo Las Carreras – Villa Abecia, a través del método del Merlín del cuál se obtuvo un valor promedio del IRI de 3,598 m/km lo que significa que la vía presenta un estado “REGULAR” según los rangos que recomienda la Administradora Boliviana de Carreteras, el Banco Mundial nos indica que el pavimento del tramo en estudio presenta imperfecciones superficiales y que pertenece a pavimentos viejos.
- El método del Índice de Regularidad Internacional (IRI) se realizó en las 9 secciones del tramo evaluado, los cuales presentan 3 tipos de estados: BUENO (44,44%), REGULAR (33,33%) y MALO (22,22%).
- Como una técnica de solución para mejorar el IRI que se presenta en el pavimento del tramo en estudio se debe reemplazar las losas que se encuentran más dañadas o realizar el proceso de cepillado como medida de preservación de pavimentos, este equipo consiste básicamente en una batería de discos de corte que va desgastando la superficie del pavimento, disminuyéndole sus irregularidades y ondulaciones mejorando la adherencia de las llantas al pavimento.

5.1.3 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

- El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se consiguió utilizando fórmulas propuestas por algunos autores obteniendo un valor promedio de 2,55 valor que califica al pavimento de “REGULAR A BUENO”, definiendo al pavimento como una vía que se encuentra en condiciones regulares y brindando un viaje cómodo a los usuarios.
- El PSI se aplicó a las 9 secciones del tramo donde solo se presentaron 2 tipos de estados: de REGULAR A BUENO (55,56%) y de REGULA A MALO (44,44%).

- Debido a que el IRI y el PSI se calculan prácticamente del mismo parámetro, el usuario juzga la calidad del pavimento según la rugosidad que este presente, para poder aumentar la serviciabilidad del tramo en estudio se debe mejorar las irregularidades y ondulaciones que este tiene (IRI), así conseguir una vía en perfectas condiciones y brindando un viaje cómodo a todos los viajeros y a los transportistas.

5.1.4 En promedio luego de realizar la evaluación superficial por los métodos PCI, IRI y PSI para el pavimento rígido del tramo Las Carreras – Villa Abecia se puede concluir que la vía se encuentra en un estado de BIEN a REGULAR, puesto que los resultados obtenidos no fueron muy desfavorables, esto puede ser debido a que la carretera recibió mantenimientos en estos últimos años, por lo que se puede decir que son aptos para brindar una adecuada circulación a los viajeros y transportistas.

5.1.5 Viga Benkelman

- Los valores de las deflexiones obtenidas con la Viga Benkelman son muy bajas, esto se debe a que el pavimento presenta barras de unión las cuales sirven como transmisión de cargas de una losa a otra, esto para evitar que el pavimento se deforme.
- La deflexión máxima obtenida para el carril derecho es de $D_0 = 0,17 E^{-2}$ mm, para el carril izquierdo es de $D_0 = 0,13 E^{-2}$ mm ambos valores están por debajo de la deflexión admisible que es de $D_{adm} = 2,70 E^{-2}$ mm, lo que significa que el pavimento evaluado tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño, ya que se cumplió con las especificaciones técnicas para su construcción.

5.1.6 Alabeo en losas del pavimento rígido

- El alabeo que se midió en algunas losas del tramo en estudio por el cambio de temperatura, genera esfuerzos de tracción y compresión creando fisuras longitudinales como transversales en el pavimento rígido, es por eso que algunos investigadores recomiendan considerar los esfuerzos de alabeo térmico en el diseño del espesor de pavimentos.

- Se pudo comprobar que con temperaturas bajas en las losas del pavimento rígido se forma una curva convexa (hacia abajo), se vio que temperaturas de 1°C genera un alabeo de hasta 7 mm.
- En temperaturas altas el pavimento rígido sufre un cambio generando una curva cóncava en la losa (hacia arriba), se midió un alabeo de hasta 3 mm para una temperatura de 30°C.
- La solución que se dio en el pavimento del tramo en estudio fue cortar una losa en cuatro, reduciendo así los esfuerzos del alabeo por temperatura tal como se muestra en la *Figura 68* del capítulo IV lo que evitará fisuras en un futuro.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda recorrer el tramo antes de realizar cualquier ensayo para poder tomar algunas medidas que nos faciliten la evaluación.
- Contar con los conos de tránsito necesarios para poder desviar el tránsito vehicular como así también que todo el personal de apoyo utilice chalecos de seguridad para evitar accidentes.
- Es más favorable realizar los ensayos cuando los niveles de tráfico sean bajos y con la protección de un vehículo con luces de parqueo.
- Para la evaluación superficial por el método PCI se recomienda que leamos antes un manual de daños, para que nos facilite al momento de registrar los diferentes daños que se presenta en el pavimento.
- El equipo del Merlín debe estar debidamente calibrado para conseguir resultados de mayor precisión.
- Contar con personal calificado para la toma de medidas de campo con la Viga Benkelman.
- Si se consideraría realizar un cambio de losa al pavimento, este debe estar cerrada al tráfico con las señalizaciones de precaución indicadas para evitar accidentes.