

CAPITULO I

DISEÑO TEORICO Y METODOLOGICO

1.1 ANTECEDENTES

Durante los últimos años podemos evidenciar que el Municipio de la Provincia Cercado a llevado adelante el asfaltado de varias calles y avenidas, utilizando para ello una carpeta asfáltica, con el paso del tiempo observamos que en la mayoría de estas arterias donde se practicaron estos trabajos, presentan deterioros considerables como ser rugosidades, baches, fisuraciones, disgregaciones, deformaciones, depresiones, haciendo que estas calles o avenidas no tengan una transitabilidad vehicular adecuada, por ende dando una incomodidad a pasajeros, conductores y peatones.

A la fecha no se han realizado evaluaciones, de estos pavimentos, por tanto es muy necesario poder efectuar un estudio de deterioros de los mismos, para luego poder adoptar criterios firmes para llevar adelante un adecuado mantenimiento del mismo.

Diversas investigaciones han podido evidenciar que las evaluaciones superficiales, como estructurales, juegan un rol muy importante dentro de la vida útil de un pavimento flexible.

Así mismo, la durabilidad de un pavimento, depende de su habilidad para resistir factores, tales como la desintegración del agregado o mezcla asfáltica en sí, y separación de las partículas de asfalto. Estos factores que alteran la estabilidad del agregado o mezcla asfáltica pueden llegar a ser, la acción abrasiva del clima, el tránsito, o llegar a ser la combinación de ambos.

El presente proyecto consiste en poder realizar una investigación, previamente, realizando un análisis por separado, de la evaluación superficial y la evaluación estructural, obteniendo resultados independientes, y relacionándolos entre sí, para poder determinar una correlación en los resultados obtenidos.

1.2 DESCRIPCION GENERAL DEL AREA DE PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Tarija, perteneciente a la Provincia Méndez, más concretamente en el sector de Santa Bárbara y cruce Falda la Queñua.

El tramo pertenece a la red fundamental de carreteras ya que vincula la ciudad de Tarija con el norte del país, más propiamente la ciudad de Potosí, dicho tramo presenta las siguientes características:

- Ancho vía 7,00 m. (Con inicio de rotonda)
- Ancho carril de 3,50 m. (Longitud de 900,00 m.)
- Ancho de vía de 9,00 m. (Longitud de 300 m. en sector Rotonda).
- Longitud del tramo de estudio 1,200.00 m.

Sus características estructurales son las siguientes:

- La estructura tiene un CBR de subrasante de 8,00 %
- Tiene una capa sub base de 0,22 m. de material A-1-a
- Tiene una capa base de 0,20 m. de material A-1-a
- Tiene una capa de rodadura de concreto asfáltico de 4,00 cm, recapado, capa de rodado de proyecto original y 0,015 m tratamiento superficial triple.

1.3 MOTIVO Y RAZON DEL ESTUDIO

La sentida necesidad existente que en varias de las carreteras de nuestro departamento, el de encontrarse deterioradas, y poder realizar una correcta rehabilitación de las mismas, con la finalidad de mejorar el tránsito vehicular en estos sectores.

La Gobernación de la Provincia Cercado llevó adelante el asfaltado de varios tramos troncales durante estos últimos años, para así, vincular las diferentes provincias, pero el no mantenimiento continuo de estos tramos ha ocasionado sus deterioros, llegando a presentar, baches, fisuraciones, y deformaciones, haciendo que estas carreteras no tengan una transitabilidad vehicular adecuada.

Las principales causas que originan un deterioro, ya sea superficial o estructural en la capa de rodadura son:

- La no conformación del conjunto de capas que constituyen el pavimento flexible.
- El tramo es una ruta de tráfico vehicular muy fluido.
- Inexistencia adecuada de drenaje superficial.
- Falta de mantenimiento adecuado y oportuno
- Falta de experiencias en trabajos similares, y su evaluación.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Realizar un estudio comparativo entre los efectos de la evaluación superficial y la evaluación estructural en pavimentos flexibles, contribuyendo de esta manera a establecer los elementos necesarios para plantear soluciones de acuerdo al tipo fallas y su evaluación.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio sobre las características de la evaluación superficial.
- Realizar un estudio sobre las características de la evaluación estructural.
- Estudiar el proceso de los deterioros del pavimento con el transcurso del tiempo en fallas superficiales.
- Estudiar el proceso de los deterioros del pavimento con el transcurso del tiempo en fallas estructurales.
- Elaborar una metodología en la correlación de los efectos superficiales y estructurales en pavimentos flexibles.
- Evaluar los efectos de estos deterioros con análisis por tramo de las fallas superficiales.
- Evaluar los efectos de estos deterioros con análisis por tramo de las fallas estructurales.
- Determinar una correlación entre los efectos superficiales y estructurales determinando una solución de acuerdo al grado de analogía producido en el tramo de estudio.

1.5 ALCANCE

El alcance de trabajo está contemplado en la elaboración tal que nos permita detallar mediante estudios los distintos tipos de fallas tanto en evaluaciones superficiales como en evaluaciones estructurales y determinar correlaciones recomendables, para distintas aplicaciones a lo largo del tramo.

Dentro del alcance específico tenemos:

- Se analizará toda información disponible de la zona de estudio respecto a las características técnicas, su ejecución y estado.
- Analizar por medio de estudios los pavimentos flexibles, explicando los procedimientos empleados para su diseño, composición, características, las deformaciones que sufren, durabilidad y una analogía en cuanto al costo. También realizar análisis referente a su construcción analizando los diferentes factores que intervienen en su ejecución, así como los criterios para su elección dentro de un proyecto.
- Mediante estudios los tipos de evaluaciones, superficial como estructural, identificando las diversas categorías de grado de fallas, como, grietas de contracción, corrugaciones, huecos, exudación del asfalto, piel de cocodrilo, baches y zanjas, deformaciones por empuje, elevaciones y hundimientos, grietas longitudinales y transversales, depresiones, hinchamiento, ahuellamientos, grietas de deslizamiento, disgregación y desintegración, desnivel de calzada hombrillo, grietas de reflexión de juntas, grietas de borde, etc., esto en cuanto a evaluaciones superficiales, y canalizaciones, baches profundos, ondulaciones, agrietamientos, en cuanto a evaluaciones estructurales, sus niveles de serviciabilidad, medición, causas comunes, y los posibles orígenes de la falla, sea esta superficial como estructural. Esto orientado a dar cuantificaciones de diagnósticos del aspecto superficial y dar diagnósticos del aspecto estructural y dar enmiendas en sus respectivos tipos de intervención.
- Determinar las correlaciones mediante métodos comparativos a lo largo del tramo de estudio, identificando fallas presentes, en base a visualizaciones, mediciones y elaborando evaluaciones dando como resultado una clasificación rigurosa de deterioros, esto con la finalidad de dar medidas específicas del grado

de correlación entre evaluaciones, para determinar por último si una falla pertenece a una evaluación sea esta superficial o estructural, o si pertenece a uno de los tipos de metodología de correlación de nuestro estudio, estos resultados servirán para determinar soluciones puntuales y específicas para cada analogía que se presente a lo largo del tramo.

