

CAPÍTULO I

1.1 Generalidades

Una administración eficiente de una red de caminos requiere entre otros aspectos, de la aplicación de acciones de conservación oportunas y eficaces que permitan por una parte mantener el patrimonio vial invertido impidiendo un deterioro no controlado del pavimento, y por otra parte, reducir los costos de operación a los usuarios de estas vías. Toda obra de conservación, especialmente cuando se trata de rehabilitaciones mayores, produce importantes inconvenientes operacionales y de seguridad a los usuarios así como impactos negativos al comercio, servicios, etc. El problema expuesto, plantea la inquietud de estudiar alternativas de conservación que permitan mantener los pavimentos en un adecuado nivel de servicio al usuario, y por otra reducir a un mínimo los impactos que se producen durante la materialización de estas acciones. Una de las soluciones tradicionales en la rehabilitación de pavimentos está la demolición de la estructura antigua y el reemplazo de esta por una nueva. Alternativamente y más conveniente en muchos casos, están las opciones de diseñar un recapado asfáltico sobre la estructura existente o la reposición parcial o completa de la primera capa estructural a través del frezado. Estas últimas opciones representan grandes ventajas al permitir rehabilitar un pavimento aumentando su capacidad estructural y al mismo tiempo causando un impacto menor en el ambiente y los usuarios al compararlo con una reconstrucción. El estudio de un proyecto de reconstrucción no presenta la misma problemática que la de un proyecto nuevo ya que no solo se requiere estudiar en detalle la capacidad de soporte del suelo de fundación sino que además se debe analizar las condiciones estructurales en que se encuentra el pavimento antiguo existente. La confiabilidad del diseño de las capas de refuerzo o recapado estructural estará entonces directamente relacionada con el diagnóstico previo de la capacidad estructural presente del pavimento existente y la estimación de su vida remanente. Es responsabilidad de los ingenieros estudiar las diferentes alternativas de rehabilitación de pavimentos de concreto, realizando un estudio económico que permita elegir la alternativa técnico-económica más adecuada.

1.2.- Justificación

Los pavimentos son la estructura que constituye en general la movilidad tanto en vías urbanas como rurales, es por esto que es de vital importancia su conservación y su adecuado mantenimiento para que de este modo sigan garantizando la seguridad, la comodidad y la economía en el caso de su mantenimiento.

Existen muchas razones para que un proyecto de pavimentación, de cualquier tipo, demande una superficie de rodamiento ya terminada lo más plana y libre de irregularidades posible; o sea que ofrezca las mejores características superficiales en cuanto a rugosidad y macro textura. Esta exigencia bien puede visualizarse en dos vertientes. La primera, se relaciona con la percepción de seguridad y comodidad del usuario, mientras que la segunda se refiere a las ventajas que ofrece una buena superficie de rodamiento desde el punto de vista de su desempeño y en general, una mejor calidad de servicio.

La presente investigación se justifica en la necesidad de conocer alternativas de diseño de refuerzo para el pavimento del tramo Canaletas-Entre Ríos del departamento de Tarija, en función a las deficiencias del pavimento, y así obtener un estudio de las opciones de refuerzo más adecuadas para este tramo.

En este caso estudiaremos y daremos a conocer las diferentes opciones o formas de reforzar el diseño del pavimento, sus materiales a utilizar y la forma de realizarlo, basados en la información que la ciencia relacionada a este tema nos puede ofrecer, a través del grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento, permitirá la toma de decisiones en su rehabilitación y/o refuerzo del pavimento en sectores donde el daño causado sea de mayor consideración ya que es imprescindible contar con metodologías de evaluación de pavimentos para la recepción provisional y definitiva de obras viales que incorporen el nivel de serviciabilidad como parámetro para definir los criterios de aceptación o rechazo de la obra terminada.

1. 3. Planteamiento del problema

1. 3.1. Situación problemática

El problema fundamental en los caminos urbanos de la provincia Cercado es que estos presentan un estado deficiente, debido a la mala elaboración y selección de los materiales componentes del camino, como también a las condiciones climatológicas que son características de la zona o en algunos casos que el terreno presenten alguna inestabilidad. Objetivamente se puede observar que con frecuencia se presentan fallas más comunes como deformaciones y fisuras que mayormente afectan a la capa de rodadura en las cuales no se realizan un mantenimiento adecuado a ciertos deterioros, se realizan reparaciones temporales que con el tiempo otra vez vuelven a presentarse con mayor magnitud , como desintegración por completo de la capa o en algunos casos dañando por completo la carpeta estructural . Entones para evaluar y ver su condición estructural, debemos hacer uso de la viga Benkelman.

Todos estos problemas pueden ocasionarse debido a que en el momento de su diseño y construcción de la capa de rodadura no se hizo una buena caracterización o utilización de los materiales que se van a emplear en las mezclas asfálticas. Muchas veces el material del lugar no es el más adecuado y se necesitaría llevar material de otros bancos al lugar de obra, pero esto significaría mayores gastos económicos y es por eso que en nuestro medio debido a una crisis económica que atraviesan, tanto nuestras instituciones, como empresas privadas, no es posible realizar esta mejora.

Como también se genera en los usuarios incomodidades y molestias al viajar, daños mecánicos en los vehículos, que conllevan a gastos mayores en reparaciones, demoras en tiempos de traslado.

1.3.2. Problema

¿Si se realiza una evaluación superficial y estructural en el pavimento, se podrá identificar el estado actual del tramo y las deficiencias que presenta comprobando la necesidad de reforzar el pavimento de esta carretera?

1.4. Hipótesis

Si realizamos las mediciones de campo para obtener los indicadores de estado superficial y la evaluación estructural del pavimento flexible, cuyo deterioro es visible, entonces se conformaran los segmentos de medición de acuerdo a recomendaciones ASTM para así poder determinar su grado de deterioro y diseñar refuerzos de hormigón simple y de concreto asfáltico.

1.5.-Objetivos del proyecto.-

1.5.1.- Objetivo General.

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.

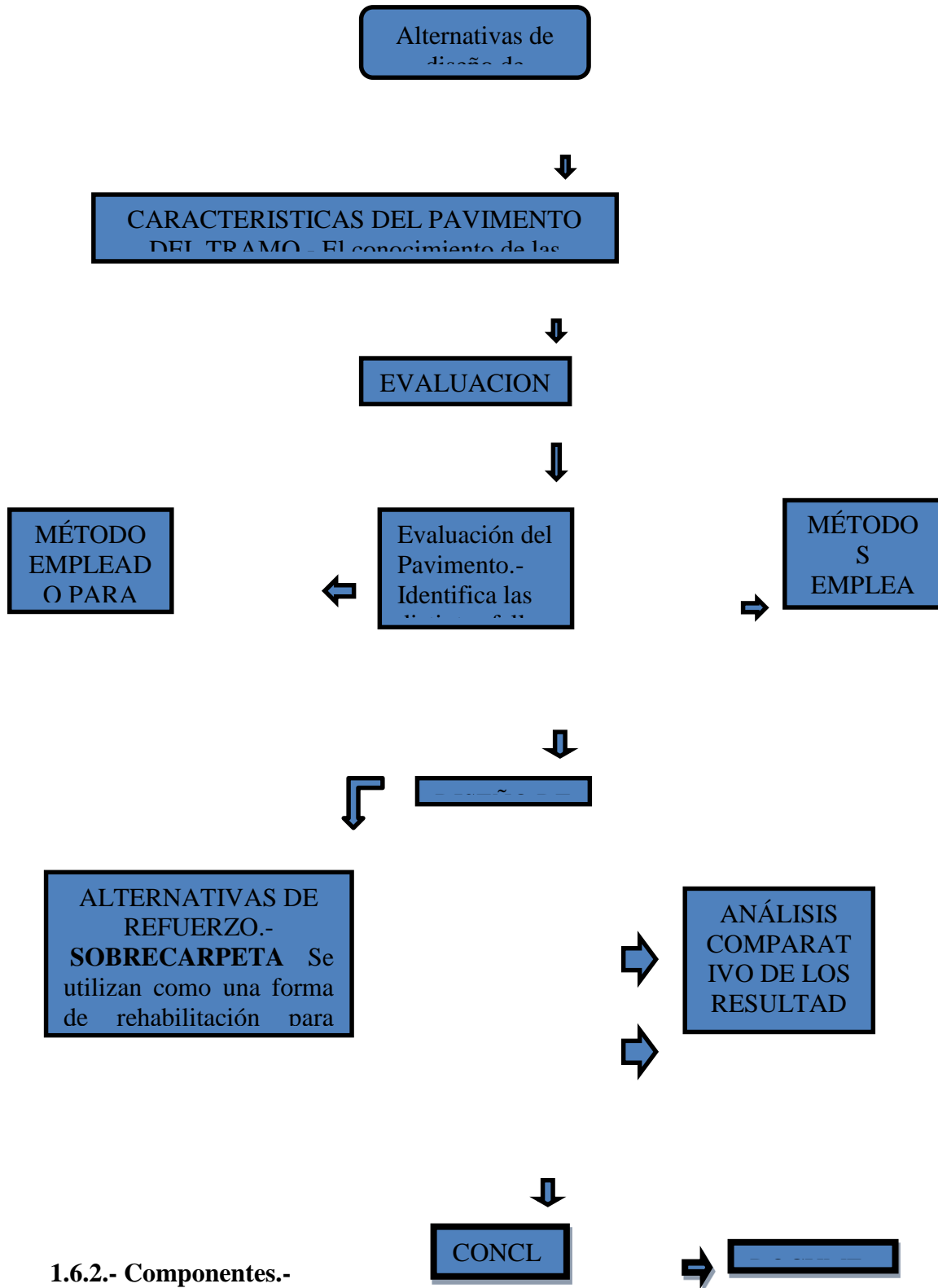
1.5.2.- Objetivos Específicos.

- ✓ Estudiar las características superficiales y atributos funcionales que deben tener los pavimentos flexibles.
- ✓ Definir los diferentes tipos de fallas que se pueden encontrar en el pavimento flexible Canaletas – Entre Ríos.
- ✓ Realizar las mediciones de campo para obtener los indicadores de estado superficial (Índice de condición del pavimento PCI, Índice de rugosidad internacional IRI, Índice de condición presente PSI, y estructural (Viga Benkelman) que nos permitan valorar las condiciones de estado del tramo estudiado.
- ✓ Realizar el trabajo de gabinete con el fin de encontrar los resultados de cada uno de los indicadores de estado anteriormente mencionados.
- ✓ Calificar y analizar cada uno de los resultados de los indicadores de estado IRI, PCI y PSI, de acuerdo a normas nacionales e internacionales que permitan obtener una valoración cualitativa del estado actual del tramo de estudio.
- ✓ Estudiar las distintas alternativas de refuerzo de pavimentos.

- ✓ Conocer las propiedades y características de las alternativas de diseño de refuerzo de pavimentos.
- ✓ Ofrecer una solución efectiva a través del diseño de refuerzos de hormigón simple y de concreto a las diversas fallas en el tramo a estudio.
- ✓ Diseñar alternativas de refuerzo que pueda ser implementado en el tramo“CANALETAS/ENTRE RIOS”
- ✓ Comparar y analizar los costos entre los tipos de refuerzo diseñados.

1.6.- Diseño metodológico.-

1.6.1.- Marco metodológico.-



1.6.2.- Componentes.-

En el presente estudio de evaluación se identificarán las fallas existentes en el tramo de pavimento flexible en estudio para diseñar las distintas alternativas de refuerzo como solución a las deficiencias presentes en el pavimento Canaletas – Entre Ríos.

En primera instancia estudiaremos las propiedades y características de los pavimentos flexibles; además de justificar el objeto de estudio del presente tema tomando en cuenta las variables que se evaluarán a través de diversos métodos y técnicas. Posteriormente desarrollaremos la información de las definiciones, las propiedades, características y dimensionamientos de los pavimentos flexibles, sin dejar de lado el estudio de los deterioros y su evaluación para así tratar de reforzar la estructura del pavimento del tramo, utilizando alternativas de refuerzo como las sobrecarpetas y el recapado, realizando a continuación un análisis comparativo de los resultados y obteniendo una valoración de costos de las alternativas de diseño, para así sacar conclusiones y recomendaciones de nuestro tema. Se realizará este análisis con la finalidad de proponer soluciones actualizadas y efectivas para el refuerzo del pavimento de nuestro tramo en estudio y en otros proyectos que tengan las mismas características.

1.6.2.1.- Unidad de estudio u observación.-

Dentro de la unidad de estudio u observación, se tomara en cuenta en este estudio, las características, su composición y su normativa de los pavimentos flexibles debido a que nuestra zona de estudio se encuentra emplazada sobre una estructura de pavimento flexible.

1.6.2.2.- Variables.-

1.6.2.2.1.- Identificación de variables.-

Variable Independiente.- Refuerzo de hormigón simple

Refuerzo de concreto asfáltico

Variable Dependiente.- Pavimento flexible.

1.6.2.2.2. Conceptualización.-

Refuerzo de hormigón simple.- Estructura compuesta por hormigón simple destinada a reforzar una superficie de pavimento flexible.

Refuerzo de concreto asfáltico.- Estructura compuesta por concreto asfáltico destinada a reforzar una superficie de pavimento flexible.

Pavimento flexible.- Estructura compuesta de materiales bituminosos, como aglomerantes y agregados que en conjunto soportaran las cargas ejercidas por el trafico.

1.6.2.3. Operacionalidad

1.6.2.3.1. Variables independientes.-

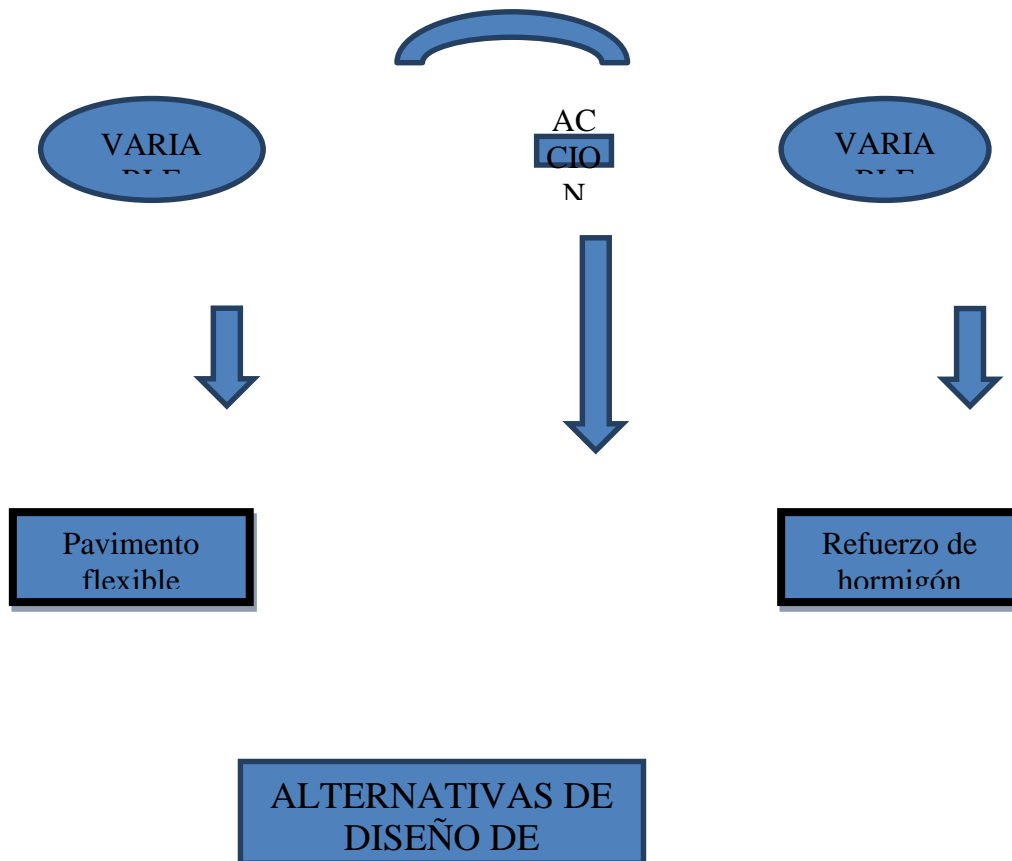
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR
Refuerzo de hormigón simple	<p>-Superficie del pavimento.</p> <p>-Segmentos de medición cada 200m.</p>	<p>-fallas superficiales en el pavimento.</p> <p>-fallas estructurales en el pavimento.</p> <p>-Obtención de los espesores del refuerzo.</p> <p>-concreto asfáltico</p>	<p>-Coeficientes (valor adimensional).</p> <p>-Segmentos establecidos (m).</p> <p>-Longitud y espesores (cm).</p>

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR
Refuerzo de concreto asfáltico	-Superficie del pavimento. -Segmentos de medición cada 200m.	-fallas superficiales en el pavimento. -fallas estructurales en el pavimento. -concreto asfáltico - Obtención de los espesores del refuerzo.	-Coeficientes (valor adimensional). -Segmentos establecidos (m). -Longitud y espesores(cm).

1.6.2.3.2. Variables dependientes

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR
<p>Pavimento flexible</p>	<p>-Superficie del pavimento.</p> <p>-Diseño de refuerzos</p>	<p>-Características de la estructura del pavimento flexible en estudio.</p> <p>-Segmentos de medición de acuerdo norma ASTM.</p> <p>-evaluación superficial del pavimento a través de los parámetros del IRI,PCI,PSI.</p> <p>-Evaluación estructural mediante Viga Benkelman.</p>	<p>-Criterios básicos de diseño, longitud y espesores (cm).</p> <p>-M-cm</p>

GRÁFICA 1.1.- VARIABLES



Fuente: Elaboración Propia

1.6.2.3.- Población.-

Refuerzos en los pavimentos flexibles

Se ha elegido tomar esta población, ya que el estudio tomara en cuenta los diversos tipos de técnicas y refuerzos para la rehabilitación de una carretera de pavimento flexible, y de esta forma ver si se dan soluciones definitiva a las fallas que se presentan en el tramo.

1.6.2.4.- Muestra.-

Refuerzo para el pavimento Canaletas – Entre Ríos

Todos los estudios realizados irán en función al pavimento Canaletas –Entre Ríos localizada en la provincia O´ Connor en el departamento de Tarija.

1.6.2.5.- Muestreo.-

Se procederá a la identificación de una zona que tenga la presencia de fallas en la estructura asfáltica, posteriormente la medición de la misma para dar una alternativa de solución y refuerzo de la misma.

1.7.- Métodos y Técnicas empleadas.-

1.7.1.- Métodos.-

El trabajo de investigación requiere del uso de un método y/o procedimiento que lo conduzca al conocimiento. Para llevar a cabo el trabajo se debe seguir una acción y un procedimiento metódico. Dentro de los tipos de métodos aplicados al trabajo intelectual tenemos al Método Deductivo y Método Inductivo. En nuestro caso emplearemos el método inductivo ya que se acomoda al estudio que se pretende realizar.

El método inductivo va de lo particular a lo general, lo empleamos cuando queremos llegar a un principio general a partir de realizar el análisis de algún fenómeno o de un tema en particular, ya que en nuestro trabajo se pretende realizar la evaluación de pavimento flexible a partir de las fallas existentes en el mismo y proponer una alternativa de refuerzo.

Para la recolección de datos se seguirá el siguiente procedimiento:

Para realizar este estudio se procederá a seleccionar 5km de pavimento flexible en estudio: Canaletas-Entre Ríos, para su aplicación esta selección se realizara en base al pavimento más deteriorado, ya que después de una evaluación a lo largo de los 23 Km se pudo ver que son 5 Km los más deteriorados que necesitan un refuerzo.

En los 5km. escogidos se realizarán segmentos de estudio de 20m. cada uno, en los tramos más críticos teniendo un total de 26 segmentos de medición, establecido según la norma ASTM.

En cada segmento se realizará la evaluación empleando los métodos IRI, PSI y PCI, para determinar las fallas superficiales que existen a lo largo del tramo de pavimento flexible en estudio y demostrar que el pavimento efectivamente se encuentra deteriorado y necesita de un refuerzo.

De igual manera en cinco segmentos estudiados se realizará el ensayo de la viga Benkelman para su evaluación estructural del pavimento de esta forma sacaremos de forma directa el módulo resiliente.

De esta manera al estudiar las partes más críticas de nuestro tramo podremos realizar una evaluación completa sobre el tipo de daño y su respectiva rehabilitación que deberá tener, ya sea por recapamiento de cemento asfáltico o sobrecarpetas.

1.7.2-Técnicas.-

Las técnicas son el CÓMO de la investigación, cómo se va a realizar. Existen varias técnicas para la investigación, en nuestro caso utilizaremos la medición, ya que el estudio estará basado en mediciones realizadas en segmentos establecidos por normativas AASHTO y ASTM.

Ya ubicados los segmentos de estudio dentro del tramo de pavimento flexible, estos serán clasificados y ordenados, para de esta manera elaborar un esquema donde se represente cada segmento para su evaluación y análisis. Para finalizar la investigación se propondrán alternativas de diseño de refuerzo para contrarrestar las fallas existentes en el pavimento.

Las técnicas que utilizaremos en el siguiente trabajo se las podrá definir y dividir a la vez en los siguientes cuatro pasos los cuales comprende la observación, acción o registro de los hechos, donde se procederá a verificar el tramo ubicando los puntos críticos que sean motivo de estudio realizando su respectiva medición y su análisis in

situ. Posteriormente como segundo paso se procederá a una elaboración de una hipótesis o análisis de lo anteriormente observado, para realizar este paso nosotros debemos de realizar ensayos en campo para determinar los parámetros necesarios para identificar el deterioro y las fallas existentes en el pavimento que son motivo de estudio y a partir de esto proponer una alternativa de diseño de refuerzo para pavimento flexible.

Posteriormente se procederá a clasificar los tipos de diseños de refuerzos a considerarse y su correspondiente estudio y aplicación. Finalmente, se realizara la comparación y valoración de costos para tener una alternativa adecuada tanto económica como funcionalmente.

