

CAPITULO I

DISEÑO TEORICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

1.1 Introducción

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder 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.

Norman Cuevas (2016) presentó una tesis denominada “Alternativas de diseño de refuerzo para el pavimento Canaletas – Entre Ríos” y tiene como objetivo realizar mediciones en campo para obtener los indicadores de estado superficial PCI, IRI, PSI, y estructural (Viga Benkelman) que le permitan valorar las condiciones de estado del tramo y así estudiar las distintas alternativas de refuerzo de pavimentos, se analizaron ochocientos diecinueve metros lineales de la vía y se determinaron las fallas existentes, además se cuantificó el estado en el que se encontraban. En un capítulo de la tesis presentada, hace mención la problemática por la que pasan los pavimentos en Bolivia, debido al bajo mantenimiento que estas reciben y el estado bajo de serviciabilidad que ofrecen, finalmente, el estudio concluye que aplicando el método PCI, IRI, PSI Y Viga benkelman el tramo se encuentra en condiciones regulares según la metodología, además menciona que dicho estado es gracias a las obras de mantenimiento que se dieron por la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras), a través de los resultados de la evaluación superficial y estructural propone como alternativa de solución un refuerzo de hormigón.

El estudio a realizar tiene como objetivo general evaluar el estado del pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos, utilizando métodos de evaluación superficial y estructural; para con los resultados obtenidos proponer una alternativa de solución.

Actualmente existen diversas metodologías para la evaluación de pavimentos, sin embargo, no se ha implementado un método específico de manera reglamentaria y muchas veces no se realizan; siendo éstos, estudios previos, necesarios y tomados en consideración

para la elaboración de planes de mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de las redes viales. Se evaluó tanto superficial como estructuralmente el nivel de deterioro que se encuentra el tramo Canaletas - Entre Ríos, utilizando métodos como PCI, IRI y PSI para una evaluación superficial, y el método de VIGA BENKELMAN para la evaluación estructural, con estos métodos se pudo conocer el estado actual del pavimento flexible y así proponer una alternativa de solución al tramo. Se espera que la solución planteada brinde seguridad y confort a los usuarios y así genere un impacto significativo.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación académica

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

1.2.2 Justificación técnica – práctica

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

1.2.3 Justificación social

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

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problémica

La evaluación superficial y estructural de pavimento permite conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las medidas correctivas oportunas, consiguiendo con ellas, cumplir el objetivo de una serviciabilidad optima al usuario.

Debido a diversos factores, se observan deterioros considerables en la superficie del pavimento del tramo en estudio (Ver Figura 1), a pesar de haber sido construida hace aproximadamente diez años, estos deterioros son un grave problema para la transitabilidad de los usuarios.

No evaluar el pavimento del tramo Canaletas – Entre Ríos, puede traer consecuencias significativas para la seguridad vial, el costo de mantenimiento y la eficiencia del transporte, un pavimento en mal estado puede causar accidentes, aumentar el consumo de combustible y reducir la vida útil de los vehículos.

Aplicar una alternativa de solución al tramo de acuerdo al resultado de la evaluación, dicha alternativa extenderá la vida útil de la vía, mejorará la calidad de la estructura, reducirá costos de mantenimiento etc.

Figura 1 Fallas existentes en el tramo Canaletas – Entre Ríos



Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Problema

¿Por qué una alternativa de solución estructural, supone una mejora de la condición actual del pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos?

1.3.3 Delimitación

La solución planteada para este problema, es realizar una evaluación superficial y estructural del pavimento flexible en el tramo Canaletas – Entre Ríos (provincia O'Connor, departamento de Tarija), Para lograr lo mencionado se empleará los siguientes métodos:

Evaluación superficial

- Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)
- Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
- Método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

Evaluación estructural

- Método de deflexiones viga Benkelman

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar el estado del pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos, utilizando métodos de evaluación superficial y estructural; para con los resultados obtenidos proponer una alternativa de solución estructural.

1.4.2 Específico

- Clasificar los deterioros y fallas superficiales que se presentan en el pavimento del tramo Canaletas – Entre Ríos.
- Evaluar en campo la severidad de los daños encontrados en el pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos.
- Determinar el estado actual estructural del pavimento del tramo Canaletas – Entre Ríos, utilizando la Viga Benkelman.
- Evaluar los resultados que se obtengan en la evaluación superficial y estructural.
- Proponer una alternativa de solución.

1.5 Hipótesis

Con la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos se establece que su estado todavía es bueno.

1.6 Variable

- Estado actual del pavimento

1.7 Alcance de la investigación

El trabajo es de tipo “Aplicación”, por lo cual evaluará la condición del pavimento flexible del tramo vial Canaletas – Entre Ríos (salida del puente Canaletas hasta el puente Salinas de Entre Ríos), a través de los métodos de evaluación superficial (PCI, IRI, PSI) y estructural (VIGA BENKELMAN), y en base a los resultados obtenidos se propondrá una alternativa de solución, para lo cual el trabajo se organizará de la siguiente manera:

Inicialmente contiene una breve introducción de generalidades sobre la **“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL EN EL TRAMO CANALETAS – ENTRE RÍOS”**, en donde se define la situación problemática sobre la que se basa el presente trabajo, un marco teórico, justificación y los objetivos que se desea alcanzar con el presente trabajo.

Posteriormente se menciona todo lo referente al estado de conocimiento sobre el pavimento flexible, evaluación superficial, evaluación estructural, métodos para una evaluación superficial como el PCI, IRI y PSI, y VIGA BENKELMAN para una evaluación estructural, además se presenta un estudio bien detallado sobre todas las fallas que se pueden encontrar en los pavimentos de cualquier tramo en estudio, estos pueden ser fisuras, grietas, deterioro superficial y otros deterioros. Para este fin el trabajo se basará en bibliografía referida al tema de estudio.

Para la obtención de datos en campo se desarrollará de la siguiente manera:

PCI, al tratarse de un método de inspección visual y tomando en cuenta la longitud del tramo en estudio que cuenta con 21 km, se utilizara una confiabilidad del 96 % y un error admisible del 4%, tomando en cuenta los parámetros anteriores se tiene 24 unidades de muestreo con un intervalo $i=27$, para lo cual se utilizará, una regla graduada, cámara fotográfica y vernier para medir la severidad de las fallas.

El IRI se determinará mediante el rugosímetro Merlín, tomando en cuenta la longitud del tramo y el tiempo que se emplea en realizar el levantamiento de datos con el Merlín, se seleccionará tramos de 400 m longitud por cada km del tramo, llegando así a 42 unidades de muestras tomadas con el merlín, los datos serán tabulados en un formato de campo, cada registro será de 200 observaciones.

PSI Se hará una correlación del PSI a través del IRI.

VIGA BENKELMAN las deflexiones serán tomadas en puntos de ensayos cada 1000 metros en el carril derecho (ida) y luego en el carril izquierdo (vuelta) respectivamente para poder determinar el comportamiento de la estructura del pavimento en todo el ancho de la vía.

Una vez obtenida la tabulación de los datos obtenidos en campo, el desarrollo de los cálculos tanto para la evaluación superficial y estructural del tramo Canaletas – Entre Ríos, el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación de dicho tramo y una propuesta de solución, se exponen las conclusiones a las que se ha llegado y que están en función a los resultados obtenidos, además se mencionara las recomendaciones referentes al tema.

En conclusión, lo que se pretende en este trabajo es determinar el estado del pavimento flexible del tramo Canaletas - Entere Ríos y así poder proponer una solución al problema del tramo.

El alcance real de la presente investigación se la realiza haciendo primero la identificación del número de variables, en este caso existe una sola variable que es el estado actual del pavimento del tramo, en tal sentido corresponde al nivel de investigación descriptivo, la variable no es manipulada por el investigador lo que corresponde a un tipo de diseño “no experimental”, transeccional debido a que la información se realizara en un momento único para desarrollar la investigación.

El trabajo corresponde a la aplicación de métodos de evaluación no destructivos como el PSI, IRI, PCI, en la parte superficial y viga Benkelman para la parte estructural en el tramo Canaletas – Entre Ríos.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE

LA EVALUACION SUPERFICIAL

Y ESTRUCTURAL DE

PAVIMENTO

CAPÍTULO II

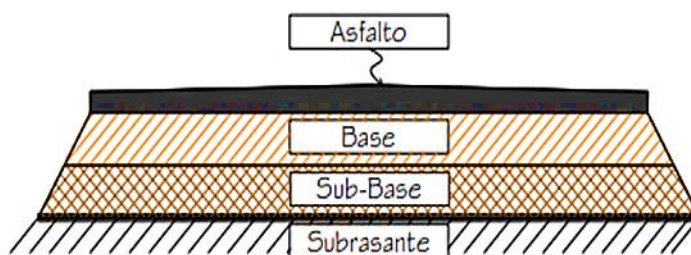
ASPECTOS GENERALES SOBRE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y

ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

2.1 Pavimento flexible

Un pavimento flexible cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la rompa, resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento rutinario y periódico para cumplir con su vida útil. (Ramos, 2013)

Figura 2 Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible.



Fuente: Armijos (2009) “Evaluación superficial de algunas calles de ciudad de Loja”

2.2 Componentes de un pavimento

2.2.1 Sub rasante

Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geosintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación. (Gutiérrez, 1994)

2.2.2 Sub-base

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. (Gutiérrez, 1994)

2.2.3 Base granular

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base. (Gutiérrez, 1994)

2.2.4 Carpeta asfáltica

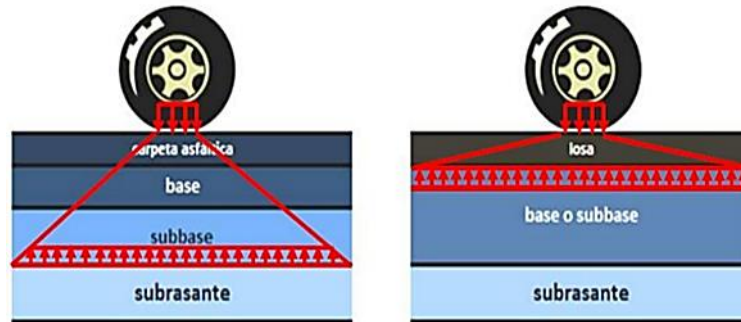
Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. (Armijos, 2009)

2.3 Comportamiento estructural de los pavimentos

Desde el punto de vista de diseño; los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema; los pavimentos rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto.

El comportamiento estructural de un pavimento frente a cargas externas, varía de acuerdo a las capas que lo constituyen. La principal diferencia entre el comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la forma cómo se reparten las cargas. (Rodríguez, 2009)

Figura 3 Comportamiento estructural de los pavimentos.



Fuente: Rodríguez Velásquez, E. (2009).

En un pavimento flexible las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las tensiones son mayores, y estas cargas se distribuyen de mayor a menor a medida que se va profundizando hacia los niveles inferiores. Los pavimentos flexibles tienen menor rigidez, por eso se deforma más que el rígido y se producen tensiones mayores en la subrasante. En el caso de pavimentos rígidos, la losa es la capa que asume casi toda la carga. Las capas inferiores a la losa, en términos de resistencia, son despreciables. Las cargas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Un factor que influye en el comportamiento de los pavimentos es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a cargas móviles, y el hecho que las cargas actuantes sean repetitivas afectan a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que, en el caso de los pavimentos flexibles, este efecto se presenta sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas. (Gutiérrez, 1994)

2.4 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 de esta manera poder 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. (Armijos,

S. Christian. (2009) “Evaluación Superficial de algunas calles de la ciudad de Loja”. Loja, Ecuador).

2.4.1 Tipos de evaluación

Una correcta evaluación de pavimentos incluye estudios sobre el estado de la condición superficial y estructural. A continuación, se describirá a detalle ambos tipos de evaluación.

2.4.2 Evaluación 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. La evaluación visual que se realiza, es una de las herramientas más importantes en la aplicación de estos métodos, y forma parte esencial de toda la investigación. La evaluación se realiza generalmente en dos etapas, una inicial y otra detallada. (Gutiérrez, 1994)

La evaluación inicial se realiza con el fin de hacer una inspección general del proyecto. Esta tarea se realizará recorriendo el camino ya sea mediante un desplazamiento personal o por vehículo para determinar la serviciabilidad que está brindando el pavimento, finalmente será abarcando todo el tramo de vía a evaluar.

La evaluación detallada consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella y realizando la recopilación de datos necesarios, en donde es necesario describir a todos tipos de falla encontrados en función a su severidad, frecuencia y ubicación, así como otra información que se considere necesaria.

La evaluación superficial debe ser definida de manera de periódica, con el fin de determinar la naturaleza y extensión de los deterioros en el pavimento; ya que tales datos son extremadamente importantes debido al impacto directo que tienen sobre el comportamiento del pavimento existente y sobre aquellas capas de refuerzo posteriores. Este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que requiere la superficie del pavimento antes de colocar la sobre capa de refuerzo. La evaluación superficial comprende los siguientes pasos: primero, identificar las fallas y las posibles causas de las mismas. Después, se ubican las fallas en una hoja de

evaluación de acuerdo al método a aplicar. Luego, se determina el grado de severidad y la extensión de las fallas. Seguidamente, se cuantifica en gabinete la información recogida en el campo. Inmediatamente, se emite un informe con el análisis del tramo evaluado. Finalmente, se determinan los tratamientos y reparaciones adecuados. (Gutiérrez, 1994)

Para la evaluación superficial se consideró los siguientes métodos:

2.4.2.1 PCI (Índice de Condición del Pavimento).

El Índice de Condición del Pavimento (por su sigla en inglés Pavement Condition Index PCI), permite la evaluación de pavimentos flexibles y rígidos, el cual, se desarrolla para obtener el índice de integridad del pavimento y la condición operacional de la superficie, que permita determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en función a la condición real del pavimento. (Legía, P. y Pacheco, H. (2016)).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado, hasta cien (100) para un pavimento en perfectas condiciones, se clasifica según como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1 Rangos de clasificación del PCI.

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

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

La evaluación del pavimento se realiza por medio de inspecciones visuales a lo largo del tramo en estudio, y se toma en cuenta la clase, severidad y cantidad de fallas presentes en la superficie. Así mismo, el método muestra “valores deducidos” con el fin de identificar el grado incidencia que cada combinación de clase, severidad y cantidad tiene sobre el pavimento. (ASTM, 2004).

2.4.2.1.1 Materiales e instrumentos

Los materiales e instrumentos que se emplean para la inspección son los siguientes:

- Flexómetro de 5 m, para medir las dimensiones de las fallas menores a 5 m.
- Cinta métrica de 50 m, para medir la longitud de las Unidades de Muestra y medir las dimensiones de las fallas extensas.
- Regla de aluminio de 1 m, para medir los desniveles del pavimento flexible.
- Libreta de campo, para realizar anotaciones de lo observado durante la inspección.
- Cámara fotográfica, para lograr un registro visual de las fallas del tramo en estudio.
- Formato de registro de datos, consolida información principal de la vía y permite el relevamiento correcto de las fallas en la zona de estudio.

Tabla 2 Planilla de registro de datos.

MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI) PAVIMENTO CON SUPERFICIE ASFÁLTICA								
HOJA DE REGISTRO								
NOMBRE DE LA VÍA:		UNIDAD DE MUESTRA:						
SECCIÓN DE VÍA:		ÁREA DE MUESTREO:						
EVALUADORES:		FECHA DE evaluación:						
1. Grieta piel de cocodrilo 2. Exudación 3. Agrietamiento en bloque 4. Abultamientos y Hundimientos 5. Corrugación		6. Depresión 7. Grietas de Borde 8. Grietas de Reflexión de Junta 9. Desnivel Carril/Berma 10. Grietas Longitudinal/Transversal	11. Parcheo y Acometidas de Servicios 12. Pulimientos y Agregados 13. Huecos 14. Cruce de Vía Férrea 15. Ahuellamiento	16. Desplazamiento 17. Grietas Parabólicas o por Desplazamiento 18. Hinchamiento 19. Meteorización/ Desprendimiento de agregados				
FALLA	SEVERIDAD	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO			
			TOTAL/VD=					

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

2.4.2.1.2 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños que establece la Norma ASTM 5340–98 para obtener un valor del PCI confiable.

Unidades de muestreo:

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

Para carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la siguiente tabla se presentan algunas relaciones longitud ancho de calzada pavimentada. (ASTM, 2004)

Tabla 3 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (máximo)	31.5

Fuente: ASTM D 6433-03.

2.4.2.1.3 Determinar PCI por unidad de muestra

Etapas 1. Cálculo de los valores deducidos:

- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna total del formato PCI-01. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.
- Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” que se adjuntan al final de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapla 2. Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos (m)

- a.** Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos **b.** y **c.**
- b.** Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- c.** Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Donde:

Mi = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i

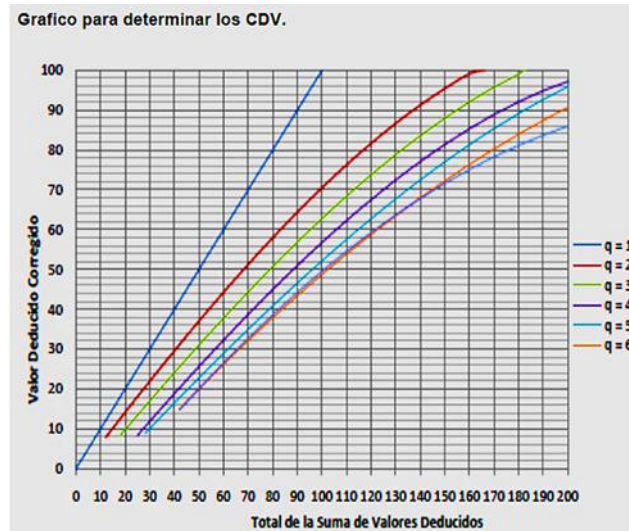
HDVi = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i . d. El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan

Etapla 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- a.** Determine el número de valores deducidos, q , mayores que 2.0.
- b.** Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- c.** Determine el CDV con q y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- d.** Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas **a.** a **c.** hasta que q sea igual a 1.
- e.** El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

Figura 4 Curvas de corrección del valor deducido (CDV) para pavimentos flexibles.



Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

Etap 4. Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en etapa 3.

$$\text{PCI} = 100 - \text{max. CDV}$$

Donde:

PCI = Índice de Condición del pavimento

Máx. CDV = Máximo valor corregido deducido

El PCI promedio, resulta ser el promedio de todos los PCI de cada unidad de muestra. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

2.4.2.1.4 Determinar PCI de la sección

Una sección de pavimento abarca varias unidades de muestreo. Si todas las unidades de muestreo son inventariadas, el PCI de la sección será el promedio de los PCI calculados en las unidades de muestreo.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las

unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) * PCI_R] + (A * PCI_A)}{N}$$

Donde:

PCIS = PCI de la sección del pavimento

PCIR = PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas

PCIA = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales

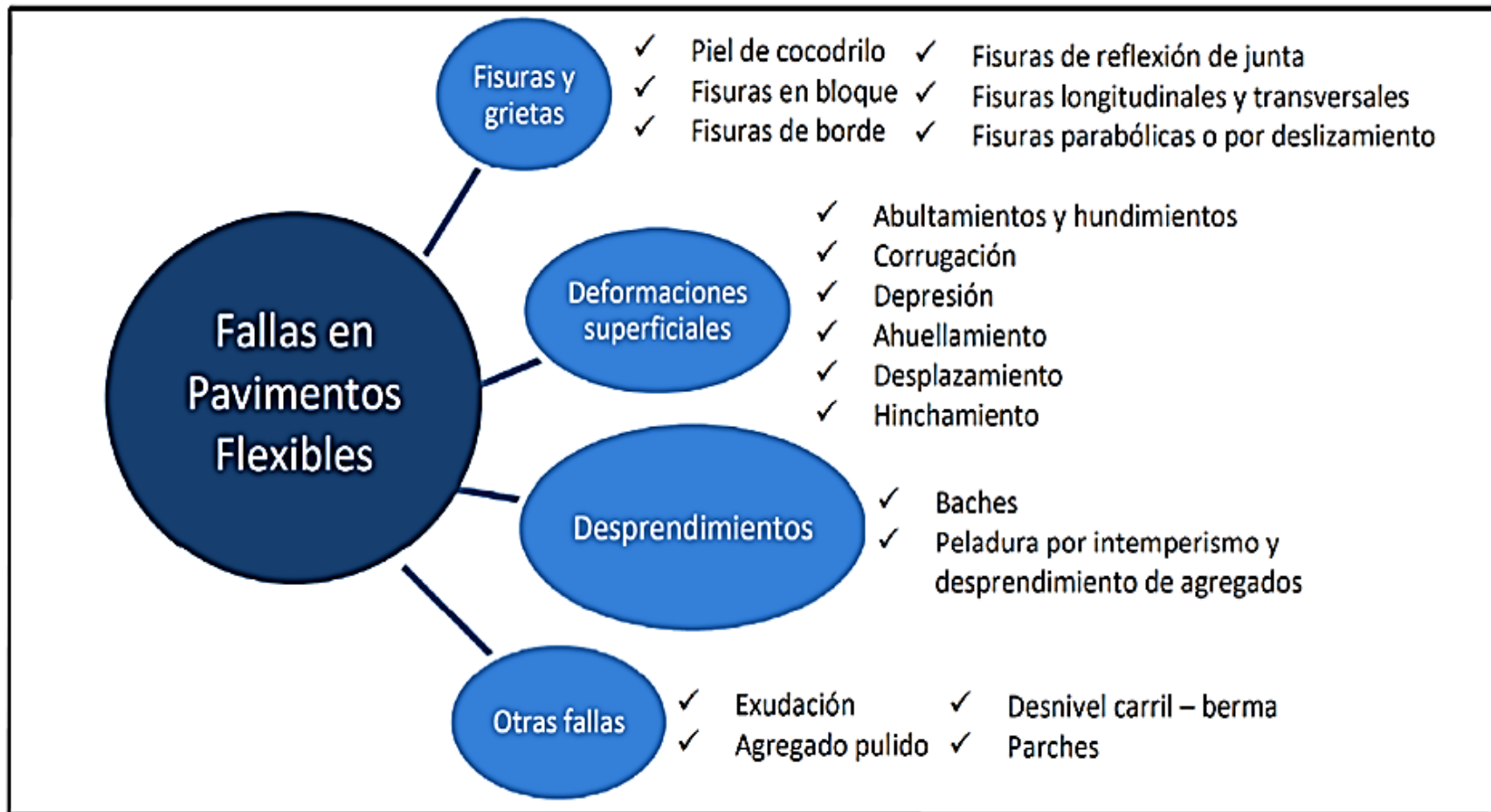
N = Número total de unidades de muestreo en la sección

A = Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas

2.4.2.1.5 Tipos de fallas

El Método PCI (Pavement Condition Index) considera 19 clases de fallas más comunes en el deterioro progresivo del pavimento flexible, las cuales, son agrupadas en 4 categorías:

Figura 5 Resumen de fallas en pavimentos flexibles



Fuente: Rodríguez (2009)

Fallas por fisuras y grietas

A continuación, se presentará una breve descripción de las fallas y se explicará las razones del cómo se generan y la forma de identificarlas según el manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico se tiene:

a) Piel de cocodrilo

Es una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. Esta se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Este tipo de falla ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se mide el área afectada en m². La dificultad en la medida de este tipo de daño está en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada. Si estas porciones pueden ser diferenciadas con facilidad, deben medirse y registrarse separadamente. De lo contrario, toda el área deberá ser calificada en el mayor nivel de severidad presente.

Opciones de reparación

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

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

Reconstrucción.

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

Figura 6 Piel de cocodrilo de severidad media.



Fuente: Elaboración propia

b) Agrietamiento en bloque

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente. Ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito a diferencia de la piel de cocodrilo que es originada por cargas repetidas de tránsito. Las grietas en bloque difieren de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos.

Niveles de severidad.

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

M = Bloques definidos por grietas de severidad media

H = Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide el área afectada en m². Si se presenta varios tipos de Severidad en una sección de pavimento deberán medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

L = Sellado de grietas con ancho mayor a 3.0 mm. Riego de sello.

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

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

Figura 7 Grietas en bloque de alta severidad.



Fuente: Elaboración propia

c) Grieta de borde

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60m. del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad.

L = Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M = Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

Medida

Se mide en pies lineales (o metros lineales).

Opciones de reparación

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

M = Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H = Parcheo parcial – profundo.

Figura 8 Grieta de borde de severidad media.



Fuente: *Elaboración propia.*

d) Grietas longitudinales y transversales

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

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

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

Niveles de severidad

L = Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M = Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H = Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

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

Opciones de reparación

L = No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3.0 mm.

M = Sellado de grietas.

H = Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Figura 9 *Grietas longitudinales y transversales de baja severidad.*



Fuente: *Elaboración propia*

Fallas por deformaciones superficiales

e) Abultamientos y hundimientos

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

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

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento.

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento swelling).

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

Opciones de reparación

L = No se hace nada.

M = Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

Figura 10 Abultamientos y hundimientos de severidad media.



Fuente: *Elaboración propia*

f) Depresión

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

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

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L = 13.0 a 25.0 mm.

M = 25.0 a 51.0 mm.

H = Más de 51.0 mm.

Medida

Se mide el área afectada (m²).

Opciones de reparación

L = No se hace nada.

M = Parcheo superficial, parcial o profundo.

H = Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 11 Depresión de baja severidad.



Fuente: Elaboración propia

Hinchamiento

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

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

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

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

Medida

El hinchamiento se mide en ft^2 (o m^2) de área afectada.

Opciones de reparación

L = No se hace nada.

M = No se hace nada. Reconstrucción.

H = Reconstrucción.