- Descripción del área de estudio, mediante planos y representaciones del sector. Realizando reconocimientos e inspecciones en base a visualizaciones del terreno, particularizando las características propias del tramo en estudio mediante sus condiciones geométricas detallando, ancho de vía, ancho de carril, longitud del tramo de estudio y ancho de calzada. Estableciendo identificaciones de las fallas existentes sean superficiales como estructurales, realizando análisis precisos de los deterioros que se reflejen dando alternativas de solución en base a su origen y su técnica de reparación, los resultados que se obtengan por cada evaluación existente en el tramo servirán para generar un registro de evaluación sea superficial como estructural, y a partir de este efectuar estudios de correlación entre evaluaciones superficiales y estructurales para concretar deterioros correlativos determinando si las fallas en el tramo pertenecen a un grado específico de evaluación o si las fallas presentan analogías de tratamiento combinadas, estos análisis de los diferentes grados de correlación que se presenten y sus respectivos resultados servirán para determinar soluciones puntuales y específicas dando un diagnóstico categórico del deterioro en su aspecto superficial y estructural en cada analogía.
- Las conclusiones, observaciones y resultados representarán alternativas de los métodos comparativos efectuados en el tramo de estudio, con la orientación a dar una mejora en las condiciones de evaluación, rehabilitación de pavimentos, y dar soluciones de un adecuado mantenimiento de las carreteras.

1.6 METODOLOGIA

El presente estudio estará dividido en dos partes sustanciales que son: Una primera parte del marco teórico conceptual y una segunda parte relacionada con la aplicación práctica del tema. Para encarar la parte teórica conceptual del estudio se seguirá la siguiente metodología:

- Una revisión bibliográfica sobre el tema de manera que se tenga el suficiente marco teórico que permita la conceptualización clara del tema.
- Descripción desde el punto de vista teórico de todo lo referente a la evaluación superficial tomando en cuenta los principios, su metodología de medición, la evaluación y el análisis de los resultados.
- Descripción desde el punto de vista teórico de todo lo referente a la evaluación estructural tomando en cuenta los principios, la metodología de evaluación destructiva y no destructiva y el análisis de resultados.
- Una correlación entre los indicadores de evaluación superficial y estructural de manera que se pueda obtener una relación directa entre estos indicadores que nos puedan evidenciar que los deterioros que se presentan en el pavimento sean producto de deterioros superficiales, estructurales o ambos a la vez.
- Finalmente, en base al marco teórico establecido aplicar el mismo a un tramo de la red departamental de manera que se pueda mostrar la aplicabilidad de la correlación entre la evaluación superficial y estructural.

CAPITULO II

EVALUACION EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 INTRODUCCION

Estamos viendo como en los últimos años se han venido creando un tejido urbano nuevo en el entorno de nuestras ciudades, integrado por nuevos desarrollos urbanísticos viales y, en igual medida, infraestructuras complementarias a estos desarrollos, los cuales pretenden darnos una necesaria accesibilidad, con vías más cómodas y seguras para una adecuada circulación.

Quienes participamos en distintos ámbitos de este proceso creador buscamos minimizar, la prevención de accidentes, el cual es uno de los conceptos más exigentes dentro de la prevención en los diseños de estas infraestructuras viales.

Con el paso del tiempo vemos nuestras antiguas carreteras, calles y avenidas deterioradas, haciendo de algunas de estas intransitables para el paso normal de los vehículos, dando una incomodidad tanto a los conductores, como a los pasajeros e incluso a los mismos peatones.

Por ello, todos, debemos de aceptar nuestra cuota de responsabilidad y participar conjuntamente en su progresiva mejora del estado actual en que se encuentran nuestras carreteras, calles y avenidas.

Dando a estas una adecuada evaluación, así mediante este método proporcionar una mejora de los pavimentos, condiciones de seguridad, modernización de las carreteras, y, por lo tanto, una transitabilidad normal, para conductores de vehículos, para los pasajeros y para los peatones.

2.2 PAVIMENTOS

Llamamos pavimento al conjunto de las capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas directas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado mantenimiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para así evitar las fallas y deterioros superficiales y estructurales, además debe de existir una buena adherencia entre neumático y pavimento, aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de los agentes atmosféricos y del agua. Los pavimentos deben de tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deben de colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, y de menor capacidad sobre la capa inmediata inferior. Esta división en capas que se hace en un pavimento tiene el objetivo de reducir los esfuerzos de carga que se presentan en la calzada de tránsito, por el efecto del paso de los vehículos y transmitirlas a los estratos inferiores hasta llegar a disipar el esfuerzo, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente durante este proceso, este se consolida por el efecto de las cargas y es cuando se producen las deformaciones permanentes tanto superficial como estructuralmente.

Básicamente existen tres tipos de pavimentos:

Pavimentos flexibles.

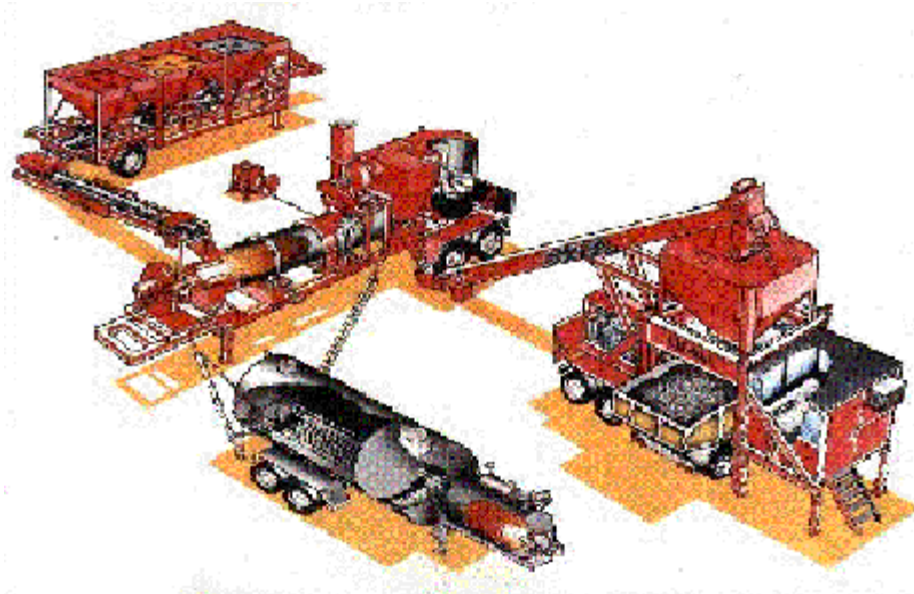
Pavimentos rígidos.

Pavimentos articulados.

2.2.1 Pavimentos flexibles

Son aquellos que tienen una base flexible o semirrígida, sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento resultante de la mezcla en caliente, en una planta apropiada.

Figura 1. Esquema de funcionamiento de una planta de asfaltos

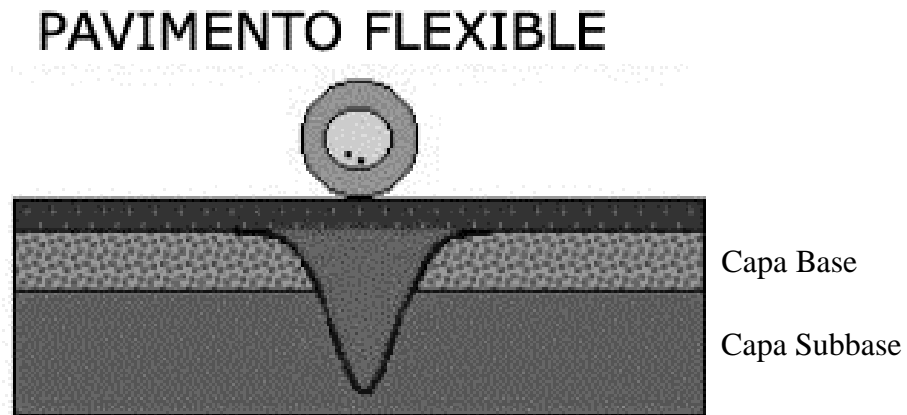


Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Este tipo de pavimento flexible o también llamado pavimento asfáltico está conformado de una capa de áridos envueltos y aglomerados con betún o cemento asfáltico, de espesor variable, sobre capas de sustentación como base y sub base siendo, granular, asfáltica, hormigón, etc., estas con la capacidad de soportar las cargas que el tráfico ocasiona sin que se produzcan desplazamientos en la superficie, base o sub base.