CAPÍTULO II

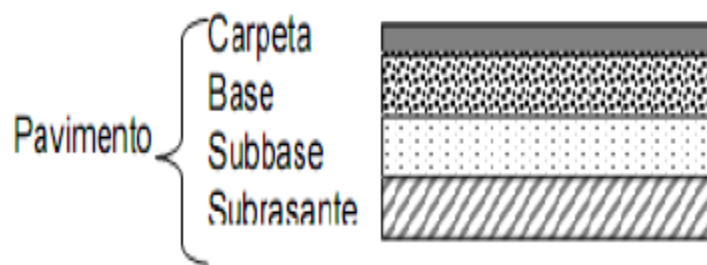
2.1.-Definición de pavimento flexible

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas vehiculares provocadas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe de funcionar eficientemente, además de ser cómoda para el usuario. La resistencia de las diferentes capas no sólo dependerá del material que las constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo, siendo dos factores importantes la compactación y la humedad. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida útil de entre diez y quince años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para poder cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente, de la sub rasante, la sub base, la base, y la carpeta de rodadura o carpeta asfáltica.

2.2.-Conformación de la estructura del pavimento flexible.

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase, las cuales se encuentran conformadas por materiales que deben llenar las especificaciones requeridas. La calidad de estas capas va disminuyendo con la profundidad

GRÁFICA 2.1.- Estructura del pavimento



Fuente: es.slidesharecdn.net

2.3.- Función de las capas del pavimento flexible

2.3.1.-Subrasante

La sub-rasante es la capa de terreno natural de una carretera, que soporta la estructura del pavimento, se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. De su capacidad soporte depende el espesor que debe tener toda la estructura del pavimento. Es considerada como la cimentación del pavimento.
rasante.

2.3.2.- Sub-base

La sub-base es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que la sub rasante las pueda soportar.

2.3.3.- Base

La capa de base es la capa encargada de absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, y de repartirlos uniformemente a las capas de sub-base y sub-rasante.

2.3.4.- Capa de rodadura

También conocida como carpeta asfáltica, la carpeta de rodadura es la capa de la estructura del pavimento flexible elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico, que protege la base, impermeabilizando la superficie, evitando de esta manera posibles infiltraciones del agua de lluvia, que podría saturar parcial o totalmente las capas inferiores que conforman la estructura del pavimento flexible. Además de evitar el desgaste y deterioro de la base como consecuencia del tránsito vehicular al cual está sirviendo.

2.4.- Evaluaciones de los pavimentos flexibles

Las vías terrestres se planean y se construyen para que estén en servicio un determinado número de años (como mínimo), que se llama vida útil de la obra.

Al estar en operación una obra vial, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra vial, que aceleren su falla, por lo que para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

El deterioro que se va teniendo en las obras viales, se va observando y se le asigna una calificación, dándole un valor de 1 a 5 que se llama índice de servicio. Cuando una obra se pone a funcionar, recién construida, debe tener una calificación entre 4.5 y 5, la cual va disminuyendo conforme pasa el tiempo (n), y según el tipo de mantenimiento que este tenga. Fig. 2.10.

GRAFICA 2.2.-ÍNDICE DE SERVICIO.

- Evaluación Superficial
- Evaluación Estructural

2.4.1.-Evaluación superficial

El trabajo de la evaluación superficial de un pavimento flexible, implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento, vale decir la capa asfáltica, desde el momento que este pavimento se pone en servicio.

Este tipo de evaluación debe basarse en:

*Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.

*Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.

*Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

Por otro lado se debe tener en cuenta una inspección visual continua, porque un pavimento flexible no falla instantáneamente, sino que su deterioro va aumentando en forma continua.

Con una inspección visual sistemática se detecta las fallas existentes en la superficie del pavimento, dichas fallas pueden ser originadas por sollicitaciones de los vehículos, fallas constructivas y por efectos climáticos.

Los objetivos de la observación sistemática son:

*Detectar los posibles tipos de deterioros o fallas.

*Fijar prioridades dentro un programa de mantenimiento para el tramo en estudio.

*Analizar el comportamiento del pavimento en vista de mejoras o reconstrucción.

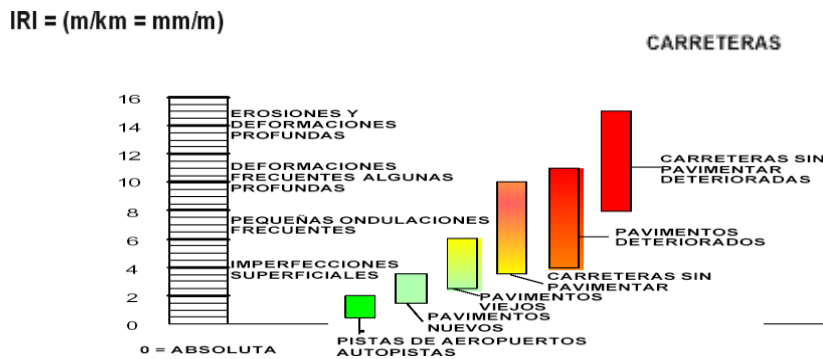
2.4.1.1.- Índice de regularidad superficial internacional (iri, (international roughness index)

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se está imponiendo el empleo del IRI (Índice Internacional de Regularidad), establecidos a partir de estudios auspiciados por el Banco Mundial (1986). Para definir

el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y masas de un vehículo circulando por un tramo de carretera a una velocidad de 80 km/h. Este modelo se denomina QCS (Quarter Car Simulation), o simplemente QI (Quarter Index), dado que representa la cuarta parte de un vehículo de cuatro ruedas o un remolque de una sola rueda.

El IRI en un punto de una carretera se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetros por metro o metros por kilómetro. Valores inferiores a 2 mm/m representan una magnífica regularidad superficial para todo tipo de carreteras; para carreteras secundarias, de velocidad específica en torno a los 80 km/h, basta que el IRI sea inferior a 5 mm/m.

GRÁFICA 2.3.- Escala de Valores de Rugosidad para Pavimentos (IRI)



Fuente: Adaptado de Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Sayers M.W., Gillespies T.D., Paterson W.D. World Bank Technical Paper Number N° 46, 1986

La irregularidad o rugosidad de la superficie de un camino refleja adecuadamente el grado de comodidad del tránsito; se ha desarrollado una gran variedad de equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos y se ha adoptado mundialmente un índice único conocido como “Índice de Rugosidad Internacional” (IRI), y fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial. La definición del IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo modelo denominado

el Modelo del Cuarto Carro al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar.

El cálculo matemático del IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo, dividida entre la distancia recorrida por el vehículo y se expresa en unidades de mm/m o m/km.

TABLA 2.1.- Escala de Valores de Rugosidad para Pavimentos

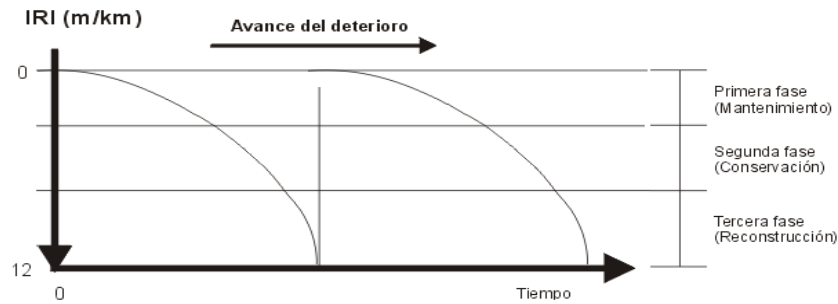
Carreteras , Autopistas y Aeropuertos	0 - 2,0
Pavimentos Nuevos	1,5 - 3,5
Pavimentos Viejos	2,5 - 6,0
Carreteras sin Pavimentar	3,5 - 10,0
Pavimentos Deteriorados	4,0 - 11,0
Carreteras sin Pavimentar Deteriorados	8,0 para adelante

Fuente: Banco Mundial, para carreteras

El comportamiento típico de la condición superficial de un pavimento respecto al tiempo se muestra en la gráfica 2.4, en la que se observa que partiendo de un cierto

valor del IRI, éste va decreciendo al paso del tiempo, como resultado de los avances de los deterioros en la superficie del pavimento.

GRAFICA 2.4.- Avance del deterioro de un camino vs. Tiempo



Fuente: Adapted de Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements

Equipo Utilizado en la Medición y procesamiento de la Rugosidad Para llevar adelante este método de evaluación, se utilizara el software denominado INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia.

Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira y nivel, del tramo total o sub tramos escogidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estos son esenciales para la ejecución del programa.

El software para determinar el IRI hace uso del programa: IRI método (Mira y Nivel), este programa está conformado por 6 módulos, a saber:

TABLA 2.2.- PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA INPACO

Delta X (Dx)
Identificación del tramo ()
Entrada Información

Calculo IRI
Gráfica
Imprimir Información
Terminar

Fuente: Elaboración propia

1.- DELTA X (DX).- Es la parte del programa que permite escoger el incremento en el abscisado de los datos de nivelación. Se dispone de los siguientes deltas en el programa:

- a) 50 mm.
- b) 100 mm.
- c) 152.4 mm. (0.5 ft).
- d) 166.7 mm.
- e) 200 mm.
- f) 250 mm.
- g) 304.8 mm. (1.0 ft).
- h) 333.3 mm.
- i) 500 mm.
- j) 609.6 mm. (2.0 ft).

2.- IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO.- Este módulo es el encargado de entrar las características esenciales del tramo de análisis. Estas características son:

- Código Tramo.
- Nombre del Tramo.
- Abscisa Inicial y Final.

3.-ENTRADA DE INFORMACIÓN.- Esta parte del programa dará la posibilidad de entrada de las cotas por abscisa de la nivelación.

4.-CÁLCULO DEL IRI.- Se calculará el Índice de rugosidad Internacional teniendo en cuenta la información digitada anteriormente.

En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identifica el proceso de cálculo necesario para encontrar el valor del IRI.

- Delta X: Delta escogido.
- Número total de datos: Es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.
- Z1, Z2, Z3, Z4, Y, ΣRSi : Variables requeridas por el sistema.
- IRI: Valor del Índice de rugosidad Internacional calculado.

De los resultados obtenidos se ira a una tabla para definir el estado de la carretera en función del IRI.

TABLA 2.4.-RANGOS DE RUGOSIDAD IRI

CLASE DE CARRETERA	CALIDAD DE RODADURA IRI			
	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA
Red vial fundamental primaria	IRI < 3	3 < IRI < 5	5 < IRI < 7	IRI > 7

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

2.4.1.2.-MÉTODO DE EVALUACIÓN ÍNDICE CONDICIÓN PRESENTE PCI

El método de evaluación de pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y. Shain y S.D. Khon y publicado por el Cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos en 1978.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimento (PCI) para carreteras, calles y estacionamientos para proveer al ingeniero de:

- (1) Un método estándar para evaluación de la condición de la superficie operacional de una sección de pavimento.
- (2) Un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.
- (3) Un método para determinar el comportamiento mediante determinación continúa del PCI.

El método determina el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en base a información obtenida de una inspección visual. Este índice ayuda al ingeniero en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación.

La ecuación del PCI y el deterioro de un pavimento está en función de:

- El tipo de falla.
- La severidad de la falla (ancho de las grietas, etc.).
- La densidad de la falla (% del área afectada).

$$PCI = 100 - \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} VD(T_i, S_j, D_{ij}) \right] * F \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

PCI = Índice de Condición de pavimento.

VD = Valor de deducción, en función del tipo de falla (T_i), severidad (S_j), y densidad de fallas (D_{ij}) observables en el pavimento.

I = Tipos de falla.

J = Grados de severidad.

P = Número de fallas en el pavimento analizado.

M_i = Grados de severidad para la falla "i".

F = Factor de ajuste, en función de la sumatori

El efecto sobre la calidad de rodaje es:

BAJO: Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.

MEDIO: (1) Se producen vibraciones o saltos significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. (2) Saltos individuales o continuos que producen molestias.

ALTO: (1) Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad. (2) Saltos individuales, que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular.

2.4.1.2.1.- TIPOS DE FALLAS

A continuación se muestran las distintas fallas que se presentan en los pavimentos flexibles, los cuales consideraremos en el método PCI (tabla 2.11).

**TABLA 2.5.-FALLAS FRECUENTES EN LOS
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

FALLA N°	DESCRIPCION	UNIDAD
1	Grieta Piel de cocodrilo	m2
2	Exudación de Asfalto	m2
3	Grietas de Contracción	m2
4	Elevaciones – Hundimiento	m
5	Corrugaciones	m2
6	Depresiones	m2
7	Grietas de Borde	m
8	Grietas de Reflexión de Juntas	m
9	Desnivel Calzada – Hombrillo	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m
11	Baches y Zanjas Reparadas	m2
12	Agregado Pulidos	m2
13	Huecos	N
14	Acceso a Puentes - Rejillas de Drenajes	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Deformación por Empuje	m2
17	Grietas de Deslizamiento	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Disgregación y Desintegración	m2

Fuente: es.slidesharecdn.net

Antes de describir individualmente cada tipo de falla, es importante aclarar algunos puntos que generalmente presentan duda con respecto a la forma de medición de distintas fallas:

- a. Si están presentes la grietas piel de cocodrilo y ahuellamiento en la misma área, ambas fallas se miden separadamente.
- b. Si el pavimento presenta exudación, el agregado pulido no se cuenta en la misma área.
- c. Si existen grietas en los bordes de una falla de elevación – hundimiento, estas se miden separadamente.
- d. Fallas en un bache no se cuentan, ellas sólo afectan la severidad del bache.
- e. Los huecos se miden por número de huecos con una determinada área y no como área total.

1) GRIETA PIEL DE COCODRILO

GRÁFICA2.5 PIEL DE COCODRILO



Fuente: Elaboración propia

Una serie de grietas interconectadas, producidas por fatiga de la mezcla asfáltica. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y se propagan a la superficie, habiendo sido inicialmente grietas longitudinales paralelas. Posteriormente bajo el efecto del tráfico, estas se conectan formando polígonos de diferentes tamaños que semejan la piel de un cocodrilo o un alambre de gallinero.

Estas grietas, que ocurren sólo en áreas sometidas a tráfico, se consideran una falla estructural severa y generalmente son acompañadas de ahuellamientos

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Grietas muy finas longitudinales y paralelas, con poca o ninguna interconexión.

MEDIA (M): Grietas más desarrolladas e interconectadas con algo de desintegración en los bordes.

ALTA (H): Las grietas han progresado de tal forma que muestran bloques (partículas) bien definidos con fuerte desintegración de los bordes. Algunos pedazos pueden soltarse fácilmente.

Forma de Medición:

Se mide en M^2 de área. Es frecuente encontrar diferente severidad en una misma área afectada. En caso que no se pueda separar o estimar las áreas correspondientes a cada nivel, debe considerarse el área total como afectada de la mayor severidad.

2) EXUDACIÓN DE ASFALTO

GRÁFICA 2.6.- EXUDACIÓN



Fuente: Elaboración propia

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento creando una superficie brillante y reflectiva, normalmente pegajosa. La exudación es causada por exceso de asfalto en la mezcla, en aplicación de sellos, y/o bajo contenido de vacíos. Ocurre normalmente a elevadas temperaturas.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): La exudación ha ocurrido en un grado y es apenas notable. El asfalto no se pega a los zapatos y neumáticos.

MEDIA (M): La exudación se ha incrementado. El asfalto se adhiere a zapatos y neumáticos solamente en los días más calurosos.

ALTA (H): La exudación es severa y extensa. Una considerable cantidad de asfalto se pega a neumáticos y zapatos al aumentar la temperatura.

Forma de medición:

Se mide en M² de área.

3) GRIETAS DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)

GRÁFICA 2.7.- GRIETAS



Fuente: www.ebah.cpm.br/guiadefalla

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares, con lados entre 30 cm. y 3 mts.

Estas grietas son causadas principalmente por contracción del asfalto, por efecto de las variaciones cíclicas de temperatura. No están asociadas con cargas o fatiga, e indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente. Ocurren generalmente en grandes áreas del pavimento, algunas veces en áreas sin tráfico.

En general difieren de las grietas piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y en que éstas últimas son causadas por cargas (fatiga) y ocurren sólo en áreas traficadas.

Nivel de severidad:

BAJA (L): (1) Grietas sin sellar de ancho inferior a 10 mm. (3/8")

(2) Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

MEDIA (M): (1) Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm. (3/8" a 2").

(2) Grietas sin sellar hasta 51 mm. (2") con grietas finas adyacentes.

(3) Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

ALTA (H): (1) Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media y/o alta severidad.

(2) Grietas sin sellar de mas de 51 mm. (2") de ancho.

(3) Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacente está severamente dañado.

Forma de medición:

Grietas de contracción son medidas en M² de área afectada. Normalmente ocurren con una sola severidad en la misma sección de pavimento. Si se observan diferentes niveles de severidad en la misma sección de pavimento. Si se observan diferentes niveles de severidad, estos deben reportarse separadamente.

4) ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS

GRÁFICA 2.8.-HUNDIMIENTOS



Fuente: www.ebah.cpm.br/guiadefalla

Las elevaciones son pequeñas y localizadas protuberancias de la superficie del pavimento. A diferencia de las deformaciones por empuje que son producidos por inestabilidad del pavimento, las elevaciones son producidas por:

*Movimientos y levantamiento de trozos de losas de concreto debajo de la capa asfáltica.

*Hinchamiento por localización.

*Infiltración de materiales en las juntas

Los hundimientos son pequeñas y abruptas deformaciones de la superficie. No debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por hinchamiento.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Producen bajo efecto sobre calidad de rodaje.

MEDIA (M): Producen medio efecto sobre calidad de rodaje.

ALTA (H): Producen alto efecto sobre calidad de rodaje.

Forma de medición:

Las elevaciones y hundimientos se miden en metros lineales. Si estas fallas se presentan perpendiculares al tráfico y separadas menos de 3mts., se denominan corrugaciones. Si se presentan conjuntamente con grietas ambas deben ser contadas.

5) CORRUGACIONES

GRÁFICA 2.9.- CORRUGACIONES



Fuente: www.construmatica.com/fallas

Estas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas menos de 3 mts., en sentido transversal al tráfico. Son causadas normalmente por el tráfico en pavimento de base o superficie inestable.

Nivel de severidad:

BAJA (L): Produce bajo efecto sobre calidad de rodaje.

MEDIA (M): Produce medio efecto sobre calidad de rodaje.

ALTA (H): Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

Forma de medición:

Se miden en M² de área.

6) DEPRESIONES

GRÁFICA 2.10 Depresiones



Fuente: Elaboración propia

Son áreas de pavimento con elevación inferior a las adyacentes. Las pequeñas depresiones son difíciles de observar en los pavimentos secos.

Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua, que normalmente dejan una marca de contorno al secar.

Generalmente son producto de asentamientos de la fundación o fallas constructivas. Pueden producir rugosidad y ser peligrosas al llenarse de agua. Se diferencian de los hundimientos en que no son abruptos.

Nivel de severidad:

BAJA (L): 13 a 25 mm (1/2 a 1 pulg.).

MEDIA (M): 25 a 51 mm (1 a 2 pulg.)

ALTA (H): Más de 51 mm (> 2 pulg.).

Forma de medición:

Esta falla se mide M² de área

7) **GRIETAS DE BORDE**

GRÁFICA 2.11.-GRIETAS



Fuente: PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS, Daniel Violini, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Son grietas longitudinales paralelas, contenidas en una franja de 30 a 60 cm. en el borde externo del pavimento. Esta falla es acelerada por las cargas y puede ser causada por congelación de la base y/o subrasante, materiales expansivos y falla de soporte lateral. En algunos casos se puede llegar a producir pérdida del borde por disgregación.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Grietas de baja severidad sin disgregación.

MEDIA (M): Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de borde.

ALTA (H): Considerable rotura de borde y disgregación en grietas.

NOTA: Nivel de severidad de grietas ver falla N°. 10.

Forma de medición:

Esta falla se mide en metros lineales.

8) DESNIVEL CALZADA – HOMBRILLO

GRÁFICA 2.12 DESNIVEL DE CALZADA



Fuente: www.construmatica.com/fallas

Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo. Normalmente causado por erosión o asentamiento del hombrillo, o elevación de la calzada sin nivelar la altura del hombrillo.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): La diferencia de elevación es de 25 a 51 mm (1" a 2").

MEDIA (M): La diferencia de elevación entre 51 y 102 mm (2" a 4").

ALTA (H): La diferencia de elevación es mayor de 102 mm (4").

Forma de medición:

Esta falla es medida en metros lineales.

9) GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

GRÁFICA 2.13 GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



Fuente: PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS, Daniel Violini, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o eje de construcción. Son generalmente causadas por:

- *Mala construcción de junta de franjas de asfalto.
- *Contracción del asfalto debido a los cambios de temperatura y el envejecimiento.
- *Reflexión de las grietas del pavimento inferior, grietas en el asfalto.

Las grietas transversales son aproximadamente perpendiculares al eje del pavimento y pueden ser causadas por las mismas razones indicadas.

Estos tipos de grietas no están generalmente asociadas con tráfico y/o cargas.

Nivel de severidad:

BAJA (L): (1) Grietas sin sellar de ancho inferior a 10 mm. (3/8")
(2) Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

MEDIA (M): (1) Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm. (3/8" a 2").
(2) Grietas sin sellar hasta 51 mm. (2") con grietas finas adyacentes.
(3) Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

ALTA (H): (1) Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media y/o alta severidad.

(2) Grietas sin sellar de mas de 51 mm. (2") de ancho.

(3) Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacente está severamente dañado.

Forma de medición:

Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales. La longitud y severidad de cada grieta debe ser identificada.

Si una grieta muestra varias severidades, estas deben diferenciarse. Si una elevación o hundimiento ocurre simultáneamente, también esta debe anotarse.

10) BACHEO Y ZANJAS REPARADAS

GRÁFICA 2.14 BACHEO



Fuente : Elaboración propia

Un bache es un área del pavimento que ha sido reparada mediante el empleo de material nuevo. Un bache es considerado un defecto, independiente de lo bien que haya sido ejecutado. Generalmente produce algo de rugosidad.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Bache bien ejecutado y en condición satisfactoria. Tiene bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

MEDIA (M): El bache muestra moderado deterioro, tiene efecto medio sobre calidad de rodaje.

ALTA (H): Bache severamente deteriorado que debe ser reemplazado. Tiene alto efecto sobre la calidad de rodaje.

Forma de medición:

Esta Falla se mide en M^2 de área. Si un mismo bache presenta diferentes niveles de severidad, estos deben anotarse por separado en base al área que ocupen. Ninguna otra falla (como grietas o deformación por empuje) es anotada dentro de un bache, sólo se cuenta el área del bache en función de su severidad.

Si una extensa área del pavimento ha sido reemplazada, esta debe considerarse como pavimento nuevo y no como un bache.