***Figura 12** Ejemplo de hinchamiento.*



***Fuente:** Elaboración propia.*

Fallas por desprendimientos

g) Huecos

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta.

Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización.

Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Tabla N°5.

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

Tabla 4 Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 (mm)	203 a 457 (mm)	457 a 762 (mm)
12.7 a 25.4 (mm)	L	L	M
> 25.4 a 50.8 (mm)	L	M	H
> 50.8 (mm)	M	M	H

Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

Medida

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

Opciones de reparación

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

M= Parcheo parcial o profundo.

H= Parcheo profundo.

Figura 13 Ejemplo de huecos



Fuente: Elaboración propia

Otras fallas

h) Exudación

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida.

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

Opciones de reparación.

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

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

Figura 14 Exudación de baja severidad



Fuente: Elaboración propia

i) Pulimento de agregados

Este daño es causado por la repetición de cargas de tránsito. Cuando el agregado en la superficie se vuelve suave al tacto, la adherencia con las llantas del vehículo se reduce considerablemente. Cuando la porción de agregado que está sobre la superficie es pequeña, la textura del pavimento no contribuye de manera significativa a reducir la velocidad del vehículo. El pulimento de agregados debe contarse cuando un examen revela que el agregado que se extiende sobre la superficie es degradable y que la superficie del mismo es suave al tacto. Este tipo de daño se indica cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

Niveles de severidad.

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

Medida

Se mide en ft² (ó m²) de área afectada. Si se contabiliza exudación, no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

Opciones de reparación

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

Figura 15 Pulimento de agregados.



Fuente: Elaboración propia

j) Desnivel carril / berma

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

Niveles de severidad.

L= La diferencia entre el borde del pavimento y la berma está entre 25.0 y 51.0 mm.

M= La diferencia está entre 51.0 mm y 102.0 mm.

H= La diferencia en elevación es mayor que 102.00 mm.

Medida

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

Opciones de reparación

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

***Figura 16** Desnivel carril/berma de baja severidad.*



***Fuente:** Elaboración propia*

k) Parcheo y acometidas

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

Niveles de Severidad.

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

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

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

Medida.

Los parches se miden en ft² (o m²) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

H= Sustitución del parche.

Figura 17 *Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.*



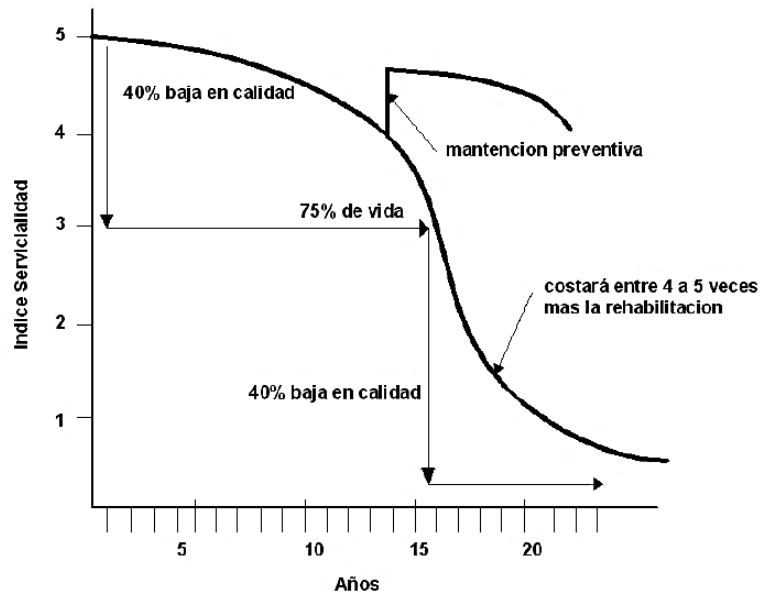
Fuente: *Elaboración propia*

2.4.2.2 PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

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

La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural. En la siguiente figura se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja cómo se va deteriorando un pavimento en el tiempo. (Cedeño, 2014)

Figura 18 Índice de Serviciabilidad.



Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC.

Serviciabilidad funcional. La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta. (ABC, 2011)

Serviciabilidad estructural. Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento. (ABC, 2011)

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.

La metodología 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 promedio de estas evaluaciones se denomina PSR (Present Serviciability Rating).

A un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

El número de personas, para tener una estimación adecuada, deberá estar comprendido entre 5 y 10, como mínimo. Es conveniente que la apreciación se realice individualmente y con el mismo tipo de vehículo que la persona que califica utiliza normalmente. En general, se obtienen promedios congruentes utilizando persona de diversa preparación; aun cuando la calificación individual varía ampliamente, el promedio es congruente y permite una estimación adecuada del estado de la carretera en el momento de la inspección.

Para obtener valores objetivos de la calificación, estudios posteriores realizados en diferentes países y en la misma AASHTO, relacionaron la calificación subjetiva (PSR) con medidas proporcionadas por el perfilómetro CHLOE, determinando la variación de la pendiente longitudinal y la deformación transversal, así como el porcentaje de áreas agrietadas y reparadas; obteniéndose ecuaciones del *Índice de Serviciabilidad Presente PSI* (Present Serviciability Index). (ABC, 2011)

Asfalto

$$PSI = 5.03 - 1.91 * \log(1 + SV) - 1.38 * (RD)^2 - 0.01 * \sqrt{(C + P)}$$

Hormigón

$$PSI = 5.41 - 1.78 * \log(1 + SV) - 0.09 * \sqrt{(C + P)}$$

Donde:

SV = Varianza de la pendiente longitudinal (Slope Variance), medida con un perfilómetro CHLOE, rad x 10⁻⁶ (in/ft) ²

RD = Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, in

C (en asfalto) = Superficie agrietada, $\text{ft}^2 / 1000 \text{ ft}^2$

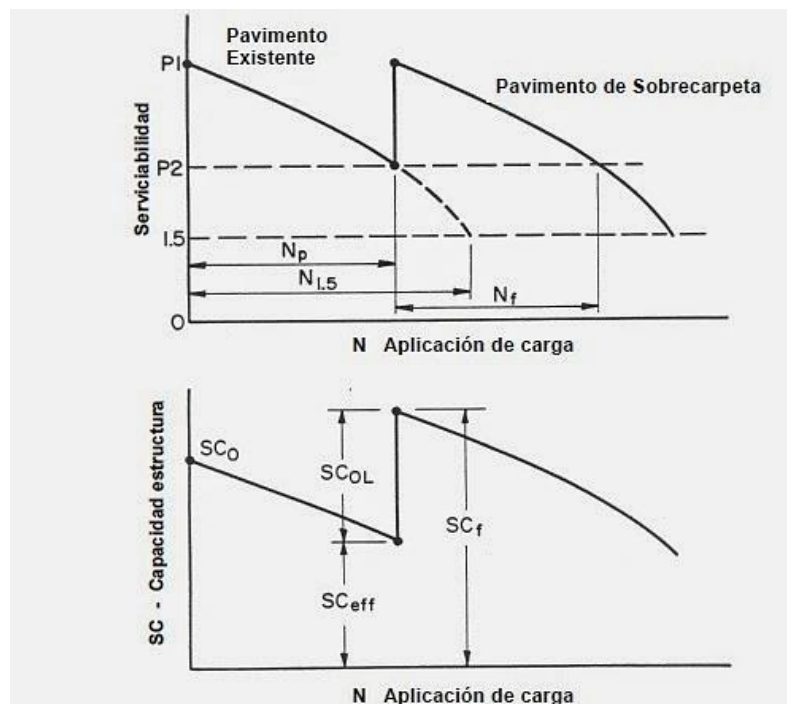
C (en hormigón) = Longitud total (transversales y longitudinales) de grietas, selladas o abiertas, $\text{ft}^2 / 1000 \text{ ft}^2$

P = Superficie bacheada, $\text{ft}^2 / 1000 \text{ ft}^2$

Índice que represente seguridad y confort al usuario del camino y que revela deficiencias en el acabado superficial. Sin embargo, la falla anticipada de agrietamiento por fatiga de la carpeta pasa desapercibida por el usuario del camino en la mayoría de los casos, sobre todo cuando dicho agrietamiento se presenta sin deformación. (ABC, 2011)

El Índice de Serviciabilidad Presente nos sirve de apoyo para determinar si la superficie de rodamiento necesita mejorarse, pero por sí solo no debe usarse para diseño de sobrecarpetas u otras mejoras. Índices de Serviciabilidad Presente altos, corresponden a condiciones más satisfactorias. Cuando un tramo denota calificaciones bajas (de 2.5 hacia abajo), se debe hacer un examen más detallado de la superficie, utilizando, si es necesario, otros métodos para su evaluación. La experiencia indica que un PSI comprendido entre 2.5 y 0.0, denota la necesidad de hacer trabajos de reforzamiento a la carretera en estudio.

Figura 19 *Perdida de la capacidad estructural después de tiempo y tránsito.*



Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC.

La escala de calificaciones AASHTO es la siguiente:

Tabla 5 Calificación del índice de serviciabilidad presente según Aashto.

CALIFICACIÓN	ESTADO DEL PAVIMENTO
4.5 - 5.0	Excelente
3.1 - 4.4	Bueno
2.6 - 3.0	Regular a bueno
2.1 - 2.5	Regular a malo
1.1 - 2.0	Malo
0.0 - 1.0	Muy malo

Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC.

Ecuaciones de correlación del PSI a partir del IRI

- Según William Paterson (1987)

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}}$$

- Según Dujisin y A. Arroyo (1995)

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI)^{0.5}$$

2.4.2.3 IRI (Índice de rugosidad internacional)

La sociedad americana de ensayos y materiales (ASTM) en la norma E-867 define la rugosidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje (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 metros por kilómetros (Sayers y Karamihas, 1996)

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

Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.

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

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica y el contenido de asfalto.
- Las características del medio ambiente: Temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la subrasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

2.4.2.3.1 Método IRI con el rugosímetro de Merlín.

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

La gran ventaja en el uso del Merlín es la exactitud en los resultados que solo puede ser superado por el método de mira y nivel. Pero también tiene la desventaja de que el

rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos y el problema es mayor aun cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del Merlín se hace improductivo. (Del Águila, Pablo. (1998))

Figura 20 Esquema del rugosímetro de merlín.



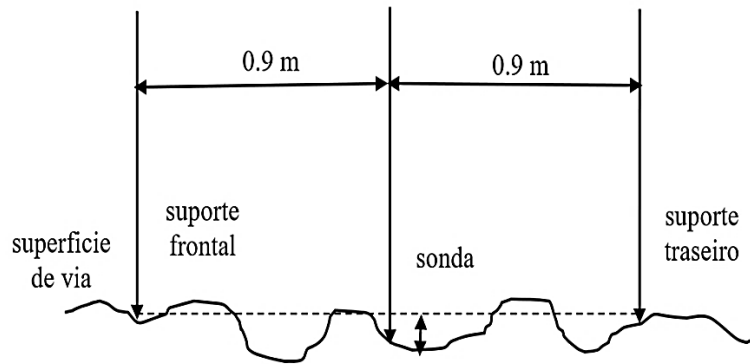
Fuente: Metodología para la Determinación de Rugosidad de los Pavimentos

(Del Águila Rodríguez, 1999).

2.4.2.3.2 Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín.

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

Figura 21 Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.

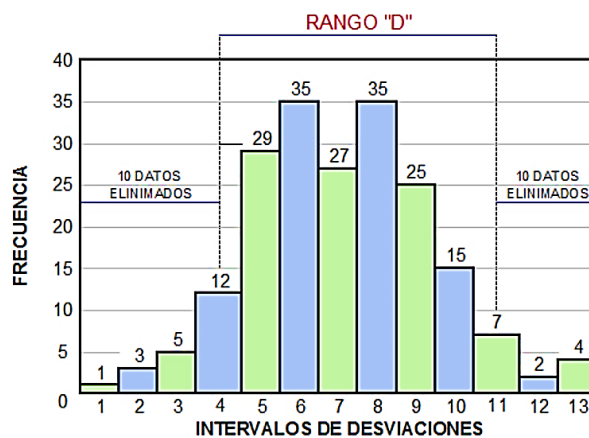


Fuente: Manual del Usuario Merliner. Lima, Perú.

2.4.2.3.3 Histograma de la distribución de frecuencias.

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

Figura 22 Histograma de la distribución de frecuencias.



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

2.4.2.3.4 Correlaciones D versus IRI.

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

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

Cuando

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

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D \dots (1)$$

Cuando

$$\text{IRI} < 2.4$$

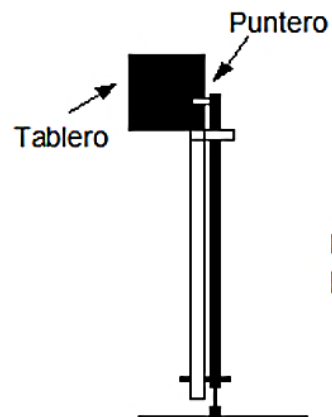
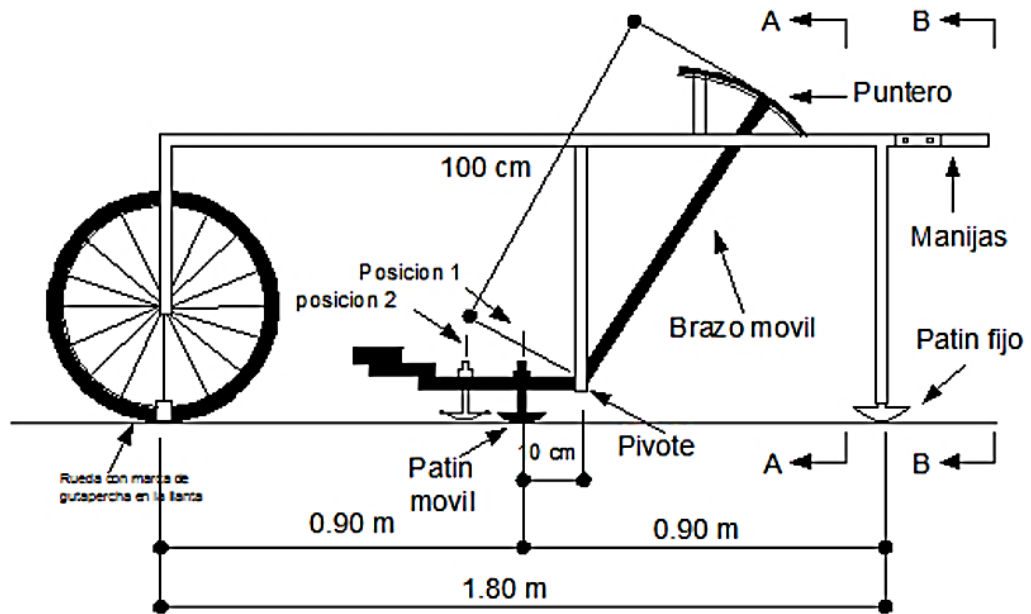
$$\text{IRI} = 0.0485 D \dots \dots \dots (2)$$

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

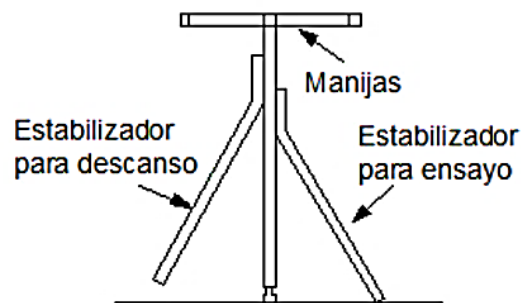
2.4.2.3.5 Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín.

El Merlín es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera. (Del Águila, Pablo. (1998)).

Figura 23 Esquema del rugosímetro Merlin.



CORTE A-A



CORTE B-B

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

2.4.3 Evaluación estructural

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta y realizar ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen. (Legia, P. y Pacheco, H. (2016))

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizarse las tareas de rehabilitación y mejoramiento. Los trabajos suministran información adicional como los espesores de las capas conformantes, contenidos de humedad, posible causa del deterioro de la capa, densidad de cada capa y la capacidad de soporte en el material subrasante. (Gonzáles, 2004)

Por otro lado, se pueden realizar perforaciones con la ayuda de equipos de calado, saca muestras; esta alternativa, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad “in situ” por cuestiones de espacio.

Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura. (Gonzáles, 2004)

El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman. Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento “in situ”, e integrar sus resultados para una interpretación global.

Otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de impacto. Este es un método no destructivo, que sirve para la evaluación estructural del pavimento y conocimiento detallado de su estado. Esta técnica es de alto rendimiento, sin mayores interferencias al tránsito de las vías y además es utilizado de forma rápida y precisa. Por

otro lado, puede utilizarse el perfilómetro láser, principalmente en la etapa de recepción, este proporciona información sobre la rugosidad del pavimento, cuya información permite estimar la serviciabilidad actual del pavimento. (Gonzáles, 2004)

2.4.3.1 Viga benkelman

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 53, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) 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”).

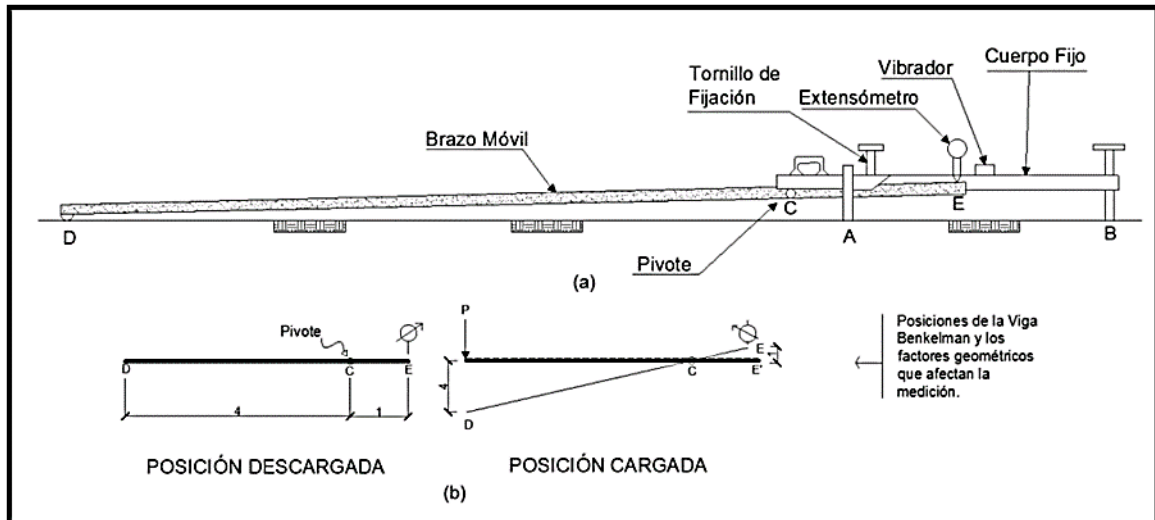
Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

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 reflectó 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. (Hoffman y Del Águila. (1985))

Figura 24 Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.



Fuente: S. Hoffman & M. del Águila, 1985.

2.4.3.1.1 Equipo requerido.

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

Deflectómetro viga Benkelman.

- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm.
- Camión cargado con eje trasero de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a una presión de 75 a 85 psi.
- Vehículo auxiliar para transportar el personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje de camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (cinta métrica, hojas de campo, señales de seguridad, termómetro, etc.).

2.4.3.1.2 Procedimiento de la medición.

Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que tener la volqueta con el peso indicado de 8,2 toneladas y llantas infladas a 80 psi, luego definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 50 – 200 m de distancia,

alternando cada carril; estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento. Se recomienda utilizar las distancias indicadas a continuación.

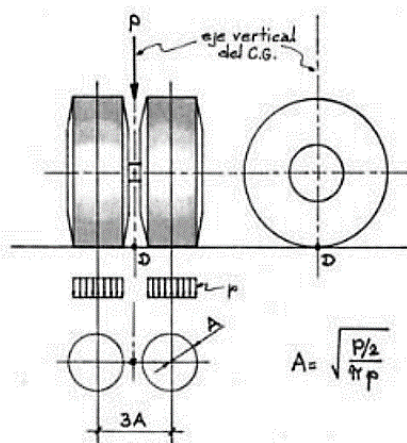
Tabla 6 Distancias recomendadas a emplear.

Ancho del carril (m)	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento (m)
2.70	0.45
3.00	0.60
3.30	0.75
3.6 o mas	0.90

Fuente: Manual de Carreteras: Ensayo de Materiales, 2016.

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

Figura 25 Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.

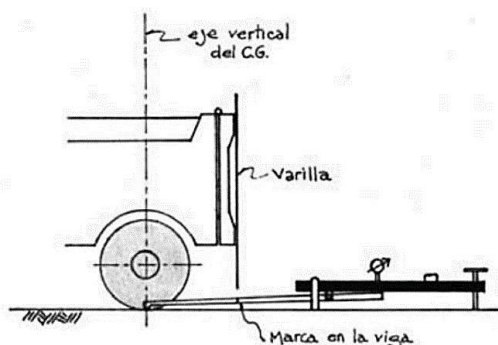


Fuente: Hoffman y Del Águila. (1985). Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.

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

El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión.

Figura 26 Geometría de colocación de la viga Benkelman.



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

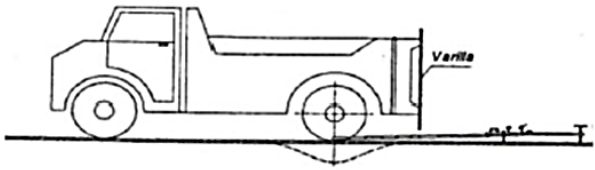
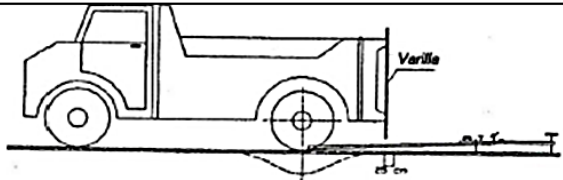
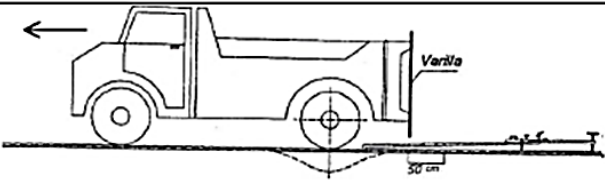
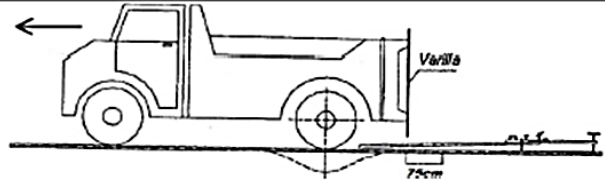
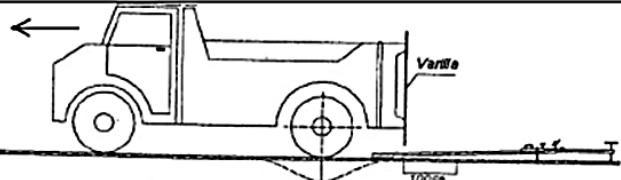
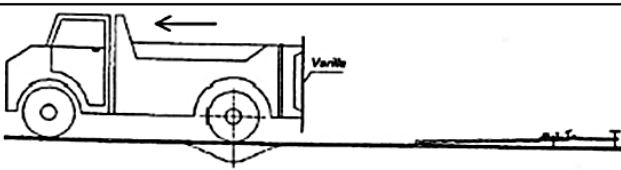
Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm; éstas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad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

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce. Como norma se tendrá que la primera marca “adicional” se realizará a una distancia tal que la medida de su deflexión sea la mitad o esté en un rango de 35 % al 65 % de la deflexión máxima, la segunda marca adicional se tomará al doble de distancia de la primera marca adicional. Ver figura 55.

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1 km/h) se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman

las lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

Figura 27 Procedimiento de medición de deflexión.

POSICIÓN	
INICIAL (Deflexión máxima)	
A 25cm	
A 50cm	
A 75cm	
A 100cm	
FINAL (Deflexión cero)	

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

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y dé aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

2.4.3.1.3 Cálculo de deflexiones.

Cálculo de la deflexión máxima:

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

Donde:

D_o = Deflexión máxima

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

L_o = Lectura inicial

L_f = Lectura final

Deflexión a los 50 cm:

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

Donde:

D_{50} = Deflexión a 50 cm

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

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

L_f = Lectura final

Corrección por temperatura:

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

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

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

Donde:

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

D_t = Deflexión a la temperatura t

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

T = Temperatura del asfalto medida para cada ensayo

E = Espesor de la carpeta asfáltica

2.4.3.1.4 Cálculo del radio de curvatura:

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento durante la aplicación de la carga es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 0.25 m. a partir del punto de máxima deflexión.

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

Donde:

R_c = Radio de curvatura en (m)

D_o = Deflexión máxima

D_{50} = Deflexión a 0.50 m

El comportamiento estructural del pavimento en el tramo “Canaletas – Entre Ríos” se podrá calificar como satisfactorio siempre y cuando cumpla lo siguiente:

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

2.5 Alternativas de Solución

2.5.1 Bacheo superficial con mezcla en caliente

Remoción y deshecho de la carpeta asfáltica deteriorada existente, en áreas reducidas aisladas, re compactación del material de base subyacente y la colocación y compactación de una nueva capa asfáltica en caliente en espesores no mayores a 10 cm, en coincidencia con los niveles de la superficie original.

Propósito

Reparación de daños o defectos superficiales, tales como baches, peladuras, pulido de la superficie, erosión longitudinal de la carpeta, ahuellamientos moderados, protuberancias, áreas con grietas finas, que solo comprometen a la carpeta asfáltica y que no obedecen a diferencia de las capas inferiores del pavimento flexible.