El asfalto no contribuye sustancialmente a la resistencia mecánica de la superficie, la carga se transmite a través de los áridos a las capas inferiores, donde son finalmente disipadas.

Figura 2. Esquema de funcionamiento del diseño estructural



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

2.2.2 Composición, características, deformaciones, durabilidad, costo

Composición

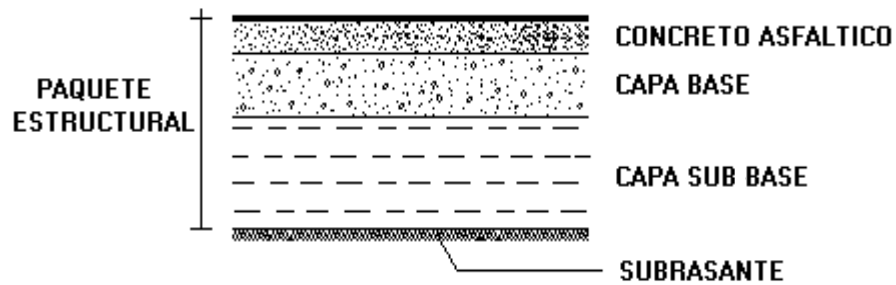
Como anteriormente mencionábamos el pavimento flexible o pavimento asfáltico, está conformado por varias capas o estratos:

Concreto asfáltico o capa de rodadura

Capa base.

Capa sub-base.

Figura 3. Conformación estructural de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Concreto asfáltico o capa de rodadura.- Es la capa superior que conforma el paquete estructural del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, su función es la de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones ocasionadas por el agua de lluvia, que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, además es en esta capa en la que se soportan directamente las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta mezcla es la resultante de la mezcla en caliente, está elaborada con material pétreo seleccionado, y cemento asfáltico.

En las mezclas de agregado, asfalto comúnmente usadas en pavimentos asfálticos, el agregado constituye normalmente del 90 % al 95 % en peso de la mezcla total y el asfalto del 5 % al 10 %. La precisión en las proporciones del asfalto y el agregado, como así también en el control de su granulometría de este último son vitales en la construcción de un buen pavimento.

Un pavimento con exceso de asfalto, hace que este carezca de estabilidad interna, se distorsione bajo el tránsito. Poco contenido de asfalto en la mezcla determina que el pavimento tenga un acabado áspero y propenso a que se desintegre, careciendo además de las cualidades de impermeabilidad y durabilidad. El propósito del diseño es el de lograr la mejor relación entre asfalto y agregado o material pétreo. Esto proporciona una buena y controlada granulometría resultando una mezcla con adecuada estabilidad y durabilidad.

Material pétreo. - Las características importantes que deben cumplir los materiales pétreos son:

Agregado grueso.- La porción retenida en el tamiz N° 10 es considerada como agregado grueso, componiéndose de piedras o gravas trituradas de fragmentos limpios, sanos, libre de terrones de arcilla y sustancias nocivas.

También estos deben estar sometidos a 5 ensayos alternativos de resistencia, mediante Sulfato de Sodio, mediante el método AASHTO T-104, con este ensayo el material no

tiene que tener una pérdida de peso mayor al 12 %. El agregado grueso debe de tener un porcentaje de Desgaste de los Angeles el cual no podrá ser mayor de 40 % a 500 revoluciones, ensayado por el método AAHTO T-96. En el caso de utilización de cantos rodados triturados, no deberá ser menos de un 75 % en peso de las partículas retenidas por el tamiz N° 4.

Agregado fino.- Es la porción que pasa el tamiz N° 10, compuesta de arena natural o cerniduras de piedra, o combinación de las dos. El agregado fino está compuesto de granos angulares, limpios y compactos, de superficie rugosa y carente de terrones de arcilla.

El agregado fino está sometido al ensayo de Equivalente de Arena del método AASHTO T-176, y deberá ser mayor a 45 %. Este material no deberá tener un hinchamiento mayor a 1,5 %, determinado por el método AASHTO T-101.

Material de relleno (Filler).- Es un material finamente dividido, inertes en relación a los demás componentes de la mezcla, no plásticos, tales como polvo calcáreo, roca dolomita, cal apagada, cemento Pórtland, etc. Y que tienen las siguientes exigencias:

El material que pasa por el tamiz N° 200, considerado polvo mineral, deberá cumplir que más del 50 % deberá hacerlo por tamizado seco con relación a la vía húmeda, y no deberá ser plástico de acuerdo al método AASHTO T-91.

Cuadro 1. Gradación de material fino

Tipo de tamiz	Porcentaje en peso que pasa por los tamices (AASHTO T-27)
N° 30	100
N° 80	95 – 100
N° 200	65 – 100

Fuente: Mecánica de suelos de Juárez Badillo

Cemento Asfáltico (CA).- Es un material refinado, sólido o semisólido en temperatura atmosférica, con propiedades aglutinantes, el cual se licúa gradualmente al calentarse durante las operaciones de construcción, se obtiene de la destilación del petróleo.

El cemento asfáltico puede ser llevado temporalmente a condición fluída (líquido) durante las operaciones de construcción, de dos maneras:

1.- Derritiéndolo.- Después de las operaciones de construcción, el cemento asfáltico líquido y caliente se enfría y retorna de su condición fluída a su condición normal semisólida.

2.- Diluyéndolo.- En solventes de petróleo seleccionados. El asfalto obtenido se denomina asfalto diluido. Después de la construcción, el solvente se evapora dejándolo en el lugar el cemento asfáltico.

Los cementos asfálticos preparados por petróleo se clasifican por su penetración y de acuerdo a la región donde estos van a ser utilizados. A continuación, se detallarán las recomendaciones generales para cada uno de los cementos asfálticos:

Cuadro 2. Tipos de cementos asfálticos

Cemento asfáltico	Región recomendada
CA 60 – 70	Lugares cálidos
CA 85 – 100	Lugares templados
CA 100 – 120	Lugares fríos

Fuente: Manual del Asfalto College Park - Maryland

El concreto asfáltico es un tipo de mezcla en caliente sometido a requerimientos estrictos, enteramente compactada llevándola a una masa de densidad uniforme tipificada como mezcla de graduación cerrada para pavimentación.

Capa base.- Es la capa que se encuentra sobre la sub base o sub rasante, dicha capa está destinada a sustentar la estructura del pavimento. Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por vehículos. Regularmente esta capa además de la compactación, necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

Los materiales empleados en esta capa pueden ser granulares o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadoras, sea con, cal, cemento, u otro material ligante.

El material pétreo que se emplea en la base deberá tener las siguientes características o requisitos:

Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.

No presentar cambios de volúmenes que sean perjudiciales.

El material de base debe tener características de un suelo A-1-a

Porcentaje de Desgaste de los Angeles inferior a 40 %.

La fracción que pasa por el tamiz n N° 40 debe tener un LL=25 % y IP=6

La fracción que pasa por el tamiz N° 200 no tendrá que exceder de media y en ningún caso de los 2/3 de la fracción que pase por el tamiz N° 40.