11) AGREGADOS PULIDOS

GRAFICA 2.15.- AGREGADOS PULIDOS



Fuente : Elaboración propia

Esta falla es causada por los pases del tráfico. Cuando el agregado superficial se pule la adherencia con los neumáticos se reduce considerablemente. El agregado pulido se cuenta cuando un examen detallado revela que la textura del pavimento es inadecuada y la superficie de las partículas de agregado es suave al tacto. Este tipo de falla está asociada con baja resistencia a la fricción.

Nivel de Severidad: No se define el nivel de severidad. Sin embargo, el grado de polidura debe ser significativo antes de que sea incluido como defecto.

Forma de medición:

Se mide en M² de área. Si hay exudación, debe contarse y el agregado pulido no se considera.

12) HUECOS

GRÁFICA 2.16 HUECOS



Fuente: Elaboración propia

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros generalmente inferiores a 1.9 mts. Usualmente tienen bordes angulosos y verticales en las cercanías de la superficie. Crecen rápidamente por efecto del agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por disgregación de pequeñas áreas del pavimento. Este se desintegra debido a defectos de mezcla, puntos débiles en la base o subrasante o grietas piel de cocodrilo de alta severidad. Los huecos son generalmente causados por una falla estructural y no debe confundirse con disgregación y desintegración. Cuando los huecos son consecuencia del deterioro progresivo de fallas del tipo piel de cocodrilo deben considerarse como huecos y no como disgregación y desintegración.

Nivel de severidad:

El nivel de severidad para huecos de diámetro a 76.2 cm. (30”) se basa tanto en el diámetro como en la profundidad.

TABLA2.6.-Especificaciones de las fallas (HUECOS)

PROFUNDIDAD	DIÁMETRO PROMEDIO (cm)
--------------------	-------------------------------

MÁXIMA (cm)	10 a 20 (4" a 8")	20 a 45 (8" a 18")	45 a 76 (18" a 30")
1.2 a 2.5 cm (1/2" a 1")	L	L	M
> 2.5 a 5 cm (1" a 2")	L	M	H
> 5 cm (> 2")	M	M	H

Fuente: Manual de fallas

Si el hueco tiene más de 76 cm. de diámetro (30") el área debe medirse en M^2 y dividirse entre 0.47 M^2 para determinar el número equivalente de huecos. Si la profundidad es menor a 2.5 cm. (1") se considera de severidad media (M). Si la profundidad es mayor de 2.5 cm. se considera de alta severidad (H).

13) AHUELLAMIENTO

GRÁFICA 2.17.- AHUELLAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

El ahuellamiento es una depresión longitudinal, bajo las huellas de los neumáticos. El pavimento puede levantarse a lo largo de los bordes de la depresión. Generalmente el ahuellamiento se observa después de la lluvia, al llenarse de agua las depresiones.

El ahuellamiento es originado por la deformación permanente de la subrasante o alguna capa del pavimento, normalmente causado por consolidación o movimiento lateral de los materiales bajo efecto del tráfico. El excesivo ahuellamiento puede producir una falla estructural del pavimento.

Nivel de Severidad:

Profundidad del ahuellamiento.

BAJA (L): 6 a 13 mm (1/4 a 1/2").

MEDIA (M): > 13 a 25 mm (> 1/2" a 1").

ALTA (H): > 25 mm (> 1")

Forma de medición:

El ahuellamiento se mide en M² de área, y su severidad se determina por la profundidad media del ahuellamiento.

14) DEFORMACIÓN POR EMPUJE

GRÁFICA 2.18 Deformación por empuje



Fuente: www.victoryepes.blogs.upv.es

Es un desplazamiento o deformación permanente producido por el tráfico en un área localizada del pavimento. Cuando el tráfico “empuja” sobre el pavimento produce, una corta y abrupta cresta o deformación. Este tipo de falla se produce mayormente en mezclas con asfaltos líquidos o emulsiones, así como en mezclas de baja estabilidad.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

MEDIA (M): Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

ALTA (H): Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

Forma de medición:

Esta falla es medida en M² de área.

15) GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

GRÁFICA 2.19 GRIETAS DE DESLIZAMIENTO



Fuente: www.construmatica.com/patologias

Son grietas en forma de media luna, con sus puntas en el sentido de la dirección del tráfico. Son causadas por el deslizamiento de la capa asfáltica superficial y ocurren por falta o exceso del riego de adherencia.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): (1) El ancho de grietas es menor de 10 mm. (3/8")

MEDIA (M): (1) Ancho de grietas entre 10 y 38 mm. (3/8" a 1.5").

(2) El área adyacente a las grietas muestra grietas finas.

ALTA (H): (1) Ancho de grietas mayor de 38 mm. (1.5").

(2) El área adyacente a las grietas muestra trozos sueltos.

Forma de medición:

Se mide en M² de área.

16) HINCHAMIENTOS

GRÁFICA 2.20.-HINCHAMIENTOS



Fuente: Vulnerabilidad de asfálticos (colombia2009) Ms C. MARÍA FERNANDA GARCÍA A.

Es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido a un hinchamiento de la sub rasante o alguna porción de la estructura del pavimento. Generalmente causados por humedad en suelos expansivos, o expansión por congelamiento en capas granulares.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

MEDIA (M): Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

ALTA (H): Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

Forma de medición:

Esta falla es medida en M² de área.

17) DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN

GRÁFICA 2.21.- DISGREGACIÓN



Fuente: Elaboración propia

La disgregación es el desprendimiento o pérdida sucesiva de material superficial, por la abrasión del tráfico o el clima. Es causado generalmente por el uso de métodos de construcción pobres, la utilización de agregados de baja calidad, y diseño pobre de la mezcla asfáltica.

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos, es el resultado de la evolución de la desintegración de las partículas superficiales. En época de lluvia, forman los charcos de agua.

Nivel de Severidad:

BAJA (L): Produce bajo efecto sobre la calidad de rodaje.

MEDIA (M): Produce medio efecto sobre la calidad de rodaje.

ALTA (H): Produce alto efecto sobre calidad de rodaje.

Forma de medición:

Esta falla es medida en M² de área.

2.4.1.2.1.1.- SEVERIDAD DE FALLA

En vista de las variaciones de severidad que presentan los tipos de fallas, se han descrito los diferentes niveles contemplados en el método para cada falla.

2.4.1.2.1.2.- VALOR DE DEDUCCIÓN

Estos valores (**VD**) son determinados en función del tipo de cada falla, su severidad y densidad en el pavimento, los diferentes gráficos para determinar el (VD) se encuentran en el ANEXO II.

2.4.1.2.1.3.- FACTOR DE AJUSTE

Este factor permite ajustar el valor total de deducción cuando más de un tipo de falla afecta sustancialmente la condición del pavimento.

La grafica 2.22. muestra las curvas empleadas para determinar el valor de deducción corregido (**VDC**) en función del valor total de deducción (**VTD**), y “q”, o sea el número de VD individuales mayores que 5.

La grafica 2.23 muestra esquemáticamente los pasos necesarios para determinar el PCI. La Fig. 2.46 indica los diferentes niveles de clasificación del pavimento en función del valor PCI.

2.4.1.2.1.4.- PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

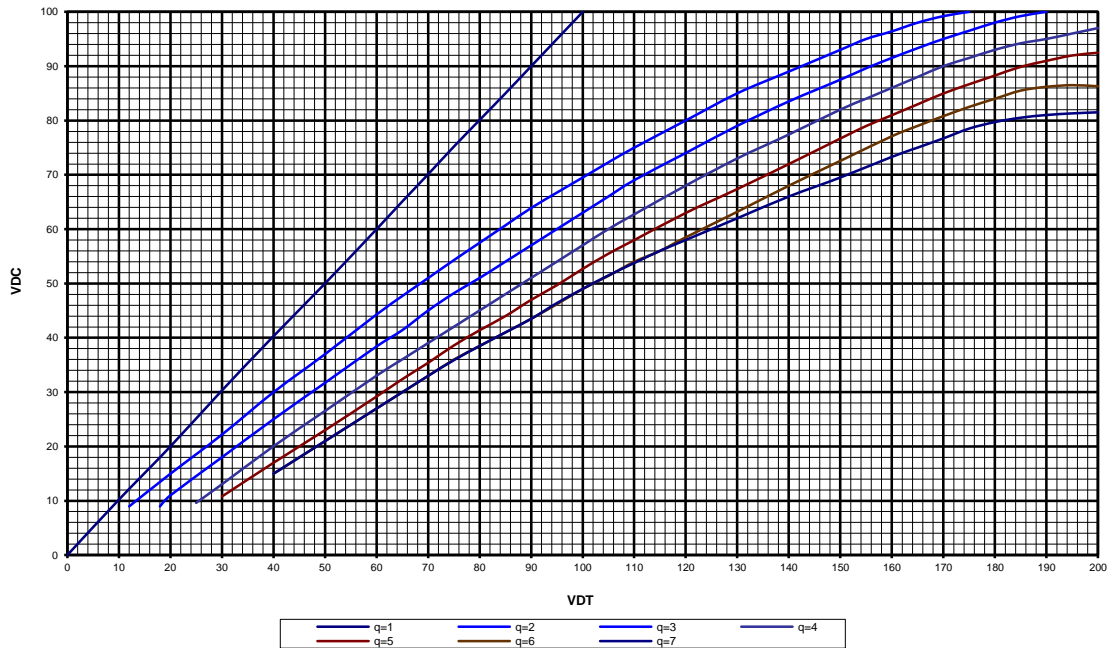
Para una determinación precisa del PCI debe realizarse una inspección cuidadosa del pavimento a fin de determinar los tipos de falla, su cantidad y severidad.

Hay dos procedimientos para realizar la inspección del pavimento. En ambos debe dividirse la sección del pavimento en unidades de aproximadamente 225 M² cada una. El primer procedimiento requiere evaluar todas las unidades; el segundo, una muestra escogida aleatoriamente.

Cada unidad es cuidadosamente inspeccionada y los datos referentes a cada tipo de falla son anotados en la planilla de evaluación. }

GRÁFICA 2.22.- CURVAS PARA LA SUPERFICIE ASFÁLTICA

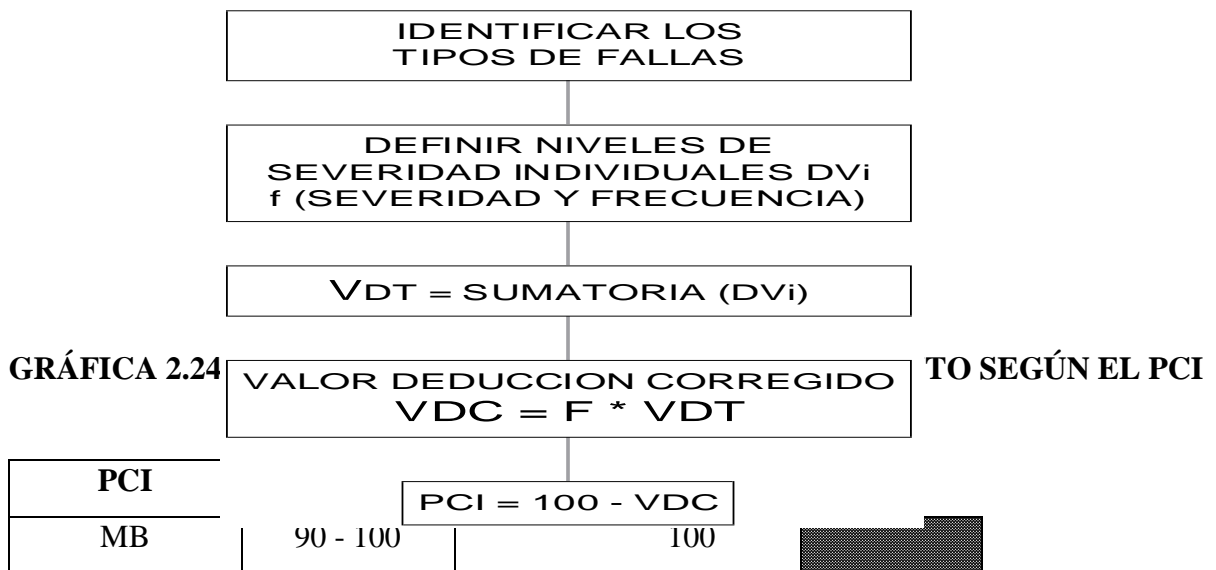
CURVAS DE DEDUCCION PARA SUPERFICIE ASFALTICA



Fuente: alfonso montelo fonseca.ing. de vías y transportes, especialista en gerencia de obra

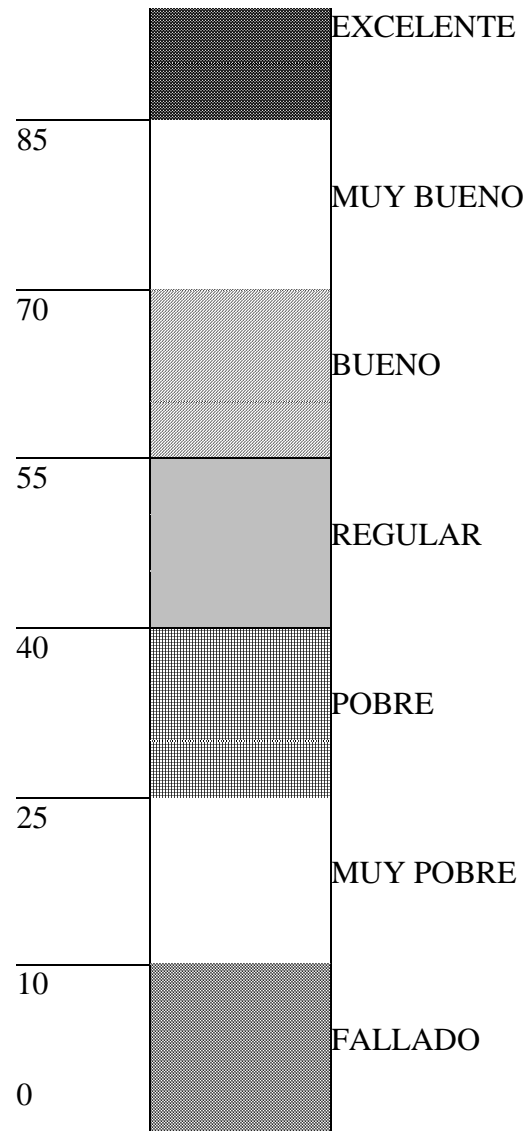
GRÁFICA 2.23.-PASOS PARA LA DETERMINACION DEL PCI

DETERMINACION DEL PCI



B	60 - 90
R	40 - 60
MB	20 - 40
F	0 - 20

PSI = PCI/20
4.5 - 5
3 - 4.5
2 - 3.
1 - 2.
0 - 1



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Universidad de ingeniería (Bogota-Colombia)

2.4.1.2.1.5.- DETERMINACIÓN DEL PCI

El valor del PCI (Índice de Condición del Pavimento) de la sección del pavimento se obtiene determinando el average de los valores de las unidades evaluadas. Los pasos a seguir para determinar el PCI de cada unidad son:

- (1) Determinar los datos correspondientes a cada tipo de falla (severidad y frecuencia), y su forma de medición.
- (2) Determinar los valores de deducción (VD), para cada falla y severidad mediante los gráficos. ANEXO I.
- (3) El valor total de deducción (VTD = Sumatoria de VD es corregido mediante la Fig. 2.44, así se obtiene VDC. (Valor de Deducción Corregido).
- (4) Finalmente el $PCI = 100 - VDC$

Este procedimiento es ilustrado en la gráfica. 2.23. Debe recordarse que la gráfica. 2.22 el valor de “q” corresponde al número de VD individuales mayores de 5, bien por el tipo de falla o por severidad dentro de la misma falla.

2.4.1.3.-MÉTODO DE EVALUACIÓN PSI (PRESENT SERVICE INDEX) INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE

Se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, en esencia significa la habilidad de una sección o parte de un pavimento para servir al tráfico en condiciones favorables. Está basado en las condiciones geométricas de la sección del pavimento, fundamentalmente en la rugosidad superficial así como en la cuantía de las fallas en la superficie del pavimento.

El Índice de Serviabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviabilidad. Para este fin se adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero,

siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene, por el contrario si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy grande.

Muchas agencia viales convirtieron el termino de varianza de la pendiente de la fórmula original en un índice de regularidad. Otras agencias correlacionaron directamente el IRI con el PSI (Present Serviabiability Index), considerando que la irregularidades del perfil longitudinal son determinantes en la percepción del confort del usuario, mientras que otros deterioros no, tienen escasa significación.

2.4.1.3.1.- Metodología de cálculo

Muchas agencias realizaron correlaciones entre el PSI y el IRI. A continuación se presentan dos de ellas

- **Paterson**

$$PSI = 5 * e^{(-0.18*IRI)}$$

Dónde :

e: base de los logaritmos naturales

IRI: Índice de regularidad internacional (m/Km)

- **Guillespie** (Recomendada para valores de IRI menores a 0.47 m/Km)

$$PSI = 5 - 0.633 * IRI$$

Rangos de calificación

A continuación se presenta una tabla comparativa de los valores de IRI obtenidos para las correlaciones de Paterson y Gillespie, con respecto a valores de PSI, y adicionalmente la aceptabilidad de los usuarios.

PSI	IRI (m/Km)		Aceptable
	Paterson	Gillespie	

4,5	0,58	0,79	100%
4,0	1,24	1,56	100%
3,5	1,95	2,37	95%
3,0	2,83	3,16	55%
2,5	3,85	3,95	17%
2,0	5,09	4,74	3%
1,5	6,69	-	0%

Tabla 1 Niveles de aceptabilidad para las diferentes correlaciones

Fuente: AASHTO 97

La AASHTO en su guía de diseño de 2002 adoptó el IRI como medida de lisura del pavimento en lugar del PSI considerando la representatividad del IRI en relación al PSI y la consistencia del IRI a distintas velocidades y que el mismo es una escala matemática relacionada con el perfil de la carretera.

El IRI es un indicador de la comodidad de circulación del usuario, pero de algún modo se constituye en la única alerta de necesidades de rehabilitación, ya que las fallas puntuales en algunos casos no son perceptibles en la circulación por la vía. Un pavimento puede presentar una superficie relativamente lisa y sin embargo presentar fallas (piel de cocodrilo, grietas longitudinales, etc.) indicadores de un avanzado deterioro de la estructura, por lo tanto la evaluación de la carpeta deberá ser completa y detallada, deberá determinar las causas de los deterioros y establecer un juicio sobre el estado general de la misma.

En nuestro trabajo se siguió la metodología de Patterson para calcular el psi debido a la experiencia que se tiene realizando la correlación de los cálculos arrojando valores más exactos y ajustables.

TABLA 2.6 Calificación de la serviciabilidad según el valor del PSI

--	--

Valor Indice Servicio Presente PSI	Transitabilidad Servicio o Performance
4 - 5	Muy Bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy Malo

Fuente: ASTM D 1241

2.4.2.-EVALUACIONES ESTRUCTURALES.

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

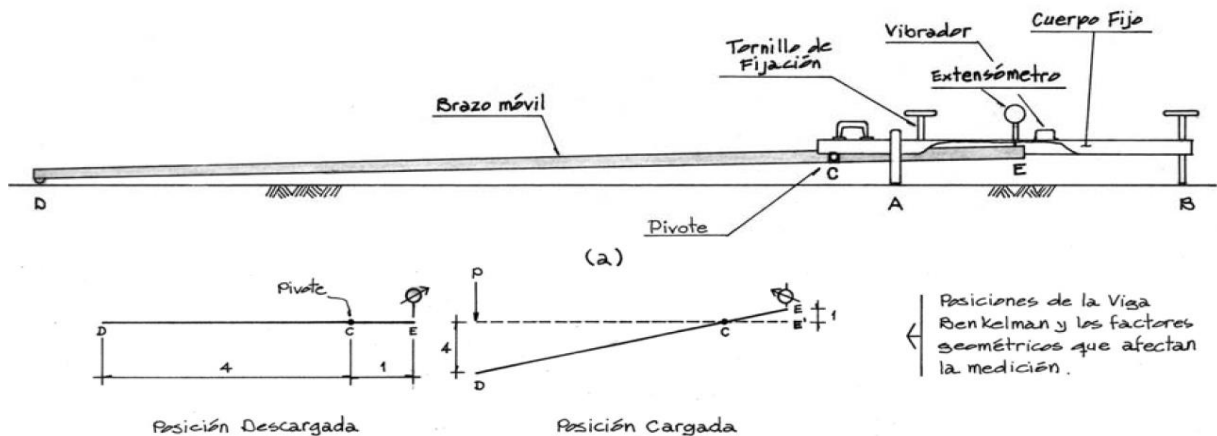
2.4.2.1 LA VIGA BENKELMAN

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la gráfica 2.22, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto

"D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito.

GRÁFICA 2.25. Partes de la Viga Benkelman



Fuente : Apuntes en digital de la materia de Carreteras III "UA.J.M.S" , Tarija-Bolivia

2.4.2.1.1.- EQUIPO REQUERIDO

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

- Deflectómetro Viga Benkelman, ya sea analógico o digital (con relación de brazos 1:2 (analógica) o 1:1 (digital)).
- Extensómetro con dial indicador de divisiones cada 0.01 mm en caso de que sea una viga analógica.
- 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 al personal y equipo misceláneo (camioneta).
- Balanza portátil para pesaje del camión, con capacidad de 10 toneladas.
- Accesorios de medición y varios (Cinta métrica de 3 m, plumones de punta gruesa, plomada, destornillador, alicates, hojas de campo, lápices, señales de seguridad, termómetro, cincel, martillo, varilla de metal o madera de 2m, alambre de amarre, etc.).

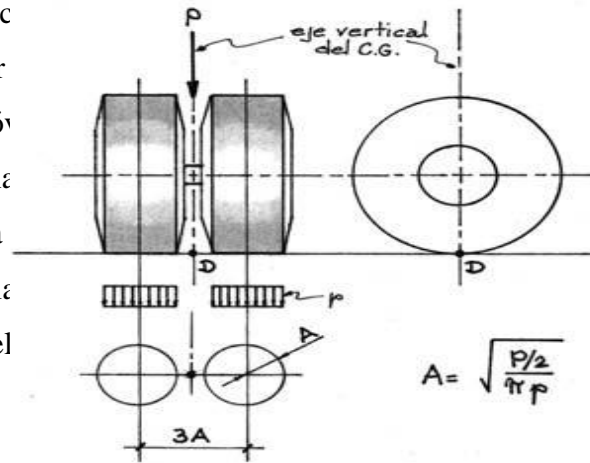
2.4.2.1.2.- PROCEDIMIENTO EN EL CAMPO

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

Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo (usualmente los puntos de medición se localizan en la mitad exterior de un carril), se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto (ver gráfica 2.23 a, punto "D").