Criterio para la ejecución

Preferentemente antes de la época de lluvias, lo más pronto posible después de que se han desarrollado los desprendimientos y cuando se establezca que su origen no se relacione con deficiencia de las capas inferiores.

Nivel de mantenimiento

Recuperar las condiciones del pavimento para una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía.

Equipo

- Camión volqueta ≤ 8 m
- Compactador neumático o rodillo liso
- Cierre corta pavimentos o martillo rompe asfalto
- Compresor de aire
- Placa vibratoria

Materiales

- Mezcla asfáltica en caliente
- Emulsión asfáltica SS o asfalto diluido RC

Procedimiento

1. Colocar señales preventivas, dispositivos de seguridad que garanticen la seguridad de los trabajadores y el ordenamiento del tránsito vehicular sin riesgo de accidentes.
2. El personal debe contar con los uniformes, casco y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas.
3. Identificar las áreas deterioradas y proceder a delimitar las con pintura dándoles forma rectangular o cuadrada con sus lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada y expeditas 15 cm de la superficie dañada.
4. Demoler la carpeta asfáltica existente en el área demacrada empleando las sierras o los martillos rompe asfaltos comenzando dentro del perímetro demarcado. Las paredes deben quedar parejas y verticales.
5. Remover fragmentos, cargarlos en el camión, transportar los escombros hasta las zonas autorizadas, descargarlos y distribuirlos uniformemente.
6. Regularizar y re compactar con la plancha vibratoria la capa de base expuesta, añadiendo agua uniformemente para incrementar su contenido de humedad de ser necesario, especial atención deberá darse a la compactación de las áreas próximas al perímetro del bache.
7. Las paredes y fondo de la zona del bache, deben limpiarse mediante un barrido enérgico, que elimine todas las partículas sueltas y luego, de preferencia mediante soplado, las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias.
8. Impregnar con asfalto diluido o emulsión la superficie expuesta de la base, así como en los bordes verticales de la carpeta asfáltica existente. El material de imprimación deberá cumplir lo establecido en la sección de la carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente de las ETG 2010, se debe verificar que la emulsión haya alcanzado la rotura o que la imprimación haya penetrado debidamente.
9. Colocar la mezcla asfáltica mediante rastrillos, con el espesor suelto necesario para que una vez compactada quede ligeramente sobre el nivel de la superficie de rodadura (alrededor de 0.3 cm) se deben utilizar de preferencia mezclas asfálticas de tipo CA 60 - 70 o CA 85-100 .su dosificación se deberá ajustar a lo señalado en la sección de la carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente.

10. La compactación se deberá realizar con un rodillo neumático o liso menor o igual a 3 T de peso. alternativamente podrá usarse un rodillo manual, si el espesor de la capa de por compactar es menor de 5 cm. complementar la compactación con placa vibratoria en las esquinas y áreas como que son inaccesibles al rodillo.

11. Verificar que no existan irregularidades de la superficie corregirlas si es preciso agregando mezcla.

12. Recoger todo material suelto que pudiera quedar.

13. Terminar los trabajos, retirar las señales dispositivo de seguridad en forma inversa o cómo fueron colocados.

2.5.2 Bacheo profundo

Remoción y reemplazo del material de base y/o subbase bajo la carpeta asfáltica o su mejoramiento, en áreas relativamente reducidas y aisladas, seguida de la reposición de materiales apropiados y la colocación de una carpeta asfáltica.

Propósito

Corregir daños de los pavimentos flexibles que se originan por insuficiencia de las carpetas inferiores de base y subbase, que ha generado la fatiga y fractura de la carpeta asfáltica, produciendo depresiones y/o baches notorios, ahuellamientos severos, corrugaciones asentamientos, agrietamientos parabólicos, tipo piel de cocodrilo.

Criterio para la ejecución

Preferentemente antes de la época de lluvias, cuando se establezca que su origen es por inestabilidad de las carpetas inferiores, en áreas no mayores a 35 m². mayores extensiones corresponden a rehabilitación.

Nivel de mantenimiento

Preparar las condiciones del pavimento para una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía.

Equipo

- Camión volqueta menor o igual a 8 m³
- Compactador neumático o rodillo liso

- Cierra corta pavimentos o martillo rompe asfálticos
- Compresor de aire
- Placa vibratoria

Materiales

- Material granular de base
- Material granular de subbase
- Emulsión asfáltica CSS o CQS
- Mezcla asfáltica

Procedimiento

1. Colocar señales preventivas, dispositivos de seguridad que garanticen la seguridad de los trabajadores y el ordenamiento del tránsito vehicular sin riesgo de accidentes
2. Remover las capas base y subbase, verificar si parte de estos materiales pueden ser reutilizados mejorándolos con la adición de otros materiales (cemento cal y otros) cargar los materiales no apropiados en el camión y transportarlos hasta las zonas autorizadas.
3. Regularizar y re compactar con la plancha vibratoria la capa de subbase o sub rasante expuesta añadiendo agua uniformemente para incrementar su contenido de humedad de ser necesario, especial atención deberá darse a la compactación en las áreas próximas al perímetro del bache.
4. Colocar el material granular nuevo seleccionado en capas que permitan su compactación adecuada hasta alcanzar el nivel provisto para apoyar la carpeta asfáltica. usar mazos para compactar bordes y esquinas antes de imprimir. los materiales granulares de reemplazo deberán cumplir los requisitos correspondientes establecidos en las secciones de capa sub base granular y capa base con material granular.
5. Las paredes y fondo de la zona del bache, deben limpiarse mediante soplado, las paredes deben quedar firmes y perfectamente limpias.
6. Impregnar con asfalto diluido o emulsión la superficie expuesta de la base, así como en los bordes verticales de la carpeta asfáltica existente. el material de imprimación deberá cumplir los establecidos en las secciones de carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente se debe verificar que la emulsión haya alcanzado la rotura porque la imprimación haya penetrado debidamente.

7. Colocar las mezclas asfálticas mediante rastrillos, con el espesor suelto necesario para que una vez compactada quede ligeramente sobre el nivel de la superficie de rodadura (alrededor de 0.3 cm) se deben utilizar de preferencia mezclas asfálticas de tipo CA 60-70 o CA 85-100.

8. La compactación se deberá realizar con un rodillo neumático o liso o menor o igual a 3 T de peso. alternativamente podrá usarse un rodillo manual, si el espesor de la capa por compactar es menor a 5 cm. complementar la compactación con placa vibratoria en las esquinas y áreas que son inaccesibles al rodillo.

9. Verificar que no existan irregularidades en la superficie y corregirlas si es preciso agregando mezcla.

10. Recoger todo el material suelto que pudiera quedar

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

2.5.3 Sellado de fisuras y grietas

Limpieza, ruteado y subsiguiente sellado de fisuras con productos sellantes altamente, adictivos que mantengan una consistencia elástica que pueda adaptarse a evolventes movimientos y se aplique en condición fluida.

Propósito

Evitar la filtración del agua hacia las carpetas inferiores del pavimento, prevenir la introducción de partículas extrañas que restrinjan los movimientos de dilatación y contracción debidos a cambios de temperatura, retardar la formación de agrietamientos más severos. sello de fisuras continuas sin conexión entre sí, fisuras por contracción, por reflexión, grietas longitudinales en el borde o zona de circulación.

Criterio para la ejecución

Preferentemente antes de la época de lluvias, en pequeñas áreas aisladas no se ejecutará en áreas en las que las grietas formen cuarteaduras interconectadas y/o cuando se ha producido asentamientos apreciables.

Nivel de tratamiento de mantenimiento

Retardar la formación de agrietamientos más severos, la posterior aparición de baches que dificulten una adecuada circulación vehicular.

Equipo

- Camión volqueta menor o igual a 8 m³
- Compactador de rodillo neumático
- Compresor de aire
- Calentador de asfalto
- Distribuidor de arena
- Sierra circular

Material

- Asfalto rebajado RF o emulsión asfáltica CSS o asfalto modificado y/o mezcla asfáltica o sellante
- Arena fina

Procedimiento

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad, se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.
2. Realizar la limpieza de la superficie objeto de trabajo utilizando escobillado y un chorro de aire a presión, limpio y seco (sin aceite ni humedad) generado por un compresor móvil. tanto el espacio formado por la grieta como el área adyacente a la misma deben estar libre de polvo, humedad, arcilla o de cualquier otro material suelto previo a continuar la siguiente operación.
3. Aplicar el material sellante tomando especial cuidado de producir una adherencia efectiva del sellante con las paredes de la fisura y/o grieta para este cometido se deberá tener muy en cuenta la temperatura tanto calentado como de aplicación del sellante, sea éste de base asfáltica y depósito o poliuretánica.
4. Al tender el sellante sobre la grieta, no debe permitirse la formación de charcos o excesos de material siguiente sobre la misma o que fluya por la superficie circundante, debido principalmente a que afecta negativamente la estética de la vía y ocasiona un leve

impacto negativo en la comodidad y la seguridad al disminuir la resistencia al deslizamiento.

5. El mezclado o preparación de las mezclas deberá realizarse por medio de equipos mecánicos adecuados que aseguren productos homogéneos y que sean muy maniobrable y a que es un trabajo que debe hacerse bastante rápido en la carretera.

6. El trabajo deseado solo se debe realizar cuando la temperatura ambiente sea superior a 5 °C e inferior a 30 °C

2.5.4 Reconstrucción de bases y subbases

Escarificar, conformar, nivelar y compactar la base y/o sub base granular existente, con adición de nuevo material conforme con las dimensiones, alineamientos y pendientes establecidos.

Propósito

Eliminar huellas, deformaciones, ondulaciones, erosiones y material suelto en la capa base y/o subbase obteniendo una capa con las características iniciales o mejorando las capacidades de las capas.

Criterios para la ejecución

En las zonas inestables bajo la estructura del pavimento, independientemente de la inestabilidad sea producida por problemas de la capa de rodadura, por saturación del suelo circundante o por contaminación de cualquier naturaleza.

Nivel de tratamiento

Devolver la sustentación estructural original o mejorar para proporcionar el confort y la seguridad necesaria para el usuario.

Equipo

- Camión volqueta menor igual a 8 m³
- Cargador frontal
- Camión tanque de distribuidor de agua
- Motoniveladora con escala edificador
- Compactador rodillo liso vibratorio

- Compactador pata de cabra

Materiales

- Material granular de base
- Material granular de su base

Procedimiento

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad se debe contar con la suficiente señalización para evitar accidentes con los vehículos.
2. El personal de debe contar con los uniformes casco chaleco reflexivos y todos los elementos de seguridad industrial de acuerdo con las normas establecidas.
3. Separar y eliminar el material contaminado el que sea reutilizable al almacenarlo en camellones.
4. Transportar y descargar el material en las cantidades requeridas y/o sitios predeterminados
5. Proceder al mezclado con el material adicionado, efectuar el batido con aplicación de riego de agua de acuerdo al óptimo contenido de humedad determinado, en capas no menores a 10 cm ni mayores a 20 cm, eliminar piedras y fragmentos.
6. Efectuar la conformación de la capa de base utilizando motoniveladora de acuerdo a los niveles establecidos y luego proceder a la compactación, debiendo obtener al final del proceso el espesor establecido, el material y la ejecución deberán cumplir lo establecido en la capa base con material granular capa sub base granular.
7. Retirar el material que no sea reutilizable, fuera de la vía a un depósito de excedentes previamente autorizados de tal forma que no genere impactos negativos en el entorno ambiental.
8. Verificar que la superficie de rodadura haya quedado uniforme de acuerdo a la nivelación efectuada y que la pendiente transversal (bombeo o peralte) sean las determinadas en el diseño. sí es subbase al estar compactada y afinada se le podrá colocar el material de base y si se trata de base la superficie debe quedar lisa para la colocación de capa de rodadura final
9. Imprimir la sección y dejarla curar por 24 horas de acuerdo actividades de riego de imprimación.

10. Al terminar los trabajos retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa o como fueron colocados.

2.5.5 Capa asfáltica de refuerzo

Colocación de una sobre carpeta de mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento flexible existente previo el tratamiento de los daños puntuales presentes y en ocasiones puede incluir el fresado de la carpeta asfáltica antigua y el tratamiento puntual de la capa de base granular.

Propósito

Recuperar las condiciones originales estructurales y superficiales del pavimento deteriorado por las diferentes agentes que influyen en el comportamiento del pavimento y/o se hace necesario incrementar la estructura por efecto del aumento del tránsito.

Criterios para la ejecución

Cuando las condiciones del pavimento aún no han llegado a los límites permisibles de deterioro y el nivel de deterioro impide ejecutar labores de mejoramiento en primer y/o segundo grado.

Nivel de mantenimiento

Recuperar las condiciones estructurales iniciales del pavimento para alcanzar una adecuada circulación vehicular con seguridad comodidad rapidez y economía.

Equipo

- Barreta autopropulsada
- Camión volqueta menor o igual a 8 m³
- Camión distribuidor de asfaltos
- Terminadora autopropulsada
- Compactador rodillo liso vibratorio
- Compactador neumático

Materiales

- Mezcla asfáltica en caliente

- Emoción asfáltica SS

Procedimiento

Se debe considerar la ejecución de trabajos preliminares tales como:

- bacheo asfáltico donde se considere apropiado restablecer las características de soporte del pavimento:

- capa de nivelación superficial para mantener los espesores de la misma capa de rodadura constante.

- fresado de la carpeta de rodadura cuando se considere necesario por las altas irregularidades de la superficie que no pueden ser corregidas con una capa de nivelación y/o bacheo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad se debe contar con las suficientes señalizaciones para evitar accidentes con los vehículos.

2. Preparar la superficie para aplicar el recapado asfáltico haciendo bacheo y sellos de fisuras y grietas si es del caso de acuerdo a las actividades, bacheo superficial, mezcla en caliente, bacheo profundo, sellado de fisuras y grietas, fresado, y efectuar la limpieza de la superficie a recapar haciendo un barrido cuidadoso hasta eliminar toda basura, polvo, barro y otros materiales sueltos en algunos casos a de requerirse el fresado de la carpeta asfáltica existente

3. Verificar que las condiciones climáticas de acuerdo a lo establecido en la sección carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente.

4. Aplicar el riego de Liga en proporciones que podrán variar desde 0.4 a 1.0 L/m². las características del material temperatura de aplicación y ejecución deberán cumplir lo establecido en la sección de carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente.

5. Ejecutar la colocación de la carpeta asfáltico de refuerzo con la terminadora autopropulsada y luego compactar la mezcla extendidas con cilindro vibratorio, operaciones que deberán ser realizadas de acuerdo cómo lo establecido en la sección mezclado en caliente.

6. Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos no deberán afectar en forma alguna otras áreas del pavimento de las bermas y demás elementos de la vía no incluidos en el trabajo.

7. Hacer la limpieza general del sitio de trabajo y los materiales extendidos o sobrantes deberán trasladarse a los depósitos excedentes autorizados por la supervisión

8. Al terminar los trabajos retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa o como fueron colocados.

2.5.6 Fresado superficial de pavimento asfáltico

Obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas y el transporte del material resultante del mismo.

Propósito

Recuperar las condiciones superficiales iniciales de un pavimento deteriorado por la acción del tráfico, deficiente construcción o inadecuado mantenimiento, para recibir un recapado con mezcla asfáltica o para mejorar la rugosidad del pavimento.

Criterio para la ejecución

Cuando las condiciones del pavimento aún no han llegado a los límites permisibles de deterioro y el nivel de deterioro impide ejecutar labores de mejoramiento en 1er y 2do grado.

Nivel de mantenimiento

Recuperar las condiciones superficiales para alcanzar una adecuada circulación vehicular con seguridad, comodidad, rapidez y economía.

Equipo

- Barredora autopropulsada
- Fresador autopropulsado w100
- Camión volqueta mayor o igual a 8 m³
- Camión tanque distribuidor de agua

Procedimiento

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad se debe contar con las suficientes señalizaciones para evitar accidentes con los vehículos.
2. Preparar la superficie haciendo un barrido cuidadoso para eliminar toda basura, polvo, barro y otros materiales sueltos.
3. El fresado se efectuará sobre el área y espesor establecido, paralelamente al eje de la carretera, cuidando de que el camión cisterna tenga la capacidad suficiente para proveer agua a la fresadora, minimizando las paradas del equipo.
4. El trabajo de fresado se podrá realizar en varias capas, hasta alcanzar el espesor determinado debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas. En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales, en sentido longitudinal y transversal, cuya altura supere 5 cm, se deberán suavizar de manera que no implique peligro para el tránsito automotor.
5. Los procedimientos que se utilicen en estos trabajos no deberán afectar en forma alguna otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos de la vía no incluidos en el trabajo.

2.5.7 Refuerzo de concreto asfáltico

Previo a la colocación del refuerzo deben hacerse estas tareas:

- Reparación de áreas deterioradas y mejoramiento del drenaje.
- Corrección del ahuellamiento superficial por fresado de la capa superficial o colocación de una capa de nivelación.
- Ensanche, si está previsto.
- Aplicación del riego de liga.
- Colocación del refuerzo de concreto asfáltico (incluyendo tratamiento de control de fisuras si fuera necesario).

Cuando se coloca una sobrecarpeta para mejoras estructurales, el espesor a determinar depende de la capacidad estructural requerida para cubrir las demandas futuras de tráfico y el aporte que hace el pavimento existente. La ecuación de diseño para sobrecarpeta es:

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{ef})}{a_{ol}}$$

Donde:

SN_f = Estructural para tráfico futuro

SN_{ef} = Número Estructural efectivo

a_{ol} = Coeficiente estructural del refuerzo.

Determinación del SN_f requerido para el tránsito futuro

El Número Estructural requerido (SN_f) se calcula utilizando los conceptos de diseño para pavimento nuevo. A continuación, se discuten cada una de las variables tomando en cuenta la adopción de valores medios para el diseño de una sobrecarpeta sobre un pavimento de sección uniforme.

Índice de pérdida de serviciabilidad (Δ PSI)

Serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento.

El estado de serviciabilidad se evalúa continuamente con un número entre 0 y 5, por lo general se parte de un valor inicial de 4.0 a 4.2 (estado bueno de vía) y se tiene un valor entre 1.5 y 2.5 para la falla funcional del pavimento.

Tabla 7 Índice de serviciabilidad final.

Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopista	2.5 - 3.0
carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
pavimento urbano industrial	1.5 - 2.0
pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Fuente: Norma Aashto 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

Confiabilidad (R).

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitaciones de carga e intemperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles.

Tabla 8 Nivel de confiabilidad

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopista y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.9	75.0 - 95.0
colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80

Fuente: Norma Aashto 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

R (%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99.99
Zr	0.000	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.555	-1.645	-2.054	-3.750

Error normal combinado

Tabla 9 Error normal combinado.

Proyecto de pavimento	So	
	Flexible	Rígido
	0.40 - 0.50	0.30 - 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

Determinación de W18

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log M_r - 8.07$$

Donde:

W_{18} = Tráfico equivalente o ESAL's.

Z_R = Factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar.

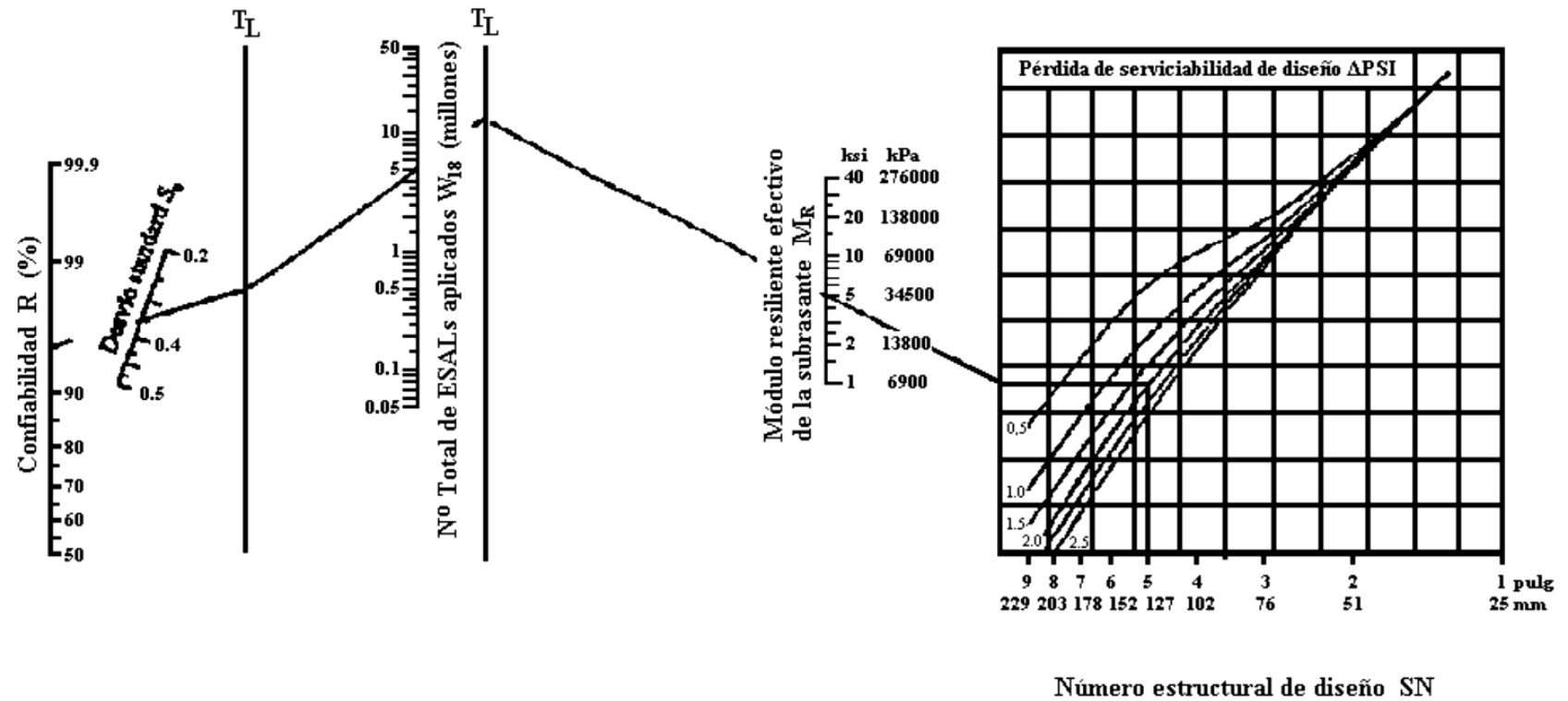
ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado.

M_R = Módulo de resiliencia efectivo de la Subrasante.

SN = Número estructural.

También se determina SN a través de ábacos, que es mucho más rápido, pero menos preciso.

figura 28 Abaco diseño de número estructural.



Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

- **Determinación del número estructural efectivo (SN_{ef})**

El número estructural efectivo que proporciona la estructura de pavimento está dado por la siguiente ecuación:

$$SN_{ef} = a_1 * h_1 + a_2 * m_2 * h_2 + a_3 * m_3 * h_3$$

Donde:

SN_{ef} = Numero estructural efectivo del pavimento

a_1, a_2, a_3 = Coeficientes estructurales de capa asfáltica, base y sub-base

h_1, h_2, h_3 = Espesores de capa asfáltica, base y sub-base, en pulg.

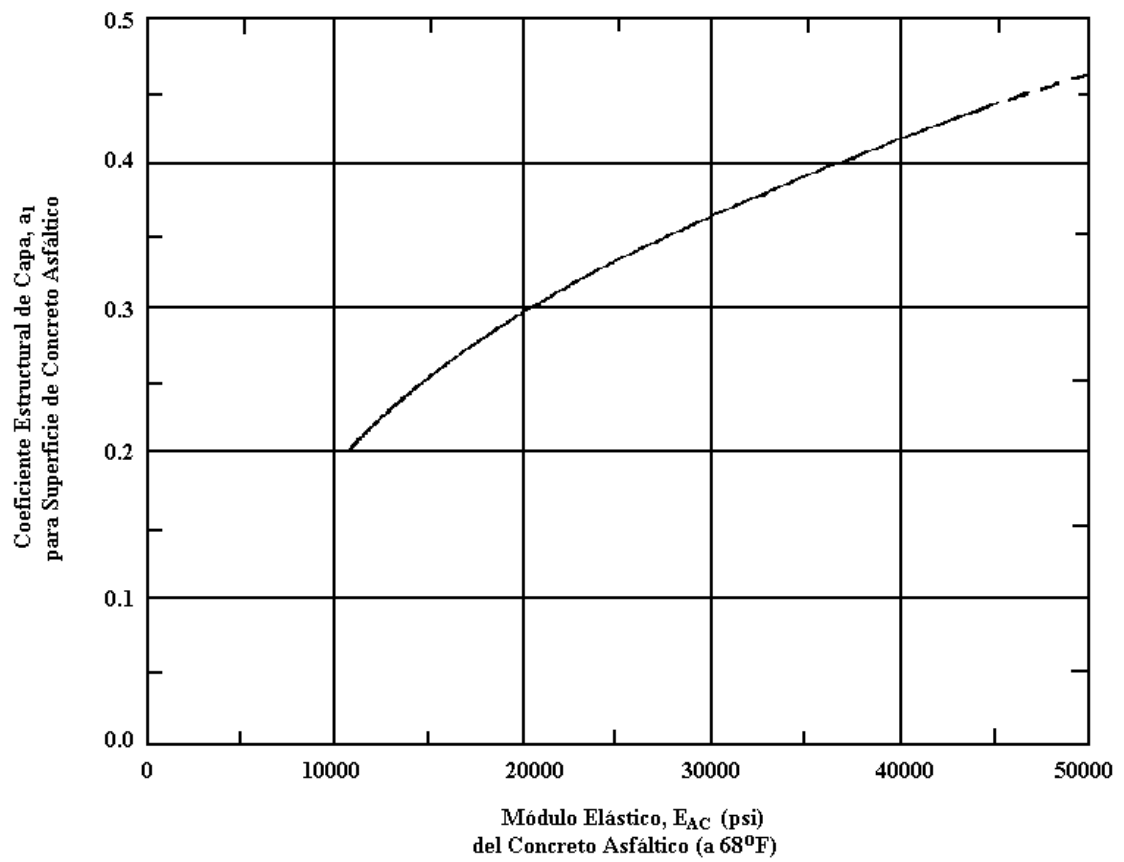
m_2, m_3 = Coeficientes de drenaje de base y sub-base

Coeficientes estructurales

Los coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica (a_1), de la capa base (a_2) y de la sub-base (a_3), se obtendrá a partir utilizando los valores del módulo de resiliencia mediante los ábacos correspondientes a cada una de ellas.