La gradación de material de la base es importante que se halle dentro de los límites indicados en las curvas granulométricas recomendadas por el material pétreo a emplearse como base y de acuerdo a especificaciones.

El CBR tiene que ser >80 %, por lo general para una capa base se emplea piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de suelo-cemento, suelo-cal, o suelo bituminoso.

Capa Sub base.- Es la capa granular localizada entre la sub rasante y la capa base; la funcionalidad de esta capa, es la de prevenir la intrusión de los finos del suelo de la sub rasante en las capas de la base, por lo cual se deben especificar materiales de graduación relativamente densa para este propósito. Otra función es la de minimizar los daños por efecto de las heladas y en este caso se deben especificar materiales con alto porcentaje de vacíos. Ayuda a prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura de pavimento por efecto de la capilaridad, en este caso se deben especificar materiales de libre drenaje y colectores para evacuar el agua. Da soporte a las capas estructurales siguientes.

También en cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa base a un espesor equivalente de material de sub base.

El material de sub base deberá tener las siguientes características o requisitos:

El material de sub base debe tener características de suelo A-1-b.

Su Límite Líquido inferior a 35 % y su Índice Plástico menor igual a 6.

Tener un CBR > 30 %.

Por tener la función de capa drenante el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase por el tamiz N° 200 no ha de ser mayor del 8 %.

Dentro del diseño este conjunto de capas, como cualquier diseño de ingeniería de materiales, es una cuestión de selección de proporciones de materiales para obtener las características deseadas una vez finalizada la construcción.

El objetivo general es una mezcla y gradación de capas económicas (pero dentro de las exigencias de las especificaciones).

2.2.3 Características de las mezclas asfálticas

El diseño adecuado de una mezcla asfáltica de pavimentación para un uso específico, debe considerar las siguientes características o propiedades deseables de la mezcla:

Estabilidad
Flexibilidad
Resistencia a la fatiga
Resistencia al desplazamiento
Impermeabilidad
Trabajabilidad

Estabilidad.- Es la capacidad de una mezcla asfáltica para resistir deformaciones provocadas por las causas impuestas. Los pavimentos sin estabilidad sufren deformaciones (ahuellamientos y corrimientos u ondulaciones). La estabilidad depende de la fricción interna y de la cohesión.

La fricción interna depende de la textura superficial, granulometría del agregado, forma de las partículas, densidad de la mezcla y de la cantidad de asfalto.

La cohesión es la fuerza aglutinante propia de la mezcla asfáltica para pavimentación. El asfalto sirve para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas de agregado. La cohesión varía directamente con la intensidad de la carga, el área cargada y la viscosidad del asfalto. Varía inversamente con la temperatura.

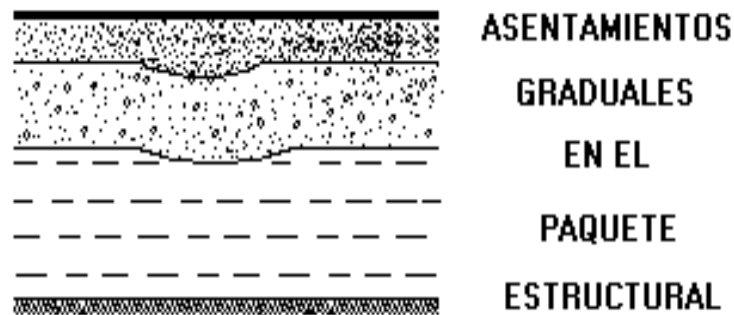
Las condiciones de estabilidad están dentro de los valores siguientes:

Estabilidad Mínima 1.500 lb. (75 golpes)
1.000 lb. (50 golpes)

Flexibilidad.- Es la capacidad de una mezcla asfáltica de adaptarse a asentamientos graduales y movimientos en la base, sub base y sub rasante. Los asentamientos

diferenciales en el relleno de un terraplén ocurren ocasionalmente. Es casi imposible desarrollar una densidad uniforme en la sub rasante durante su construcción porque las secciones de pavimento tienden a comprimirse y asentarse bajo tránsito. Por esta razón un pavimento asfáltico debe tener la capacidad de adaptarse a asentamientos localizados o diferenciales sin quebrarse. Generalmente la flexibilidad de una mezcla asfáltica se incrementa con altos contenidos de asfalto y agregados de granulometría relativamente abierta.

Figura 4. Deformación estructural de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Durabilidad.- Capacidad de resistir la desintegración debida al tránsito y al clima. El deterioro debido al clima se basa en los cambios de las características del asfalto, tales como su oxidación y volatilización, que determinan una alteración del pavimento y agregados, sumado a la acción del agua, incluso su congelamiento y deshielo. Para resistir la acción del agua, se aplican los mismos requerimientos, granulometría cerrada del agregado, altos contenidos de asfalto y una adecuada compactación. Al ser la mezcla cerrada el desplazamiento del asfalto por el agua generalmente no ocurre.

La acción implacable es la ejercida por el tráfico vehicular el cual provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de las partículas de pavimento. También este es autor de algunos deterioros que se dan lugar en capa de rodadura.

La durabilidad se incrementa mediante el aumento en el contenido de asfalto, el agregado y mezclas bien compactadas e impermeables. Una de las razones para

aumentar la cantidad de asfalto es que la película que cubren a las partículas de agregado resulte de mayor espesor. Las partículas más gruesas son más resistentes a endurecerse por envejecimiento. Otro factor es que el aumento en la cantidad de asfalto reduce el tamaño de los poros de los vacíos interconectados, o los sella, haciendo más difícil la entrada de agua o aire al interior de la mezcla.

Una mezcla que tiene un contenido óptimo de asfalto, con porcentaje de vacíos completamente ocupados, puede proveer una mayor durabilidad.

Resistencia a la fatiga.- Capacidad de una mezcla asfáltica de soportar las flexiones repetidas causadas por pasaje de las cargas de las ruedas. Provocando en la superficie de rodadura un desgaste superficial y desprendimientos de las partículas de pavimento. Cuando mayor es el contenido de asfalto, mayor la resistencia a la fatiga, y a la mezcla deben incorporarse agregados bien graduados, que permitan un mayor contenido de asfalto, pero sin causar exudación o afloramiento en el pavimento compactado.

Figura 5. Resistencia de un pavimento flexible



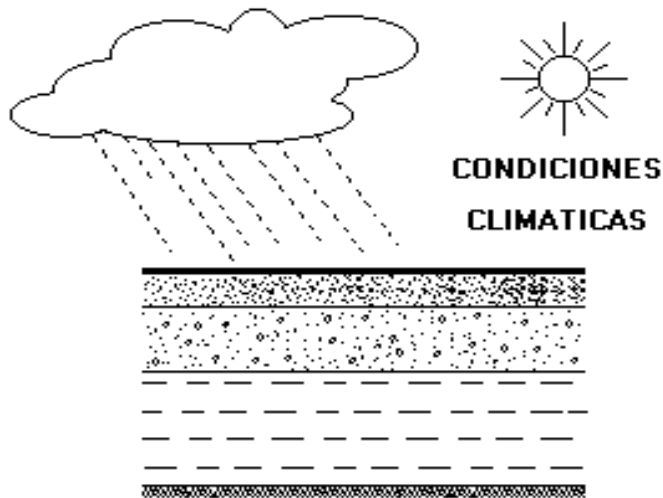
Fuente: Manual de diseño de pavimento flexible CivilGeeks.com

Resistencia al deslizamiento.- Capacidad de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando esta húmeda. Los factores en la obtención de alta resistencia al deslizamiento son aquellos que se obtienen con una estabilidad alta.