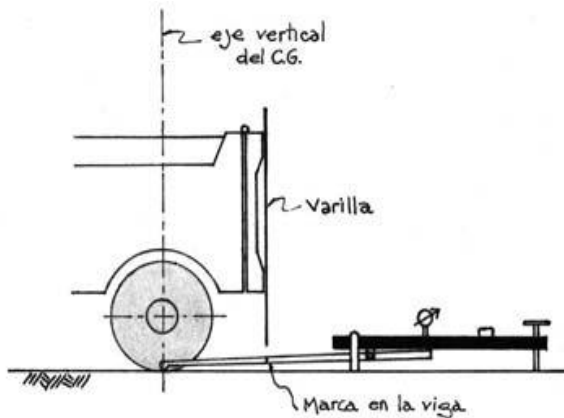
Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil

de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que este último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca una plomada entre las llantas pero en la parte exterior. Tomando como punto de referencia una línea vertical que pasa por el centro de gravedad del camión (ver figura 2.18 b), se efectúan las mediciones. Se efectúa una medición adelantada, basta con hacerlas coincidir (la línea vertical que pasa por el centro de gravedad del camión) que el extremo de la viga coincide con el punto de ensayo.



(a)

GRAFICA2.26.-Configuracion geométrica del sistema de cargas



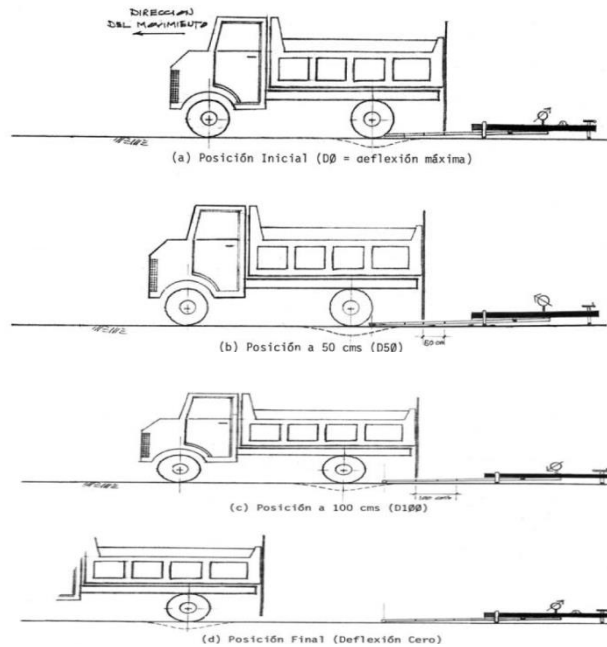
(b)

FUENTE: Apuntes en digital de la materia de Carreteras III –“U.A.J.M.S” , Tarija-Bolivia

De igual forma se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desee medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 50 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.

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

GRAFICA2.27.-POSICIONES DEL ENSAYO VIGA BENKELMAN



FUENTE: Apuntes en digital de la materia de Carreteras III “U.A.J.M.S” , Tarija-Bolivia

Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la cadena vertical y la marca inicial (ver **grafica 2.24 a**), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. 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 conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y segunda marcas adicionales (**grafica 2.24 b, c**) y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5.00 m.), registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero como se muestra en la **gráfica 2.24 d**.

Para la realización de esta rutina será necesario del concurso de tres operadores:

Un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga. Todo el trabajo deberá ser supervisado permanentemente por un ingeniero de campo quien verificará los valores que se vayan obteniendo así como tomará anotación de cualquier factor que a su juicio pueda explicar los resultados que se obtengan (corte, relleno, tipo de material, presencia de alcantarillas, napa freática, estado del pavimento, etc.).

2.5.2.1.3.- ANÁLISIS DE CÁLCULO DE FLEXIONES

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple, para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para en caso de la deflexión a 20 cm. Se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 20 cm. Y la lectura final.

Las diferencias se multiplican por 2, debido a que la relación de brazos de la viga Benkelman empleada es de 1:2 ya que se trata de una viga analógica en caso de contar

con una viga digital no es necesario multiplicar la diferencia por 2 porque su relación de brazos es de 1:1.

2.5.2.1.3.1.- CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA

El método asume que la curvatura que experimenta la superficie del terreno, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 20 cm. A partir del punto de máxima deflexión.

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

$$R_c = \frac{6250}{2 * (D_0 - D_{50})} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Dónde:

R_c = Radio de Curvatura en metros.

D_0 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros.

D_{50} = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 50 del eje de carga.

2.5.2.1.3.2.- DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA

La deflexión característica es un parámetro estadístico empleado para la caracterización representativa de la magnitud de deformación de los pavimentos. Para la determinación es necesario contar con una base de datos de deflexiones máximas, del tramo que se quiere evaluar, y establecer los parámetros estadísticos de dichos datos.

$$D_C = D_P + t * \sigma$$

Ec. 2.7

Dónde:

D_c = Deflexión Característica.

D_p = Deflexión promedio de los valores individuales de D_o corregidos por temperatura y estacionalidad.

t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c , donde $t = 1.645$.

σ = Desviación Estándar.

Convencionalmente se utiliza un valor $t = 1.64$, lo que equivale a considerar que, sólo un 5 % del área total del pavimento, tendrá deflexiones mayores a D_c .

2.6.- ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE REFUERZO

Los refuerzos sirven para corregir fallas funcionales o estructurales de pavimentos existentes. Es necesario aclarar bien cuando se trata de falla funcional o de falla estructural, dado que de esto depende el tipo de refuerzo a proyectar.

Las fallas funcionales son aquéllas que afectan al usuario, como ser una fricción superficial pobre, una mala textura, hundimientos, asentamientos, etc.

Las fallas estructurales son aquéllas que afectan la capacidad de pavimento para soportar las cargas. Ejemplos de fallas de este tipo son: espesor inadecuado, fisuraciones, distorsiones y desintegraciones. Muchas de estas fallas no son provocadas por la acción del tránsito sino por otras causas como ser: malas técnicas de construcción, fisuración por baja temperatura, etc. No obstante esto, la acción del tránsito acelera el proceso de deterioro.

Los distintos tipos de refuerzo son:

Refuerzo	Pavimento existente
Concreto asfáltico	Concreto asfáltico
Concreto asfáltico	Hormigón roto, fisurado o triturado previamente
Concreto asfáltico	H°S°, H°A° c/juntas, H°A° continuo
Concreto asfáltico	C°A° s/H°S°, C°A° s/H°A° c/juntas, C°A° s/H°A° continuo
Hormigón simple adherido	H°S°, H°A° c/juntas, H°A° continuo
Hormigón simple no adherido	H°S°, H°A° c/juntas, H°A° continuo
Hormigón simple	Concreto asfáltico

Fuente: Guía AASHTO 93.

❖ **REFUERZO DE CONCRETO ASFÁLTICO SOBRE CONCRETO ASFÁLTICO**

• **Introducción**

Previo a la colocación del refuerzo deben hacerse estas tareas:

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

• **Factibilidad**

Este tipo de refuerzos es muy comúnmente usado, excepto cuando el pavimento existente esté tan deteriorado que justifique su remoción total. Los casos en que no es factible colocar el refuerzo de concreto asfáltico son:

- 1) La cantidad de fallas tipo piel de cocodrilo es muy grande.

2) Un ahuellamiento superficial excesivo que indique que los materiales del paquete tienen poca estabilidad.

3) La base estabilizada existente muestra signos de gran deterioro y repararla sería muy costoso.

4) La base granular debería ser removida y reemplazada debido a infiltración y a contaminación de material proveniente de una capa inferior (mala calidad).

5) El descascaramiento y peladuras de la carpeta indican que ésta debe ser reemplazada.

- **Reparaciones previas**

Si de acuerdo al análisis hecho, es factible colocar un refuerzo, deben hacerse previamente estas reparaciones que consistirán, de acuerdo al tipo de falla, en:

1) Falla tipo piel de cocodrilo. Las áreas de fallas tipo piel de cocodrilo de gran severidad deben ser reparadas. Las áreas localizadas de fallas moderadas de piel de cocodrilo deben ser reparadas a menos que se implemente algún tipo de control de reflexión de fisuras. La reparación debe incluir la remoción de todo material débil que se encuentre por debajo.

2) Fisuras lineales. Las fisuras lineales de alta severidad deben ser parchadas. Las fisuras con aberturas mayores de 0,25 pulg (6,3 mm) deben ser rellenadas con una mezcla arena-asfalto. También debe preverse algún dispositivo de control de reflexión de fisuras para juntas transversales que sufran apertura y cierre.

3) Ahuellamiento. Los ahuellamiento deben eliminarse mediante fresado o colocación de una capa niveladora. Cuando el ahuellamiento sea muy severo, habrá que hacer una investigación para determinar si se debe a fallas de capas inferiores, en cuyo caso habrá que remover toda la estructura fallada.

4) Irregularidades superficiales. Depresiones, serruchos, etc. requieren una investigación y tratamiento especial y, en determinados casos, remoción.

- **Control de reflexión de fisuras**

La reflexión de fisuras en el refuerzo se debe a la concentración de deformaciones debidas a movimientos en el pavimento subyacente por flexión o por corte inducidos por cargas o por contracción horizontal debida a cambios térmicos.

Entre los métodos para control de fisuras, además de parches y rellenos previos, se tienen:

1) Membranas sintéticas. Son muy efectivas en el control de reflexión de piel de cocodrilo moderada. También pueden ser útiles para controlar reflexión de fisuras por temperatura, especialmente si están combinadas con relleno de las fisuras. Sin embargo, son poco útiles para retardar reflexión de fisuras debidas a movimientos horizontales o verticales significativos.

2) Capas cortadoras de reflexión. Las mayores de 76 mm (3 pulg) de espesor han sido efectivas para controlar la reflexión de fisuras debidas a grandes movimientos, Estas capas cortadoras de reflexión están formadas por material granular de granulometría abierta y un pequeño porcentaje de cemento asfáltico.

3) Cortado y sellado de juntas en el refuerzo de concreto asfáltico. Este método, en el cual se cortan juntas en correspondencia con fisuras rectilíneas del pavimento existente puede ser efectivo para control de reflexión. Este método es muy efectivo para refuerzos de concreto asfáltico sobre pavimentos de hormigón conjuntas.

4) Un incremento del espesor del refuerzo. Esta solución reduce la reflexión y el corte bajo cargas y también reduce la variación de temperatura en el pavimento existente.

❖ **Refuerzos de hormigón sobre pavimentos de concreto asfáltico.**

• **Introducción**

Los refuerzos de hormigón simple, hormigón armado con juntas y hormigón armado continuo sobre pavimentos de concreto asfáltico mejoran su capacidad estructural y sus condiciones funcionales. La realización de este tipo de refuerzo implica la realización de las siguientes tareas:

- 1) Reparación de áreas deterioradas y mejoramiento de las condiciones de drenaje.
- 2) Ensanche, si fuera necesario.
- 3) Fresado de la superficie existente si hubiera mucha distorsión o si la pendiente transversal fuera inadecuada.
- 4) Colocación de una capa niveladora de concreto asfáltico, si fuera necesario.
- 5) Colocación del refuerzo de hormigón.
- 6) Aserrado y sellado de juntas.

- **Factibilidad**

Ésta es una alternativa factible para casi todos los pavimentos de concreto asfáltico. Es aún más ventajosa cuando el pavimento existente está seriamente deteriorado. Las condiciones en las cuales este tipo de solución no es factible son:

- 1) El monto de deterioro del pavimento existente de concreto asfáltico es pequeño y hay otras alternativas más económicas.
- 2) El espesor de refuerzo es inadecuado para respetar el gálibo en cruces bajo nivel.
- 3) El pavimento existente es susceptible de sufrir grandes asentamientos e hinchamientos.

En los casos en que fuera necesario habilitar rápidamente el refuerzo, se emplearán hormigones con cemento de alta resistencia inicial. En algunos casos se han habilitado obras entre 6 y 24 horas después del colado del hormigón.

- **Tareas de reparación previas**

Una de las grandes ventajas de esta solución es que las reparaciones del pavimento existente son muy escasas. Sin embargo, deben repararse los siguientes tipos de fallas para evitar la reflexión de fisuras.

Tabla 3-6 Tareas de reparación previas

Tipo de falla	Tipo de refuerzo	Reparación
Piel de cocodrilo	H°S°, H°A° c/juntas	No es necesaria
	H°A° continuo	parchar áreas con grandes deflexiones
Fisuras transversales	H°S° H°A° c/juntas	No es necesaria
	H°A° continuo	
Bombeo	H°S°, H°A° c/juntas	Drene de borde, si fuera necesario
	H°A° continuo	
Descascaramiento	H°S°, H°A° c/juntas	Remover la capa descascarada, si fuera
	H°A° continuo	
Asentamiento hinchamiento	H°S°, H°A° c/juntas	Nivelación con concreto asfáltico
	H°A° continuo	

Fuente: Guía AASHTO 93.

- **Control de reflexión de fisuras**

En general no hay problemas en este rubro, sin embargo si el pavimento existente de concreto asfáltico tiene fisuras transversales severas por efecto térmico, se aconseja colocar algún tipo de capa separadora sobre las fisuras transversales para reducir el riesgo de reflexión de fisuras.

2.6.1.- Alternativas de refuerzos de concreto asfáltico sobre pavimentos flexibles

2.6.1.1.- Dimensionamiento.

Método AASTHO de dimensionamiento del refuerzo de concreto asfáltico.

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:

$$SN_{01} = a_{01} D_{01} = SN_f - SN_{ef} \quad \text{Ecuación (4-1)}$$

Donde:

SN_{01} = número estructural requerido para la sobrecarpeta

a_{01} = coeficiente estructural para la sobrecarpeta

D_{o1} = espesor de la sobrecarpeta

SN_f = número estructural requerido para el tránsito futuro

SN_{ef} = número estructural efectivo del pavimento existente.

El espesor necesario de sobrecarpeta se obtiene siguiendo los pasos que se indican a continuación, los que proveen un método de diseño que recomienda hacer ensayos sobre el pavimento para obtener datos de entrada confiables. Si no es posible hacer esto, se puede encarar este problema mediante una observación visual de las fallas, obviando los pasos 4 y 5.

*** Diseño y construcción del pavimento existente (Paso 1)**

Se debe recabar información sobre:

Espesor de cada capa y tipo de material usado.

Subrasante (registros durante la construcción, ensayos de suelos, etc.)

*** Análisis de tránsito (Paso 2)**

- ❖ Cantidad de ESALs acumulados en el carril de diseño (N_p), para ser aplicado solamente si SN_{ef} se obtiene por el método de vida remanente.
- ❖ Cantidad de ESALs previstos en el carril de diseño durante el período de diseño (N_f).

*** Observación del estado del pavimento existente (Paso 3)**

Es necesario detectar, distinguir y medir los tipos de fallas presentes. En base a los mismos; puedan determinarse los coeficientes estructurales. Se recomienda extraer muestras de los carriles más transitados para estimar estas cantidades. Se debe determinar:

- ❖ Porcentaje de superficie con piel de cocodrilo (baja, media y alta severidad).
- ❖ Número de fisuras transversales por 1.6 km (baja, media y alta severidad).
- ❖ Profundidad media del ahuellamiento.
- ❖ Evidencia de bombeo en fisuras y bordes de pavimentos.

***Ensayos de deflexión (Paso 4)**

Los ensayos de deflexión se recomiendan para analizar el pavimento de concreto asfáltico existente, especialmente para vías de alto volumen de tráfico. Las mediciones de deflexiones deben hacerse en correspondencia con la zona transitada por la rueda externa de los vehículos. Los intervalos varían entre 30 y 300 m. Se usan dispositivos que pueden transmitir cargas cerca de 40 KN. La carga puede ser pulsante o sinusoidal. Las deflexiones se miden en correspondencia con el centro de la carga y a ciertas distancias que se explican más adelante.

*** Muestreo y ensayo de materiales (Paso 5)**

La extracción de núcleos y ensayo de materiales son recomendados para analizar al pavimento existente, especialmente en caminos de alto volumen de tráfico.

*** Determinación del SN requerido para el tránsito futuro (Paso 6)**

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. En la siguiente página se presenta un formulario para facilitar la entrada de datos, este mismo formulario se presenta en la parte final de los siguientes capítulos.

Pérdida de serviciabilidad de diseño

Resulta de la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de colocada la sobrecarpeta, P_o , menos la serviciabilidad P_f en el momento de la nueva rehabilitación. Ver tabla correspondiente diseño de pavimentos flexibles.

Confiabilidad R de la sobrecarpeta

La confiabilidad afecta directamente el espesor de la sobrecarpeta. Se aplican los mismos conceptos que en el diseño de pavimentos nuevos, ver tabla correspondiente diseño de pavimentos flexibles. Para valores de confiabilidad en función de la clasificación funcional de la vía.

Desviación standard

Algunas fuentes de incertidumbre son diferentes para el diseño de una sobrecarpeta comparados con los del diseño de un pavimento nuevo. De esta manera, los valores recomendados para diseños nuevos no pueden ser apropiados para diseños de sobrecarpetas. Por tanto, se recomienda utilizar un valor mínimo de 0.49.

Determinación del Numero efectivo SN_{ef} del pavimento existente

Hay tres métodos para determinar el Número Estructural efectivo SN_{ef} de una sobrecarpeta de asfalto sobre un pavimento de asfalto: método del Ensayo no Destructivo, método del Factor de Condición y método de Vida Remanente. Es conveniente usar los tres métodos para evaluar el pavimento, y luego seleccionar el valor de SN_{ef} basado en los resultados, haciendo uso del criterio ingenieril y de la experiencia.

*** Determinación del espesor de la sobrecarpeta (Paso 8)**

El espesor de la sobrecarpeta se determina con la expresión:

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{(SN_f - SN_{eff})}{a_{ol}} \quad \text{Ecuación (4-10)}$$

Donde:

SN_{ol} = número estructural requerido para la sobrecarpeta

a_{ol} = coeficiente estructural de la sobrecarpeta de concreto asfáltico

D_{ol} = espesor requerido de sobrecarpeta

SN_f = número estructural determinado en el paso 6

SN_{ef} = número estructural efectivo del pavimento existente

2.6.2.- Dimensionamiento de refuerzos de hormigón simple sobre pavimentos flexibles.

Introducción

Los refuerzos de hormigón simple, hormigón armado con juntas y hormigón armado continuo sobre pavimentos de concreto asfáltico mejoran su capacidad estructural y sus condiciones funcionales. La realización de este tipo de refuerzo implica la realización de las siguientes tareas:

- ❖ Reparación de áreas deterioradas y mejoramiento de las condiciones de drenaje.
- ❖ Ensanche, si fuera necesario.
- ❖ Fresado de la superficie existente si hubiera mucha distorsión o si la pendiente transversal fuera inadecuada.
- ❖ Colocación de una capa niveladora de concreto asfáltico, si fuera necesario.
- ❖ Colocación del refuerzo de hormigón.

❖ Aserrado y sellado de juntas.

Método AASTHO de Dimensionamiento de refuerzo de Hormigón.

El espesor requerido del refuerzo de hormigón es una función de la capacidad estructural requerida para satisfacer las demandas futuras de tránsito y del soporte dado por el pavimento existente de concreto asfáltico.

El espesor requerido de refuerzo responde a esta ecuación:

$$D_{ol} = D_f \quad \text{Ecuación (4-10)}$$

Siendo D_f el espesor de losa necesario para soportar el tránsito futuro.

Los espesores de losa de refuerzo varían entre 5 pulg (12,5 cm) a 12 pulg (30 cm) siendo lo más común de 7 a 10 pulg (18 a 25 cm).

Para determinar el espesor de refuerzo D_{ol} es necesario seguir los pasos que se indican a continuación. Es conveniente hacer ensayos de deflexiones sobre el pavimento existente. Si esto no fuera posible, se obviarán los pasos 4 y 5 y se reemplazarán por observación visual de las fallas y estimación de los datos de entrada.

*** Paso 1. Diseño del pavimento existente**

1) Tipos de material existente y espesores de capa.

***Paso 3. Observación del estado del pavimento existente**

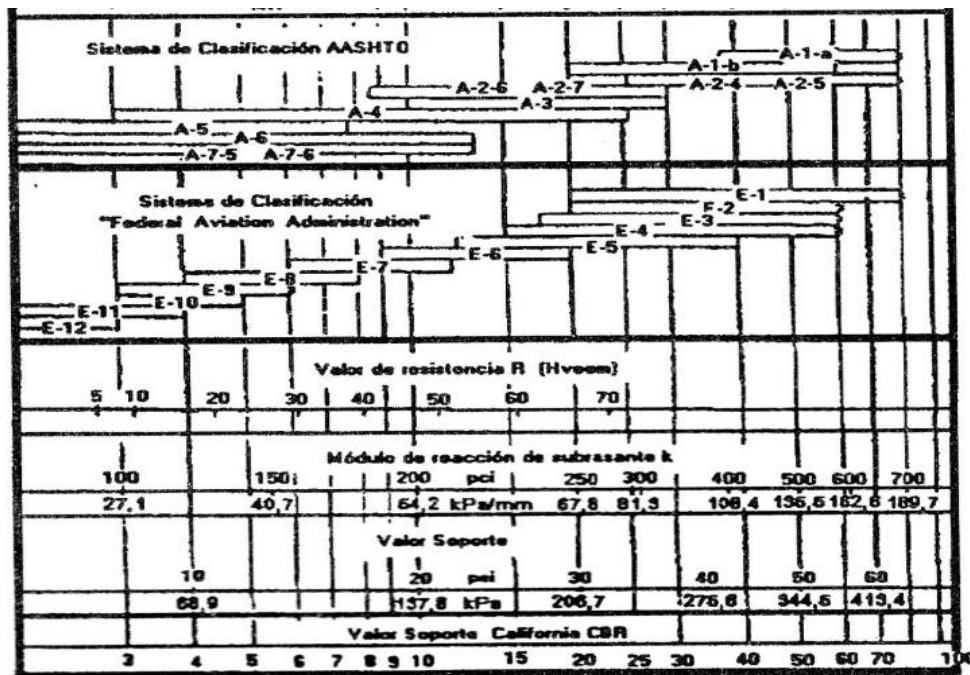
No es necesario un relevamiento detallado del estado del pavimento existente distinguiendo y cuantificando cada tipo de falla encontrada. Sólo debe hacerse un

b) Sin embargo, de acuerdo a las recomendaciones de la norma AASHTO y al suplemento AASHTO-97, se puede efectuar una correlación de los valores soporte de la subrasante, obtenidos por otros métodos. Esto posibilita el empleo del valor de CBR, que también es un valor de medida de la capacidad soporte.