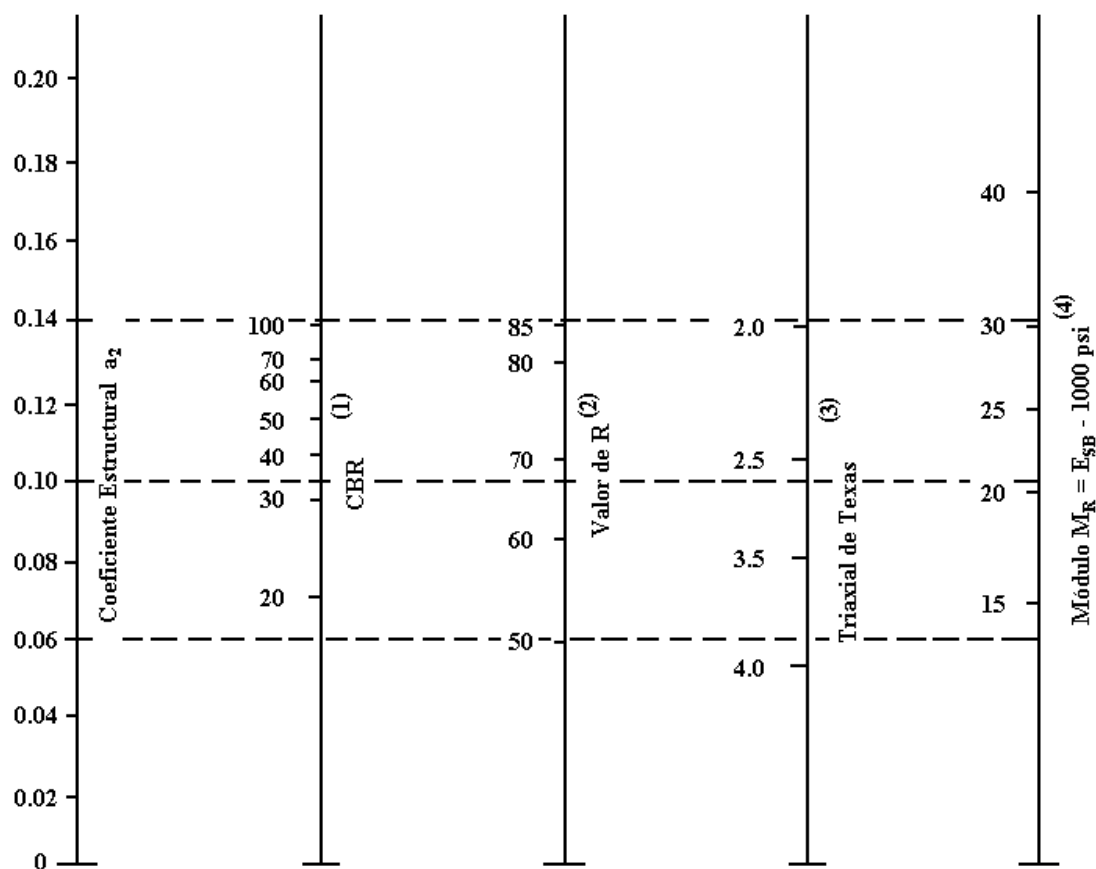
Los coeficientes de capa a_1, a_2 y a_3 se obtienen utilizando las correlaciones de valores de diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Resiliente, Texas Triaxial, Valor R y CBR, tal como se muestra en las siguientes figuras:

figura 29 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a₁”.



Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

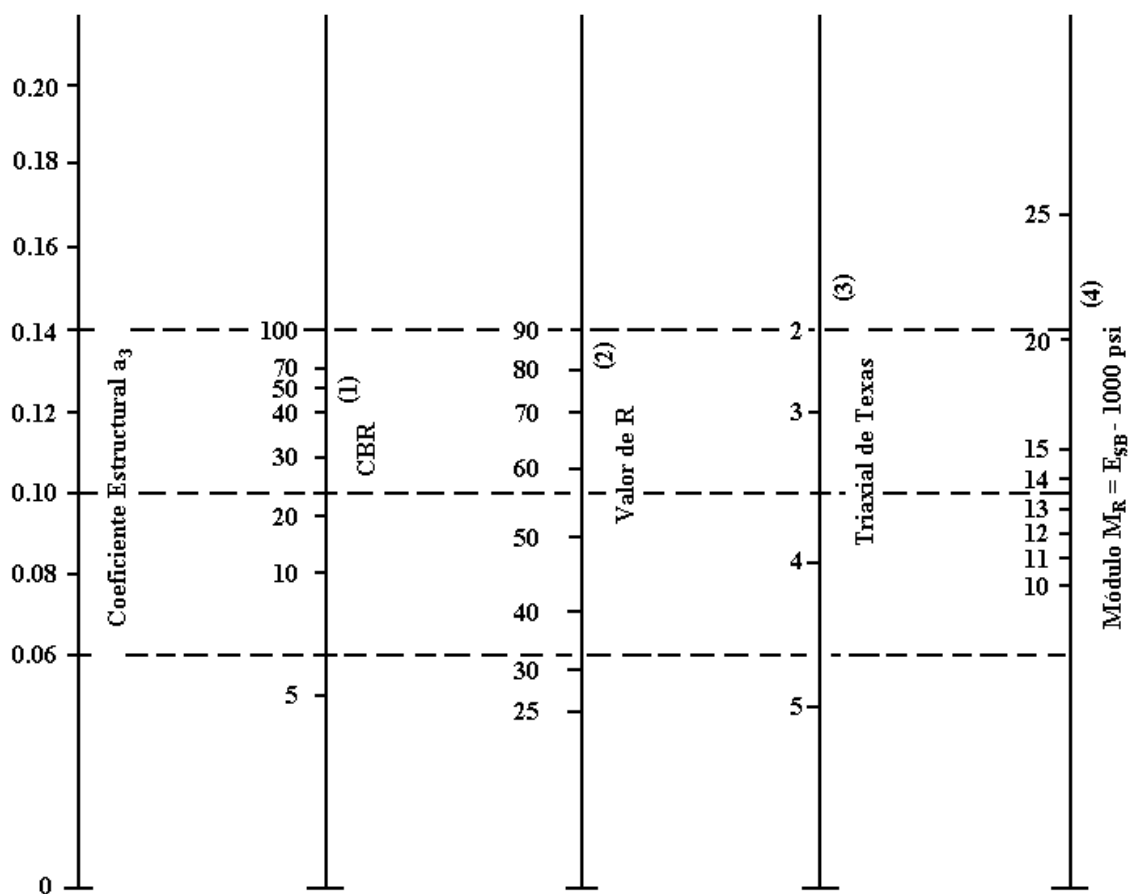
figura 30 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a₂”.



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
 (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
 (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
 (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

figura 31 Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular “a₃”.



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.
- (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.
- (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.
- (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

Coeficiente de drenaje.

El coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10 Tiempos de drenaje

Calidad de drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada 50 %
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

De acuerdo a las capacidades de drenaje la AASHTO establece los factores de corrección m_2 (bases) y m_3 (sub-bases granulares sin estabilizar), para pavimentos flexibles, los cuales están dados, en función del porcentaje de tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 11 Coeficientes de drenaje

Capacidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad proximos a la saturacion			
	Menos del 1 %	1 a 5 %	5 a 25 %	Mas del 25 %
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

2.6 Marco normativo

Dentro de las normas a basarse, considerar la norma AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), para guía del procedimiento. Se tomará en cuenta los manuales denominados “Manual de Diseño de Conservación Vial - Volumen 5” “Manual de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción - Volumen 7” y “Manual de Ensayos de Suelos y Materiales*Asfaltos - Volumen 4” de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

- Para el procedimiento de evaluación del IRI (Índice de Rugosidad Internacional) se empleó la norma IRI (ASTM -95).
- Para el procedimiento de evaluación del PCI (Índice de Condición de Pavimentos) se empleó la norma ASTM D6433-03.
- Para el procedimiento de evaluación del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) se empleó la norma AASHTO,1993.
- Para el procedimiento de la viga Benkelman se empleó la norma ASTM D-4695.

2.7 Marco referencial

- ✓ Tesis “Evaluación Superficial y Estructural tramo Tomatitas – La Victoria” (Sivila Gisela, 2017) Tarija – Bolivia. Tiene como objetivo principal realizar la evaluación superficial y estructural del tramo “Tomatitas – La Victoria”, para plantear alternativas de solución para un mantenimiento adecuado. Se tomaron conceptos y referencias bibliográficas para aportar a este trabajo.
- ✓ Tesis “Evaluación superficial y estructural del estado del pavimento (Subia Loida,2021) Tarija – Bolivia. Que tiene como objetivo determinar la condición del pavimento flexible aplicando métodos superficiales y estructurales, se ha tomado como referencia para concepto del marco teórico para la parte superficial y estructural del presente trabajo.
- ✓ Determinación del índice de serviciabilidad y capacidad resistente. Caso práctico: pavimentos en Azángaro, Puno, Perú. Se ha tomado de este trabajo conceptos y ecuaciones que van a ayudar a la determinación del PSI (Índice de Serviciabilidad del Pavimento).

- ✓ Tesis “Alternativas de diseño de refuerzo para el pavimento Canaletas – Entre Ríos” (Cuevas Norman, 2016) Tarija – Bolivia. Tiene como objetivo realizar el diseño de alternativas de refuerzo para la estructura del pavimento flexible Canaletas – Entre Ríos y otorgar soluciones para la conservación y rehabilitación de los mismos. Se tomó de este trabajo, como referencia los valores de CBR para calcular el espesor de la nueva capa de concreto asfáltico que se planteó como alternativa de solución en este trabajo.

2.8 Posición del autor respecto de los marcos seleccionados

Los marcos descritos son seleccionados por el investigador porque están relacionados con el tema de la investigación para dar la conceptualización y definición de la teoría y práctica de manera más precisa y corta posible, rescatando todo lo más relevante de cada referencia, esto ayuda a que sea lo más entendible tanto para el autor como para el lector de este trabajo.

Los marcos seleccionados aportan al trabajo de investigación a tener claros los conceptos y pasos a seguir para desarrollar el tema, tanto en la teoría como en la práctica.

El tema de investigación desarrollado está basado en la evaluación de pavimentos flexibles por lo que los marcos seleccionados están enfocados concretamente al tema de acuerdo a los métodos seleccionados, tomando en cuenta las normas y manuales en las que se rige la evaluación.

CAPITULO III

**APLICACIÓN PRACTICA DE LA
EVALUACION SUPERFICIAL Y
ESTRUCTURAL EN EL TRAMO
CANALETAS – ENTRE RIOS**

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRACTICA DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y

ESTRUCTURAL EN EL TRAMO CANALETAS – ENTRE RÍOS

3.1 Ubicación

El tramo Canaletas – Entre Ríos se encuentra ubicado en la provincia O'Connor del departamento de Tarija, Entre ríos queda a una distancia de 108 km de la ciudad de Tarija, para llegar a nuestra área de estudio se debe tomar la ruta principal al chaco hasta llegar a Canaletas el cual se encuentra a una latitud de $21^{\circ}41'67''$ y una longitud de $64^{\circ}36'67''$. Nuestra progresiva 0+000 comienza después de cruzar el puente de Canaletas, hasta el puente Salinas que queda en el municipio de Entre Ríos que se encuentra ubicado entre las coordenadas $21^{\circ}31'7.63''$ de latitud sur y de $64^{\circ}10'27.40''$.

El asfaltado tuvo un costo de 48 millones de dólares, obra que fue realizada a cargo de Empresas Unidas integrada por 6 empresas capitaneada por la empresa ERIKA, ejecutada por la Gobernación de Tarija. Sobre las características técnicas, se trata de un asfaltado con carpeta de espesor de 5 centímetros y una longitud de 21 kilómetros, que hacen a la conformación de un paquete estructural con capa subrasante, subbase y base.

Figura 32 Mapa político del departamento de Tarija.



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

Figura 33 Inicio del tramo del proyecto.



Fuente: *Elaboración propia.*

Coordenadas del inicio del tramo Puente Canaletas:

Coordenadas Geodésicas:

- 21°27'21.84"S
- 64°19'53.98"O

Coordenadas UTM:

- 362017.65 m E
- 7626790.25 m S

Altitud: 2054 m

Figura 34 Fin del tramo del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Coordenadas finales del tramo Puente Salinas (Entre Ríos)

Coordenadas Geodésicas:

- $21^{\circ}31'7.63''\text{S}$
- $64^{\circ}10'27.40''\text{O}$

Coordenadas UTM:

- 378379.00 m E
- 7619981.00 m S

Altitud: 1223 m

3.1.1 Características del tramo en estudio

Originalmente esta carretera fue construida con un tratamiento superficial doble (TSD) en la calzada y los accesos a los puentes fueron construidos con carpeta asfáltica, cuyas bermas en algunos sectores estaban protegidas por tratamiento superficial simple (TSS), imprimación simple y algunos sectores solo recubiertos con material natural o tierra vegetal, pero muchos de estos tramos fueron mejorados.

Carretera de dos carriles con ancho de pavimento flexible de 7.30 m. y bermas granulares revestidas de 0.85 m. a 1.85 m, de 20 cm. de espesor. Un espesor de la carpeta asfáltica de 5cm.

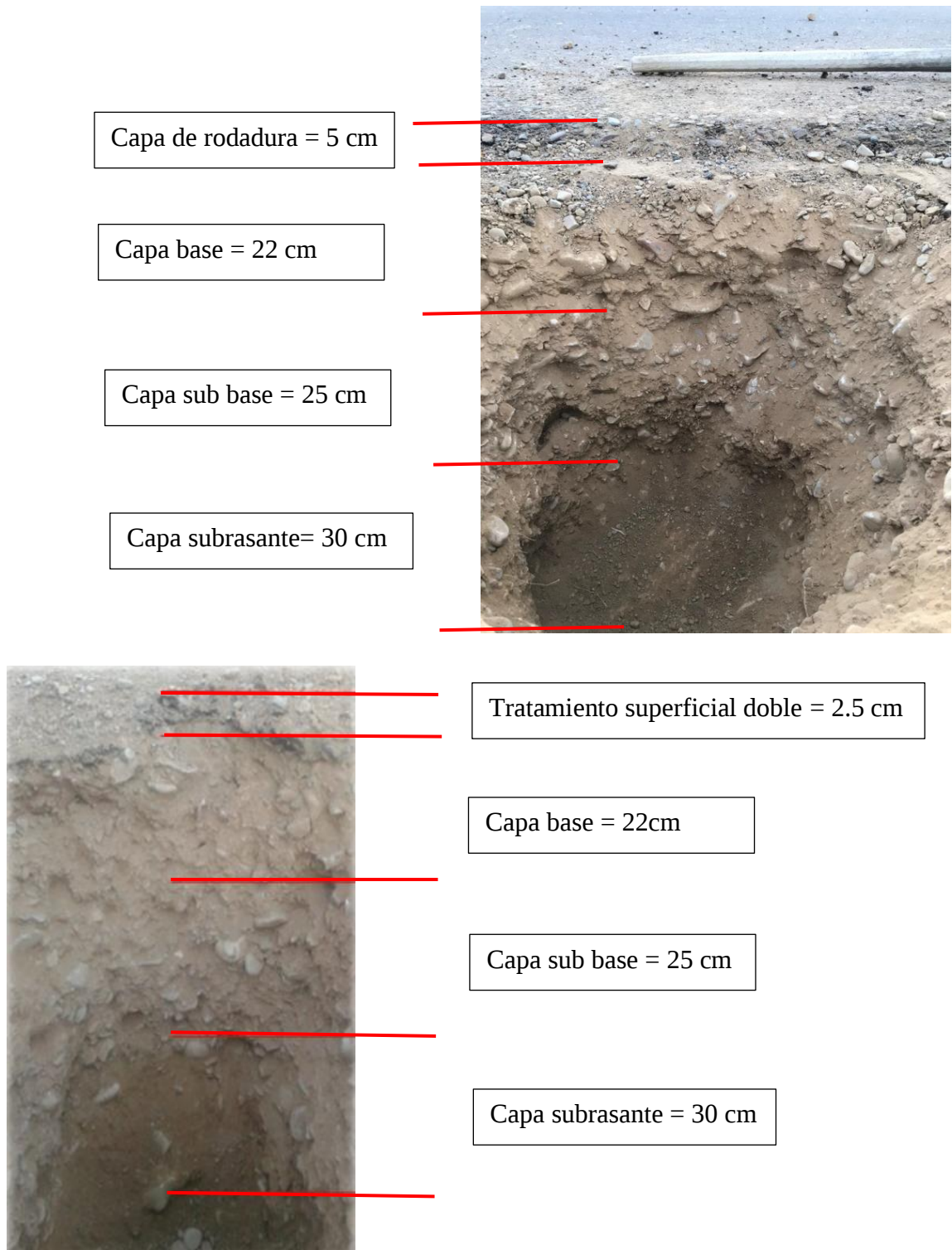
Tabla 12 Paquete estructural del tramo.

Tramo	Espesor de la carpeta asfáltica	Espesor de la capa base	Espesor de la capa subbase	Espesor de la subrasante
Canaletas - Entre Ríos	5 cm	22 cm	25 cm	30 cm

Fuente: Proyecto TESA Canaletas – Entre Ríos.

Para verificar la conformación del paquete estructural y así poder realizar los ensayos necesarios para la evaluación superficial y estructural, se realizó una excavación en la progresiva 5+300 con lo cual se pudo observar las profundidades de la capa sub base, capa base y capa de rodadura.

Figura 35 *Espesor del paquete estructural.*



Fuente: *Elaboración propia*

3.2 Evaluación superficial del tramo

Se detallará la metodología aplicada para la evaluación superficial en el caso particular del tramo “Canaletas – Entre Ríos”, siguiendo los lineamientos definidos por los métodos PCI, PSI, e IRI.

3.2.1 Procedimiento de aplicación del método PCI.

Permitirá conocer el estado de la superficie del tramo, este método al ser moroso y requerir mucho tiempo para realizarlo y tomando en cuenta que el tramo cuenta con 21.00 km, se recurrirá a un procedimiento de evaluación, de acuerdo con la norma ASTM D 6433–03.

3.2.1.1 Unidades de muestreo:

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En la tabla 9 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 13 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3 (Máximo)	31.5

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

Longitud del tramo “Canaletas – Entre Ríos” = 21 km

El ancho de calzada del tramo = 7.3 m

se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestreo de 31.5 m

$$N = \frac{\text{Longitud del tramo}}{\text{longitud de la unidad de muestreo}}$$

$$N = \frac{21000 \text{ m}}{31.5 \text{ m}} = 666.67 = 667 \text{ unidades de muestreo}$$

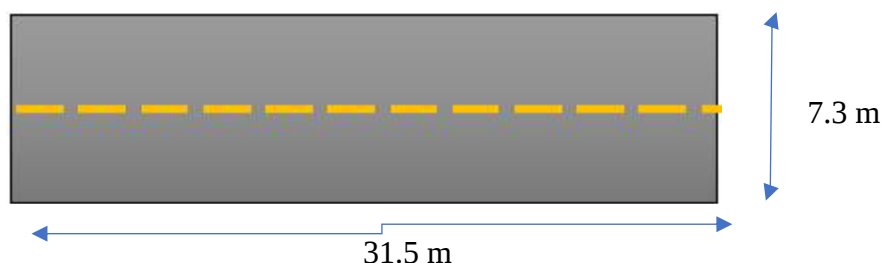
*Area unidad de muestreo = ancho de calzada * long. de la unidad de muestreo*

$$\text{Area de unidad de muestreo} = 7.30 \text{ m} * 31.5 \text{ m}$$

$$\text{Area de unidad de muestreo} = 230 \text{ m}^2$$

por tanto, se tiene 667 unidades de muestreo y cada unidad de muestreo tiene un área de 230 m² que están dentro del rango establecido en el PCI.

Figura 36 Sección en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.

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

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

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

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

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

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 96 % y un error admisible de 4 %.

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

$$n = \frac{667 * 10^2}{\frac{4^2}{4} * (667 - 1) + 10^2} = 24.13 = \mathbf{24 \text{ muestras}}$$

Selección de las unidades de muestreo para la inspección.

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

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

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

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible

n= Número mínimo de unidades para evaluar

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

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

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

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

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

$$i = \frac{667}{24} = 27.79 = \mathbf{27}$$

Con el intervalo (i) igual a 31, se procederá a identificar la unidad de muestra inicial que será el número 1, luego se inspeccionaran las siguientes unidades de muestra cómo se mencionó anteriormente sumando la inicial más el intervalo de muestreo (1+3; 4+3; 7+3, etc.) hasta realizar todas las unidades de muestreo necesarias.

3.2.1.2 Procedimiento de cálculo

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

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

A continuación, se realizará el cálculo paso a paso de la unidad de muestra número 1 para facilitar el entendimiento del método del PCI.

Primero deben totalizarse cada tipo, severidad y cantidad de daños que presente la unidad de muestra que está siendo inspeccionada y se debe anotar estos datos en la planilla de registro.

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

Tabla 14 Hoja de registro de fallas por el método PCI.

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)			
Hoja de registro			
Nombre de la vía:	Canaletas - Entre Ríos		Esquema:
Ejecutor:	Sirlen Meri Prieto Cabello		
Sección:	0+031.5		
Fecha:	01/11/2022		
Área (m²):	230		
Unidad de muestra: 1			
Fallas	unidad de medida	Fallas	Unidad de medida
1. Piel de cocodrilo	m²	11. Parches	m²
2. Exudación	m²	12. Agregado pulido	m²
3. Fisuras en bloque	m²	13. Huecos	#
4. Abultamientos y hundimientos	m²	14. Ahuellamientos	m²
5. Corrugación	m²	15. Desplazamiento	m²
6. Depresión	m²	16. Fisura parabólica	m²
7. Fisura de borde	m	17. Hinchamiento	m²
8. Fisura de reflexión de junta	m	18. Desprendimiento de agregados	m²
9. Desnivel carril - berma	m	19. Cruce de puentes	m²
10. Fisuras longitudinales y transversales	m		

Datos

FALLA	CANTIDAD											TOTAL
1	0.8	1.23	3.84	1.35	5.71	1.05	2.25	0.92	4.46	0.8	4.4	26.81
2	0.24	0.5	0.86	0.39								1.99
4	0.7											0.7
10	0.65	2.4	3.5	1.33								7.88
11	0.2	0.94	0.23	0.41								1.78
13	6											6

Cálculos

Falla	Severidad	Cantidad total de fallas	Densidad	Valor deducido
1	L	26.81	11.66	33
2	L	1.99	0.87	0
4	L	0.7	0.30	0
10	L	7.88	3.43	0
11	L	1.78	0.77	1
13	L	6	2.61	32

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la densidad de cada falla, se debe dividir el área de cada falla para cada tipo y severidad entre el área total de la unidad de muestra que se está evaluando y se multiplica por 100 ya que esta densidad se la expresa en porcentaje (%).

Se calculará para la muestra 1 donde se tiene 1L (Piel de cocodrilo de baja severidad), 2L (Exudación de baja severidad), 4L (Abultamientos y Hundimientos de baja severidad), 10L (fisuras longitudinales y transversales de baja severidad), 11L (parches de baja severidad), 13L (Huecos de baja severidad).