Las mezclas tan ricas en asfalto como para llenar vacíos del pavimento compactado, causarán el afloramiento del mismo en la superficie. Esto comúnmente llamado exudación.

Impermeabilidad.- Es la resistencia que tiene una mezcla asfáltica al pasaje de agua y de aire dentro y a través del mismo. Ya que el contenido de vacíos puede ser un índice de la susceptibilidad de una mezcla compactada, al pasaje de aire o agua es de mucha importancia la interconexión de vacíos y su relación con la superficie.

Figura 6. Impermeabilidad de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de vacíos deberán estar dentro de los siguientes valores:

Porcentaje de vacíos	3 a 5
Relación bitumen vacíos	75 a 82

La impermeabilidad al aire y agua es extremadamente importante desde el punto de la durabilidad, ya que estos factores influyen directamente en la capacidad de soporte del pavimento.

Trabajabilidad.- Es la facilidad con que las mezclas pueden ser colocadas y compactadas. Si se pone especial cuidado en un diseño apropiado y se coloca con una maquinaria distribuidora, la Trabajabilidad no será problema.

Figura 7. Trabajabilidad



Fuente: Manual de diseño de pavimento flexible CivilGeeks.com

Algunas veces, las propiedades de los agregados que aseguran una estabilidad alta, hacen que las mezclas asfálticas que contienen dichos agregados sean difíciles de distribuir o de compactar.

Como los problemas de trabajabilidad se presentan con frecuencia durante las operaciones de compactación, los ajustes en el diseño de la mezcla deben ser realizados en la obra para permitir el proceso del trabajo tan eficiente como sea posible. Una adecuada trabajabilidad permite una operación de construcción eficiente en la colocación de la mezcla para la pavimentación.

2.2.4 Deformaciones en pavimentos flexibles

Las deformaciones que sufre el pavimento asfáltico se presentan cada vez que una carga ha hecho su paso, originándose una deformación temporal en la superficie y en las capas interiores, comprimiendo el aire que llena los huecos de la infraestructura, pero la superficie regresa a su posición original después que la carga ha hecho su paso de este modo que no se produce una falta de uniformidad permanente, aun bajo repetidas cargas, denominándose **deformación elástica**.

Si la carga es excesiva y sus aplicaciones reiteradas ocasionan en el pavimento asperezas y agrietamientos, los cuales conducen a un hundimiento en la plataforma de rodadura. Ocurre cuando las presiones del aire dentro de los poros de la infraestructura se combinan con las fuerzas producidas por la carga para desplazar el material del camino. La deformación resultante es progresiva bajo la repetición de las cargas, denominándose **deformación plástica**.

Las deformaciones que se presentan en los pavimentos podríamos agrupar en dos categorías dando las más relevantes que se llegan a presentar en éstos dos grupos

- Deformaciones originadas en la etapa de construcción.
- Deformaciones originadas después de la construcción.

Deformaciones originadas en la etapa de construcción, son aquellas que se generan por fallas accidentales en el momento de su construcción:

Agrietamiento.- El modelo de agrietamiento es frecuente el mismo para varias causas y para varios estados de falla originadas en gran parte por el excesivo compactado con el rodillo liso o también causadas por una débil unión o ligazón entre las capas continuas entre el pavimento y la banquina.



Origen, mezcla muy caliente o muy fría, exceso de Filler, cuando existe desplazamiento en la base., viraje brusco del rodillo, equipo de compactación inadecuado.

Desgarramiento.- Son fisuras que ocurren en las capas sobrepuestas de asfalto, este tipo de deformación es causada por el movimiento vertical u horizontal del pavimento por debajo de las capas sobrepuestas, debido al paso de tráfico muy prematuro del tramo en construcción.



Origen, falta de finos, mezcla con escaso betún, incorrecta proporción entre el espesor de la capa y del tamaño de los agregados, mezcla demasiado fría, mal estado o mal ajuste del compactador en la terminadora.

Superficie ondulada.- Son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del pavimento, generalmente se presentan en mezclas asfálticas que carecen de estabilidad.



Origen, fluctuaciones de temperatura en la mezcla, incorrecta compactación con el rodillo, el camión demasiado frenado, retroceso abrupto del rodillo, variaciones en los chequeos de alturas que se realizan en la terminadora, diferencia marcada de espesores en una misma capa, excesivo control de la maestra en la terminadora, sobrecarga de los tornillos espaciadores.

Segregación.- Presencia de material mal graduado en la distribución de la mezcla, ausencia de material fino en el acabado.



Origen, deficiente alimentación de materiales fríos en la planta asfáltica, incorrecta forma de cargar el camión, acumulación de materiales en los lados de la tolva de la terminadora.

Desprendimiento de agregados pétreos en la superficie.- Es debida a la pérdida de agregado de cubrimiento por acción del tráfico dejando sólo asfalto.



Origen, agregado distribuido después que el asfalto se ha enfriado mucho, agregado pétreo inadecuado por falta de adherencia (afinidad con el ligante), agregado sucio, con polvo adherido, lluvia durante el esparcido del material, liberado de tráfico prematuro.

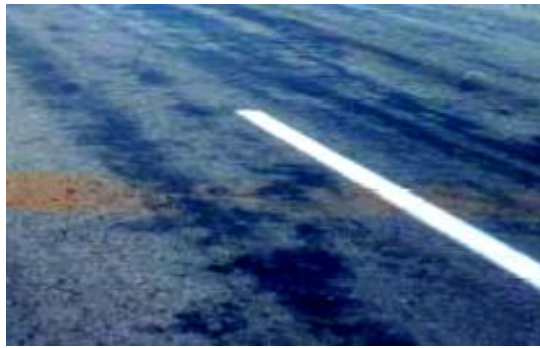
Deformaciones originadas después de la construcción, son originadas después de un período de vigencia de la vía:

Desprendimiento de la última capa delgada.- Es la pérdida sucesiva del material superficial, usualmente el agregado fino, desprendiéndose y dejando marcas de pequeñas picaduras en la superficie del pavimento. A medida que continúa la erosión, las partículas mayores eventualmente se desprenden y el pavimento pronto tiene una apariencia áspera.



Origen, ligante inadecuado, dosificación entre árido y ligante inadecuado, compactación deficiente y con el paso del tráfico se produce la deformación, fraguado incompleto después de la apertura al tráfico, envejecimiento del ligante.

Exudación.- Es el afloramiento o exudación por efecto del exceso de asfalto o de una película de asfalto en la superficie del pavimento. Las capas de pavimento ricas en asfalto pueden provocar la exudación. El tráfico con sobrepeso puede forzar a hacer salir al asfalto a la superficie del pavimento en un tiempo muy cálido.



Origen, exceso de asfalto en la dosificación, uso de ligante muy blando, derrame de solventes

Desgaste de áridos.- Es debido a que las partículas de agregado en la superficie del pavimento se van gastando bajo la acción abrasiva del tráfico. Desgastándose rápidamente.



Origen, uso de áridos suaves (calizas), susceptibles al pulimento, empleo de materiales granulares de baja resistencia, que con el paso del tránsito vehicular, los áridos se van desgastándose.

Ahuellamientos.- Formación de estrías o surcos, son canalizaciones que se desarrollan en las huellas de las ruedas en los pavimentos asfálticos, este puede resultar de la consolidación o movimiento lateral bajo el tránsito en una o más capas subyacentes.