En base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo en función a diferentes propiedades.

Diferentes autores han publicado sus resultados y en general no difieren notablemente.

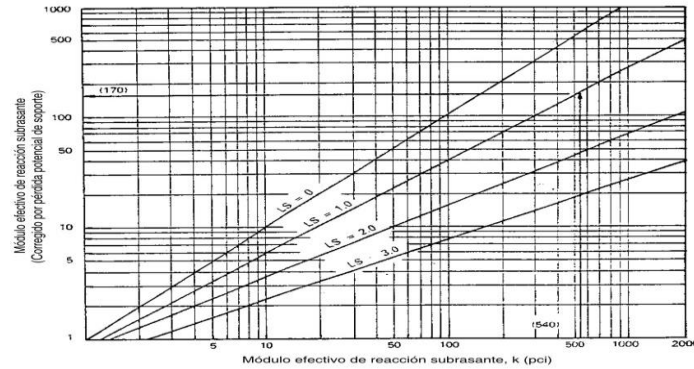
GRAFICA 2.29.- Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos



Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Luego se procede al ajuste del valor efectivo de K para tener en cuenta la pérdida de soporte de la sub base.

GRAFICA 2.30.- Corrección del módulo efectivo de reacción por pérdida potencial de soporte



Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,99

Con el valor de K corregido por pérdida de soporte determinado del ábaco de la figura 4-8 (K: es el valor efectivo de reacción de la subrasante).

Pérdida de serviciabilidad.

Es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después del refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final.

La inicial, P_o , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción.

La final o terminal, P_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista.

Los valores recomendados son:

Serviciabilidad inicial Po

- Para Pavimentos Rígidos 4,5

Serviciabilidad final Pt

- Por Autopistas 2.5

- Para Carreteras 2.0

- Para Zonas Industriales 1.8

- Pavimentos Urbanos Principales 1.8

- Pavimentos Urbanos Secundarios 1.5

Coefficiente de transferencia de cargas J, función de la transferencia de cargas prevista para el refuerzo.

El coeficiente de transferencia de carga J es un factor usado en pavimentos rígidos para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. La tabla 4.1 da recomendaciones sobre rangos de coeficientes J para distintas condiciones:

TABLA 2.17 COEFICIENTES TRANSFERENCIA DE CARGAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Banquina	Concreto Asfáltico		Hormigón Vinculado A Calzada	
	Si	No	Si	No
Mecánica de transferencia de carga				
Tipo de pavimento				
Hormigón simple o armado c/juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Hormigón armado continuo	2,9 – 3,2	-----	2,3 – 2,9	-----

FUENTE: Guía AASTHO 93

El uso de banquetas de hormigón vinculadas a casadas o trochas exteriores ensanchadas reduce las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J.

Para pavimentos de hormigón armado continuo, el rango de J es entre 2,3 y 2,9 valor recomendado de 2,6.

Para pavimentos conjuntas, el valor de J varía entre 2,5 y 3,1, pudiéndose optar por cualquier valor en este rango basándose en la experiencia local.

La razón para tomar J menores en pavimentos con banqueta de hormigón vinculada es porque se supone que los vehículos no transitan por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella permitiendo una reducción de espesores.

Módulo de rotura de concreto.

Éste puede ser determinado por algunos de los métodos:

Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta (ver paso 5)

Estimación a través del módulo elástico del pavimento existente:

$$S_c' = 43,5 \left(\frac{E}{10^6} \right) + 488,5$$

Donde

E = Módulo elástico del hormigón (psi)

En unidades métricas

$$S_c' = 43,5 \left(\frac{E}{10^6} \right) + 3370$$

Donde:

E_c = Módulo elástico del hormigón (kpa)

El módulo de rotura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio y está relacionado con f_c' a través de la ecuación.

$$S_c' = K(f_c')^{0.5}$$

Donde:

f_c' = resistencia a la compresión simple del hormigón (psi)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión (S_c') o Módulo de Ruptura (M_R) normalmente especificada a los 28 días.

Los valores que se muestran a continuación son valores de módulos de rotura del concreto recomendados en pavimentos rígidos nuevos.

TABLA 2.18 Modulo de Ruptura Recomendado

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	MPa	psi
Autopistas	5 MPa	725,2
Carreteras	5 MPa	725,2
Zonas Industriales	4.5 MPa	640.1
Urbanas Principales	4.5 MPa	640.1
Urbanas Secundarias	4.2 MPa	597.4

FUENTE: AASTHO 93

Módulo elástico del hormigón para refuerzo.

Módulo elástico del pavimento existente.

Para ello puede usarse alguno de estos métodos:

Calculó a partir de medidas des deflexión (paso 4)

Estimación a partir de la resistencia a la tracción indirecta

El módulo elástico del pavimento se determina con ecuación:

$$E = 57000(f_c')^{0.5}$$

Donde

E = módulo elástico del hormigón (psi)

f_c' = resistencia a la compresión simple del hormigón (psi)

En unidades métricas:

$$E = 150000(f_c')^{0.5}$$

E = módulo elástico del hormigón (KPa).

f_c' = resistencia a la compresión simple del hormigón (KPa).

Los valores de E varían entre 3×10^6 a 8×10^6 psi (20,000 a 56,000 MPa).

Considerados mayores a 40,000 MPa Hormigones de alta resistencia.

Pérdida de soporte.

Las juntas de esquinas que pueden tener una pérdida importante de soporte.

Las pérdidas de soporte en pavimentos de hormigón armado continuo pueden ser determinadas graficando la deflexión del borde de la losa o de la zona usada por las

ruedas de los vehículos e identificando puntos con reflexiones excesivas. Toda falla de soporte debe ser corregida con estabilización de la losa. Para el diseño del espesor del refuerzo se debe considerar $LS = 1$

Confiabilidad de diseño R.

La selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un refuerzo está dictada por el uso esperado de ese refuerzo. Un subdimensionado de un refuerzo tiene consecuencias más graves que un pavimento en el cual se espera que lleve un gran volumen de tránsito que un refuerzo que experimentara un bajo volumen de tránsito. En ambos casos habrá problemas, el refuerzo alcanzará los valores mínimos de serviciabilidad antes de lo provisto y será necesario realizar trabajos de reparaciones. En la tabla 4-5 Se dan niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO.

TABLA 2.19 Niveles de Confiabilidad

Tipo de caminos	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbanas	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99,9	85-99,9
Arterias	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

FUENTE: Guía AASTHO93

Desvío standard S_o para pavimentos rígidos.

En cuanto al desvío standard de las variables S_o , se recomienda para pavimentos rígidos un valor de 0,34 para el caso en que se considere la varianza del tránsito futuro y $S_o=0.39$ para el caso en que esta no esté considerada para cualquier tipo de refuerzo diseñado con la ecuación de diseño para pavimentos rígidos.

El comportamiento de pavimento y tránsito estimado en el periodo de diseño pueden ser determinados por un caso de diseño en particular si se dispone de suficiente

información o en caso contrario se pueden usar los valores de tabla 3.4. Estos valores fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHTO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito.

TABLA 2.19.- Desvío Estándar para pavimentos

Condición Del Diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del	0,34 (pav. rígidos)
	0,44 (pav. flexibles)
Variación en la predicción del	0,39 (pav. rígidos)
	0,49 (pav. flexibles)

Fuente: Guía AASTHO 93.

Condiciones de drenaje del pavimento existente de concreto asfáltico para adoptar un coeficiente de drenaje Cd.

Es bien sabido que un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

Para el diseño de pavimentos rígidos se buscan los coeficientes de drenaje Cd que ajustan la ecuación de diseño que considera la resistencia de la losa, las tensiones y condiciones de soporte.

TABLA 2.20 Valores del Coeficiente de Drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	MENOS DEL 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	MAS DEL 25 %
Excelente	1,25 - 1,20	1,25 - 1,15	1,15 - 1,10	1,1
Bueno	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,0
Mediano	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,9
Malo	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,8
Muy malo	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,7

Fuente: Guía AASTHO 93.

El bombeo o movimientos diferenciales verticales en juntas o fisuras son indicios de que haya problemas de drenaje. Se deben considerar condiciones pobres de drenaje, o sea $C_d = 1,0$

Determinación del espesor de refuerzo

Se aplica la fórmula:

$$D_{ol} = D_f \quad \text{Ecuación (4-11)}$$

CAPITULO III

ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE REFUERZO PARA EL PAVIMENTO CANALETAS - ENTRE RIOS

3.1. Ubicación del proyecto

Ubicación de los tramos de estudio

El estudio de alternativas de diseño de refuerzo ejecutado hasta la fecha, en el tramo Canaletas – Entre Ríos, se desarrolla íntegramente en la provincia O'Connor del departamento de Tarija en toda su extensión. 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 pasando el puente jarcas llegaremos a una localidad denominada Junacas donde seguiremos bajando hasta llegar a Canaletas el cual se encuentra a una latitud de $21^{\circ}41'67''$ y una longitud de $64^{\circ}36'67''$. Después de cruzar el Río de Canaletas sobre el puente del mismo nombre, continuaremos unos 4 Kilómetros hasta llegar a otro puente que se denomina puente Gareca a partir de aquí a escasos dos kilómetros se encuentra nuestro punto inicial de nuestra muestra, misma que tiene una longitud de 5 kilómetros hasta el cruce a San Diego. Encontrándose dentro de las progresivas 6+860 al 10+186. Posteriormente el camino continúa hasta el municipio de Entre Ríos que se encuentra ubicado entre las coordenadas $20^{\circ}56'51''$ de latitud sur y de $63^{\circ}40'23''$ de longitud oeste.

GRAFICA 3.1.- UBICACIÓN DEL LUGAR





Fuente: www.guiarte.com/americaelsur/bolivia/tarija/entrieros.

3.2.- Antecedentes y descripción del proyecto

El 24 de agosto del 2013 se entregó provisionalmente el tramo Canaletas- Entre Ríos, tras una serie de intentos fallidos ya que la misma debería haber empezado su construcción el 2004 pero debido a una serie de factores políticos la obra recién pudo ser construida y finalizada el 2014 durante la gestión del aquel entonces Gob. Sr. Lino Condori, obra que fue realizada a cargo de Empresas Unidas integrada por 6 empresas capitaneada por la empresa ERIKA.

Uno de los principales motivos de la tardanza de dicho tramo fue la indecisión de mantener la ruta Entre Ríos- Tarija por el camino antiguo que pasa por Narváez, o acortar en parte el camino y realizarla por la variante Canaletas-Entre Ríos (por donde es ahora), motivo por el cual se encuentra en trámite por parte de la ABC de nombrarla red fundamental de carreteras de Bolivia pero cabe destacar que en su transitabilidad es la principal vía terrestres que comunica Tarija con Entre Ríos y viceversa.

Al principio en la licitación de la obra se indicaba que el tramo debería tener un pavimento flexible y en la ruta se debería realizar 2 puentes, pero al pasar el tiempo y como en Tarija hubo un alza de precios de materiales de construcción se realizó un tratamiento doble en el tramo y se realizó la construcción de cuatro puentes solo en el tramo Canaletas Entre Ríos, subiendo aun así su precio de ejecución de 45 millones de dólares a 22 millones de bolivianos más.

Actualmente el trabajo de mantenimiento de la carretera es realizado por el SEDECA, en espera de la conclusión del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga para así tener una vía totalmente asfaltada desde Tarija a Entre Ríos.

Dentro de la información técnica de relevancia, tiene las siguientes características:

Originalmente esta carretera fue construida con un tratamiento superficial doble (TSD) en la calzada, cuyas bermas en algunos sectores estaban protegidas por tratamiento superficial simple (TSS), imprimación simple y algunos sectores solo recubierto con material natural o tierra vegetal.

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 del paquete estructural de 5cm. Incluyendo en el:

- * Capa Base: 0.22 metros de espesor.
- * Capa Subbase: 0.25 metros de espesor.
- * Capa Subrasante: 0.30 metros de espesor.

3.3.-Recorrido e inspección visual del tramo

Previamente al inicio de los trabajos de campo, se efectuó un recorrido de inspección, a lo largo de la vía, a fin de verificar las características generales que presentaba y las condiciones en que se encontraba la estructura del pavimento, debido a que por objeto de análisis se decidió tomar 5 km. de muestra los más críticos, mismos que son los que se encuentran en la zona de Puente Gareca hasta el cruce de San Diego esto por la mala estabilización de taludes que existe en el lugar que da origen al desprendimiento de rocas que impactan a grandes alturas sobre el pavimento originando fisuras que van a convertirse en fallas superficiales y hasta estructurales

GRÁFICA 3.2 DESMORONAMIENTO DEL TALUD



Fuente : Elaboración Propia

3.4.- Medición de las fallas o deterioros

La medición de cada una de las fallas o deterioros, se la realiza de acuerdo a su forma individual de medición, y el nivel de su Severidad o grado de daño en el pavimento, ambos estarán basados en lo descrito en 2.5.1.2.1.(tipos de fallas).

Las fallas que tengan su forma de medición en metros cuadrados (m^2), se utilizara un flexómetro para efectuar su medida, se medirá el ancho y el largo del área afectada, las fallas como: Depresiones, y ahuellamientos, para determinar sus grados de Severidad se utiliza una regla de madera de 2 m. de longitud, esta se coloca en forma perpendicular al eje del pavimento en el área donde es más notoria la falla, y con un flexómetro se mide la altura existente entre la superficie de la Depresión o Ahuellamiento hasta la base de la regla.

GRÁFICA 3.3.- MEDICIÓN DE FALLAS



Fuente: Elaboración Propia

Al tratarse de fallas como: Grietas piel de cocodrilo, Corrugaciones, Baches – Zanjas reparadas, Agregados pulidos, Acceso a rejilla de drenaje – puentes, Deformación por empuje, Hinchamientos, y Disgregación – Desintegración, si se quiere determinar su nivel de Severidad, se debe observar la calidad de rodaje de los vehículos que pasan por la zona afectada, otra forma de obtener la Severidad, es abordar a un vehículo y transitar la zona deteriorada ya sea como conductor o pasajero.

Las fallas en la que su forma de medición es en metros lineales (m), se utilizará un flexómetro o huincha, si las fallas son: Grietas de reflexión de juntas, Grietas longitudinales y transversales, y Grietas de deslizamiento, para la determinación de su Severidad se mide con el flexómetro, el ancho de la grieta de la respectiva falla.

Los huecos se miden por el número (Nº) de huecos existentes en cada sub tramo, y su Severidad se obtiene del resultado de la medición de la profundidad y diámetro que tiene el hueco.

La cuantificación de cada tipo de falla, se la debe realizar minuciosamente, es por ello que se dividió el tramo total en sub tramos de 20 m. cada uno de ellos, para que de esta forma se controle mejor la cuantificación de las fallas. Los datos de la cuantificación se muestra en los valores para el cálculo del PCI en el anexo II.

3.5.- Método de evaluación pci (índice de condición del pavimento)

Una vez realizada la inspección y cuantificación de las fallas existentes en cada sub tramo, se procede a determinar el Índice de Condición del Pavimento para cada sub tramo, siguiendo el procedimiento descrito en 2.5.1.2.1.1. al 2.5.1.2.1.5. Se debe dar mucha importancia en la determinación de la Severidad, en cada una de las fallas, ya que de esta manera nos permite obtener muy buenos resultados sobre el Índice de Condición del Pavimento para cada sub tramo, como también del tramo total en estudio.

Los datos se registran en una planilla para cada unidad de muestreo, debiendo registrarse el tipo de falla, su extensión y severidad, a continuación se presenta un modelo de la planilla de recolección de datos con un ejemplo ilustrativo:

TABLA 3.1.-DATOS Y CÁLCULOS DEL PCI

DETERMINACION DEL PCI

NOMBRE DE LA VIA: CANALETAS-ENTRE RIOS
FECHA: 21/09/16 **UNIDAD N°:** 5 **SUB TRAMO:** E0 - E1
ANCHO VIA: 7.30 m. **LONG. TRAMO:** 20 m. **AREA DE LA MUESTRA:** 146 m2.
REALIZADO POR: FRANK CUEVAS ROMERO **PROGRESIVAS:** 8+443 - 8+463

TIPOS DE FALLAS							
1	Grieta piel de cocodrilo	m2	11	Baches y zanjas reparadas	m2		
2	Exudación de asfalto	m2	12	Agregados pulidos	m2		
3	Grietas de contracción	m2	13	Huecos	Nº		
4	Elevaciones – Hundimientos	m	14	Acceso puentes-rejilla drenaje	m2		
5	Corrugaciones	m2	15	Ahuellamientos	m2		
6	Depresiones	m2	16	Deformación por empuje	m2		
7	Grietas de borde	m	17	Grietas de deslizamiento	m2		
8	Grietas de reflexión de juntas	m	18	Hinchamiento	m2		
9	Desnivel calzada - Hombrillo	m	19	Disgregación y	m2		
10	Grietas longitudinales y Transversales	m		Desintegración			
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES							
	10	12	15	13			
	1+2	15+35	20	8			
	+1+0.5						
TOTAL							
BAJA (L)	*	2	1	8			
MEDIA (M)	4	*	*	*			

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.-Procedimiento de cálculo

Para el cálculo del PCI debe seguirse el siguiente procedimiento:

Deben totalizarse cada uno de los tipos de falla y su severidad y registrarlos en las casillas correspondientes. Los daños pueden ser medidos en área o longitud según el tipo de falla.

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

A continuación se muestra una tabla demostrativa:

TABLA3.2.- OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD

FALLA		
10	3.08	M
12	34.25	L
15	13.70	L
13	5.48	L

Fuente: Elaboración propia

En la primera casilla FALLA nos indica el número de falla que corresponde a nuestro listado de fallas, en la segunda casilla nos representa la densidad de la falla que se obtiene dividiendo el área total dañada para la falla 10 (4.05) dividido el área total de muestreo(146m²)por 100 dando como resultado 3.08.

$$Densidad = \frac{Area\ total\ dañada\ (tipo\ y\ severidad)}{Area\ de\ la\ unidad\ de\ muestreo} \times 100$$

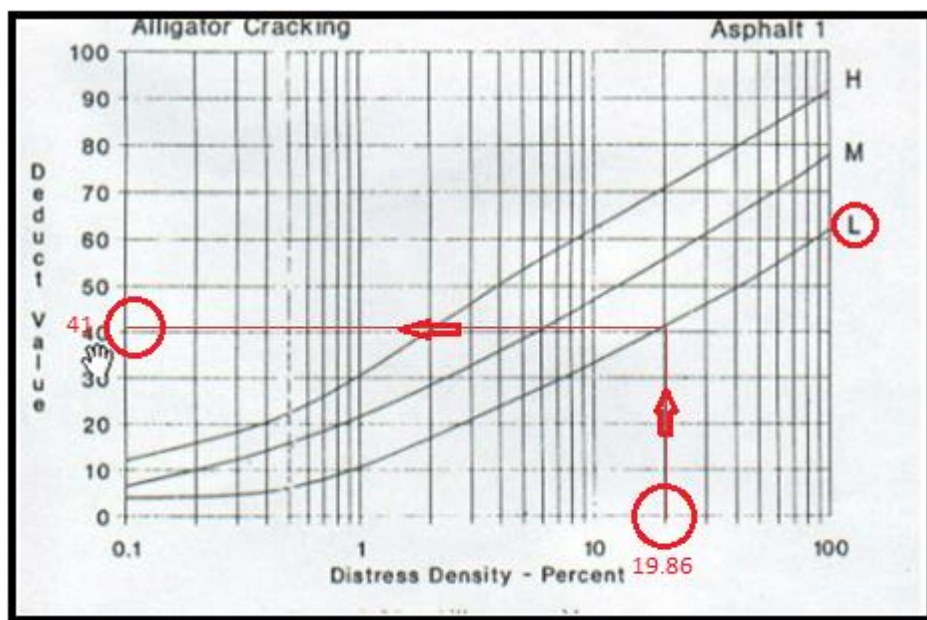
$$Densidad = \frac{4.05}{146} \times 100$$

$$Densidad = 3.08\%$$

El “Valor de deducción” se determina mediante el uso de las curvas denominadas “Valor de deducción” de acuerdo con el tipo de falla.

A continuación se presenta un ejemplo demostrativo:

GRÁFICA3.4.- OBTENCIÓN DEL VALOR DEDUCIDO (VD)



Fuente: Pavement condition index PCI (Shahin – Khon)

En este caso se trata de una daño 1 (Piel de cocodrilo) de baja severidad y de una densidad de 19.85 % se obtiene un valor de deducción de 41. Se debe entrar a la gráfica con el valor densidad y proyectar una línea vertical hasta que intersecte con la densidad de la falla, en este caso “baja”, en ese punto se proyecta una línea horizontal hasta que intersecte el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala de “Valor de deducción”.