Cálculo de la densidad:

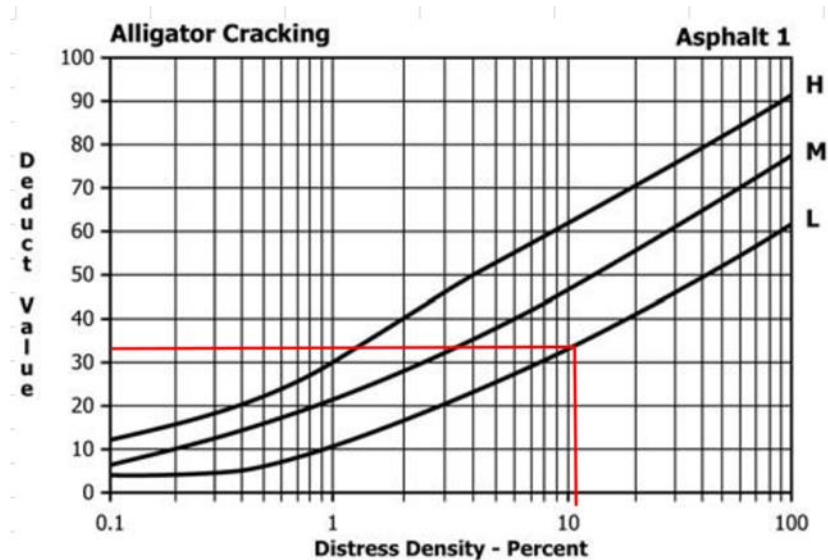
$$D = \frac{\text{Area de la falla}}{\text{Area unidad de muestra}} * 100$$

$$D = \frac{26.81 \text{ m}^2}{230 \text{ m}^2} * 100$$

$$D = 11.66 \%$$

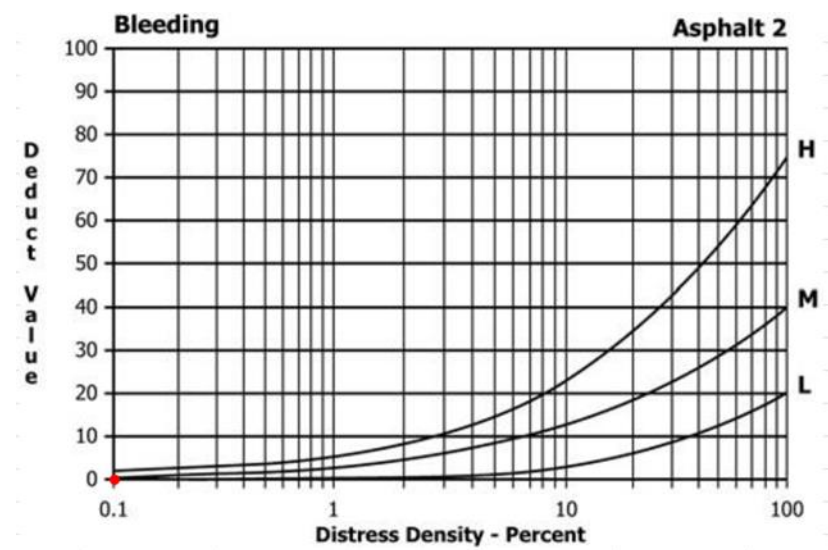
Para el cálculo de valor deducido se usan curvas como también tablas denominadas “valores deducidos” que se muestran a continuación, que están en función a la densidad y a la severidad de cada falla.

Figura 37 Curva de valor deducido de fisura Piel de cocodrilo.



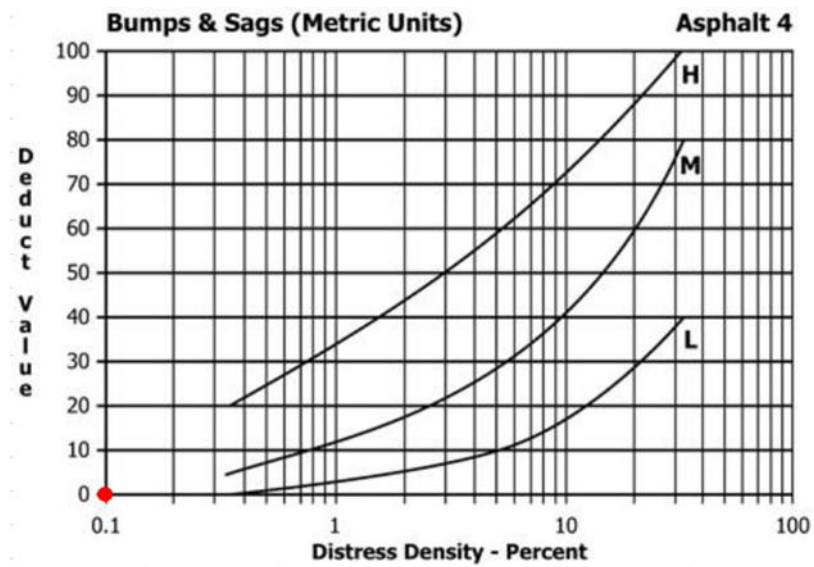
Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Figura 38 Curva de valor deducido de fisura Exudación.



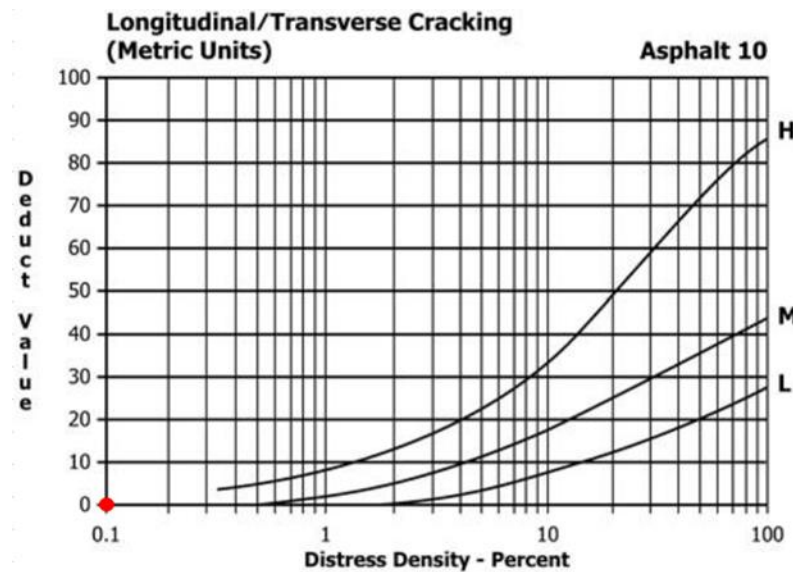
Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Figura 39 Curva de valor deducido de fisura Abultamientos y Hundimientos.



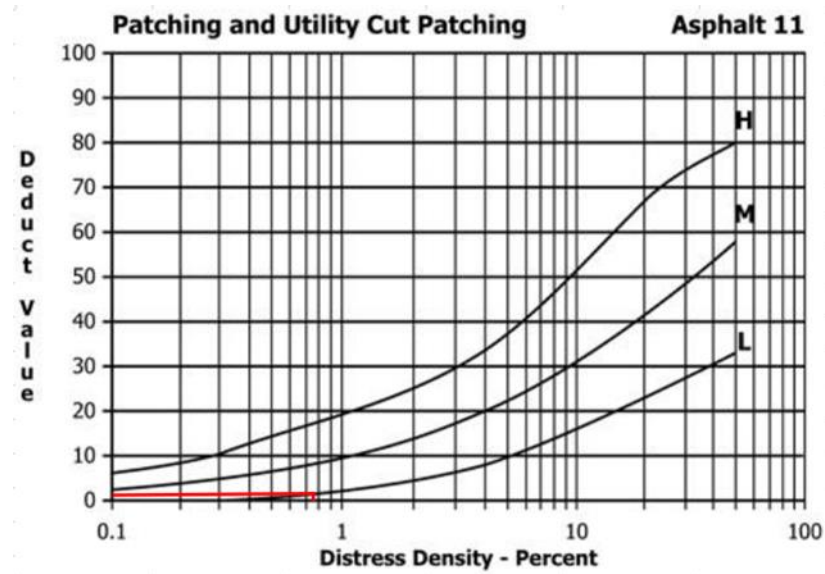
Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Figura 40 Curva de valor deducido de fisura longitudinales y transversales.



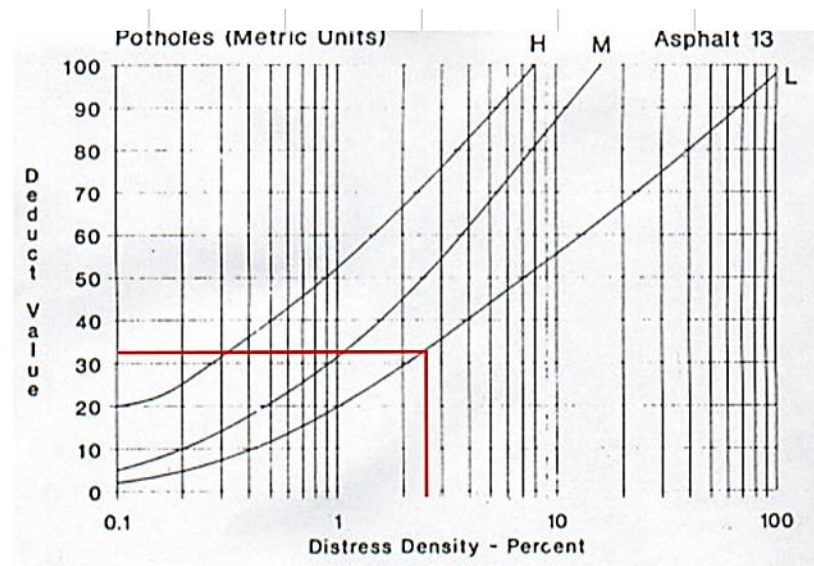
Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Figura 41 Curva de valor deducido de fisura Parches.



Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Figura 42 Curva de valor deducido de fisura Huecos.

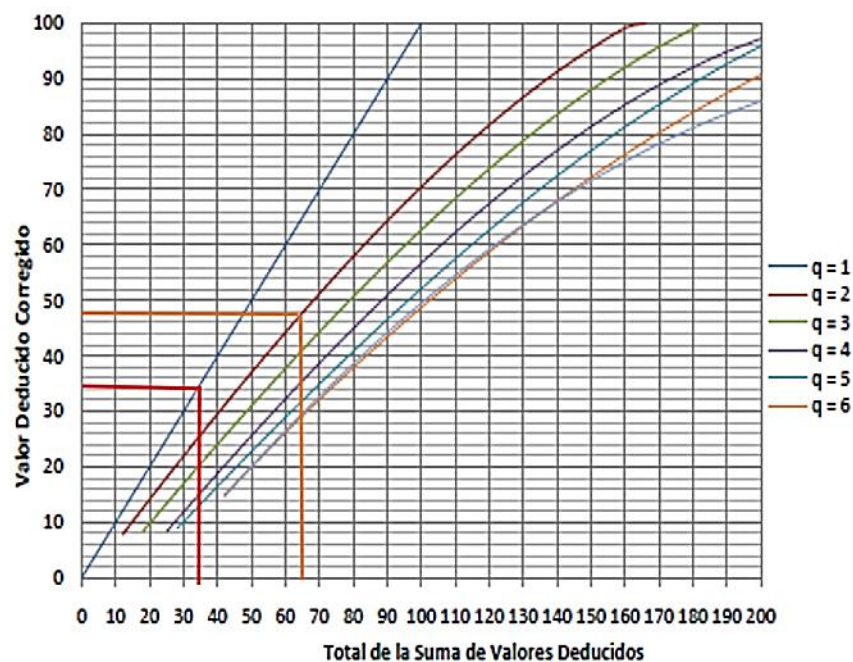


Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del mayor “valor deducido corregido”, CDV.

Figura 43 Curva para valor deducido corregido.

Grafico para determinar los CDV.



Fuente: Norma ASTM D6433-03.

Y por último el cálculo del PCI que es la resta de 100 menos el máximo valor deducido corregido y se clasifica según los rangos de clasificación.

Tabla 15 Rangos de calificación del PCI.

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

Fuente: Norma ASTM D6433-03.

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

NUMERO DE DEDUCIDOS MAYORES A DOS	2
VALOR DEDUCIDO MAS ALTO	33

VALORES DEDUCIDOS MAYORES A 2

				Total	q	CDV
33	32			65	2	48
33	2			35	1	34

VALOR MAXIMO DE CDV	48
---------------------	----

$$PCI = 100 - 48 = 52 \text{ *REGULAR*}$$

3.2.2 Procedimiento de aplicación del método IRI.

Se determinará la rugosidad del pavimento mediante el rugosímetro Merlín, tomando en cuenta la longitud del tramo y el tiempo que se emplea en realizar el levantamiento de datos con el Merlín, se seleccionará tramos de 400 m longitud por cada km del tramo, llegando así a 20 unidades de muestras tomadas con el merlín en el carril derecho de ida y 20 en el carril izquierdo de vuelta.

Las observaciones se realizarán estacionando el equipo a intervalos regulares, cada 2m. de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLÍN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realizara al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, llegando a las 200 observaciones.

Figura 44 Planilla para levantamiento de datos con Merlín.

**EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO
INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (I.R.I)
RUEDA DE MERLIN**

Tramo:

Progresiva:

a

Sentido:

Datos de campo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Procedimiento de cálculo

A continuación, se realizará el procedimiento de cálculo de una de las secciones con el método IRI con la rueda de Merlín para determinar rugosidades:

Tramo: Canaletas - Entre Rios

Progresiva: 0 + 000 **a** 0 + 400 **Sentido:** Ida

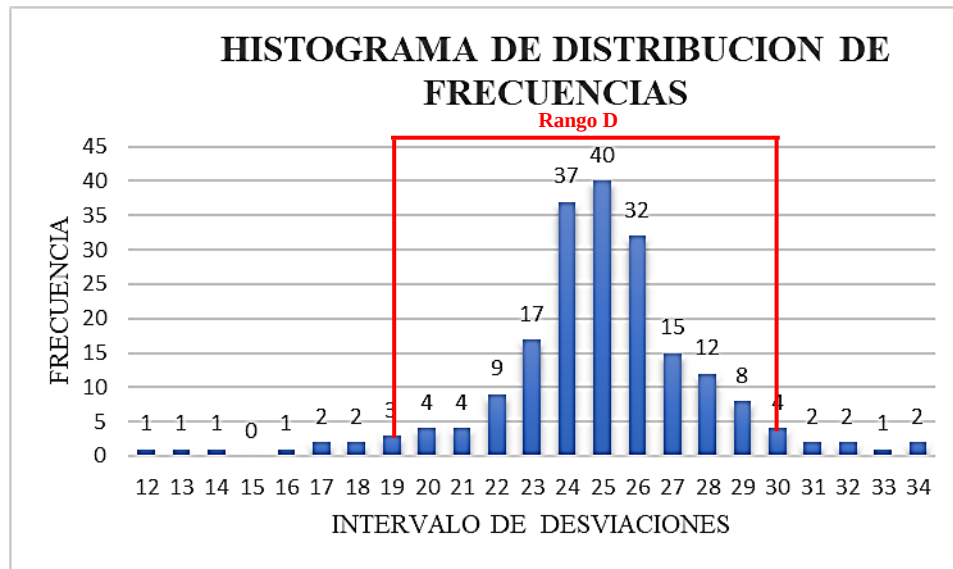
Tabla 16 Datos de campo obtenidos con el rugosímetro de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	24	24	26	25	24	25	18	29	26
2	26	25	25	27	25	24	28	26	26	25
3	27	24	30	25	24	28	24	29	27	26
4	28	23	28	24	26	26	27	28	26	27
5	20	22	25	23	23	25	27	12	24	25
6	24	17	24	27	24	24	29	27	30	24
7	31	20	24	26	23	25	26	23	25	23
8	19	28	24	29	26	24	26	24	22	26
9	22	24	26	22	23	25	25	25	26	26
10	25	27	25	22	25	26	26	29	25	23
11	27	20	24	25	23	27	23	16	26	22
12	18	23	25	25	24	25	27	34	25	22
13	19	28	24	26	23	26	26	28	25	25
14	25	20	24	29	24	26	28	28	26	25
15	28	32	22	24	23	28	34	25	24	21
16	14	32	29	25	26	24	33	26	26	24
17	31	30	27	24	22	24	23	23	26	21
18	23	27	25	25	24	29	26	26	25	24
19	13	25	25	26	24	30	27	21	24	25
20	21	25	24	25	23	19	17	25	24	24

Fuente: Elaboración propia.

Se depura el 5% de cada lado de los datos de la distribución de frecuencias y se determina el rango D.

Gráfica 1 Distribución de frecuencias.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(3 - 2)}{3} + 10 + \frac{(4 - 3)}{4} \right) * 1(mm) * 5 = 52.92 (mm)$$

a) Cuando $2.4 < IRI < 15.9$ $IRI = 0.593 + 0.0471 * D$

b) Cuando $IRI < 2.4$ $IRI = 0.0485 * D$

IRI = 3.09 m/km (Bueno)

Tramo: Canaletas - Entre Rios

Progresiva: 0 + 000

a 0 + 400

Sentido: Vuelta

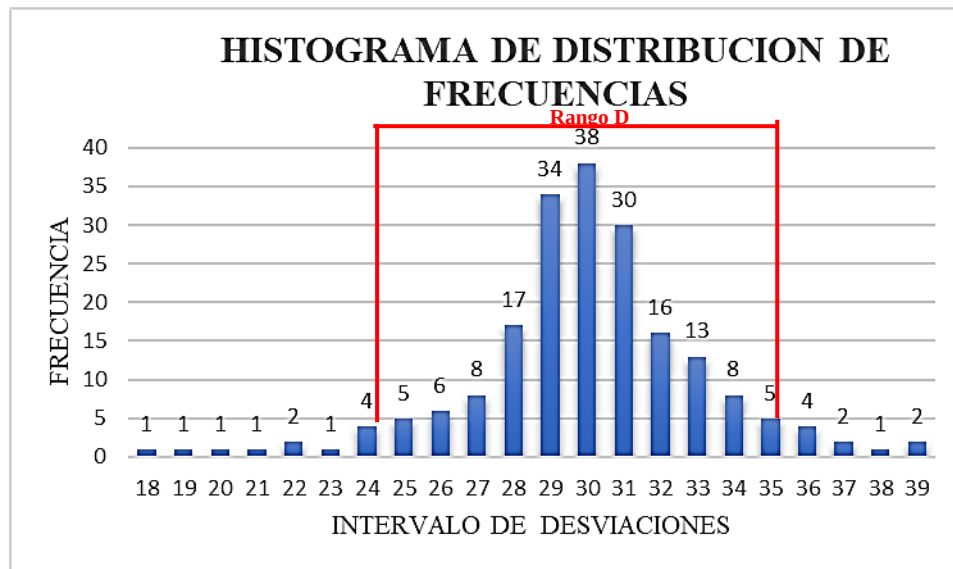
Datos de Campo

Tabla 17 Datos de campo obtenidos con el rugosímetro de Merlín.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	29	30	31	30	29	31	26	34	31
2	31	30	30	32	30	29	33	31	31	30
3	32	29	35	30	29	33	30	34	32	31
4	33	28	33	29	31	31	32	33	31	32
5	25	27	30	28	28	30	32	20	29	35
6	29	22	29	32	33	29	34	32	35	29
7	36	25	29	31	28	30	32	28	30	28
8	24	33	29	34	31	29	31	29	27	31
9	27	29	31	27	28	30	30	36	31	31
10	30	32	30	27	30	31	32	34	30	28
11	32	25	29	30	28	32	28	21	31	27
12	23	28	30	30	29	30	36	39	30	27
13	24	33	29	31	28	31	26	33	30	30
14	30	25	29	34	29	31	33	33	31	30
15	33	37	27	29	28	33	39	30	29	26
16	19	37	34	30	31	29	38	31	31	29
17	36	35	32	29	24	29	28	28	31	26
18	28	32	30	30	29	34	31	31	30	29
19	18	30	30	31	29	35	32	26	29	30
20	26	30	29	30	28	24	22	30	29	29

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2 Distribución de frecuencias.



Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del rango D:

$$D = \left(\frac{(4 - 3)}{4} + 10 + \frac{(5 - 1)}{5} \right) * 1(mm) * 5 = 55.25 (mm)$$

a) Cuando $2.4 < IRI < 15.9$ $IRI = 0.593 + 0.0471 * D$

b) Cuando $IRI < 2.4$ $IRI = 0.0485 * D$

IRI = 3.20 m/km (Bueno)

3.2.3 Procedimiento de aplicación del método PSI.

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) correlaciona el IRI y el PSI según la siguiente ecuación:

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}}$$

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

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI)^{0.5}$$

La AASHTO define la siguiente ecuación para pavimento asfáltico.

$$PSI = 5.671 - 1.714 * \sqrt{IRI}$$

3.2.3.1 Procedimiento de cálculo del método PSI.

A continuación, se realizará el procedimiento de cálculo de una de las secciones a través de una correlación entre el método IRI y el PSI.

Progresiva: 0+000 – 0+400

Tramo: Ida

IRI: 3.09 m/km

Paterson (1987)

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}}$$

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{3.09}{5.5}}}$$

$$PSI(1) = 2.85$$

Dujisin & Arroyo (1995)

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI)^{0.5}$$

$$PSI = 5.85 - 1.68(3.09)^{0.5}$$

$$PSI(2) = 2.90$$

La AASHTO define la siguiente ecuación para pavimento asfáltico.

$$PSI = 5.671 - 1.714 * \sqrt{IRI}$$

$$PSI = 5.671 - 1.714 * \sqrt{3.09}$$

$$PSI(3) = 2.66$$

$$PSI \text{ prom} = 2.85 + 2.90 + 2.66$$

$$PSI \text{ prom} = 2.80$$

Tabla 18 Calificación del índice de serviciabilidad presente.

Calificación	Estado del pavimento
4.5 - 5.0	Excelente
3.1 - 4.4	Bueno
2.6 - 3.0	Regular a bueno
2.1 - 2.5	Regular a malo
1.1 - 2.0	Malo
0.0 - 1.0	Muy malo

Fuente: Norma AASHTO.

IRI	PSI (1)	PSI (2)	PSI (3)	PSI Prom	CALIFICACION
3.09	2.85	2.90	2.66	2.80	Regular a Bueno

Progresiva: 0+000 – 0+400

Tramo: Vuelta

IRI: 3.20 m/km

Paterson (1987)

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{IRI}{5.5}}}$$

$$PSI = \frac{5}{e^{\frac{3.20}{5.5}}}$$

$$PSI(1) = 2.79$$

Dujisin & Arroyo (1995)

$$PSI = 5.85 - 1.68(IRI)^{0.5}$$

$$PSI = 5.85 - 1.68(3.20)^{0.5}$$

$$PSI(2) = 2.84$$

La AASHTO define la siguiente ecuación para pavimento asfáltico.

$$PSI = 5.671 - 1.714 * \sqrt{IRI}$$

$$PSI = 5.671 - 1.714 * \sqrt{3.20}$$

$$PSI(3) = 2.60$$

$$PSI \text{ prom} = 2.79 + 2.84 + 2.60$$

$$PSI \text{ prom} = 2.75$$

Calificación del índice de serviciabilidad presente según AASHTO

Calificación	Estado del pavimento
4.5 - 5.0	Excelente
3.1 - 4.4	Bueno
2.6 - 3.0	Regular a bueno
2.1 - 2.5	Regular a malo
1.1 - 2.0	Malo
0.0 - 1.0	Muy malo

IRI	PSI (1)	PSI (2)	PSI (3)	PSI Prom	CALIFICACION
3.20	2.79	2.84	2.60	2.75	Regular a Bueno

3.3 Evaluación Estructural del tramo Canaletas – Entre Ríos

3.3.1 Procedimiento de aplicación del método Viga Benkelman.

Procedimiento de campo:

1. Para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que definir los puntos donde se tomarán las medidas. Estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento.
2. 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.
3. Debido a la dificultad tanto visual como operacional que demanda hacer coincidir el extremo de la viga Benkelman con el eje de gravedad, se realizará el siguiente trabajo:
El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión.
4. Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25, 30, 40 o 50 cm, 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.
5. 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.
6. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas.

3.3.1.1 Procedimiento de cálculo de deflexiones con la Viga Benkelman.

Con el equipo ya en campo y los instrumentos necesarios se procede a tomar los datos de las deflexiones en el tramo como se muestra en la tabla, estas deflexiones fueron tomadas en puntos de ensayos cada 1000 metros en el carril derecho (ida) y luego en el carril izquierdo (vuelta) respectivamente para poder determinar el comportamiento de la estructura del pavimento en todo el ancho de la vía.

Tabla 19 Datos de deflexiones en el carril Derecho del tramo.

EVALUACION ESTRUCTURAL									
Tramo: CANALETAS - ENTRE RIOS									
Medicion de deflexiones por el metodo de Viga Benkelman									
Estructura:		Pavimento flexible		Carga eje (tn)		8.2	Presion (PSI)		80
Carril:		Derecho (Ida)		Fecha:		20/08/2022			
Relacion de brazos:			1 a 2	Ejecutor:		Prieto Cabello Sirlen Meri			
Nº	Progresiva	Tamb °C	Tpav °C	Lecturas del extensometro (0.01 mm)					
				L = 0	L = 50 cm	L = 100 cm	L = 150 cm	L = 200 cm	L = 250 cm
1	0+200	9	22	0	8	10	12	12	16
2	1+200	9	28	0	20	26	28	30	28
3	2+200	11	30	0	10	12	14	16	18
4	3+200	11	32	0	12	14	16	16	18
5	4+200	12	34	0	10	12	14	16	22
6	5+200	12	36	0	8	10	12	12	14
7	6+200	13	37	0	18	18	19	20	22
8	7+200	13	38	0	8	10	10	10	12
9	8+200	13	36	0	20	20	22	22	24
10	9+200	14	32	0	8	8	8	10	12
11	10+200	14	30	0	14	16	18	24	28
12	11+200	14	32	0	12	13	14	14	14
13	12+200	14	34	0	16	18	22	24	28
14	13+200	14	35	0	18	19	20	22	24
15	14+200	14	36	0	16	18	20	20	20
16	15+200	13	30	0	12	12	14	16	16
17	16+200	13	30	0	20	21	22	23	24
18	17+200	13	30	0	8	10	10	14	14
19	18+200	12	31	0	12	12	10	10	16
20	19+200	14	26	0	8	10	10	12	16
21	20+200	14	26	0	12	14	16	18	20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20 Datos de deflexiones en el carril Izquierdo del tramo.