Origen, uso de ligantes blandos, dosificación de ligante en exceso, uso de áridos redondeados, compactación deficiente en la base.

Canalizaciones.- Deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de las rodadas como por elevación de las áreas vecinas adyacentes a las rodadas, las deformaciones presentan una configuración más amplia que los ahuellamientos.



Origen, capacidad estructural del pavimento insuficiente, diseño mal planificado del paquete estructural.

Baches profundos.- Son hundimientos en el pavimento con forma de cuenco de varios tamaños, con característica de pérdida total de la capa de rodadura.



Origen, estructura inadecuada, defecto constructivo, sub drenaje inadecuado.

Ondulaciones.- Deformaciones en el perfil longitudinal con crestas regularmente espaciadas a distancias cortas, están acompañadas, en sitios críticos, por grietas semicirculares.



Origen, circulación lenta en pendientes pronunciadas, frenado de vehículos pesados en intersecciones, dosificación de ligante inadecuado, áridos redondeados, ligantes blandos.

Grietas longitudinales.- Rotura longitudinal sensible paralela al eje de la carretera, con abertura mayor a 3 mm.



Origen. Uso de ligantes muy duros, ligantes envejecidos, juntas longitudinales de construcción trabajada en forma inadecuada.

Grietas transversales.- Rotura transversal sensible perpendicular al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm.



Origen, juntas transversales de construcción inadecuadas trabajadas, reflejo de grietas en bases rígidas (losas de hormigón), uso de ligantes (asfaltos) muy duros, reflejo de fisuras no tratadas en las capas adyacentes

Fisuras solas o en retícula.- Rotura longitudinal o transversal, con abertura menor que 3 mm, y separación mayor que 15 cm.



Origen, uso de ligantes muy duros, reflejo de fisuras en bases estabilizadas.

Piel de cocodrilo.- Son fisuras interconectadas formando una serie de pequeños bloques longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm. Y con aberturas crecientes según avanza la deformación. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.



Origen, sub drenaje inadecuado en sitios aislados, uso de ligantes muy duros, incompatibilidad de deflexiones con el espesor de la capa de rodadura, base granular no tratada que ha fallado o una sub rasante elástica.

2.2.5 Durabilidad de los pavimentos flexibles

Dentro de este punto es evidente que no existen registros referentes a la durabilidad de un pavimento flexible, al no existir ningún método de diseño que tome en cuenta la durabilidad.

La durabilidad de un pavimento flexible está vinculada con la conservación o mantenimiento de la vía. El mantenimiento no solamente preserva la superficie del pavimento, sino que también previene el desgaste acelerado. Y no debe considerarse como un recurso temporario, sino como una inversión en la estructura del pavimento y una garantía contra una renovación costosa del mismo.

Una inspección de la carretera y limpieza de los sistemas de drenaje son las formas de mantenimiento preventivo que eliminan las causas del daño del pavimento.

Una carretera con control de mantenimiento rutinario, esta por ende tendrá un período de vida útil mayor al proyectado en el diseño.

2.3 EVALUACION SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

El crecimiento económico de un país o comunidad está condicionado por la existencia de redes de carreteras bien construídas y conservadas. Gracias a ellas son posibles los desplazamientos rápidos y baratos de personas y mercancías. Las autoridades políticas comprenden que un sistema eficiente de carreteras es imprescindible para el desarrollo económico, por esta razón los gobiernos dedican un elevado porcentaje del presupuesto nacional a la construcción y mantenimiento de las carreteras.

La red de carreteras de Bolivia cuenta con la red troncal pavimentada constituyendo un buen porcentaje soportando más del 40 % del tráfico total interconectando y vinculando los departamentos que conforman nuestro país. Con el crecimiento demográfico varios departamentos optan por vincular sus provincias con carreteras pavimentadas, generando así nuevas fuentes de trabajo y para dar mayor comodidad y vinculación.

De acuerdo con la tendencia de gran número de países, también incluido Bolivia se tendrá que dar prioridad a la conservación frente a la construcción, ya que controlar las deformaciones o deterioros que sufren las carreteras existentes resulta más rentable el acondicionamiento de la misma.

Los recursos asignados a la construcción se verán seriamente afectados con los recursos que se les asignarán a las carreteras en mal estado.

Estimándose en un futuro de 10 a 15 años se realizarán inversiones hasta el 50 por 100 de inversión designándose a la rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos.

La decisión más difícil que ha de tomar un ingeniero es como y cuando rehabilitar un pavimento de manera rentable. Una decisión de esta naturaleza no se puede realizar sin una información a tiempo y precisa sobre el estado firme.

Los datos del estado del firme son una parte fundamental del proceso de toma de decisiones para rentabilizar la conservación de las carreteras

La evaluación de pavimentos es una de las tareas más importantes para cada institución que se dedica a la conservación y mantenimiento tanto de carreteras y calles pavimentadas detectando las deformaciones o deterioros, para luego analizar y dar soluciones puntuales ameritadas al caso que se presente.

2.4 TIPOS DE EVALUACION EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Dentro de este subtítulo tipos de evaluación de pavimentos, podemos decir que comprende dos tipos de evaluaciones:

Evaluación Superficial

Evaluación Estructural

2.4.1 Evaluación superficial de pavimentos

La evaluación superficial de pavimentos implica dentro de su importancia la funcionalidad de una carretera, tomando en cuenta las características del pavimento, analizando las deformaciones superficiales que sufre el pavimento, dependiendo de esta la seguridad y comodidad vial.

La labor de la evaluación superficial está comprendida en la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento basándose:

- En la determinación de dónde, cuándo y cómo deben ser aplicados los medios de conservación.
- Evaluando continuamente las condiciones superficiales del pavimento.
- Utilizando métodos y equipos adecuados para realizar dicha evaluación.
- Realizando estudios de correlación y optimización aplicados a la conservación, comodidad de la superficie y el estado de los pavimentos.

Englobando con inspecciones visuales continuas, objetivizadas a:

- Detectar las deformaciones o fallas originadas por el paso vehicular constante sobre la vía.
- Analizando el comportamiento del pavimento en función a su mejora o reconstrucción del mismo.
- Llegando a determinar soluciones enfocadas a las reparaciones oportunas.

Los datos relacionados con las condiciones del pavimento se dividen en diversas categorías. Cada categoría tiene un efecto diferente en la calidad del mismo.

Particularmente desde el punto de vista del usuario una descripción general de estas características y algunos de sus efectos se explican a continuación.

2.4.1.1 Características superficiales de los pavimentos

Las características del pavimento se pueden clasificar por las dimensiones de las irregularidades superficiales, dependiendo de su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) estos análisis son importantes ya que de ello dependerá la funcionabilidad de la carretera.

La geometría del pavimento afecta a la seguridad, comodidad y valores de los usuarios. Las características que se consideran importantes incluyen:

Textura

Fricción

Regularidad superficial y perfil longitudinal

Fisuras

Textura.- Del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento de evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, de gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento.

Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto el que perciben los ocupantes como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas que están junto a la carretera.

En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina o diésel y en el deterioro de los vehículos.

Fricción.- O resistencia al deslizamiento del pavimento también es un valor crítico en la seguridad cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental en

carreteras de elevada intensidad de tráfico. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma especial.