Se repite la misma acción para cada falla y su severidad y se anotan en la casilla de “Valor deducido” como se muestra a continuación:

TABLA 3.3.- Tabla de valores deducidos

TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCION
10	3.08	M	8
12	34.25	L	0
15	13.70	L	30
13	5.48	L	47

Fuente: Elaboración propia

Luego de anotar todos los valores deducidos deben sumarse para la obtención de un “Valor deducido total” de la siguiente manera:

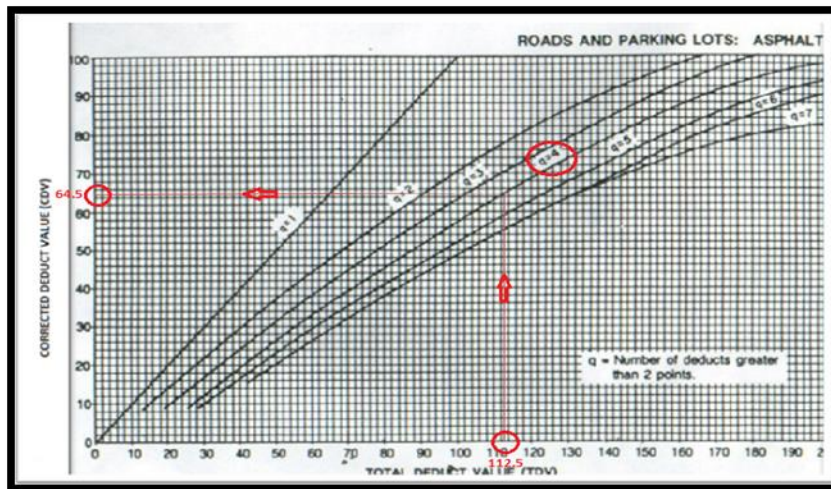
Tabla 3.4.- Valor deducido total

VALOR TOTAL DE DEDUCCION (VDT)	85
---	-----------

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el valor deducido total, con este valor se entra a las curvas de valor deducido corregido y se proyecta una línea vertical hasta interceptarse con la curva “q” correspondiente al número de valores deducidos que tengan un valor mayor a dos, desde ese punto de intersección se traza una línea horizontal hasta intersectar el eje de las ordenadas en el que se encuentra la escala del “Valor deducido corregido” como se muestra en la siguiente figura

GRÁFICA3.5.- Obtención del valor de deducción corregido (VDC)



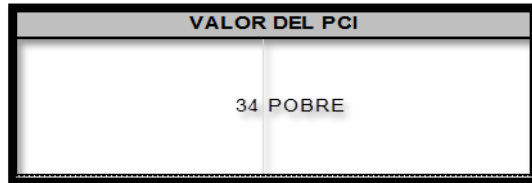
Fuente: Pavement Condition Index (Shahin, Khon)

Para este ejemplo se tiene un “valor deducido total” de 112.5 y un “numero de valores deducidos mayor a dos” de $q=4$ para los cuales se obtiene un “valor deducido corregido” de 64.5.

Una vez obtenido el “Valor deducido corregido” se calcula el PCI restando de 100 este valor.

$$PCI = 100 - VDC$$

$$PCI = 100 - 64.5$$



Se repite todo este procedimiento para todas las unidades de muestreo.

El PCI de la sección será el promedio de todas las unidades de muestreo.

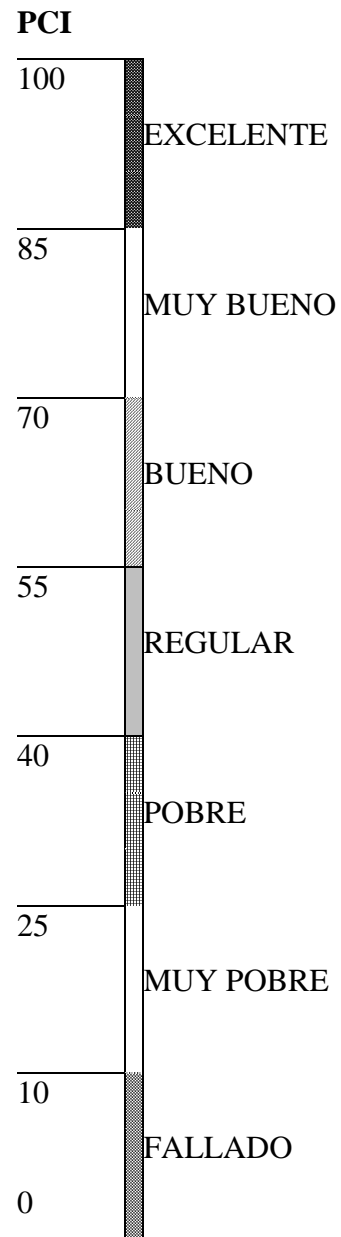
En el ANEXO II. Nos muestran los cálculos y resultados de la aplicación de este método de evaluación para cada sub tramo, y el Cuadro 3.5 es un resumen de los resultados de la evaluación del PCI de los sub tramos.

3.5.2.- Resultados PCI

Tabla 3.5- Rangos de clasificación del PCI

PCI	GRUPO I
MB	90 – 100
B	60 – 90
R	40 – 60
MB	20 – 40
F	0 – 20

PSI = PCI/20
4.5 - 5
3 - 4.5
2 - 3.
1 - 2.
0 - 1



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Universidad de ingeniería (Bogota-Colombia)

Tabla 3.6.- Resultados PCI

N°	PROGR.	PROGR.	PCI(m/Km)	PCI(m/Km)	CALIFICACION
----	--------	--------	-----------	-----------	--------------

	INICIO	FIN	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO	PCI
1	6+860	6+880	56		regular
2	6+896	6+915,5	64		buena
3	6+926	6+946	64		buena
4	6+905	6+925		44	regular
5	7+662	7+682		44	regular
6	8+395	8+415	57		buena
7	8+520	8+540	44		regular
8	8+636	8+656	50		regular
9	8+721	8+741	42		regular
10	8+443	8+463	45		regular
11	8+473	8+493	33		Pobre
12	9+783	9+803	55		regular
13	9+811	9+831	46		regular
14	9+842	9+862	44		regular
15	9+872	9+892	46		regular
16	9+896	9+916	47		regular
17	9+921	9+941	56		Buena
18	9+787	9+807	53		regular
19	9+832	9+852	62		Buena
20	9+869	9+889	50		regular
21	9+893	9+913	60		Buena
22	9+916	9+936	46		regular
23	10+101	10+121	69		Buena
24	10+127	10+147	48		regular
25	10+158	10+178	61		Buena
26	10+186	10+206	60		Buena

Fuente: Elaboración propia

3.6.- Método de evaluación IRI (índice de rugosidad internacional)

Este método de evaluación requiere previamente de un trabajo de nivelación, empleando para ello una Mira y un Nivel, esta nivelación nos permitirá conocer las cotas de la superficie del pavimento, el trabajo de nivelación se la realizó en tramos de 20 m. de longitud, escogiendo un Delta (X) de 500 mm.

Se realizó la nivelación de los tramos críticos con un nivel de ingeniero sobre la huella que se produce por los vehículos lado derecho e izquierdo cada 50cm. Teniendo un total de: 40 puntos levantados en cada tramo de 20 m. Luego de realizar la nivelación se efectuó el trabajo de gabinete. Con la ayuda del software INPACO se pudo calcular el IRI de cada unidad de estudio y de cada huella.

GRÁFICA3.6.- Realizando el levantamiento con mira y nivel.



Fuente: Elaboración propia

GRÁFICA 3.7.- Análisis del IRI Programa INPACO



FUENTE: Elaboración Propia

El programa computacional se llama INPACO, este software fue creado en el instituto de vías de la Universidad del Cauca de Colombia.

Al utilizar el programa INPACO estamos utilizando una herramienta para despejar el resultado adimensional del Índice de Rugosidad, es un programa que nos ayuda al cálculo de la formula real del IRI.

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS$$

Donde:

$$n = \frac{L}{\Delta x} = \frac{100m}{20m}$$

$$RS = \frac{Cota\ terreno\ 1}{Dist\ entre\ cotas\ (Dx)} - \frac{Cota\ terreno\ 2}{Dist\ entre\ cotas\ (Dx)} - \dots - \frac{Cota\ terreno\ X}{Dist\ entre\ cotas\ (Dx)}$$

Este programa denominado INPACO es de mucha importancia dado que al realizar el análisis y resolución de la formula real del IRI en forma manual, el cálculo sería extenso, moroso y con susceptibilidad al error, es por esta razón que se hizo uso del programa para que calcule de forma directa y segura los valores del IRI. Cabe destacar que el INPACO es uno de los programas más utilizados cuando se encuentra el IRI mediante

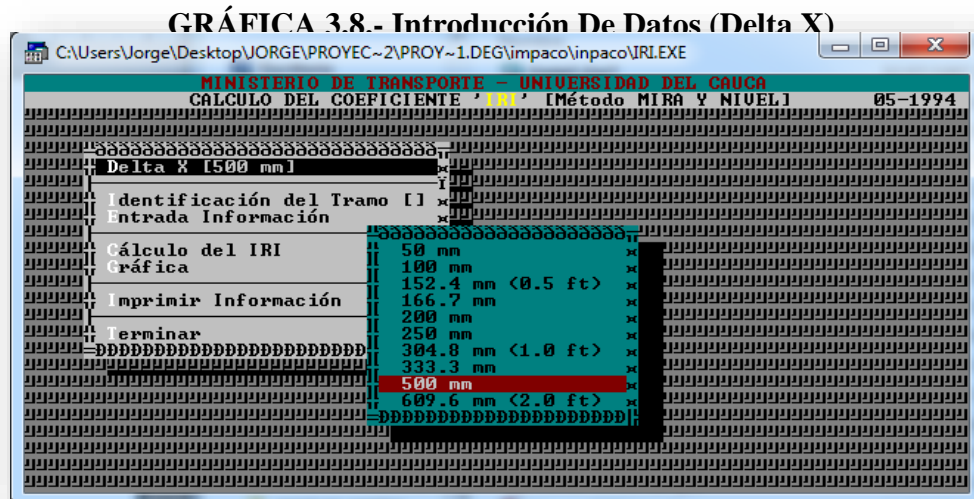
mira nivel se trata, ya que para otras formas de encontrar la rugosidad (rueda de Merlin, perfilógrafos), se emplean otro tipo de variables y por ende otro tipo de fórmulas.

Este programa tiene la característica de procesar los datos en 6 pasos los cuales se mencionan a continuación:

1. Delta X
2. Identificación del tramo
3. Entrada de datos
4. Calculo del IRI
5. Grafica
6. Imprimir información

Delta X (DX)

Esta es la primera parte para hacer correr el programa donde nos permite escoger el incremento de la abscisa de los datos del levantamiento, en el mismo se presenta las siguientes alternativas que en nuestro caso es 500mm.



FUENTE: Elaboración Propia

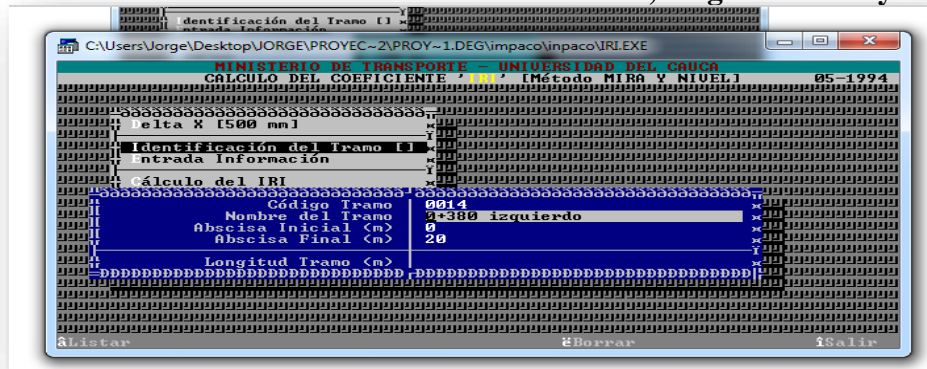
Identificación del tramo

Esta opción permite que se pueda darle un nombre al tramo e identificarlo con un código para distinguirlo de los demás, la forma se presenta en el programa es el siguiente:

- Código de tramo
- Nombre del tramo
- Abscisa inicial (m)
- Abscisa final (m)

Las abscisas delimitan el inicio y fin de la longitud del tramo en estudio del IRI que para este proyecto es de 20 metros como así el lado del carril que se está estudiando.

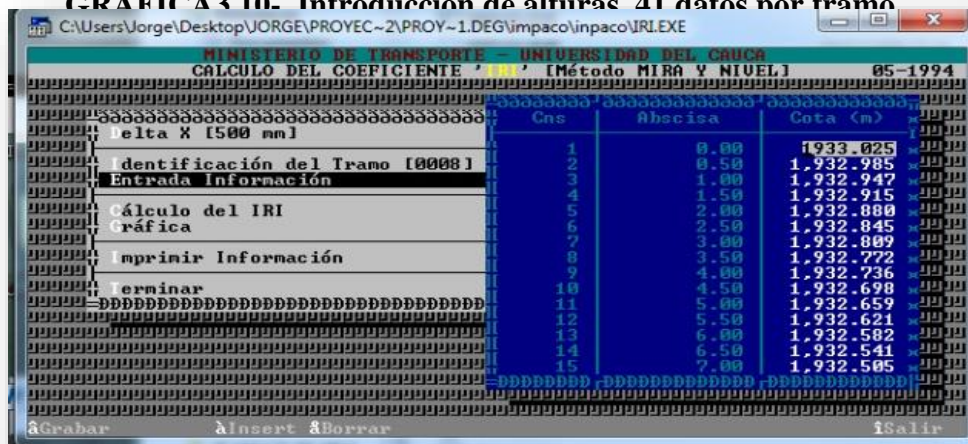
GRÁFICA 3.9.- Introducción de datos Nombre tramo, longitud inicial y final



FUENTE: Elaboración Propia.

Entrada de información.-En esta opción se ingresan los datos del levantamiento (cotas de los puntos lecturados) de los 41 puntos levantados por tramo de 20 metros.

GRÁFICA 3 10.- Introducción de alturas 41 datos por tramo



FUENTE: Elaboración Propia.

Cálculo del (IRI)

1. Se calculará el índice de rugosidad internacional teniendo en cuenta la información digitalizada anteriormente.
2. En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identificara el proceso de cálculo necesario para encontrar el IRI.
3. Delta Y (delta escogido). Número total de datos(es la cantidad de abscisas existentes en el tramo) Z1, Z2, Z3, Z4, Sumatoria Rsi. Variables requeridas por el sistema IRI valor de índice de rugosidad internacional calculado.

GRÁFICA3.11.-Cálculo del IRI Por Tramo De Estudio

MINISTERIO DE TRANSPORTES - UNIFORMES DEL CAUCA			
CÁLCULO DEL COEFICIENTE "I" (Método MIRA Y NIEL) 05-1994			
Identificación del Tramo	Número Total de Datos	41	Y
Entrada Información	Número de Datos Analizados	41	Y
Cálculo del IRI	% de Análisis	100.0	Y
Gráfica	Z1	-94.22	X
Imprimir Información	Z2	11.14	X
Terminar	Z3	-85.73	X
	Z4	-651.48	X
	V	-98.69	Y
	Σ Rsi	229.154	Y
	IRI Calculado (m/km)	5.7288	Y

FUENTE: Elaboración Propia

3.6.1.- Resultados del IRI

Tabla 3.6.- Rangos de rugosidad IRI

CLASE DE CARRETERA	CALIDAD DE RODADURA IRI			
	BUENA	REGULAR	MALA	MUY MALA
Red vial fundamental primaria	IRI<3	3<IRI<5	5<IRI<7	IRI >7

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Resultados del IRI

N°	PROGR.	PROGR.	IRI(m/Km)	IRI(m/Km)	CALIFICACION
	INICIO	FIN	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO	
1	6+860	6+880	2,876		buena
2	6+896	6+915,5	2,123		buena
3	6+926	6+946	2,168		buena
4	6+905	6+925		4,292	regular
5	7+662	7+682		4,394	regular
6	8+395	8+415	2,810		buena
7	8+520	8+540	3,748		regular
8	8+636	8+656	3,653		regular
9	8+721	8+741	4,542		regular
10	8+443	8+463	4,251		regular
11	8+473	8+493	4,876		regular
12	9+783	9+803	3,261		regular
13	9+811	9+831	4,245		regular
14	9+842	9+862	3,531		regular
15	9+872	9+892	3,920		regular
16	9+896	9+916	3,754		regular
17	9+921	9+941	2,822		buena
18	9+787	9+807	3,298		regular
19	9+832	9+852	2,281		buena
20	9+869	9+889	3,1404		regular
21	9+893	9+913	2,654		buena
22	9+916	9+936	3,887		regular
23	10+101	10+121	1,284		buena
24	10+127	10+147	3,905		regular
25	10+158	10+178	2,382		buena
26	10+186	10+206	2,519		buena

3.7.-Método de evaluación psi (índice de serviciabilidad presente)

El Índice de serviciabilidad presente se calcula a partir de los resultados obtenidos del IRI. Los valores de PSI se calcularon mediante la ecuación de Paterson, puesto que ningún valor de IRI está por debajo de 0.47 m/Km, se calcularon de la siguiente manera:

Se muestra el ejemplo:

$$PSI = 5 * e^{(-0.18 * IRI)}$$

$$PSI = 5 * e^{(-0.18 * 4.48)}$$

$$PSI = 2.24$$

3.7.1.- Resultados PSI

A continuación se muestra la tabla que resume los valores de PSI para cada kilómetro del tramo “Canaletas – Entre Rios”:

TABLA 3.7.- Calificación de la serviciabilidad según el valor del PSI

Valor Índice Servicio Presente PSI	Transitabilidad Servicio o Performance
4 - 5	Muy Bueno
3 - 4	Bueno
2 - 3	Regular
1 - 2	Malo
0 - 1	Muy Malo

Fuente: ASTM D 1241

Tabla 3.7- Resultados PSI

TRAMO: CANALETAS-ENTRE RIOS					
------------------------------------	--	--	--	--	--

SEGMENTO DE EVALUACIÓN		IRI(m/Km)	IRI(m/Km)	PSI CALCULADO	CALIFICACION
PROGR.	PROGR.	CARRIL DER.	CARRIL IZQ.		PSI
6+860	6+880	2,876		2,980	regular
6+896	6+915,5	2,123		3,412	bueno
6+926	6+946	2,168		3,384	bueno
6+905	6+925		4,292	2,309	regular
7+662	7+682		4,394	2,267	regular
8+395	8+415	2,810		3,015	bueno
8+520	8+540	3,748		2,547	regular
8+636	8+656	3,653		2,591	regular
8+721	8+741	4,542		2,207	regular
8+443	8+463	4,251		2,326	regular
8+473	8+493	4,876		2,079	regular
9+783	9+803	3,261		2,780	regular
9+811	9+831	4,245		2,329	regular
9+842	9+862	3,531		2,648	regular
9+872	9+892	3,920		2,469	regular
9+896	9+916	3,754		2,544	regular
9+921	9+941	2,822		3,009	bueno
9+787	9+807	3,298		2,762	regular
9+832	9+852	2,281		3,316	bueno
9+869	9+889	3,1404		2,841	regular
9+893	9+913	3,887		2,484	regular
9+916	9+936	3,887		2,484	regular
10+101	10+121	1,284		3,969	bueno
10+127	10+147	3,905		2,476	regular
10+158	10+178	2,382		3,257	bueno
10+186	10+206	2,519		3,177	bueno

FUENTE: Elaboración Propia.

3.8.- Método de evaluación estructural viga benkelman.

En este método de evaluación estructural se medirán las deflexiones por segmento , pero en este caso se realizó el ensayo de viga Benkelman en el tramo izquierdo es decir en el carril de ida a Entre Ríos debido a que este se encuentra debajo del talud y por ende es el más afectado a simple vista. Los ensayos se realizaron siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Los ensayos deberán efectuarse a lo largo de un eje longitudinal paralelo al eje de la vía y ubicado aproximadamente en la parte central de la carretera, tanto en el lado izquierdo como en el derecho.
- 2) Los ensayos de deflexiones se efectuarán empleando una viga Benkelman de brazo simple rebatible, que guarde una de relación punta-pivote y pivote-vástago dial igual a 1:1 (ver **grafica 2.25**); deberá estar equipada con un sistema de vibración interna accionada con baterías, y con un dial indicador diseñado especialmente para este tipo de ensayos, es decir, que sean capaces de dar las lecturas corregidas en forma interna, para la relación de brazos del equipo.

GRAFICA 3.12.-Viga con dial digital.



FUENTE: Elaboración propia

- 3) Los ensayos para la medición de deflexiones con Viga Benkelman se efectuarán en cinco tramos de estudio cuyas progresivas y ubicación se encuentran expresados en la tabla de anexos de la viga Benkelman las progresivas en estudio son las mismas que se utilizaron para las anteriores evaluaciones superficiales. Cada ensayo consistirá en la ejecución de 6 lecturas para determinación de la deformada que adopta la superficie de la capa del pavimento, también llamada “curva de deflexión”, las que se efectuarán a 0, 50, 100, 150, 200 y 500 cm desfasadas del punto inicial de aplicación de carga.

GRÁFICA3.13.- Espaciamiento para lecturas.



FUENTE:

Elaboración propia

- 4) Para la ejecución de los ensayos se empleará la carga estandarizada del eje trasero simple con llantas dobles, de un camión tipo volqueta, con un peso de 8,150 kg y 80 psi de presión de inflado. El tamaño de las llantas del vehículo será 11.00-20 o 12.00-20 de 16 lonas. El peso del eje trasero se alcanzará colocando una carga fija de peso no variable en el tiempo, sobre la tolva de la volqueta.

GRAFICA 3.14.- Representación del ensayo en campo.



FUENTE:

Elaboración propia

GRÁFICA.3.15.- Toma de lecturas para el cálculo



FUENTE: Elaboración propia

- 5) El Coeficiente de Variación de los valores de Deflexión Máxima no deberá ser mayor de 30%; excepcionalmente se podrá aceptar 35% siempre que se

3.9.-Elección de alternativas de refuerzo

Después de obtener el resultado de la evaluación superficial y la evaluación estructural y tomando en cuenta los valores de sus resultados se pudo evidenciar que efectivamente es necesario un refuerzo para el pavimento, es por esta razón que se procedió a la elección de las dos alternativas según manual de la AASTHO 93.

Los tipos de refuerzos a utilizar son:

Refuerzo	Pavimento existente
Concreto asfáltico	Concreto asfáltico

Para nuestro caso tratándose y teniendo un pavimento existente de concreto asfáltico, las alternativas que se ajustan son: Refuerzo de concreto asfáltico sobre concreto asfáltico y Refuerzo de hormigón simple sobre concreto asfáltico las cuales procederemos con su estudio y aplicación.

Estas dos alternativas fueron elegidas ya que eran las que concuerdan a las características del pavimento en estudio ya que ambas son diseñadas para reforzar exclusivamente un pavimento de concreto asfáltico, para así de esta forma ofrecer resistencia ante la acción de cargas impuestas por el tránsito de dicho tramo.

Además dichas alternativas reforzaran la estructura ofreciéndole mayor resistencia hacia los agentes de intemperismo, presentando una regularidad superficial tanto transversal como longitudinalmente tal que permita la comodidad de los usuarios.

La principal ventaja es que tendrán buena adherencia al ser colocados sobre el pavimento flexible, teniendo como duración promedio de 20 años de vida útil para el refuerzo de hormigón y 15 años para el refuerzo de concreto asfáltico.

Los costos en cuanto mantenimiento serán menores en el caso del refuerzo de hormigón, en ambos casos el mantenimiento es casi mínimo.