EVALUACION ESTRUCTURAL									
Tramo: CANALETAS - ENTRE RIOS									
Medicion de deflexiones por el metodo de Viga Benkelman									
Estructura:		Pavimento flexible		Carga eje (tn)		8.2	Presion (PSI)		80
Carril:		Izquierdo (Vuelta)		Fecha:		20/08/2022			
Relacion de brazos:			1 a 2	Ejecutor:		Prieto Cabello Sirlen Meri			
Nº	Progresiva	Tamb °C	Tpav °C	Lecturas del extensometro (0.01 mm)					
				L = 0	L = 50 cm	L = 100 cm	L = 150 cm	L = 200 cm	L = 250 cm
1	0+200	27	38	0	10	12	14	16	18
2	1+200	27	40	0	8	9	9	10	12
3	2+200	27	38	0	8	10	12	14	16
4	3+200	26	38	0	12	14	16	18	20
5	4+200	26	36	0	8	9	10	11	14
6	5+200	24	36	0	10	12	14	16	18
7	6+200	24	38	0	14	16	18	20	22
8	7+200	24	36	0	8	10	10	12	16
9	8+200	24	38	0	18	20	18	18	20
10	9+200	24	34	0	10	10	12	14	12
11	10+200	22	30	0	14	14	14	16	16
12	11+200	22	36	0	14	16	18	20	20
13	12+200	22	36	0	16	17	18	20	22
14	13+200	22	36	0	18	19	20	21	22
15	14+200	21	34	0	18	18	20	22	24
16	15+200	21	32	0	10	12	12	12	14
17	16+200	21	32	0	22	22	24	24	24
18	17+200	19	30	0	8	9	10	11	14
19	18+200	19	30	0	14	16	18	19	24
20	19+200	18	28	0	14	15	16	18	22
21	20+200	16	28	0	10	12	12	14	16

Fuente: Elaboración propia.

Se realizará un ejemplo para la progresiva 0+000 del carril izquierdo (Vuelta) donde se explique claramente el procedimiento a seguir, se debe seguir el mismo procedimiento para todos los puntos.

Cálculo de la deflexión máxima:

$$Do = k * (L_f - L_o)$$

$$Do = 1 * (18 - 0)$$

$$Do = 18 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

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

$$Dot = \frac{18}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (38 - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$Dot = 17 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Deflexión a 50 cm:

$$D50 = k * (L_f - L_{50})$$

$$D50 = 1 * (18 - 10)$$

$$D50 = 8 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Factor de corrección por temperatura:

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

$$D50t = \frac{8}{0.001 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}} * (38 - 20^{\circ}\text{C}) * e + 1}$$

$$D50t = 7 * 10^{-2} \text{ mm}$$

Radio de curvatura:

$$Rc = \frac{6250}{k * (Dot - D50t)}$$

$$Rc = \frac{6250}{2 * (17 - 7)}$$

$$Rc = 341$$

Tabla 21 Planilla de cálculos de la viga Benkelman carril derecho (Ida).

EVALUACION ESTRUCTURAL															
Tramo: CANALETAS - ENTRE RIOS															
Medición de deflexiones por el método de Viga Benkelman															
Carril:				Derecho (Ida)				Fecha:				20/08/2022			
N°	Progresiva	Tamb	Tpav	Espesor Asfalto	Lecturas del extensómetro						Parámetros de evaluación		Parámetros de evaluación corregidos por Temp. A 20 °C		
		°C	°C		L = 0	L = 50 cm	L = 100 cm	L = 150 cm	L = 200 cm	L = 250 cm	Do	D50	Do	D50	Rc
					(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)
1	0+200	9	22	5.0	0	8	10	12	12	16	16	8	16	8	395
2	1+200	9	28	5.0	0	20	26	28	30	28	28	8	26	7	163
3	2+200	11	30	5.0	0	10	12	14	16	18	18	8	17	8	328
4	3+200	11	32	5.0	0	12	14	16	16	18	18	6	17	6	276
5	4+200	12	34	5.0	0	10	12	14	16	22	22	12	21	11	334
6	5+200	12	36	5.0	0	8	10	12	12	14	14	6	13	6	422
7	6+200	13	37	5.0	0	18	18	19	20	22	22	4	20	4	188
8	7+200	13	38	5.0	0	8	10	10	10	12	12	4	11	4	426
9	8+200	13	36	5.0	0	20	20	22	22	24	24	4	22	4	169
10	9+200	14	32	5.0	0	8	8	8	10	12	12	4	11	4	414
11	10+200	14	30	5.0	0	14	16	18	24	28	28	14	26	13	234
12	11+200	14	32	5.0	0	12	13	14	14	14	14	2	13	2	276
13	12+200	14	34	5.0	0	16	18	22	24	28	28	12	26	11	209
14	13+200	14	35	5.0	0	18	19	20	22	24	24	6	22	6	187
15	14+200	14	36	5.0	0	16	18	20	20	20	20	4	19	4	211
16	15+200	13	30	5.0	0	12	12	14	16	16	16	4	15	4	273
17	16+200	13	30	5.0	0	20	21	22	23	24	24	4	23	4	164
18	17+200	13	30	5.0	0	8	10	10	14	14	14	6	13	6	410
19	18+200	12	31	5.0	0	12	12	10	10	16	16	4	15	4	275
20	19+200	14	26	5.0	0	8	10	10	12	16	16	8	16	8	402
21	20+200	14	26	5.0	0	12	14	16	18	20	20	8	19	8	268

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo estadístico:

NÚMERO DE MUESTRAS	21	21	21
SUMATORIA	383	128	6024
PROMEDIO:	18.2	6.1	286.9
DEFLEXIÓN MINIMA	11	2	163
DEFLEXIÓN MAXIMA	26	13	426
DESVIACION ESTÁNDAR	4.8	2.9	94.2
VARIANZA	23.5	8.7	8876.7
COEFICIENTE DE VAR.	26.6	48.4	32.8
VALOR CARACTERISTICO	26.20	10.9	441.9

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (D_c):

$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

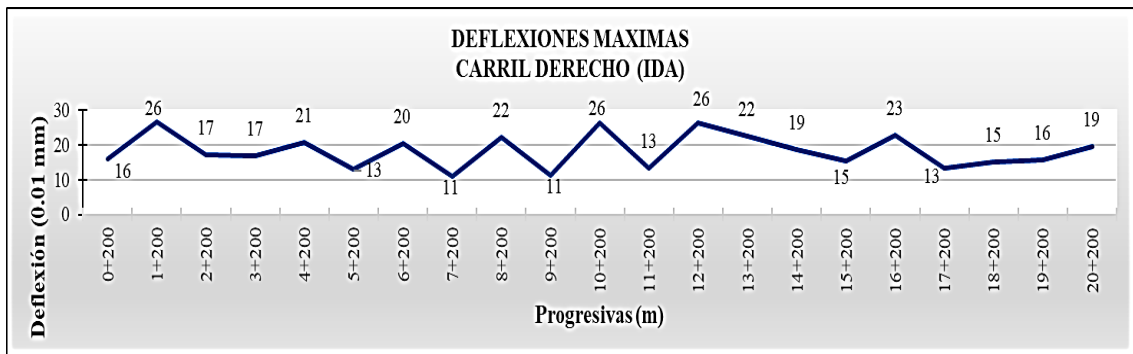
D =Deflexión recuperable promedio = 18.2

D_s = Desviación standard = 4.8

t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

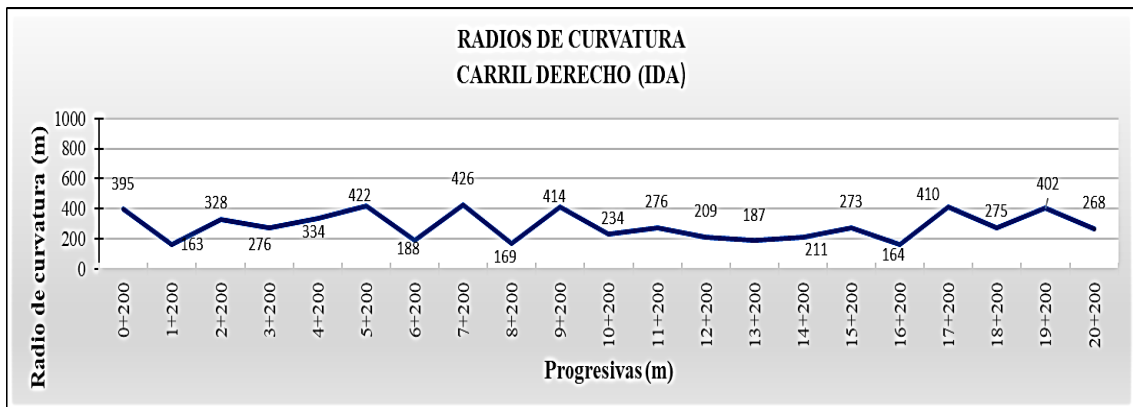
$$D_c = 26.20 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Gráfica 3 Deflexiones máximas.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4 Radios de curvatura.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Planilla de cálculos de la viga Benkelman carril izquierdo (Vuelta).

EVALUACION ESTRUCTURAL															
Tramo: CANALETAS - ENTRE RIOS															
Medición de deflexiones por el método de Viga Benkelman															
Carril:				Izquierdo (Vuelta)				Fecha:				20/08/2022			
N°	Progresiva	Tamb	Tpav	Espesor Asfalto (cm)	Lecturas del extensómetro						Parámetros de evaluación		Parámetros de evaluación corregidos por Temp. A 20 °C		
		°C	°C		L = 0	L = 50 cm	L = 100 cm	L = 150 cm	L = 200 cm	L = 250 cm	Do	D50	Do	D50	Rc
					(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)
1	0+200	27	38	5.0	0	10	12	14	16	18	18	8	17	7	341
2	1+200	27	40	5.0	0	8	9	9	10	12	12	4	11	4	430
3	2+200	27	38	5.0	0	8	10	12	14	16	16	8	15	7	426
4	3+200	26	38	5.0	0	12	14	16	18	20	20	8	18	7	284
5	4+200	26	36	5.0	0	8	9	10	11	14	14	6	13	6	422
6	5+200	24	36	5.0	0	10	12	14	16	18	18	8	17	7	338
7	6+200	24	38	5.0	0	14	16	18	20	22	22	8	20	7	243
8	7+200	24	36	5.0	0	8	10	10	12	16	16	8	15	7	422
9	8+200	24	38	5.0	0	18	20	18	18	20	20	2	18	2	189
10	9+200	24	34	5.0	0	10	10	12	14	12	12	2	11	2	334
11	10+200	22	30	5.0	0	14	14	14	16	16	16	2	15	2	234
12	11+200	22	36	5.0	0	14	16	18	20	20	20	6	19	6	241
13	12+200	22	36	5.0	0	16	17	18	20	22	22	6	20	6	211
14	13+200	22	36	5.0	0	18	19	20	21	22	22	4	20	4	188
15	14+200	21	34	5.0	0	18	18	20	22	24	24	6	22	6	186
16	15+200	21	32	5.0	0	10	12	12	12	14	14	4	13	4	331
17	16+200	21	32	5.0	0	22	22	24	24	24	24	2	23	2	151
18	17+200	19	30	5.0	0	8	9	10	11	14	14	6	13	6	410
19	18+200	19	30	5.0	0	14	16	18	19	24	24	10	23	10	234
20	19+200	18	28	5.0	0	14	15	16	18	22	22	8	21	8	232
21	20+200	16	28	5.0	0	10	12	12	14	16	16	6	15	6	325

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo estadístico:

NÚMERO DE MUESTRAS	21	21	21
SUMATORIA	360	114	6171
PROMEDIO:	17.1	5.4	293.9
DEFLEXIÓN MINIMA	11	2	151
DEFLEXIÓN MAXIMA	23	10	430
DESVIACION ESTÁNDAR	3.8	2.3	91.6
VARIANZA	14.1	5.2	8396.7
COEFICIENTE DE VAR.	21.9	42.1	31.2
VALOR CARACTERISTICO	23.33	9.2	444.6

CÁLCULO DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA (D_c):

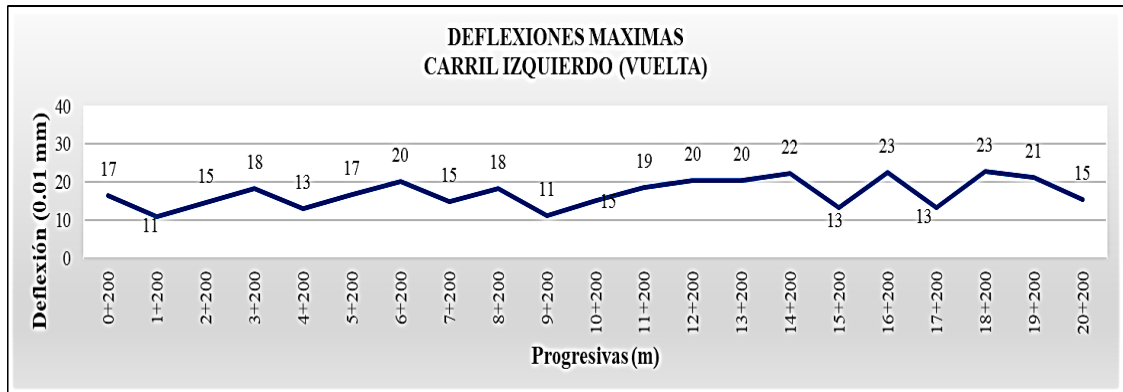
$$D_c = D + t * D_s$$

Donde:

D =Deflexión recuperable promedio = 17.1
 D_s = Desviación standard = 3.8
 t = constante de probabilidad al 95% = 1.645

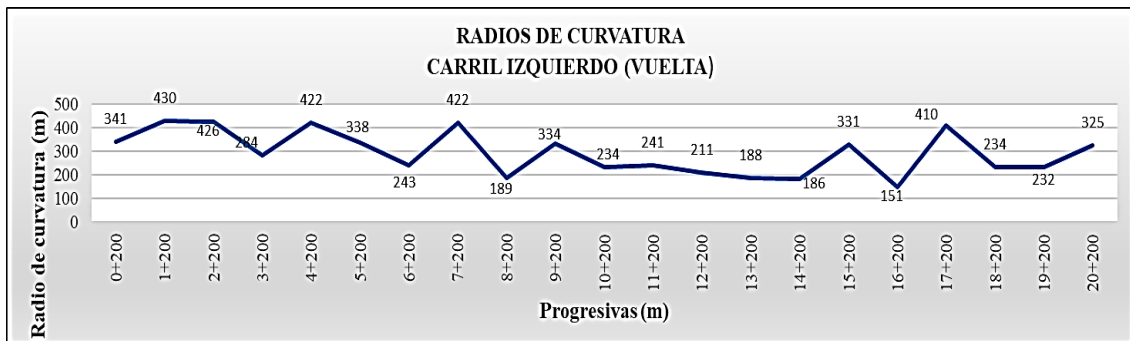
$$D_c = 23.33 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Gráfica 5 Deflexiones máximas.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 6 Radios de curvatura.



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Propuesta de solución al tramo Canaletas - Entre Ríos.

3.4.1 Refuerzo con concreto asfáltico.

Considerando los resultados y el análisis de dichos resultados obtenidos en la evaluación superficial y estructural del tramo Canaletas – Entre Ríos, es necesario un refuerzo para el pavimento, por esta razón considero que la solución al tramo estudiado es colocar un refuerzo de concreto asfáltico sobre el pavimento existente.

Esta alternativa fue elegida ya que era la que concuerda a las características del pavimento estudiado, alternativa diseñada por la AASTHO 93 para reforzar exclusivamente un pavimento, para así de esta forma ofrecer resistencia ante la acción de cargas impuestas por el tránsito de dicho tramo.

La principal ventaja es que tendrá buena adherencia al ser colocada sobre el pavimento flexible, teniendo como duración promedio de 10 años, los costos en cuanto a mantenimiento serán menores al actual.

Previa colocación del refuerzo se deberá realizar una serie de tareas, como ser la reparación de sus áreas deterioradas, mejoramiento de su drenaje, corrección de ahuellamientos superficiales, aplicación del riego de liga, etc.

Dimensionamiento del refuerzo de concreto asfáltico.

El espesor requerido del refuerzo debe responder a esta ecuación:

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{ef})}{a_{ol}}$$

Donde:

SN_f = Estructural para tráfico futuro

SN_{ef} = Número Estructural efectivo

a_{ol} = Coeficiente estructural del refuerzo.

Datos de diseño:

Tabla 23 Datos de diseño tramo Canaletas - Entre ríos.

Capa base	0.22 m de espesor; CBR $\geq$ 80 %
capa subbase	0.25 m de espesor; CBR $\geq$ 40 %
capa subrasante	0.30 m de espesor; CBR $\geq$ 25 %

Fuente: Tesis: Alternativas de diseño de refuerzos para el pavimento Canaletas- Entre ríos (Norman cuevas).

Medición de fallas para la determinación del número estructural efectivo.

Es imprescindible localizar, clasificar y cuantificar los tipos de fallas presentes, en base a lo mismo se adoptan los coeficientes estructurales para capas asfálticas deterioradas.

Porcentaje de superficie con fallas:

Nº	Tipo de falla	Falla	unidad de medida	Falla (%)
1	Piel de cocodrilo	441.59	m ²	7.68
2	Exudación	61.96	m ²	1.08
4	Abultamientos y hundimientos	19.1	m ²	0.33
7	Fisura de borde	7.8	m	0.99
10	Fisuras longitudinales y transversales	237.35	m	30.14
11	Parches	49.21	m ²	0.86
12	Agregado pulido	7.94	m ²	0.14
13	Huecos	77	#	9.78
17	Hinchamiento	38.23	m ²	0.66
			Total	52

- **Determinación del número estructural para tráfico futuro SN_f .**

Con la finalidad de determinar el espesor de refuerzo estructural a continuación se presentan los parámetros de cálculo.

Índice de pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

Serviciabilidad es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento.

El estado de serviciabilidad se evalúa continuamente con un número entre 0 y 5, por lo general se parte de un valor inicial de 4.0 a 4.2 (estado bueno de vía) y se tiene un valor entre 1.5 y 2.5 para la falla funcional del pavimento.

Tabla 24 Índice de serviciabilidad final (Canaletas – Entre Ríos).

Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopista	2.5 - 3.0
carreteras	2.0 - 2.5
Zonas industriales	
pavimento urbano industrial	1.5 - 2.0
pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

$$P_o = 4.2$$

$$P_f = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.20$$

Confiabilidad (R).

La selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de pavimento está determinada por el deterioro esperado del pavimento; un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso. Por otra parte, un nivel de confiabilidad bajo da como resultado pavimentos económicos, pero con mayor costo de mantenimiento.

Tabla 25 Nivel de confiabilidad (Canaletas – Entre Ríos).

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopista y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.9	75.0 - 95.0
colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

R (%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99.99
Zr	0.000	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.555	-1.645	-2.054	-3.750

R = 85 % (valor adoptado)

Zr = -1.037

Error normal combinado

Tabla 26 Error normal combinado (Canaletas – Entre Ríos).

Proyecto de pavimento	So	
	Flexible	Rígido
	0.40 - 0.50	0.30 - 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

So = 0.50 (valor adoptado)

Determinación de W18

Estimación de los ejes equivalentes acumulados para 10 años de vida útil, y una tasa de crecimiento anual del 5 % (método AASHTO), se adopta un factor de crecimiento de tránsito teniendo registrado según el RUA, ANH que el crecimiento fue de un 4.5 % con relación al 2014 que era de 12.58 %.

Distribución direccional

$$DD = 0.5$$

Distribución de caminos

$$DT = 0.5846$$

ESALs = 360000 (según datos de tráfico)

$$Fct = 12.58 + 4.5$$

$$Fct = 17.08 \%$$

$$w18 = Fct * ESALs * DD * DT$$

$$w18 = 17.08 * 360000 * 0.5 * 0.5846$$

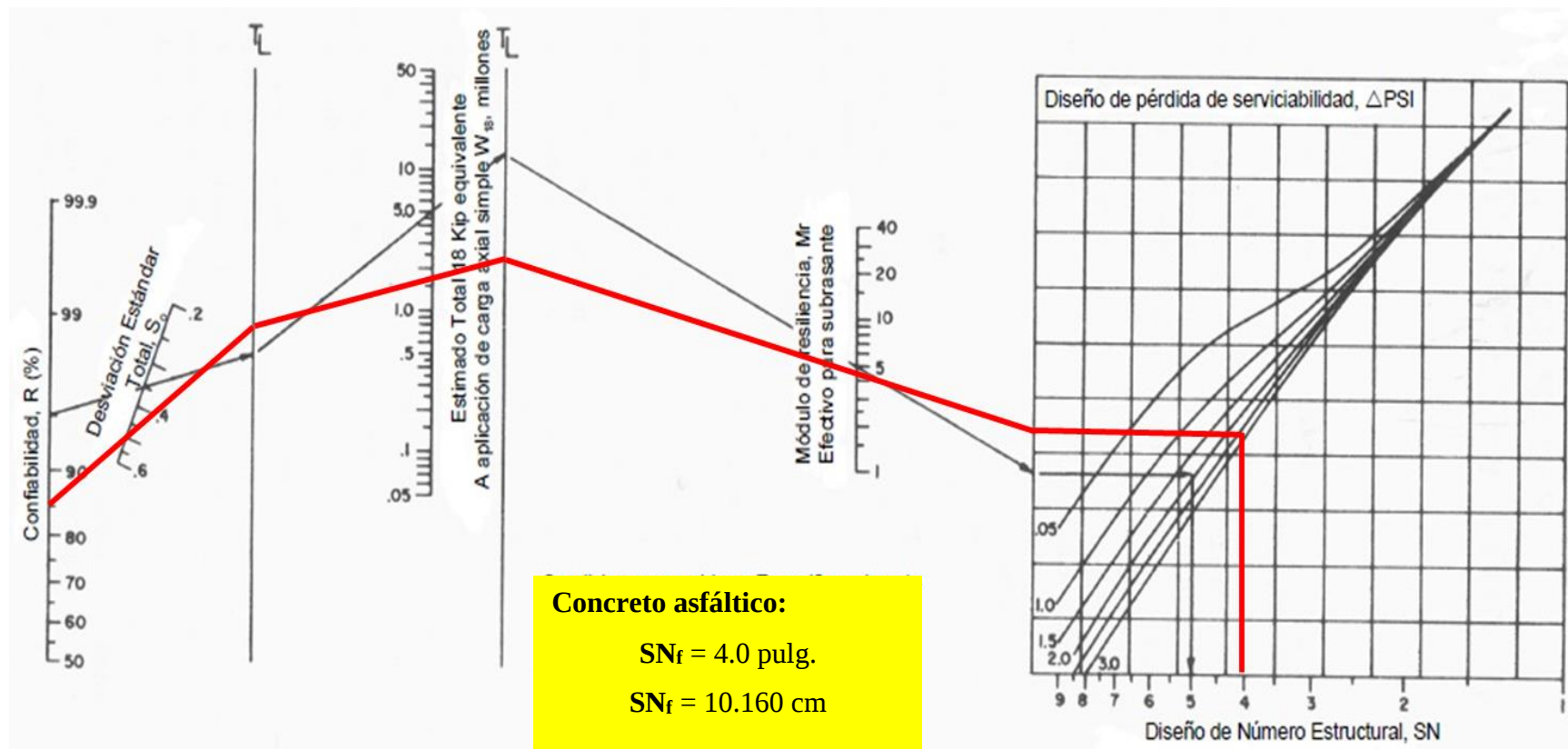
$$w18 = 1797294.24 \text{ (ejes equivalentes de 8.2 Tn)}$$

Se adopta:

$$w18 = 1800000.00$$

El método de diseño de la AASHTO para la determinación del número estructural requerido (SN_f) para la capa de concreto asfáltico se lo realiza con el siguiente ábaco de diseño:

figura 45 Abaco diseño de número estructural (Canaletas – Entre Ríos).