Regularidad superficial y perfil longitudinal.- Es la característica más percibida por el usuario ya que afecta a la comodidad de rodadura. Se relaciona con los efectos de vibraciones, tales como deterioros, probabilidad de dañar a las mercancías transportadas, desgaste de los vehículos, y consumo de energía. La comodidad depende principalmente del vehículo y del perfil longitudinal. La mayor parte de los sistemas miden el perfil directamente y después se analiza para obtener un indicador de la regularidad superficial.

Perfil transversal, incluyendo roderas y peralte, el perfil transversal se precisa para determinar zonas donde el agua no puede desaguar a pesar de la pendiente del pavimento, las **roderas**, son una consecuencia de la erosión provocada por el vehículo y de la deformación del pavimento. Dependen del tráfico (intensidad, peso y velocidad) y del tipo de material usado.

Fisuras.- Es el primer aviso de una carretera con problemas. Es señal de tensiones, debidas a condiciones climáticas o de cargas de tráfico que han sobrepasado los límites de la resistencia del pavimento o rodadura. Es señal para el ingeniero de que los costos de mantenimiento se van a disipar sino se actúa con prontitud.

Estas características mencionadas están interrelacionadas directamente con la seguridad y la comodidad que se le va a proporcionar al conductor con una carretera.

2.4.1.2 Patologías producidas por problemas de mezcla

Pérdida de textura.- La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las vías. La **textura** influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del

pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

Se puede presentar los siguientes tipos de textura:

Macrotextura.- La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático.

Microtextura.- La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

Megatextura.- La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta

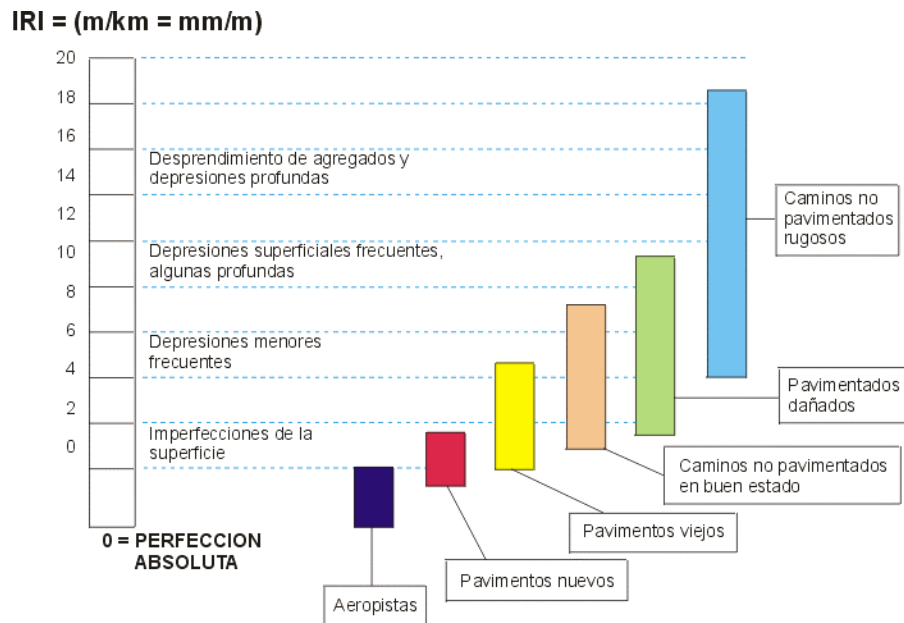
longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

2.4.1.3 Evaluación del estado superficial de pavimentos

2.4.1.3.1 Índice de Regularidad Superficial Internacional (IRI, (International roughness index))

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

Figura 8. Rangos del IRI



Fuente: Alta tecnología de ingeniería de pavimentos y seguridad vial

La Regularidad Superficial es una característica superficial de los pavimentos que, junto con la textura, resistencia al deslizamiento y propiedades ópticas afectan directamente a la seguridad vial. Su medida se convierte por tanto en algo esencial, no sólo por lo que puede incidir en la vida del pavimento, sino también en la comodidad y seguridad en la conducción.

Esta característica nos da un indicativo del estado general de cómo se encuentra el pavimento. Muchas de las deformaciones tanto superficiales como estructurales ocasionan una falta de regularidad superficial.

El análisis de la regularidad ha sido siempre una de las líneas de desarrollo e investigación fundamentales en el área de auscultación. Desde que el valor del IRI se consideró como un parámetro esencial en la conservación y rehabilitación de carreteras y aeropuertos ha contribuído tanto en la evaluación y propuestas de mejoras en los métodos de reacondicionamiento de los pavimentos.

La Regularidad Superficial se toma como parámetro fundamental para cifrar el estado del pavimento el índice P.S.I. (Present Serviceability Index). El P.S.I. con valor índice entre 0 y 5, da una aceptación razonable hasta los valores de 3 y conveniencia de actuación para índices comprendidos entre 3 y 2. Existen otros tipos de detectores de un poco más sofisticados para detectar las regularidades como por ejemplo el viógrafo.

Figura 9. Esquema de funcionamiento de un viógrafo

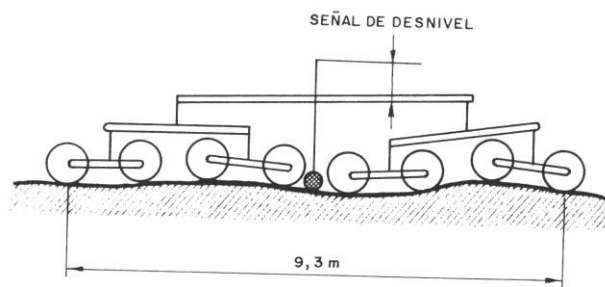


Fig. 10 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN VIÁGRAFO

Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

Con este equipo se puede obtener:

Parámetros básicos:

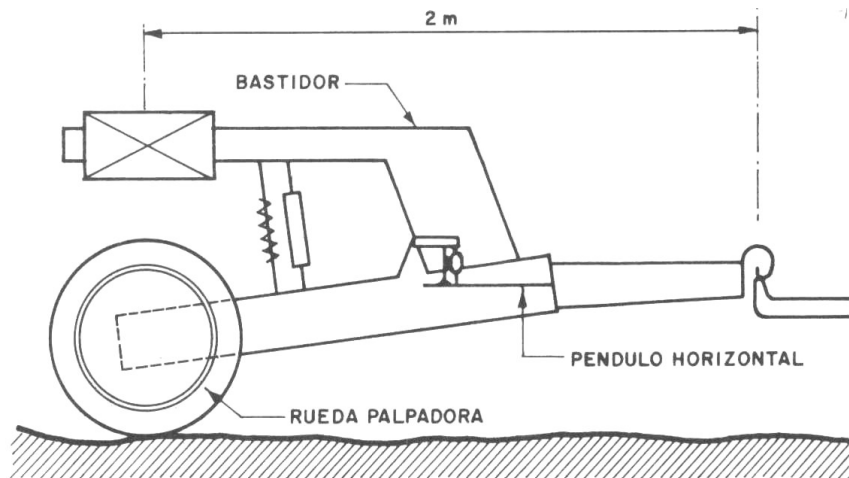
Regularidad superficial

Geometría de la carretera

Detecta irregularidades en el desplazamiento vertical en varios puntos de referencia a una base horizontal de 3 a 10 mm de longitud.

Existen otros equipos de medición, los perfilógrafos equipos similares que son remolcados, estos equipos miden las oscilaciones, debidas a las irregularidades del pavimento mediante un péndulo que va montado sobre un remolque. Estos equipos tienen la característica que se hace desplazar a velocidades de entre 20 a 70 km/h., aunque las velocidades son variables dependiendo del equipo.