Previa colocación de ambos refuerzos en los 5km. se deberán realizar una serie de tareas, como ser la reparación de sus áreas deterioradas y mejoramiento de su drenaje, corrección de ahuellamientos superficiales, aplicación del riego de liga (en refuerzo de concreto asfáltico), (ver cap 2.6alternativas de refuerzo).

- **Mantenimiento**

Concreto hidráulico.- Sello de grietas, sustitución de sello en juntas, cada 5 años.

Concreto asfáltico.- Bacheo anual, recarpeteo cada 5 años.

3.10.- Determinación del paquete estructural

3.10.1.- Dimensionamiento del refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento 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.

TABLA 3.9.-Valores sugeridos del Coeficiente Estructural para Capas de Pavimentos Deteriorados

Material	Condición de superficie	Coefficiente
Concreto asfáltico	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0,35-0,40
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,25-0,35
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,20-0,30
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,14-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0,20-0,35
Base estabilizada	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad	0,20-0,35
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,15-0,25
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,15-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,10-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad	0,08-0,15
Base o sub base granular	Sin evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0,10-0,14
	Alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0,00-0,10

:

FUENTE: Guía AASHTO 93

Datos de diseño :

- * Capa Base: 0.22 metros de espesor; CBR \geq 80%
- * Capa Subbase: 0.25 metros de espesor; CBR \geq 40 %
- * Capa Subrasante: 0.30 metros de espesor; CBR \geq 25%

Para la determinación del mod resiliente

$$Mr = 1,500 \times CBR$$

Mr en psi y CBR en %, para suelos finos con CBR

Desarrollada por Heukelom y Klomp, debe usarse con precaución.

Otras correlaciones importantes son:

$$Mr = 2,555 \times CBR^{0.64}$$

Mr en psi y CBR en %, para suelos finos con CBR

3.10.1.1- Medición de fallas para la determinación del Numero Estructural Efectivo

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

Porcentaje de superficie con piel de cocodrilo (baja severidad)

Área con piel de cocodrilo = 2010.41 m²

Área total de la carretera = 23100 * 7 = 161700 m²

% de piel de cocodrilo = 2010.41 * 100 / 161700 = 1.24 %

Fisuras por Km. (Baja Severidad)

Total de fisuras en 23100 m = 197.97mts.

% de fisuras transversales = 197.97 * 100 / 23100 = 0.86%

Profundidad media de ahuellamiento

Se pudo observar que la profundidad media de ahuellamiento está en el orden de 5mm.

3.10.1.2.-Estimación del módulo resistente (Mr) a partir de los valores de CBR de diseño del paquete estructural actual.

De las correlaciones empíricas entre el Mr y los ensayos de CBR, se adoptan los siguientes valores:

Capa Base:	CBR = 80 %	Mr = 5000 Psi.
Capa SubBase:	CBR = 40 %	Mr = 10000 Psi.
Capa Subrasante:	CBR = 25 %	Mr = 45000 Psi.

3.10.1.3.- Determinación del Número Estructural para tráfico futuro SNf.

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

Índice de Serviciabilidad

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

En el presente estudio, se consideraron los índices de serviciabilidad inicial para pavimento flexible $P_o = 4,2$ y serviciabilidad final $P_f = 2,5$; conforme recomienda la (Ref.: AASHTO Guía para el diseño estructural de pavimentos.)

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.

En nuestro caso se adoptó un nivel de confiabilidad de $R = 85 \%$ ($ZR = - 1,037$) indicado para arterias principales y una desviación estándar combinada de $S_o=0,49$ para pavimento flexible.

Determinación de W18

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

$DD = 0.5$ Distribución direccional.

$DT = 0.5846$ Distribución de caminos.

$ESALs = 360000$ (Según datos de Tráfico)

$Fct = 17.08\%$ (Factor de crecimiento)

$W18 = Fct * ESALs * DD * TD$

W18 = 1797294.24 Ejes equivalentes de 8.2 Tn.

Se adopta W18 = 1.800.000,00

Determinación del Espesor del Refuerzo

Se optara por la elección de 10 años de periodo de diseño para el refuerzo de concreto asfáltico y refuerzo de hormigón ya que se hará un análisis comparativo en 10 años de vida útil para cada refuerzo, sin embargo se puede hacer la selección de más de 10 años en ambos casos y considerando que se trata de sobrecarpetas y no de pavimentos nuevos.

En función a las consideraciones citadas en los acápite anteriores, se determinó un número estructural requerido SN_{req} . Como se podrá apreciar, el valor de cálculo de SN_{req} . Es la diferencia entre el SN_f y S_{Nef} . Este número estructural requerido se calculó en base Método de Ensayo no Destructivo.

3.10.1.4.- Cálculo del número estructural para soportar el tráfico futuro (SN_f)

Luego de analizar cada uno de los parámetros que se necesitan para el dimensionamiento de refuerzos de Concreto Asfáltico se tiene:

DATOS:

ESALs W18 = 1797294.24

Confiability R = 85% ZR = -1.037

DESVIACIÓN ESTANDAR S0 = 0.49

PERDIDA DE LA SERVICIALIDAD

Pi = 4.2

Pf = 2.5 4.2- 2.5 = Δ PSI = 1.7

$$\log W_1 = Z_R * S_o + 9.36 * \log (SN - 1) - 0.2 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$SN_f = 3.65 \text{ pulg} = \mathbf{9.27 \text{ Cm}}$$

3.10.1.5.- Determinación del estructural efectivo.número

Esta determinación se la efectuará mediante el método de observación visual y de ensayo de materiales.

El análisis será mediante la ecuación del número estructural:

$$SN_{ef} = a1 * D1 + a2 * D2m2 + a3 * D3m3$$

Donde:

- a1, a2, a3 son los coeficientes estructurales para pavimentos flexibles deteriorados.
- D1, D2, D3 espesores de las diferentes capas que componen el paquete estructural.
- m2, m3 se adoptan de acuerdo a las condiciones de drenaje.

De acuerdo a las mediciones y observaciones realizadas a las fallas del pavimento existente descritas en los párrafos precedentes, se adoptará los coeficientes:

- a1 = 0.35 a2 = 0.26 y a3 = 0.12
- D1 = 3 cm. D2 = 22 cm. D3 = 25 cm.
- m2 = 0.8 y m3 = 0.7

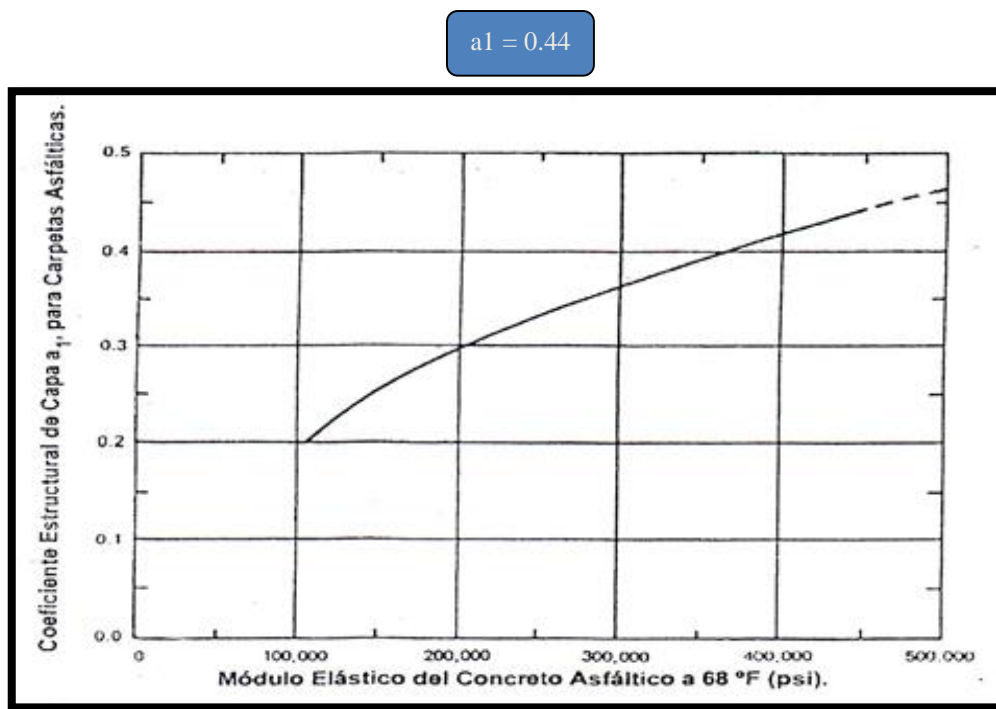
$$SN_{ef} = 0.35*3 + 0.25*22*0.8 + 0.12*25*0.7 = 7.55 \text{ cm.}$$

$SN_{ef} = 7.726 \text{ cm.}$

3.10.1.6.- Coeficiente estructural del refuerzo de Concreto Asfáltico.

El coeficiente estructural se obtendrá de acuerdo a la siguiente gráfica para lo cual se asumirá un módulo elástico del Concreto Asfáltico igual a 450000 psi de forma de brindar mayor seguridad y resistencia al refuerzo a utilizar y de establecer un espesor moderado.

Gráfica 3.16.- Para determinar el coeficiente estructural de capa “a1” en función del módulo elástico del Concreto Asfáltico



Fuente: guía AASHTO 93.

3.10.1.7.- Determinación del espesor del refuerzo

$$D_{oi} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{oi}}$$

$$a_{oi} = 0.44$$

$$D_{oi} = \frac{9.271 - 7.726}{0.44}$$

$$D_{oi} = 3.911 \text{ cm..}$$

3.10.1.8.- Memoria de cálculo para el dimensionamiento del refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento 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.

Mr =Capa Subrasante: CBR = 25 %

Mr = 45000 Psi.

Cálculo del número estructural para soportar el tráfico futuro (SN_f)

DATOS:

ESALs W18 = 1797294.24

Confiabilidad R = 85% ZR = -1.037

DESVIACIÓN ESTANDAR S0 = 0.49

PERDIDA DE LA SERVICIALIDAD

Pi = 4.2

Pf = 2.5 4.2 - 2.5 = ΔPSI = 1.7

$$\log W_1 = Z_R * S_0 + 9.36 * \log (SN - 1) - 0.2 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

$$\begin{aligned} \text{Log } 1797294.24 = & -1.037 * 0.49 + 9.36 * \log(SN-1) - 0.2 + \frac{\text{Log}(1.7)}{4.2-1.5} + 2.32 \\ \text{log } 45000 - 8.07 & \end{aligned}$$

1094

$$0.4 + \frac{1094}{(SN+1)}$$

$$SN_f = 3.65 \text{ pulg} = \mathbf{9.27 \text{ Cm}}$$

Determinación del número estructural efectivo.

$$SN_{ef} = a1 * D1 + a2 * D2m2 + a3 * D3m3$$

$$SN_{ef} = 0.35*3+0.25*22*0.8+0.12*25*0.7 = 7.55\text{cm.}$$

$$SN_{ef} = 7.726 \text{ cm.}$$

Determinación del espesor del refuerzo

$$D_{oi} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{oi}}$$

$$a_{oi} = 0.44$$

$$D_{oi} = \frac{9.271 - 7.726}{0.44}$$

$$D_{oi} = 3.911 \text{ cm.}$$

3.10.2.- Dimensionamiento del refuerzo de hormigón para el pavimento flexible del tramo en estudio.

En el diseño de sobrecarpetas de hormigón sobre pavimento de asfalto, la capa de asfalto subyacente se trata como una capa de soporte, pero no se considera que provea ninguna contribución estructural directa a la sobrecarpeta. Por tanto, el espesor de la

sobrecarpeta de hormigón es el espesor del pavimento requerido para soportar el tráfico proyectado. (*DIPAV 2.0 Manual del Usuario*).

Los datos para este procedimiento de diseño son los mismos que los datos para el diseño de un pavimento nuevo. Sin embargo, el cálculo de los ejes equivalentes se deberá proyectar en función al periodo de vida útil de la carretera y el valor estático del coeficiente k se asumirá luego de entrar a una serie de tablas y correlaciones en función al valor del CBR.

El espesor requerido del refuerzo debe responder a esta ecuación:

$$D_{of} = D_f$$

Donde:

Dof = Espesor requerido del refuerzo de hormigón

Df = Espesor del refuerzo necesario para soportar el tránsito futuro

3.10.2.1.- Determinación del espesor requerido del refuerzo para el tránsito futuro, D_f.

Para determinar el espesor del refuerzo de Hormigón se empleará el método AASHTO, (American Association of Estate Highway and Transportation Officials). El procedimiento determina el espesor del refuerzo de Hormigón para que pueda soportar el paso de un número W18 de ejes equivalentes de 18,000 Lb. (8.20 TN) sin que se produzca una disminución en el índice de servicio (PSI) superior a un cierto valor, el cual se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches, etc.).

La fórmula utilizada por el método es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10} (D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 1}{(D + 1)^8}}$$

$$+ (4,22 - 0,32p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Donde:

W18 = N° de cargas de 18 kips (80 KN) previstas en su vida útil

ZR = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

S₀ = Desviación estándar de todas las variables

D = D_f = Espesor del refuerzo de H° para soportar el tráfico futuro en pulgadas

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

P_t = Serviciabilidad final

S_c = f_{cd} = Módulo de rotura del hormigón en unidades psi

J = Coeficiente de transferencia de cargas

C_d = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón en psi

K = Módulo de reacción de la subrasante (Coef. de balasto) en psi/pulg

Con la finalidad de determinar los espesores de refuerzo estructural, a continuación se presentan los parámetros de cálculo de la estructura.

Desviación normal (ZR)

Este parámetro se encuentra en función del nivel de confiabilidad que se le otorgue al pavimento, para el refuerzo de hormigón consideramos que tendrá un 75 %, este valor se adoptara para no sobredimensionar el refuerzo de hormigón ya que valores más altos de confiabilidad harán que el espesor del refuerzo sea más costoso. Con este dato obtenemos la desviación normal de la siguiente tabla:

TABLA 3.10 Desviación Estándar Normal ZR

CONFIABILIDAD R (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ZR
50	- 0.000
60	- 0.253
70	- 0.524
75	- 0.674
80	- 0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento

Para R = 75 %

ZR = -0.764

Desviación estándar So

Para pavimentos rígidos, la AASHTO recomienda adoptar para So valores que estén comprendidos entre 0.30 a 0.40, Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado está considerada, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0.34. En situaciones donde no está considerada, se recomienda un valor de 0.35.

So = 0,35 (Para el refuerzo de Concreto Asfáltico).

Pérdida de Serviciabilidad de diseño.

Es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después del refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

La inicial, **P_o** De acuerdo a la AASHTO ha elaborado una tabla donde se califica a la serviciabilidad inicial.

TABLA 3.11.- Valor de Servicialidad inicial

Serviciabilidad Inicial	Condición
0 – 1	Muy Pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

Fuente: Método de Diseño AASHTO-93

En la Guía para el Diseño de Pavimentos AASHTO-93 se recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual **P_o= 4.5**.

La final o Terminal, **P_t** las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad final son:

Volumen Alto (>10.000 TPDA)	3.0-3.5
Volumen Medio (3,000 - 10,000 TPDA)	2.5-3.0
Bajo Volumen (< 3,000 TPDA)	2.0-2.5

En el presente estudio, considerando la importancia de la carretera, se adopta un valor de **pt = 2.5**.

Perdida de serviciabilidad APSI = 2.0

Coefficiente de drenaje Cd.

Depende de dos parámetros: la calidad del drenaje que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y el porcentaje de tiempo a lo largo del año, durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximas a la saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la guía AASHTO define cinco calidades de drenaje de acuerdo a la siguiente tabla 5-21.

El valor del mismo depende de dos parámetros: la calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación.

Tabla 3.12 Calidades de Drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	(el agua no se evacua)

Fuente: Guía AASHTO 93.

Combinando las variables anteriormente indicadas, se recomienda adoptar para C_d los valores indicados en la Tabla 3.13.

TABLA 3.13.- Valores del Coeficiente de Drenaje C_d

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	MENOS DEL 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	MAS DEL 25 %
Excelente	1,25 - 1,20	1,25 - 1,15	1,15 - 1,10	1,1
Bueno	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,0
Mediano	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,9
Malo	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,8
Muy malo	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,7

Fuente: Guía AASHTO 93.

Asumiendo un drenaje de mediana calidad, y que el tiempo de exposición del pavimento con humedades próximas a la saturación de 5 % a 25 % obtenemos el coeficiente:

$$C_d = 1.00$$

Coefficiente de transmisión de cargas: J

El coeficiente de transferencia de carga J es un factor usado en pavimentos rígidos para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. La tabla 5-23 da recomendaciones sobre rangos de coeficientes J para distintas condiciones:

TABLA 3.14 Coeficientes de Transferencia de Carga

Banquina	Concreto Asfáltico		Hormigón Vinculado A Calzada	
	Si	No	Si	No
Mecánica de transferencia de carga				
Tipo de pavimento				
Hormigón simple o armado c/juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
Hormigón armado continuo	2,9 - 3,2	-----	2,3 - 2,9	-----

Fuente: Guía AASHTO 93.

De acuerdo a la guía AASHTO 93 recomienda para el uso de refuerzos de Hormigón un coeficiente de transmisión de carga igual a:

J = 3.2

Módulo rotura del hormigón.

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para diseño de pavimentos rígidos en este caso para el refuerzo de hormigón. Es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (M_R) normalmente especificada a los 28 días. Los cuales se recomiendan en la tabla 3.15.

TABLA 3.15 Módulo de Ruptura Recomendado

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	MPa	psi
Autopistas	5 MPa	725,2
Carreteras	5 MPa	725,2
Zonas Industriales	4.5 MPa	640.1
Urbanas Principales	4.5 MPa	640.1
Urbanas Secundarias	4.2 MPa	597.4

Fuente: AASHTO 93.

De acuerdo a la tabla mostrada se empleara un concreto con módulo de ruptura de:

$$S'c = 725.2 \text{ psi o } 5 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad E_c del hormigón

Se recomienda determinarlo de acuerdo con el procedimiento descrito en las normas ASTM C469, o en su defecto, correlacionarlo con otras características del material, como puede ser su resistencia a compresión.

El Módulo de Elasticidad del concreto está íntimamente relacionado con su Módulo de Ruptura. Existen varios criterios con los que se puede estimar el Módulo de Elasticidad a partir del Módulo de Rotura. El más utilizado es:

$$E = 57000(f'_c)^{0.5}$$

Donde:

E= Módulo elástico del hormigón (psi).

f'c = Resistencia a la compresión simple del hormigón (psi).

f'c = 270 Kg/cm²

$$E_c = 3,1E6 \text{ psi} = 20000 \text{ MPa}$$

Se adoptó el valor de 270 kg/cm² para la compresión simple del hormigón, ya que es un valor adecuado con resistencia moderada y no muy elevada, además el diseño de pavimentos rígidos según la guía AASHTO 93, recomienda no utilizar valores inferiores a los 180 kg/cm², y pavimentos que requieran mayores resistencias hasta los 310 kg/cm², por lo que para el tramo en estudio se consideró un valor moderado de 270 kg/cm². De manera de no hacer al pavimento muy costoso en relación al costo.

3.10.2.2.- Ejes equivalentes W18.

Para poder determinar los ejes equivalentes para el refuerzo de Hormigón se hace uso de los coeficientes de factor de equivalencia de carga y factor de vehículo que se emplean para el cálculo de pavimentos rígidos, como se quiere determinar los ejes equivalentes a futuro se procederá a inferir en el factor de crecimiento con relación de un periodo de 10 años. Del 12% con respecto del que ya se tenía.

DD = 0.5 Distribución direccional.

DT = 0.5846 Distribución de caminos.

ESALs = 360000 (Según datos de Tráfico)

Fct = 29.08% (Factor de crecimiento)

W18 = Fct * ESALs * DD * TD

W18 = 3.060.030,24 Ejes equivalentes de 8.2 Tn.

3.10.2.3.- Valor estático efectivo k debajo del pavimento existente.

Este se puede determinar por alguno de estos métodos:

*Cálculo del k efectivo dinámico determinado por retroajuste modular del cuenco de deflexiones. Dividiendo el valor obtenido por 2 se obtiene el k efectivo estático.

Estimación a partir de datos de suelos, tipo de base y espesores, usando el gráfico de tabla de AASHTO.

*Para nuestro caso de acuerdo a las recomendaciones de la norma AASHTO y al suplemento AASHTO-97, se puede efectuar una correlación de los valores soporte de la subrasante, obtenidos por otros métodos. Esto posibilita el empleo del valor de CBR, que también es un valor de medida de la capacidad soporte.

En base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo en función a diferentes propiedades.

Diferentes autores han publicado sus resultados y en general no difieren notablemente.