Fuente: Norma Aashto 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

- **Determinación del número estructural efectivo (SN_{ef})**

El número estructural efectivo que proporciona la estructura de pavimento está dado por la siguiente ecuación:

$$SN_{ef} = a_1 * h_1 + a_2 * m_2 * h_2 + a_3 * m_3 * h_3$$

Donde:

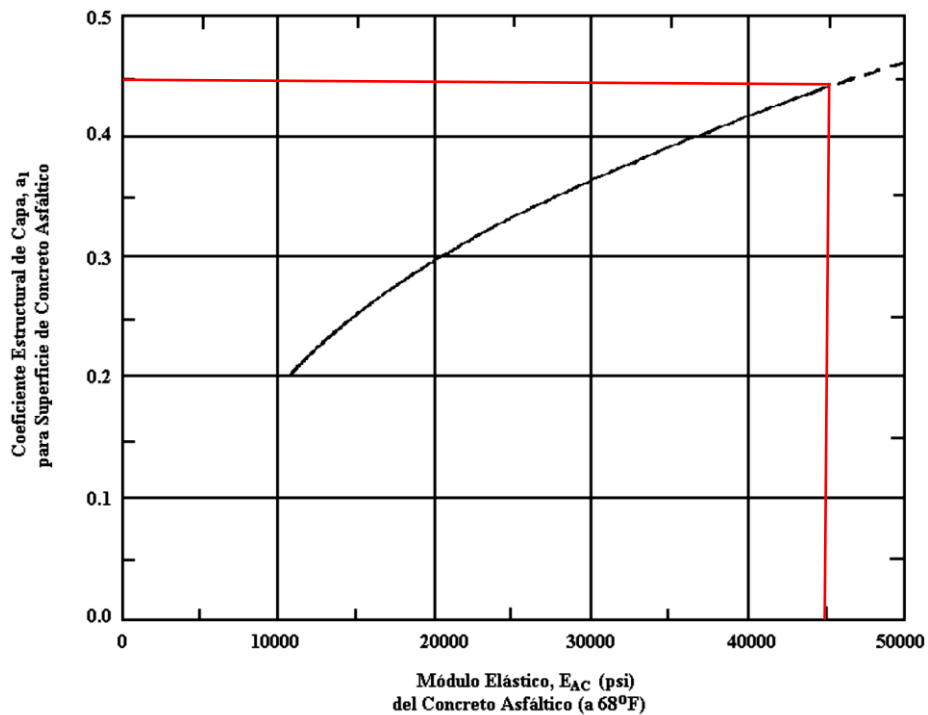
SN_{ef} = Numero estructural efectivo del pavimento

a₁, a₂, a₃ = Coeficientes estructurales de capa asfáltica, base y sub-base

h₁, h₂, h₃ = Espesores de capa asfáltica, base y sub-base, en pulg.

m₂, m₃ = Coeficientes de drenaje de base y sub-base

figura 46 *Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a₁”.*



Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

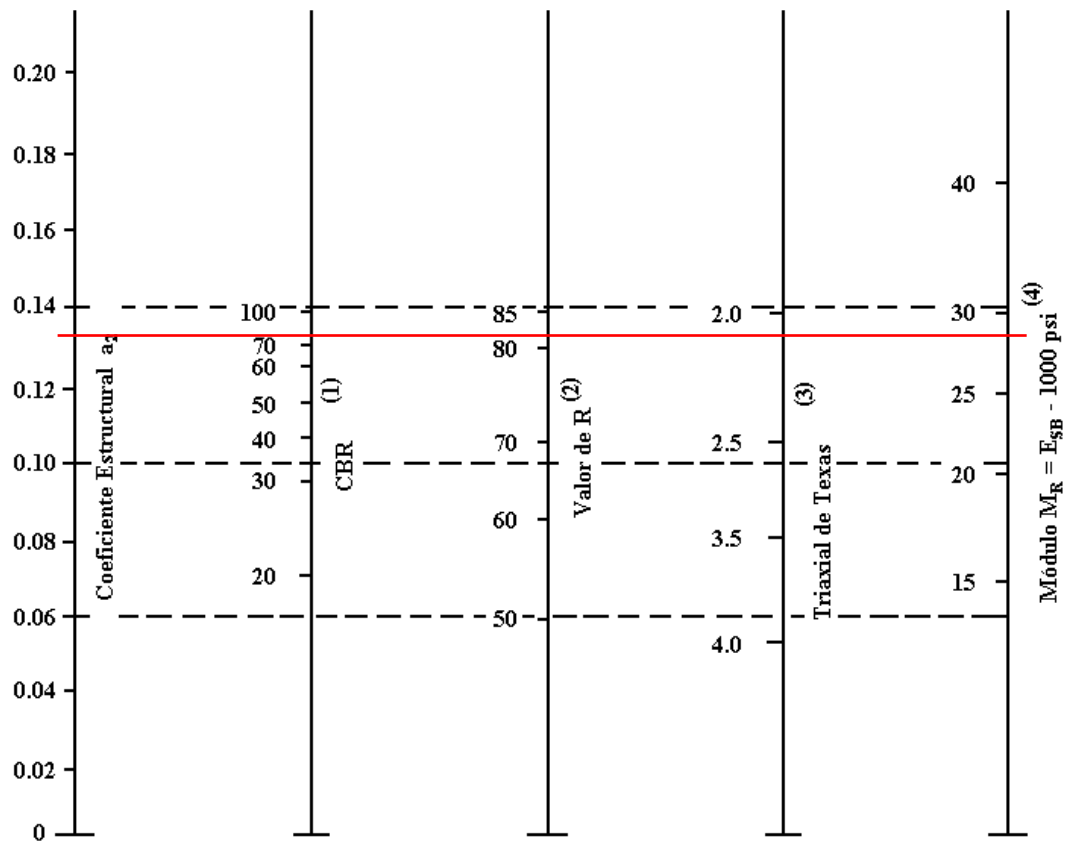
Modulo elástico del asfalto = 450000.00 psi

Mr asfalto	a1
500000	0.463
400000	0.417
300000	0.363
200000	0.296
100000	0.186

Interpolando:

Coeficiente de capa asfalto a1	
Mr (psi)	450000.00
a1	0.440

figura 47 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a₂”.



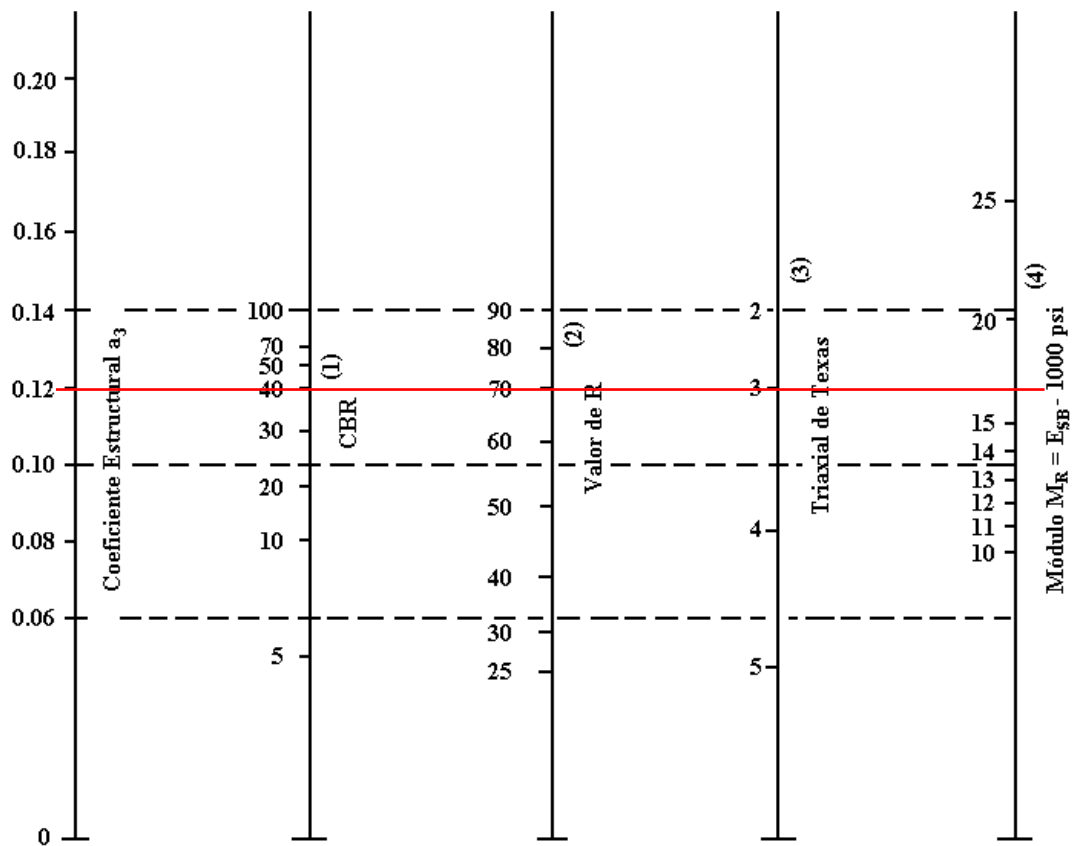
Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

CBR base	Mr base	a2
100	30000.00	0.138
70	27500.00	0.129
60	26250.00	0.125
50	24170.00	0.116
40	22083.00	0.107
30	19583.00	0.095
20	15000.00	0.070

Interpolando:

Coeficiente de capa base a2	
CBR (%)	80.00
Mr (psi)	28333.33
a2	0.132

figura 48 Ábaco para estimar el coeficiente estructural de la sub-base granular “a₃”



Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

CBR Sub-base	Mr Sub-base	a3
100	20500.00	0.140
70	18750.00	0.130
50	17812.50	0.125
40	16875.00	0.120
30	15000.00	0.109
20	13000.00	0.094
10	10750.00	0.080
5	6000.00	0.050

Coeficiente de capa sub-base a3	
CBR (%)	40.00
Mr (psi)	16875.00
a3	0.120

Coeficientes de drenaje de base y sub-base:

Tabla 27 Coeficientes de drenaje (Canaletas – Entre Ríos).

Capacidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad proximos a la saturacion			
	Menos del 1 %	1 a 5 %	5 a 25 %	Mas del 25 %
Excelente	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Fuente: Norma AASHTO 93 guía para el diseño estructural de pavimento.

$$m_2 = 1.2$$

$$m_3 = 1.2$$

$$h_1 = 3 \text{ cm}$$

$$h_2 = 22 \text{ cm}$$

$$h_3 = 25 \text{ cm}$$

$$SN_{ef} = a_1 * h_1 + a_2 * m_2 * h_2 + a_3 * m_3 * h_3$$

$$SN_{ef} = 0.440 * 3 + 0.132 * 1.20 * 22 + 0.120 * 1.20 * 25$$

$$SN_{ef} = 8.405 \text{ cm}$$

Espesor del refuerzo de concreto asfaltico

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{ef})}{a_{ol}}$$

$$D_{ol} = \frac{(10.160 - 8.405)}{0.440}$$

$$D_{ol} = 3.989 \text{ cm}$$

$$D_{ol} = \mathbf{5 \text{ cm}}$$
 valor adoptado

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS DE

CONFIABILIDAD DE LOS DATOS

OBSERVADOS TRAMO

CANALETAS – ENTRE RIOS

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE LOS DATOS

OBSERVADOS TRAMO CANALETAS – ENTRE RIOS

4.1 Resultados evaluación superficial.

4.1.1 Resultados método PCI.

Tabla 28 Resultados de todo el tramo de PCI.

Progresiva inicial	Progresiva final	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Area	PCI	Condicion
			m	m	m ²		
0+000	0+031.5	1	31.5	7.3	230	52	REGULAR
0+882	0+913.5	28	31.5	7.3	230	51	REGULAR
1+764	1+795.5	55	31.5	7.3	230	44	REGULAR
2+646	2+677.5	82	31.5	7.3	230	58	BUENO
3+528	3+559.5	109	31.5	7.3	230	68	BUENO
4+410	4+441.5	136	31.5	7.3	230	67	BUENO
5+292	5+323.5	163	31.5	7.3	230	44	REGULAR
6+174	6+205.5	190	31.5	7.3	230	54	REGULAR
7+056	7+087.5	217	31.5	7.3	230	60	BUENO
7+938	7+969.5	244	31.5	7.3	230	45	REGULAR
8+820	8+851.5	271	31.5	7.3	230	57	BUENO
9+702	9+733.5	298	31.5	7.3	230	46	REGULAR
10+584	10+615.5	325	31.5	7.3	230	52	REGULAR
11+466	11+497.5	352	31.5	7.3	230	58	BUENO
12+348	12+379.5	379	31.5	7.3	230	45	REGULAR
13+230	13+261.5	406	31.5	7.3	230	54	REGULAR
14+112	14+143.5	433	31.5	7.3	230	53	REGULAR
14+994	15+025.5	460	31.5	7.3	230	56	BUENO
15+876	15+907.5	487	31.5	7.3	230	62	BUENO
16+758	16+789.5	514	31.5	7.3	230	61	BUENO
17+640	17+671.5	541	31.5	7.3	230	67	BUENO
18+522	18+553.5	568	31.5	7.3	230	59	BUENO
19+404	19+435.5	595	31.5	7.3	230	59	BUENO
20+286	20+317.5	622	31.5	7.3	230	48	REGULAR
20+468	20+499.5	649	31.5	7.3	230	56	BUENO
					Prom:	55	BUENO

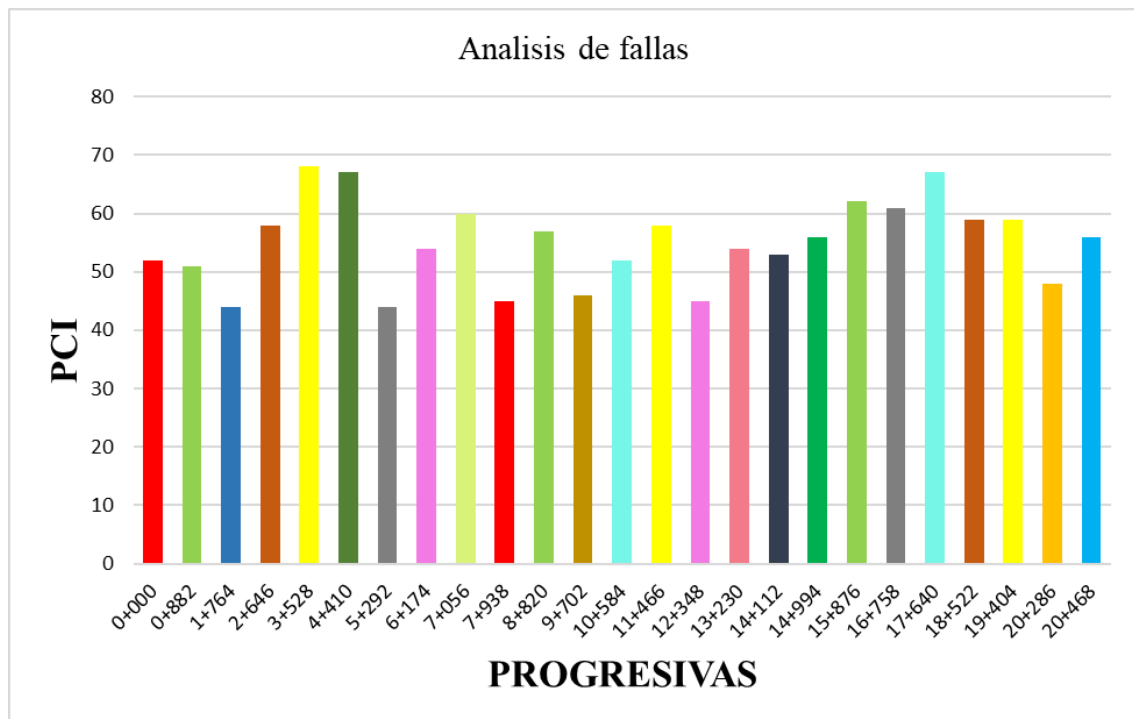
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1 Análisis de los resultados del método PCI.

Realizando el análisis según la calificación de PCI en los 21 km de tramo se obtiene un valor de PCI de 55 en promedio de todo el tramo, dicho valor se encuentra calificado en una condición de pavimento BUENO o REGULAR debido a que es un valor límite.

– **Análisis en función de las fallas:**

Grafica 7 Análisis de fallas



Fuente: Elaboración propia.

- Como se puede observar en la gráfica los PCI con valor arriba de 60 son 6.
- Los PCI más importantes, con un valor arriba de 60 se encuentran en las siguientes progresivas:
3+528; 4+410; 7+56; 15+876; 16+758; 17+640; quedando así los PCI con valor entre 60 y 40 en el resto de las progresivas estudiadas.

- **Tiempo que tardara el pavimento hasta su destrucción total si no hay rehabilitación del pavimento:**

		Condición
Año de construcción:	2014	Excelente
Año actual:	2024	Bueno-Regular

Extrapolando:

$$y = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} * (X - X_0)$$

$$T_{futuro} = 2014 + \frac{2024 - 2014}{52 - 100} * (0 - 100)$$

$$T_{futuro} = 2035$$

Tabla 29 Resultados en función del tiempo futuro

Progresiva inicial	Progresiva final	Tramo N°	PCI Actual	Condición	PCI Futuro	Condición Crítica	Tiempo Futuro
0+000	0+031.5	1	52	REGULAR	0	Fallado	2035
0+882	0+913.5	28	51	REGULAR	0	Fallado	2034
1+764	1+795.5	55	44	REGULAR	0	Fallado	2032
2+646	2+677.5	82	58	BUENO	0	Fallado	2038
3+528	3+559.5	109	68	BUENO	0	Fallado	2045
4+410	4+441.5	136	67	BUENO	0	Fallado	2044
5+292	5+323.5	163	44	REGULAR	0	Fallado	2032
6+174	6+205.5	190	54	REGULAR	0	Fallado	2036
7+056	7+087.5	217	60	BUENO	0	Fallado	2039
7+938	7+969.5	244	45	REGULAR	0	Fallado	2032
8+820	8+851.5	271	57	BUENO	0	Fallado	2037
9+702	9+733.5	298	46	REGULAR	0	Fallado	2033
10+584	10+615.5	325	52	REGULAR	0	Fallado	2035
11+466	11+497.5	352	58	BUENO	0	Fallado	2038
12+348	12+379.5	379	45	REGULAR	0	Fallado	2032
13+230	13+261.5	406	54	REGULAR	0	Fallado	2036
14+112	14+143.5	433	53	REGULAR	0	Fallado	2035
14+994	15+025.5	460	56	BUENO	0	Fallado	2037
15+876	15+907.5	487	62	BUENO	0	Fallado	2040
16+758	16+789.5	514	61	BUENO	0	Fallado	2040
17+640	17+671.5	541	67	BUENO	0	Fallado	2044
18+522	18+553.5	568	59	BUENO	0	Fallado	2038
19+404	19+435.5	595	59	BUENO	0	Fallado	2038
20+286	20+317.5	622	48	REGULAR	0	Fallado	2033
20+468	20+499.5	649	56	BUENO	0	Fallado	2037

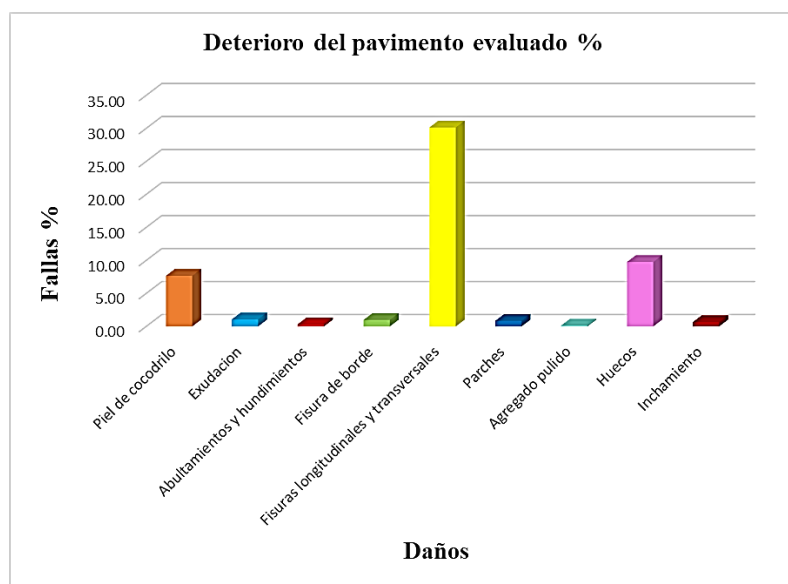
Fuente: Elaboración propia.

– **Fallas Relevantes:**

Área por sección en estudio:	230	m²
Secciones estudiadas:	25	#
Área total estudiada:	5750	m²
Longitud por sección:	31.5	m
longitud estudiada	787.5	m

Nº	Tipo de falla	Falla	unidad de medida	Falla (%)
1	Piel de cocodrilo	441.59	m ²	7.68
2	Exudación	61.96	m ²	1.08
4	Abultamientos y hundimientos	19.1	m ²	0.33
7	Fisura de borde	7.8	m	0.99
10	Fisuras longitudinales y transversales	237.35	m	30.14
11	Parches	49.21	m ²	0.86
12	Agregado pulido	7.94	m ²	0.14
13	Huecos	77	#	9.78
17	Hinchamiento	38.23	m ²	0.66
Total				52

Grafica 8 Deterioro del pavimento en %



Fuente: Elaboración propia.

- Las fallas más relevantes en el tramo estudiado son fisuras longitudinales y transversales, piel de cocodrilo y huecos.
- Para todo el tramo tenemos que está afectado con el 52 % de fallas.

4.1.2 Resultados del método IRI

Tabla 30 Resultados del carril derecho de ida del IRI.

Nº	Prog.		IRI (m/ km)	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+400	3.09	Bueno
2	1+000	1+400	2.57	Bueno
3	2+000	2+400	3.27	Bueno
4	3+000	3+400	2.99	Bueno
5	4+000	4+400	2.93	Bueno
6	5+000	5+400	2.50	Bueno
7	6+000	6+400	2.78	Bueno
8	7+000	7+400	2.61	Bueno
9	8+000	8+400	2.63	Bueno
10	9+000	9+400	2.77	Bueno
11	10+000	10+400	2.63	Bueno
12	11+000	11+400	2.74	Bueno
13	12+000	12+400	3.35	Bueno
14	13+000	13+400	3.30	Bueno
15	14+000	14+400	2.44	Bueno
16	15+000	15+400	2.57	Bueno
17	16+000	16+400	2.42	Bueno
18	17+000	17+400	2.54	Bueno
19	18+000	18+400	2.44	Bueno
20	19+000	19+400	2.41	Bueno
21	20+000	20+400	2.43	Bueno
Prom:			2.73	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 Resultados del carril Izquierdo de vuelta del IRI.

Nº	Prog.		IRI (m/ km)	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+400	3.20	Bueno
2	1+000	1+400	2.71	Bueno
3	2+000	2+400	3.15	Bueno
4	3+000	3+400	3.14	Bueno
5	4+000	4+400	2.95	Bueno
6	5+000	5+400	3.26	Bueno
7	6+000	6+400	3.05	Bueno
8	7+000	7+400	2.82	Bueno
9	8+000	8+400	2.98	Bueno
10	9+000	9+400	2.67	Bueno
11	10+000	10+400	3.01	Bueno
12	11+000	11+400	3.16	Bueno
13	12+000	12+400	3.50	Bueno
14	13+000	13+400	3.19	Bueno
15	14+000	14+400	2.87	Bueno
16	15+000	15+400	3.03	Bueno
17	16+000	16+400	2.59	Bueno
18	17+000	17+400	2.78	Bueno
19	18+000	18+400	2.56	Bueno
20	19+000	19+400	2.42	Bueno
21	20+000	20+400	2.83	Bueno
Prom:			2.95	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

– **IRI para todo el tramo**

IRI prom. carril derecho(ida)= 2.73 m/km (BUENO)

IRI prom. carril izquierdo(vuelta)= 2.95 m/km (BUENO)

$$IRI_{(TODO\ EL\ TRAMO)} = \frac{2.73 + 2.95}{2} = 2.84\ m/km$$

Calificación = BUENO

4.1.2.1 Análisis de los resultados del método IRI.

Tabla 32 Calificación del rango de rugosidad.

Rango de rugosidad (m/km)	Calificación
0.0 - 2.0	Excelente
2.0 - 3.5	Bueno
3.5 - 5.0	Regular
> 5.0	Malo

Fuente: Pacheco N, Marcelo. *Texto guía de Carreteras III*. (2017).

En el carril derecho (Ida) se obtuvo un IRI= 2.73 m/km lo cual indica que el carril derecho del tramo se encuentra en una calificación de BUENO según la tabla de Clasificación de rugosidades, para el carril izquierdo (Vuelta) se obtuvo un IRI= 2.95 m/km lo cual también se encuentra en una calificación de BUENO.

Para todo el tramo se tiene un IRI= 2.84 m/km que se encuentra entre el rango 2.0 – 3.5 m/km de un pavimento con calificación BUENO, siendo un tramo en todavía buenas condiciones para el tránsito de los vehículos.

4.1.3 Resultados del método PSI.

Tabla 33 Resultados del tramo de Ida del PSI.

N°	Prog.		PSI	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+400	2.80	Regular a Bueno
2	1+000	1+400	3.07	Bueno
3	2+000	2+400	2.71	Regular a Bueno
4	3+000	3+400	2.85	Regular a Bueno
5	4+000	4+400	2.88	Regular a Bueno
6	5+000	5+400	3.11	Bueno
7	6+000	6+400	2.96	Regular a Bueno
8	7+000	7+400	3.05	Regular a Bueno
9	8+000	8+400	3.04	Regular a Bueno
10	9+000	9+400	2.96	Regular a Bueno
11	10+000	10+400	3.04	Regular a Bueno
12	11+000	11+400	2.98	Regular a Bueno
13	12+000	12+400	2.68	Regular a Bueno
14	13+000	13+400	2.70	Regular a Bueno
15	14+000	14+400	3.14	Bueno
16	15+000	15+400	3.07	Bueno
17	16+000	16+400	3.15	Bueno
18	17+000	17+400	3.09	Bueno
19	18+000	18+400	3.14	Bueno
20	19+000	19+400	3.16	Bueno
21	20+000	20+400	3.15	Bueno
Prom:			2.99	Regular a Bueno

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34 Resultados del tramo de vuelta del PSI.

N°	Prog.		PSI	Calificación
	Inicial	Final		
1	0+000	0+400	2.75	Regular a Bueno
2	1+000	1+400	3.00	Regular a Bueno
3	2+000	2+400	2.77	Regular a Bueno
4	3+000	3+400	2.78	Regular a Bueno
5	4+000	4+400	2.87	Regular a Bueno
6	5+000	5+400	2.72	Regular a Bueno
7	6+000	6+400	2.82	Regular a Bueno
8	7+000	7+400	2.94	Regular a Bueno
9	8+000	8+400	2.86	Regular a Bueno
10	9+000	9+400	3.02	Regular a Bueno
11	10+000	10+400	2.84	Regular a Bueno
12	11+000	11+400	2.77	Regular a Bueno
13	12+000	12+400	2.61	Regular a Bueno
14	13+000	13+400	2.75	Regular a Bueno
15	14+000	14+400	2.91	Regular a Bueno
16	15+000	15+400	2.83	Regular a Bueno
17	16+000	16+400	3.06	Bueno
18	17+000	17+400	2.96	Regular a Bueno
19	18+000	18+400	3.08	Bueno
20	19+000	19+400	3.15	Bueno
21	20+000	20+400	2.93	Regular a Bueno
Prom:			2.88	Regular a Bueno

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.1 Análisis de los resultados del método PSI.

Para el método Índice de Serviciabilidad Presente se obtuvo en el carril derecho (Ida) un PSI= 2.99 con una calificación de REGULAR a BUENO y para el carril izquierdo (Vuelta) se tiene un PSI= 2.88 con calificación de REGULAR a BUENO según la tabla de calificación de la AASHTO.

Para todo el tramo se tiene un PSI = 2.94 con calificación de REGULAR a BUENO, lo cual quiere decir que el tramo a pesar de sus buenos años de servicio, está todavía en buenas condiciones para el tránsito de vehículos

4.2 Prueba de hipótesis evaluación superficial

Se hace un análisis estadístico realizando una prueba de hipótesis para confirmar o descartar la hipótesis propuesta de la investigación.

Resultados obtenidos de la evaluación superficial

Nº	PCI	IRI	PSI
1	52	3.15	2.78
2	51	2.64	3.04
3	44	3.21	2.74
4	58	3.07	2.82
5	68	2.94	2.88
6	67	2.88	2.92
7	44	2.92	2.89
8	54	2.72	3.00
9	60	2.81	2.95
10	45	2.72	2.99
11	57	2.82	2.94
12	46	2.95	2.88
13	52	3.43	2.65
14	58	3.25	2.73
15	45	2.66	3.03
16	54	2.80	2.95
17	53	2.51	3.11
18	56	2.66	3.03
19	62	2.50	3.11
20	61	2.42	3.16
21	67	2.63	3.04
22	59		
23	59		
24	48		
25	56		

Hipótesis de la investigación

Con la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible del tramo Canaletas – Entre Ríos se establece que su estado todavía es bueno.

Interpretación de las hipótesis

Ho: Se puede establecer una buena condición superficial del tramo carretero.

H1: Se puede establecer una mala condición superficial del tramo carretero.

Valores de frecuencia observada (fo)

	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado	Total
PCI	0	0	13	12	0	0	0	25
IRI	0	0	21	0	0	0	0	21
PSI	0	0	3	18	0	0	0	21
Total	0	0	37	30	0	0	0	67

Cálculo de la frecuencia esperada (fe)

$$f_e = \frac{\text{total de columna} * \text{total de fila}}{\text{suma total}}$$

	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado
PCI	0	0	13.81	11.19	0	0	0
IRI	0	0	11.60	9.40	0	0	0
PSI	0	0	11.60	9.40	0	0	0

Determinación del X² calculado

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

	Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado
1	0	0	0.05	0.06	0	0	0
2	0	0	7.62	9.40	0	0	0
3	0	0	6.37	7.86	0	0	0

$$X^2_{cal} = 31.37$$

Determinación del X^2 crítico

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

$$n = (3 - 1)(7 - 1)$$

$$n = 12$$

valor de significancia

$$\alpha = 0.05$$

$$X^2_{cr} = 5.23$$

Comparación de valores

$$X^2_{cal} > X^2_{cr} \quad \longrightarrow \quad \text{Ho cae en la zona de rechazo}$$

$$31.37 > 5.23 \quad \longrightarrow \quad \text{Ho cae en la zona de rechazo}$$

La hipótesis nula es rechazada; por lo tanto, se puede establecer que la hipótesis de investigación no está emparejada con ésta y se puede afirmar que el tramo estudiado no está en una buena condición.

Se debe mejorar el tramo mediante el colocado de un refuerzo de concreto asfáltico.

4.3 Resultados evaluación estructural.

4.3.1 Resultados del método Viga Benkelman.

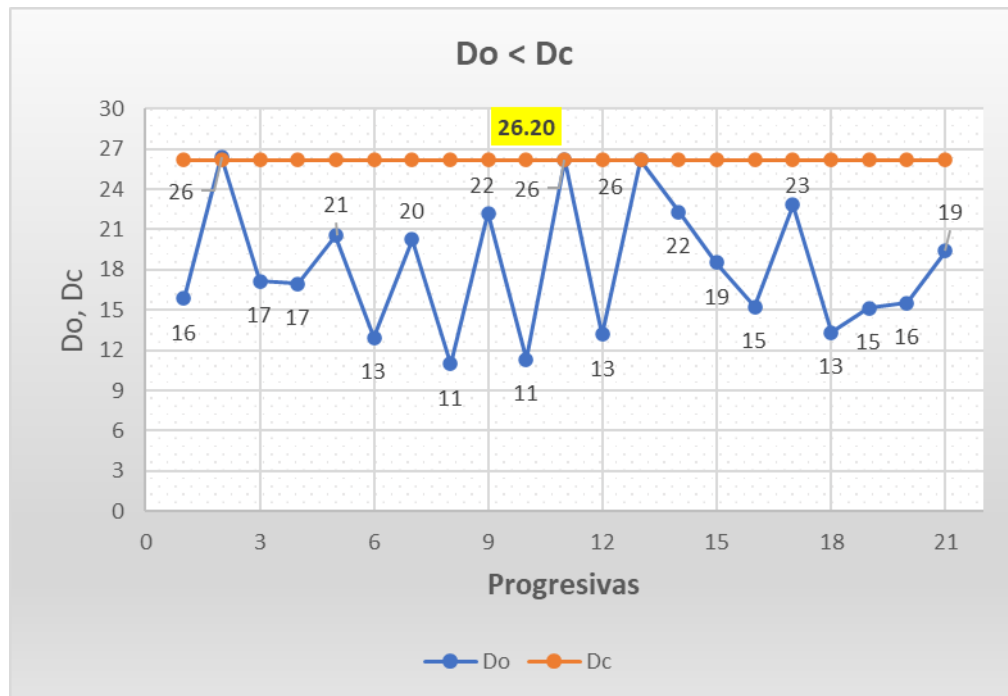
Carril derecho (Ida)

Tabla 35 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril derecho.

N°	Progresiva	Espesor Asfalto	Do	Dc	Do < Dc
		(cm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	
1	0+200	5.0	16	26.20	Cumple
2	1+200	5.0	26	26.20	Cumple
3	2+200	5.0	17	26.20	Cumple
4	3+200	5.0	17	26.20	Cumple
5	4+200	5.0	21	26.20	Cumple
6	5+200	5.0	13	26.20	Cumple
7	6+200	5.0	20	26.20	Cumple
8	7+200	5.0	11	26.20	Cumple
9	8+200	5.0	22	26.20	Cumple
10	9+200	5.0	11	26.20	Cumple
11	10+200	5.0	26	26.20	Cumple
12	11+200	5.0	13	26.20	Cumple
13	12+200	5.0	26	26.20	Cumple
14	13+200	5.0	22	26.20	Cumple
15	14+200	5.0	19	26.20	Cumple
16	15+200	5.0	15	26.20	Cumple
17	16+200	5.0	23	26.20	Cumple
18	17+200	5.0	13	26.20	Cumple
19	18+200	5.0	15	26.20	Cumple
20	19+200	5.0	16	26.20	Cumple
21	20+200	5.0	19	26.20	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril derecho



Fuente: Elaboración propia.

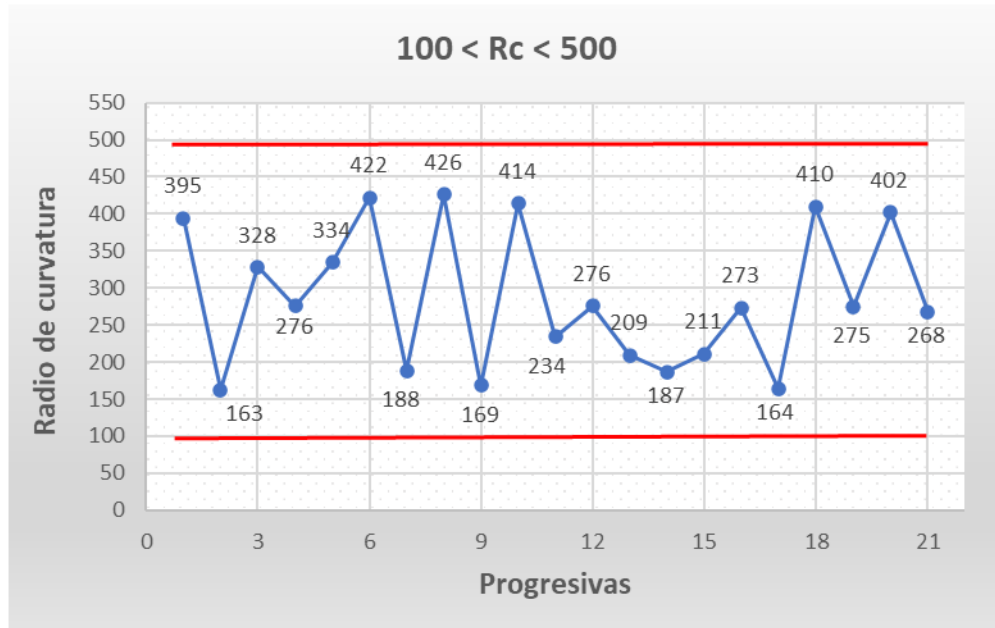
- La deflexión característica es igual a 26.20 para todo el carril derecho (ida).
- Como se puede observar en la presente grafica las deflexiones máximas de este carril se encuentran entre 11 y 26.
- Las deflexiones máximas con valores de 26 se encuentran en las progresivas 1+200, 10+200; y 12+200.
- Como se observa en la gráfica las deflexiones máximas son menores a la deflexión característica, por tanto, se está cumpliendo con lo establecido en la norma.

Tabla 36 Comprobación de radio de curvatura carril derecho.

Nº	Progresiva	Espesor Asfalto	Rc	100 < Rc < 500
		(cm)	(m)	
1	0+200	5.0	395	Cumple
2	1+200	5.0	163	Cumple
3	2+200	5.0	328	Cumple
4	3+200	5.0	276	Cumple
5	4+200	5.0	334	Cumple
6	5+200	5.0	422	Cumple
7	6+200	5.0	188	Cumple
8	7+200	5.0	426	Cumple
9	8+200	5.0	169	Cumple
10	9+200	5.0	414	Cumple
11	10+200	5.0	234	Cumple
12	11+200	5.0	276	Cumple
13	12+200	5.0	209	Cumple
14	13+200	5.0	187	Cumple
15	14+200	5.0	211	Cumple
16	15+200	5.0	273	Cumple
17	16+200	5.0	164	Cumple
18	17+200	5.0	410	Cumple
19	18+200	5.0	275	Cumple
20	19+200	5.0	402	Cumple
21	20+200	5.0	268	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10 Comprobación de radio de curvatura carril derecho.



Fuente: Elaboración propia.

- Los radios de curvatura para el carril derecho (ida) están dentro del rango establecido por la norma; $100 < Rc < 500$.
- El radio de curvatura más alto tiene un valor de 426 m y se encuentra en la progresiva 7+200.
- El menor radio de curvatura es de 163 m y se encuentra en la progresiva 1+200.
- Al estar los radios dentro del rango establecido en la norma se considera satisfactorio al tramo Canaletas - Entre Ríos.

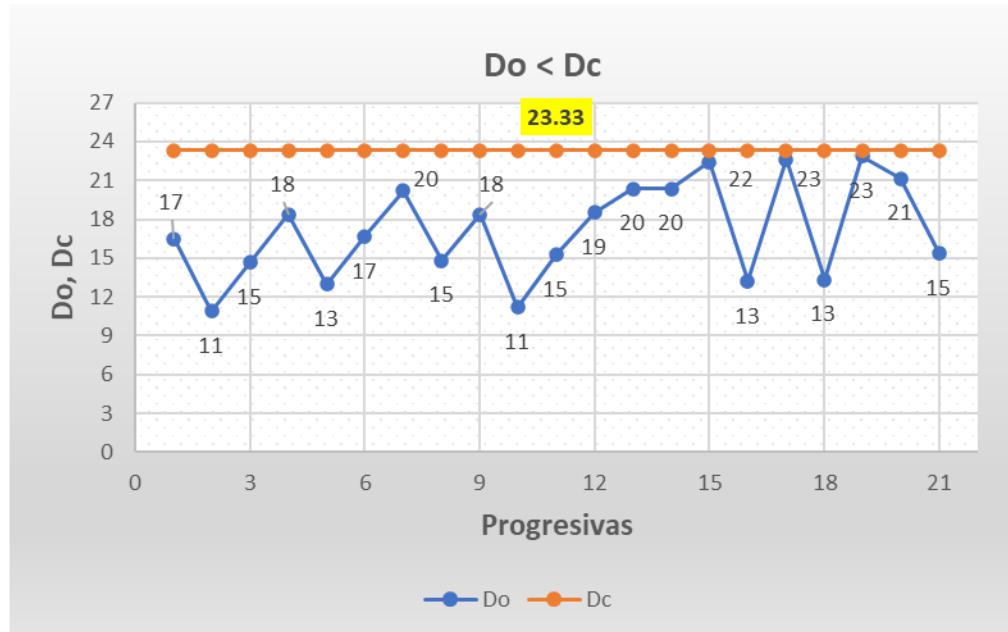
Carril izquierdo (Vuelta)

Tabla 37 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril izquierdo.

Nº	Progresiva	Espesor Asfalto	Do	Dc	Do < Dc
		(cm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	
1	0+200	5.0	17	23.33	Cumple
2	1+200	5.0	11	23.33	Cumple
3	2+200	5.0	15	23.33	Cumple
4	3+200	5.0	18	23.33	Cumple
5	4+200	5.0	13	23.33	Cumple
6	5+200	5.0	17	23.33	Cumple
7	6+200	5.0	20	23.33	Cumple
8	7+200	5.0	15	23.33	Cumple
9	8+200	5.0	18	23.33	Cumple
10	9+200	5.0	11	23.33	Cumple
11	10+200	5.0	15	23.33	Cumple
12	11+200	5.0	19	23.33	Cumple
13	12+200	5.0	20	23.33	Cumple
14	13+200	5.0	20	23.33	Cumple
15	14+200	5.0	22	23.33	Cumple
16	15+200	5.0	13	23.33	Cumple
17	16+200	5.0	23	23.33	Cumple
18	17+200	5.0	13	23.33	Cumple
19	18+200	5.0	23	23.33	Cumple
20	19+200	5.0	21	23.33	Cumple
21	20+200	5.0	15	23.33	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril izquierdo.



Fuente: Elaboración propia.

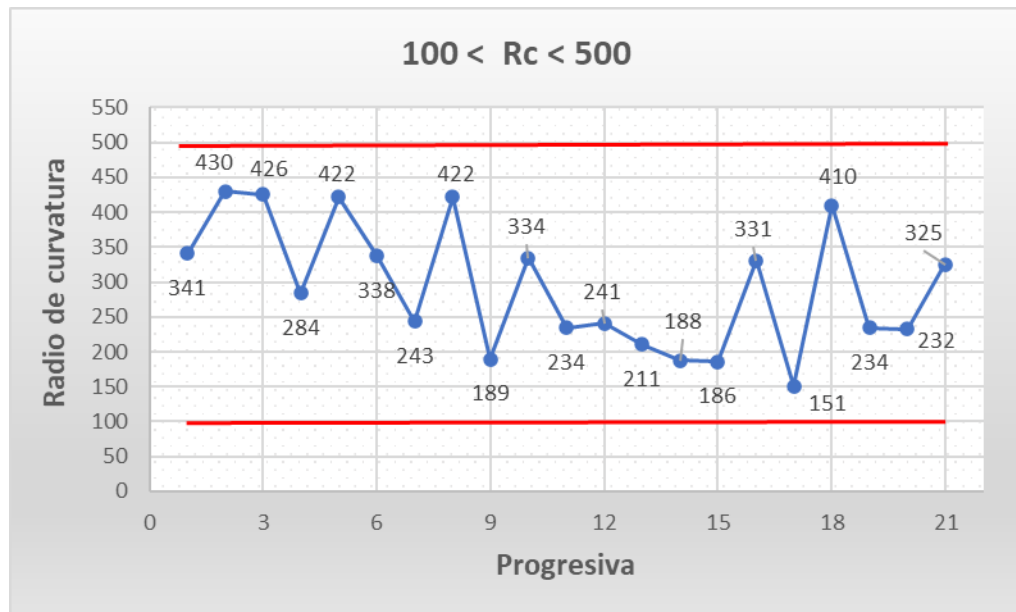
- La deflexión característica es igual a 23.33 para todo el carril izquierdo (vuelta).
- Como se puede observar en la presente grafica las deflexiones máximas de este carril se encuentran entre 11 y 23.
- Las deflexiones máximas con valores de 23 se encuentran en las progresivas 16+200 y en la progresiva 18+200.
- Como se observa en la gráfica las deflexiones máximas son menores a la deflexión característica, por tanto, se está cumpliendo con lo establecido en la norma.

Tabla 38 Comprobación de radio de curvatura carril izquierdo.

Nº	Progresiva	Espesor Asfalto	Rc	100 < Rc < 500
		(cm)	(m)	
1	0+200	5.0	341	Cumple
2	1+200	5.0	430	Cumple
3	2+200	5.0	426	Cumple
4	3+200	5.0	284	Cumple
5	4+200	5.0	422	Cumple
6	5+200	5.0	338	Cumple
7	6+200	5.0	243	Cumple
8	7+200	5.0	422	Cumple
9	8+200	5.0	189	Cumple
10	9+200	5.0	334	Cumple
11	10+200	5.0	234	Cumple
12	11+200	5.0	241	Cumple
13	12+200	5.0	211	Cumple
14	13+200	5.0	188	Cumple
15	14+200	5.0	186	Cumple
16	15+200	5.0	331	Cumple
17	16+200	5.0	151	Cumple
18	17+200	5.0	410	Cumple
19	18+200	5.0	234	Cumple
20	19+200	5.0	232	Cumple
21	20+200	5.0	325	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 12 Comprobación de radio de curvatura carril izquierdo.



Fuente: Elaboración propia.

- Los radios de curvatura para el carril izquierdo (vuelta) están dentro del rango establecido por la norma; $100 < Rc < 500$.
- El radio de curvatura más alto tiene un valor de 430 m y se encuentra en la progresiva 1+200.
- El menor radio de curvatura es de 151 m y se encuentra en la progresiva 16+200.
- Al estar los radios dentro del rango establecido en la norma se considera satisfactorio al tramo Canaletas - Entre Ríos.

4.3.2 Análisis de los resultados del método Viga Benkelman.

Luego de calcular y tabular todos los datos de las deflexiones en tramo Canaletas – Entre Ríos, a continuación, se realizará un análisis de ambos carriles:

Carril derecho:

En el carril derecho se obtuvo una deflexión máxima con un valor de 26×10^{-2} mm en la progresiva 1+200, 10+200 y 12+200 que es menor al valor de la deflexión característica de 26.20×10^{-2} mm, por lo tanto, se puede concluir que las deflexiones máximas son menores a la deflexión característica, cumpliendo así con lo establecido por la norma.

También se puede ver que los radios de curvatura están dentro de los rangos de valores aceptados $100 < R_c < 500$.

Carril izquierdo:

En el carril izquierdo el valor de la deflexión característica es de 23.33×10^{-2} mm y el valor de la deflexión máxima es de 23×10^{-2} mm en la progresiva 16+200 y en la progresiva 18+200.

También se puede observar que los radios de curvatura en este carril están dentro de los valores aceptados según la norma.

4.4 Prueba de hipótesis evaluación estructural

Deflexiones máximas

N°	Progresiva	Do
		(0.01 mm)
1	0+200	16
2	1+200	26
3	2+200	17
4	3+200	17
5	4+200	21
6	5+200	13
7	6+200	20
8	7+200	11
9	8+200	22
10	9+200	11
11	10+200	26
12	11+200	13
13	12+200	26
14	13+200	22
15	14+200	19
16	15+200	15
17	16+200	23
18	17+200	13
19	18+200	15
20	19+200	16
21	20+200	19

Interpretación de la hipótesis.

Nivel de significancia:

$$\alpha = 0,05$$

Evidencia muestral:

$$\text{Prom} = 18.2 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\sigma = 4.8$$

$$\mu = 26.20 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Aplicación distribución t- student

$$t_c = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$t_c = \frac{18.2 - 26.2}{\frac{4.8}{\sqrt{21}}}$$

$$t_c = -7.64$$

$$t = -1.725 \text{ (tabla)}$$

$$t_c > -1.725 \quad \longrightarrow \quad \text{Acepta } H_0$$

$$t_c \leq -1.725 \quad \longrightarrow \quad \text{Rechaza } H_0$$

$$-7.64 > -1.725$$

H_0 = rechaza

H_1 = acepta

H_{inn} = acepta

Conclusión de la prueba

Como el valor de t calculado se encuentra en la zona de no rechazo, la hipótesis alternativa es aceptada; por lo tanto, se puede establecer que la hipótesis de la investigación al estar emparejada con la alternativa, se confirma que a pesar de las fallas presentes en la superficie todavía existe una buena condición en la parte estructural del tramo en general.

4.5 Alternativa de solución, refuerzo de concreto asfáltico

4.5.1 Cálculos métricos

N.º	Descripción	Unidad	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Total
1	Bacheo asfáltico superficial	m²	940.18			940.18
2	Provisión y ejecución de riego de liga con asfalto diluido	m²	21000	7.3		153300
3	Provisión, colocado y compactado de concreto asfáltico en caliente	m³	21000	7.3	0.05	7665

4.5.2 Presupuesto total

N.º	Descripción	Unidad	Cantidad	P.unitario bs	Precio parcial bs
1	Bacheo asfáltico superficial	m²	940.18	129	121283.22
2	Provisión y ejecución de riego de liga con asfalto diluido	m²	153300	8	1226400
3	Provisión, colocado y compactado de concreto asfáltico en caliente	m³	7665	226	1732290
COSTO TOTAL DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCION					3079973.22

4.5.3 Análisis de alternativa de solución

Se eligió como alternativa de solución al tramo Canaletas – Entre Ríos un refuerzo de concreto asfáltico de 5 cm de espesor, el cual nos prevehe 10 años más de vida útil, también se garantiza seguridad, comodidad y confort a todos los usuarios que circulan por dicho tramo, el costo aproximado para dicha alternativa es de 3.079.973.22 bs.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez finalizado el trabajo del tramo “Canaletas – Entre Ríos” se llegó a las siguientes conclusiones:

- El pavimento flexible está superficialmente en una condición de “BUENO” según los resultados obtenidos en la evaluación superficial con el método PCI realizada siguiendo la norma ASTM D6433-03, con un resultado final del PCI de 55, valor que se encuentra en el límite entre Bueno y Regular según la tabla de calificaciones.
- Los PCI más significativos con valores arriba de 60 están en las progresivas 3+528; 4+410; 7+056; 15+876; 16+758; 17+640.
- Según cálculos de PCI del tiempo futuro o tiempo en el que las fallas llegan a su estado crítico se daría a partir del año 2032 en adelante.
- Las fallas más relevantes en el tramo estudiado son fisuras longitudinales y transversales; piel de cocodrilo y huecos.
- En todo el tramo se tiene un IRI=2.84 m/km que se encuentra dentro del rango de 2.0 – 3.5 m/km con clasificación “BUENO”.
- Para todo el tramo se tiene un PSI = 2.94 con calificación de REGULAR a BUENO, lo cual quiere decir que el tramo a pesar de sus buenos años de servicio, está todavía en buenas condiciones para el tránsito de vehículos.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación estructural siguiendo la norma ASTM D4695-03, el pavimento flexible está estructuralmente en buenas condiciones y con capacidad suficiente de seguir resistiendo las cargas de tránsito solicitadas ya que los resultados se encuentran dentro de los rangos aceptables $D_o < D_c$; $100 < R_c < 500$.

- El tramo “Canaletas – Entre Ríos” según la verificación de la hipótesis planteada en este trabajo, necesita refacción en la parte superficial ya que estructuralmente afirma que está en buenas condiciones.
- La solución planteada al tramo Canaletas – Entre Ríos es realizar un refuerzo de concreto asfáltico sobre la actual carpeta asfáltica.
- Para aplicar la capa de concreto asfáltico al tramo Canaletas – Entre Ríos se realizarán las siguientes actividades:
 - Bacheo asfáltico superficial.
 - Provisión y ejecución de riego de liga con asfalto diluido.
 - Provisión, colocado y compactado de concreto asfáltico en caliente.
- La capa de concreto asfáltico aplicada al tramo será de 5 cm de espesor.
- El costo de la alternativa de solución es de 3.079.973.22 bs para todo el tramo.
- Al realizar el presente trabajo se pudo aprender el procedimiento correcto para realizar una evaluación tanto superficial como estructural de una vía y servirá como referencia para las personas interesadas en el área.

5.2 Recomendaciones

- Al tratarse de un tramo completamente transitado, se recomienda colocar letreros de “hombres trabajando”, letreros de precaución, como también emplear bandera roja para detener el tráfico y bandera verde para que avance el tráfico a la hora de realizar los ensayos.
- Contar con todos los equipos de seguridad necesarios para realizar la evaluación en campo como ser triángulos, conos, chalecos fosforescentes, etc. ya que, al ser una carretera transitada y además poco visible debido a las curvas de dicha carretera, los vehículos se trasladan a grandes velocidades.
- Se recomienda verificar la condición del pavimento flexible con el método PCI por que se observa visualmente las fallas siendo un método confiable y económico.
- Para el diseño de espesores de refuerzos se debe realizar la elección de niveles de confiabilidad moderados y correctamente elegidos, con tal de obtener espesores no muy elevados y muy costosos, ni espesores muy pobres que requieran de mucho mantenimiento, por lo que se recomienda adoptar valores óptimos de confiabilidad.
- Se recomienda el mayor cuidado posible al momento de lecturar los ábacos y formulas utilizados para el diseño de refuerzos mediante el manual de AASHTO 93.