Según datos obtenidos de Secretaria de obras públicas:

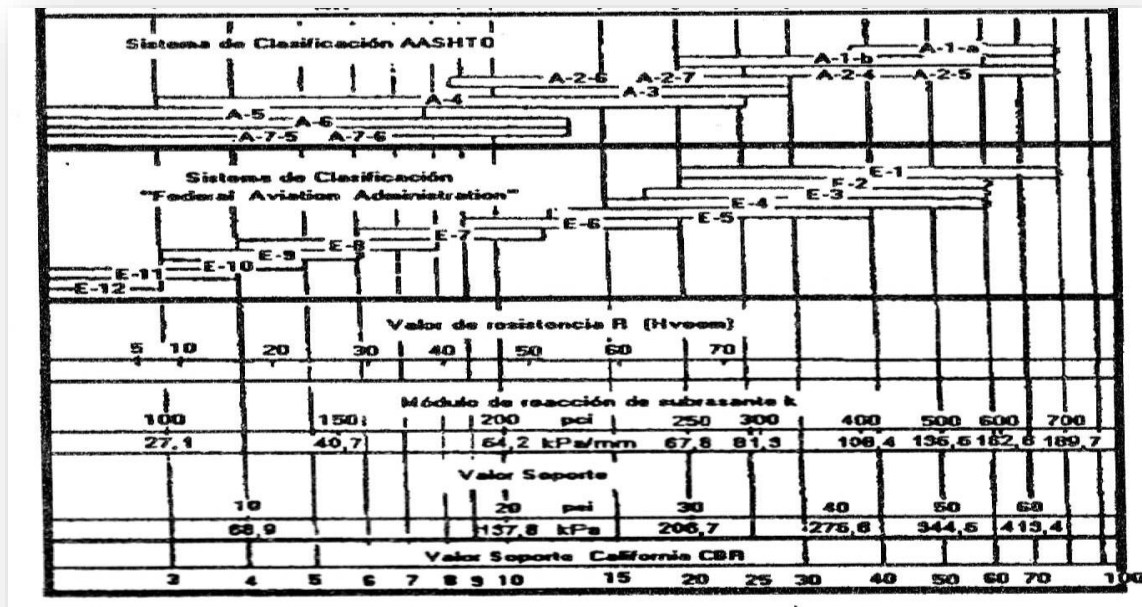
* Capa Base: 0.22 metros de espesor; CBR \geq 80%

* Capa Subbase: 0.25 metros de espesor; CBR \geq 40 %

* Capa Subrasante: 0.30 metros de espesor; CBR \geq 25%

Según datos de la subrasante 25% de CBR:

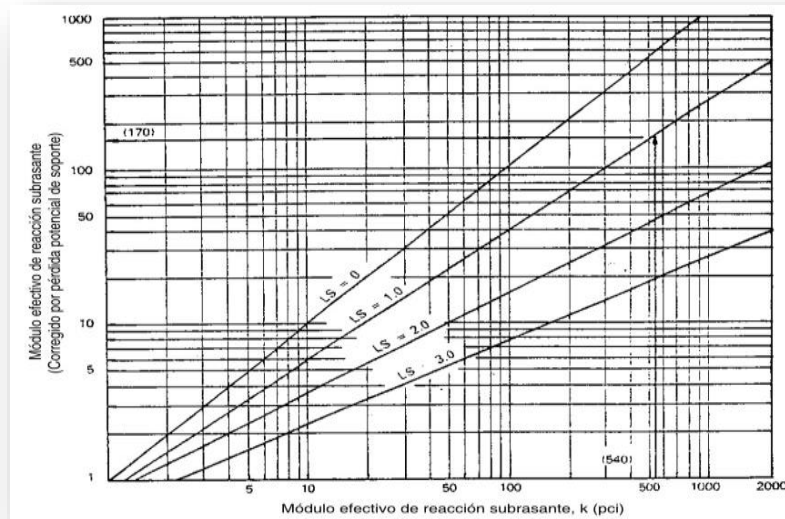
GRÁFICA 3.17 Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos



Mod. De reacción subrasante sin corregir: 300pci 81.5KPa.

Luego se procede al ajuste del valor efectivo de K para tener en cuenta la pérdida de soporte de la sub base, LS. Por erosión, este ajuste se hace por medio de la grafica 3.18.

GRÁFICA 3.18.-Corrección del módulo efectivo de reacción por pérdida potencial de soporte



Con el valor de **K** corregido por pérdida de soporte determinado del abaco de la figura 4-8 (**K**: es el valor efectivo de reacción de la subrasante).

Asumiendo un valor de $LS = 1$ sugerido para refuerzos de hormigón en pavimentos flexibles. Se determina **K** que viene a ser el módulo de reacción de la subrasante según la guía AASHTO. Se obtiene el módulo de reacción de la subrasante el cual es:

K: 100 Pci.

De esta forma ya con los parámetros definidos se muestran a continuación, con los cuales se realiza el dimensionamiento del espesor del refuerzo de hormigón para el tramo en estudio.

ESALs: $W18 = 3.060.030,24$ Ejes equivalentes de 8.2 Tn.

Confiabilidad: $R = 75\%$ ($ZR = -0.764$)

Desviación Estándar = $SO = 0.35$

Perdida de Serviciabilidad = $PO - P1 = 4.5 - 2.5 = 2$

Módulo elástico del H°= E=20000MPA = 3.1Xe+6 psi.

Módulo de rotura del H°= F T= 5MPA= 725.2psi.

Módulo efectivo de la subrasante= K 150pci.

Coefficiente de transferencia de cargas= J= 3.2

Coefficiente de drenaje= Cd= 1.00

Fórmula para determinar el Df (Espesor para soportar el tráfico futuro)

$$D_f = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{4.5 - 4.5} + (4.22 - 0.32 P_1) \log \left[\frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - 18.42 (k/E_c)^{0.25})} \right]$$

D

3.10.2.4.- Determinación del espesor de refuerzo método AASHTO, Dof

Se emplea esta ecuación: $D_{of} = D_f$

Donde:

D_{of} = Espesor requerido del refuerzo de hormigón

D_f = Espesor de losa necesario para soportar el tráfico futuro.

$D_{of} = 1.45$ pulg

$D_{of} = 3.68$ Cm. (Espesor del refuerzo de Hormigón para el pavimento flexible del tramo en estudio).

3.10.2.5.- Memoria de cálculo para el dimensionamiento del refuerzo de hormigón para el pavimento flexible del tramo en estudio.

El espesor requerido del refuerzo debe responder a esta ecuación:

$$D_{of} = D_f$$

Donde:

Dof = Espesor requerido del refuerzo de hormigón

Df = Espesor del refuerzo necesario para soportar el tránsito futuro

Determinación del espesor requerido del refuerzo para el tránsito futuro, Df.

ESALs: W18= 3.060.030,24 Ejes equivalentes de 8.2 Tn.

Confiabilidad: R= 75% (ZR= -0.764)

Desviación Estándar = SO = 0.35

Perdida de Serviciabilidad = PO-P1= 4.5-2.5= 2

Módulo elástico del H°= E=20000MPA = 3.1Xe+6 psi.

Módulo de rotura del H°= F T= 5MPA= 725.2psi.

Módulo efectivo de la subrasante= K 150pci.

Coefficiente de transferencia de cargas= J= 3.2

Coefficiente de drenaje= Cd= 1.00

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_1) \log \left[\frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - 18.42 (k/E_c)^{0.25})} \right]$$

$$\begin{aligned} \log 3.060.030,24 = & -0,764 * 0,35 + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log 2}{1 + \frac{1,625 * 10^7}{(D+1)^{8,46}}} \\ & + (4,22 - 0,32 + 2,5) \log \left[\frac{2 * 1 (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 * 3,2 (D^{0,75} - 18,42 \left(\frac{150}{3.1 \times 10^6 \text{ psi}} \right)^{0,23})} \right] \end{aligned}$$

$D_{of} = 1.45$ pulg

$D_{of} = 3.68$ Cm. (Espesor del refuerzo de Hormigón para el pavimento flexible del tramo en estudio).

Determinación del espesor de refuerzo método AASHTO, D_{of}

Se emplea esta ecuación: $D_{of} = D_f$

$$D_{of} = 3.68 \text{ Cm} = D_f$$

3.11.- Análisis de resultados

TABLA 3.16 Cuadro de resultados de evaluaciones superficiales

PROGR. INICIO	PROGR. FIN	IRI	PCI	PSI	CALIFICACION
6+860	6+880	2,876	56	2,980	Regular
6+896	6+915,5	2,123	64	3,412	Buena
6+926	6+946	2,168	64	3,384	Buena
6+905	6+925	4,292	44	2,309	Regular
7+662	7+682	4,394	44	2,267	Regular
8+395	8+415	2,810	57	3,015	Buena
8+520	8+540	3,748	44	2,547	Regular
8+636	8+656	3,653	50	2,591	Regular
8+721	8+741	4,542	42	2,207	Regular
8+443	8+463	4,251	45	2,326	Regular
8+473	8+493	4,876	33	2,079	Pobre
9+783	9+803	3,261	55	2,780	Regular
9+811	9+831	4,245	46	2,329	Regular
9+842	9+862	3,531	44	2,648	Regular
9+872	9+892	3,920	46	2,469	Regular
9+896	9+916	3,754	47	2,544	Regular
9+921	9+941	2,822	56	3,009	Buena
9+787	9+807	3,298	53	2,762	Regular
9+832	9+852	2,281	62	3,316	Buena
9+869	9+889	3,1404	50	2,841	Regular
9+893	9+913	2,654	60	2,484	Buena
9+916	9+936	3,887	46	2,484	Regular
10+101	10+121	1,284	69	3,969	Buena
10+127	10+147	3,905	48	2,476	Regular
10+158	10+178	2,382	61	3,257	Buena
10+186	10+206	2,519	60	3,177	Buena

FUENTE: Elaboración propia

1.- Al analizar los resultados se puede notar que dieciséis de ellos se califican como **“REGULAR”** y solo nueve de ellos como **“BUENO”**, como muestra la última tabla todas nuestras evaluaciones se encuentran en total concordancia ya que el resultado del PCI, IRI, Y PSI se encuentran en similitud es decir bueno o regular, a excepción de la progresiva 8+473 - 8+493 en el estudio del PCI nos arrojo un resultado de 33 clasificándolo como pobre, con un IRI de 4.876 calificado como regular y un PSI de 2.0 que da como resultado pobre.

2.- Se puede observar tanto visualmente en el campo como en nuestro cuadro de resultados que el lugar más afectado por las fallas superficiales se encuentra entre las progresivas 8+520 /9+807 además que en nuestro estudio estructural de igual manera se obtuvieron las mayores deflexiones en esta zona debido a que las fallas superficiales al no recibir un tratamiento o un mantenimiento adecuado, se fueron evolucionando hasta tal punto de dañar el paquete estructural.

3.- De los 26 segmentos estudiados mediante la evaluación superficial y estructural del tramo se verificaron valores admisibles de PCI de hasta 69 lo que indica una condición buena del pavimento, asimismo un PSI de 3.969 que demuestra un buen índice de servicialidad presente, y una rugosidad de 1.284 notando claramente que el daño existente en el pavimento no abarca la totalidad del tramo.

4.- En cuanto a las fallas en pavimentos flexibles se analizó minuciosamente determinando así que las más frecuentes son ahuellamientos, fisuras longitudinales y baches, obteniendo valores del PSI de como mínimo de 2, y un PCI de hasta 33, lo que indica un pavimento en estado regular a pobre, verificando también la condición en la que se encuentra la rugosidad del tramo obteniendo valores del IRI de hasta 4.876, demostrando que el estado del pavimento se encuentra deteriorado en algunos segmentos más que otros. Estas fallas son las que ocasionan o aumentan el deterioro estructural con las cuales se sustenta y justifica la rehabilitación del tramo.

5.- Luego de realizar la práctica y el cálculo de la viga benkelman se pudo evidenciar efectivamente los resultados se encuentran acorde con las especificaciones técnicas de la viga, comenzando por ratificar que a menor radio de curvatura mayor será la deflexión.

LERZO PARA EL PAVIMENTO CANALETAS- BITRE ROS™
MO EN ESTUDIO)

LECTURAS DEL DIAL			PARÁMETROS DE EVALUACION			CORREGIDOS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °C			TEMPERATURAS		Espesor asfalto (cm)	
Loc m	L-a 150cm 0.01 mm	L-a 200cm 0.01 mm	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Asfalto °C		
	10	13	14	14,00	10,00	15	10	748	13,0	11,5	5,0	
	12	16	22	22,00	17,00	23	18	598	13,0	11,5	5,0	
	9	11	14	14,00	11,00	1042	15	11	997	13,0	11,5	5,0
	8	10	13	13,00	10,00	1042	14	10	997	13,0	11,5	5,0
	7	8	11	11,00	8,00	1042	11	8	997	13,0	11,5	5,0
			N			5	5	5				
			S			77	58	4339				
			PROMEDIO:			15,5	11,7	867,7				
			MINIMO			11	8	598				
			MAXIMO			23	18	997				



Do (0.01 mm)	D50 (0.01 mm)	Rc (m)
15	10	748
23	18	598
15	11	997
14	10	997
11	8	997

En resumen tanto la deflexión como el radio de curvatura dependen de las características del pavimento (material, espesores, fisuraciones en la superficie, ahuellamientos, condiciones de drenaje, seccion e n corte o relleno y otros como peladuras desintegraciones o exudaciones del asfalto), así como la capacidad de soporte de la subrasante.

El comportamiento actual del pavimento se podrá calificar como satisfactorio cumpliéndose lo siguiente:

- a) Los valores de radio de curvatura deben ser mayores a 100m ($R_{ci} > 100m$).

ALETAS - ENTRETIROS

L-a 500cm 0.01 mm	PARÁMETROS DE EVALUACION			PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS PORTEMP. A 10 °C			TEMPERATURAS		Espesor a stiblo (cm)
	Do (0.01 mm)	D90 (0.01 mm)	Rc (m)	Do (0.01 mm)	D90 (0.01 mm)	Rc (m)	Amb °C	Astiblo °C	
14	14,00	10,00	781	15	10	748	13,0	11,5	5,0
22	22,00	17,00	625	23	18	598	13,0	11,5	5,0
14	14,00	11,00	1042	15	11	997	13,0	11,5	5,0
13	13,00	10,00	1042	14	10	997	13,0	11,5	5,0
11	11,00	8,00	1042	11	8	997	13,0	11,5	5,0
N				5	5	5			
S				77	58	4339			
PROMEDIO:				15,5	11,7	867,7			
MINIMO				11	8	598			
MAXIMO				23	18	997			
DESMACION ESTÁNDAR				4,4	3,6	185,3			
VARIANZA				19,3	12,8	34320,5			
COEFICIENTE DE VAR.				28,4	30,5	21,3			
VALOR CARACTERISTICO				22,7	17,6	1172,5			

CUMPLE. →

Rc (m)
748
598
997
997
997

b) Se considera que el pavimento sujeto a evaluación tiene la capacidad estructural adecuada para resistir los esfuerzos del tráfico de diseño para las condiciones de resistencia del suelo, si se cumple que la deflexión característica es menor que la admisible ($D_c < D_o$).

CÁLCULO D_c →

$D_c = D + t \times D_s$
$D_c = 22,68 \times 10^{-2} \text{ mm}$

CÁLCULO D_o →

$D_o = (1,15/N18)^{1/4}$
$D_o = (1,15/0,00000063985)^{1/4}$
$D_o = 0,0282821\text{mm.}$

$$(D_c < D_o).$$

$$(0.02268 < 0.0282821) = \text{CUMPLE!!}$$

6.- Al realizar la evaluación estructural para el pavimento que se encuentra en el tramo de estudio CANALETAS/ENTRE RIOS se obtuvo como resultado una deflexión característica de $22.68 \times 10^{-2}\text{mm}$, teniendo la mayor deflexión en el segmento de estudio numero 11 ubicado en las progresivas 8+473/8+493, demostrando que la estructura de la vía se encuentra relativamente más dañada en ese sector con relación a los demás tramos evaluados.

7.- De esta forma y con las evaluaciones superficiales y estructurales ya realizadas para nuestro tramo, y en vista que nuestros estudios nos arrojaron en su mayoría una clasificación de REGULAR en las evaluaciones superficiales y en la prueba estructural de viga Benkelman quedo demostrado que existe cierta deflexión en el tramo , podemos decir que el pavimento del tramo Canaletas – Entre Ríos, necesita de un refuerzo para recuperar su condición superficial del pavimento, su rugosidad, y por ende su servicialidad, demostrando que necesita un refuerzo para mejorar su capacidad estructural del tramo por tratarse de una de las principales vías y red fundamental de caminos del departamento de Tarija.

8.- Se realizó el diseño de dos alternativas de refuerzo, como alternativa 1 se diseñó un refuerzo de concreto asfáltico, como segunda alternativa un refuerzo de hormigón simple .Para ambas alternativas se utilizó la metodología de la guía AASHTO – 93, en la cual el cálculo del espesor del refuerzo estructural, nos dio espesores de 3.911cm para la primer alternativa y 3.68 cm en la segunda alternativa, resultados que se encuentran dentro de lo aceptable ya que no pueden exceder el espesor de la capa estructural ya existente que es de 5cm.

9.- Respecto a la comparación técnica a cerca de las ventajas consideradas más importantes entre una y otra alternativa se realizó el siguiente cuadro de comparación:

REF. DE HORMIGÓN VERSUS REF. DE CONCRETO ASFÁLTICO

REFUERZO DE HORMIGÓN	REFUERZO DE CONCRETO ASFÁLTICO
Vida útil mínima de 20 años.	Vida útil de 10 años, aproximadamente.
Calidad de la superficie casi permanente.	calidad buena (Con mantenimiento)
Mayor resistencia mecánica y abrasión.	Resistencia baja y deformabilidad alta.
Poco mantenimiento.	Mas mantenimiento.
Mayor rugosidad superficial.	Superficie más lisa.
Fáciles de construir (poco equipo).	Plantas de asfalto.
Materiales locales.	Materiales importados (divisas).
Costo inicial elevado.	Costo inicial moderado

Fuente: Manual de diseño de pavimentos AASHTO 93.

Donde los espesores finales obtenidos del proceso metodológico del dimensionamiento de ambas alternativas es el siguiente:

- ❖ ALTERNATIVA 1: Refuerzo de Concreto Asfáltico, Espesor = **3.911 .cm.**
- ❖ ALTERNATIVA 2: Refuerzo de Hormigón Simple, Espesor = **3.68 cm.**

10.- Análisis de costos:

ALTERNATIVA 1:

Longitud total del tramo: 5 Km.

Costo Total del ref. de C°A°: 1.763.046,60 Bs

ALTERNATIVA 2:

Longitud total del tramo: 5 Km.

Costo total del ref. de H°S°: 3.463.684,40 Bs.

Por lo que la alternativa 1 "Refuerzo de Concreto Asfáltico", es la más adecuada desde el punto de vista económico.(ver ANEXO 5)

DIFERENCIA DE

CAPITULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- Para justificar y sustentar que el tramo en estudio necesite una rehabilitación es necesario realizar la medición de deflexiones por medio de equipos que sean capaces de realizar esta tarea, para obtener la respuesta estructural del tramo.
- La elección de los refuerzos debe hacerse en los pavimentos cuyo deterioro sea de mayor magnitud, por lo que los segmentos estudiados fueron seleccionados al realizar un recorrido exhaustivo a lo largo de los 23km de la vía, identificando 26 segmentos de estudio de 20m cada uno de ellos siendo estos los más críticos.
- Mediante el método del PCI antes de poder calcular el índice de condición del pavimento se requiere obtener la cuantificación de cada una de las fallas existentes en el tramo de estudio incluyendo su nivel de severidad o daño, el resultado obtenido al realizar el estudio nos arrojó un PCI mínimo de 44 correspondiente a un índice de condición de pavimento de calificación regular.
- Al utilizar el método de evaluación PSI nos dio un valor mínimo de 2(adimensional) en el tramo de estudio número 11, ubicado en la progresiva 8+473/8+493, según su escala corresponde a que el tramo evaluado muestra vestigios de deterioro.
- Al realizar la evaluación superficial IRI haciendo uso del método mira/nivel, y el software INPACO, se obtuvo un valor representativo del IRI de cada tramo estudiado ya que se hizo una nivelación de 500m con un Dx de 500mm en cada segmento de 20m de longitud, el IRI mayor obtenido es de 4.876(adimensional) y según su escala indica que el pavimento tiene defectos superficiales.

- Como se puede observar los tres métodos empleados de evaluación superficial se pavimentos flexibles, nos determinan el estado actual del superficie del pavimento como REGULAR y que presenta varios tipos de deterioro.
- La evaluación estructural del pavimento fue determinada a través del ensayo de la viga belkenman, que nos dio una deflexión presente en el tramo de 22.68×10^{-2} mm.
 - Las deflexiones en la superficie del pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante (estructura del pavimento) bajo una carga dada. Su medición mediante viga Benkelman es simple, rápida y no destructiva, es decir no se altera el equilibrio ni la integridad del sistema.
 - Para la evaluación estructural de pavimentos se utiliza la deflexión característica y el radio de curvatura crítico, recomendándose que los radios de curvatura alcancen valores de 100mt, como mínimo.
- Podemos concluir que el pavimento en el tramo estudiado no se encuentra en buenas condiciones por lo que se demuestra mediante estos indicadores que se necesita reforzar dicho pavimento.
- Se realizó el diseño de dos alternativas de refuerzo obteniendo espesores de 3.911cm en el caso del refuerzo de Concreto Asfáltico, y 3.68cm para el refuerzo de Hormigón Simple, demostrando que el mejor refuerzo y el más conveniente a utilizar es el refuerzo de concreto asfáltico ya que es el de mayor espesor de los dos calculados, siendo el óptimo tomando en cuenta el margen de seguridad que ofrece.
- Del análisis económico resultante se obtiene el presupuesto total de construcción de ambas alternativas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

→ **ALTERNATIVA 1:**

Longitud total del tramo: 5 Km.

Costo Total del refuerzo de C[°]A[°]: 1.763.046,60 Bs.

→ **ALTERNATIVA 2:**

Longitud total del tramo: 5 Km.

Costo total del ref. de H°S°: 3.463.684,40 Bs.

Por lo que la alternativa uno refuerzo de concreto asfáltico es la más adecuada desde el punto de vista económico.

- La alternativa número uno al ser del mismo material se tiene una mejor adherencia entre el pavimento existente y el refuerzo a través del riego de liga que existiese antes de colocar dicho refuerzo, además desde el punto de vista del análisis económico realizado es el de menor costo.
- Descartamos el uso del refuerzo de hormigón simple ya que si bien la carretera se encuentra con fallas superficiales y estructurales, estas son de magnitud regular y no abarcan la totalidad del tramo por lo que la inversión de realizar un refuerzo de hormigón simple no era justificable.
- Después de un arduo recorrido a lo largo de los 23.1km. que comprende Canaletas- Entre Ríos se pudo evidenciar que los 5km en estudio efectivamente son los más deteriorados principalmente por la inestabilidad del talud, el resto de la carretera se encuentra en buenas condiciones o con algún que otro problema superficial que con la utilización de un bacheo se daría una solución, además que se trata de una carretera relativamente reciente. En cambio los 5km. en estudio efectivamente presentan un deterioro superficial que de no darse una solución con un refuerzo originaria una posterior falla estructural tomando en cuenta la humedad de la zona en época de lluvias y la transitabilidad del tráfico tratándose de una red fundamental, cabe remarcar que un bacheo en esta zona no sería lo adecuado por la cantidad de fallas de todo tipo que existen en el lugar por lo que mejor es conveniente realizar un refuerzo a lo largo de los 5km.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Se debe realizar un recorrido minucioso en el tramo de estudio para poder identificar correctamente los segmentos más críticos donde se realizaran las evaluaciones superficiales y estructurales del pavimento.
- Se recomienda tener la mayor precisión posible en el manejo de los equipos y materiales empleados para la determinación del índice de rugosidad, el PSI y PCI para que los resultados obtenidos sean los más cercanos a la realidad.
- 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 para la lectura de los ábacos y formulas utilizados para el diseño de refuerzos mediante el manual de AASHTO 93.
- Se recomienda mediante el análisis de costos la elección del refuerzo de concreto asfáltico.