Figura 10. Esquema de funcionamiento de un analizador de perfil longitudinal



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

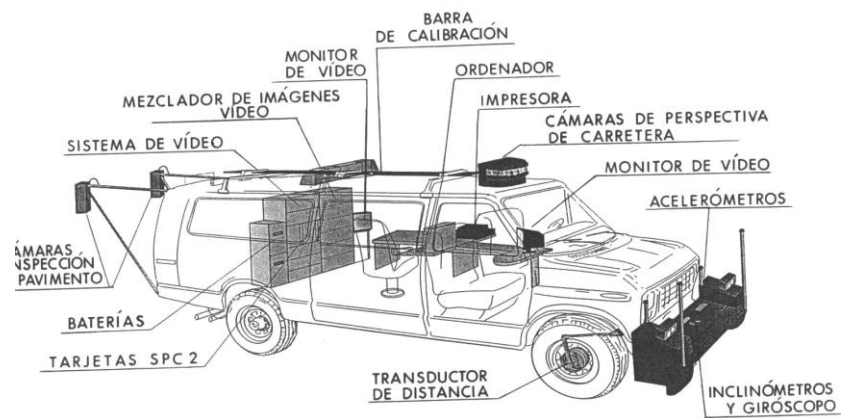
Parámetros básicos:

Regularidad Superficial.

Geometría de la Carretera.

Entre los equipos más sofisticados tenemos Video Laser RST, equipo de medida de las características superficiales.

Figura 11. Esquema de funcionamiento de un equipo analizador a laser



Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

2.4.1.3.2 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

El PSI es el Índice de Servicio Presente, es la comodidad de la condición del pavimento dentro de los límites prescritos como: Muy bueno, bueno, regular, pobre y muy pobre, son las escalas de medida que dependerán del Índice de Rugosidad Internacional.

La rugosidad de la superficie del pavimento, significa que esta presenta asperezas, de repliegue o desigualdades en la superficie de la carpeta asfáltica.

Al desplazar un vehículo sobre la carretera, y si presenciamos movimientos verticales hacia arriba y hacia abajo. Este movimiento vertical no deseado por el conductor es en consecuencia por:

Las rugosidades de la carretera.

La magnitud de las rugosidades de la carretera.

Las mediciones de rugosidad de una carretera se efectúan por varias razones, entre ellas se tienen algunas características:

Relaciona la rugosidad con la calidad de servicio que se prevé, constituyéndose en un buen parámetro para ser usado en la evaluación del comportamiento de un pavimento y los niveles de servicio de los tramos en observación.

Perturbaciones en el control del vehículo; las operatividades de los vehículos son relacionados a la rugosidad de la superficie del camino: por lo tanto, muchos análisis económicos relacionados al ciclo de rehabilitaciones, requerimientos de conservación puede ser objetivamente evaluados si se dispone de la medida de la rugosidad de una carretera. A ello debe agregarse la evaluación estructural para decidir cuando corresponde una rehabilitación para rescatar un valor remanente de la carretera.

La rugosidad afecta a la seguridad de una carretera, mediante la pérdida de resistencia a la rodadura, debiéndose de tomar en cuenta para la toma de decisiones en programas de mejoramiento.

Es una combinación matemática de valores obtenidos de ciertas dimensiones físicas como para predecir la condición de los pavimentos dentro de límites prescritos.

Es una medida de la rugosidad superficial del pavimento y esta medida va en una escala de 0 a 5, siendo 5 una superficie absolutamente liso. Este PSI es medido de la rugosidad en un momento particular durante la vida de servicio del pavimento.

Cuadro 3. Clasificación del PSI

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5,0 – 4,0	Muy Buena	Sólo los pavimentos nuevos o casi nuevos son lo suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en esta categoría. La mayor parte de los pavimentos construídos o recarpeteados durante el año de inspección se clasifican como muy buenos.
4,0 – 3,0	Buena	Los pavimentos de esta clase entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden comenzar a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.
3,0 – 2,0	Regular	En ésta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito.
2,0 - 1,0	Mala	Los pavimentos de esta categoría se han

		deteriorado al punto de afectar la velocidad de tránsito.
1,0 – 0,0	Muy Mala	Los pavimentos de ésta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos presentan velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. El deterioro ocurre en un 75% o más de la superficie.

Fuente: Manual de diseño de pavimento flexible CivilGeeks.com

2.4.1.3.3 Índice de Condición de Pavimento PCI (Paviment Condition Index) método de evaluación PCI

El método PCI (*Pavement Condition Index*) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado.

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:

Un método estándar para evaluación de la condición de la superficie operacional de una sección de pavimento.

Un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.

Un método para determinar el comportamiento mediante determinación continúa del PCI.

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

Cuadro 4. Rango de valores del PCI

Rango PCI %	Color	Estado
0-10		Falla
11-25		Muy Malo
26-40		Malo
41-55		Regular
56-70		Bueno
71-85		Muy Bueno
86-100		Excelente

Fuente: Manual de diseño de pavimento flexible CivilGeeks.com

2.5 EVALUACION ESTRUCTURAL

2.5.1 Características estructurales de un pavimento flexible

Las características estructurales de un pavimento flexible, están relacionadas con los materiales empleados en las capas del firme o pavimento, y sus respectivos espesores de estas capas. La diferente deformabilidad que pueden presentar estas capas, da lugar a discontinuidades de deformaciones en ellas, por lo que el proyecto o construcción de una capa ha de armonizarse con el de las restantes a fin de conseguir un buen comportamiento estructural conjunto.

Las carreteras además de proporcionar una superficie segura y cómoda deben resistir las cargas de los vehículos pesados los cuales producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad inicial de resistir esas cargas. La forma mas frecuente de establecer la capacidad estructural del firme es determinando la *Deflexión o desplazamiento vertical* bajo una carga normalizada de referencia.

La deflexión es un valor evolutivo que representa al estado estructural del firme, respecto a un valor inicial de deflexión mínima. Las técnicas de interpretación de los valores de deflexión permiten cuantificar las actuaciones necesarias de refuerzo o rehabilitación del firme. La mayor dificultad que presenta la deflexión es la lentitud de la medida con los equipos actuales. Asimismo, la deflexión elevada no es buena o mala por si misma, sino que su valor se tiene que interpretar en función del tipo de firme y de los espesores de las capas que los constituyen.

El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que destacamos:

- El tipo del firme
- El estado del firme
- El equipo de medida

La exploración o auscultación del estado estructural se suele realizar con equipos que aplican una sollicitación y miden la respuesta de la estructura del firme. El parámetro que ofrece mayor significado en los procesos de exploración al estado estructural en firmes es la deflexión elástica del firme bajo una carga, la deflexión es el valor del desplazamiento en superficie (vertical) del firme al aplicarle una carga normalizada en la superficie del pavimento (en España corresponde a un eje simple rueda gemela de 130 kn.).

Los valores de la deflexión se expresan normalmente en centésimas o milésimas de milímetro. Los resultados de las exploraciones deflectométricas requieren dos tipos de análisis:

- 1.- Un tratamiento estadístico que permita identificar y agrupar tramos con igual comportamiento estructural. Este análisis se realiza por zonas preestablecidas donde se conoce o se supone que la sección de firme es la misma. A las deflexiones obtenidas en esa zona y se le aplica algún test de homogeneidad para establecer tramos homogéneos.
- 2.- Se realiza para cada tramo homogéneo asignándole una deflexión de cálculo que se emplea para tratar de establecer la capacidad estructural remanente del firme medido.

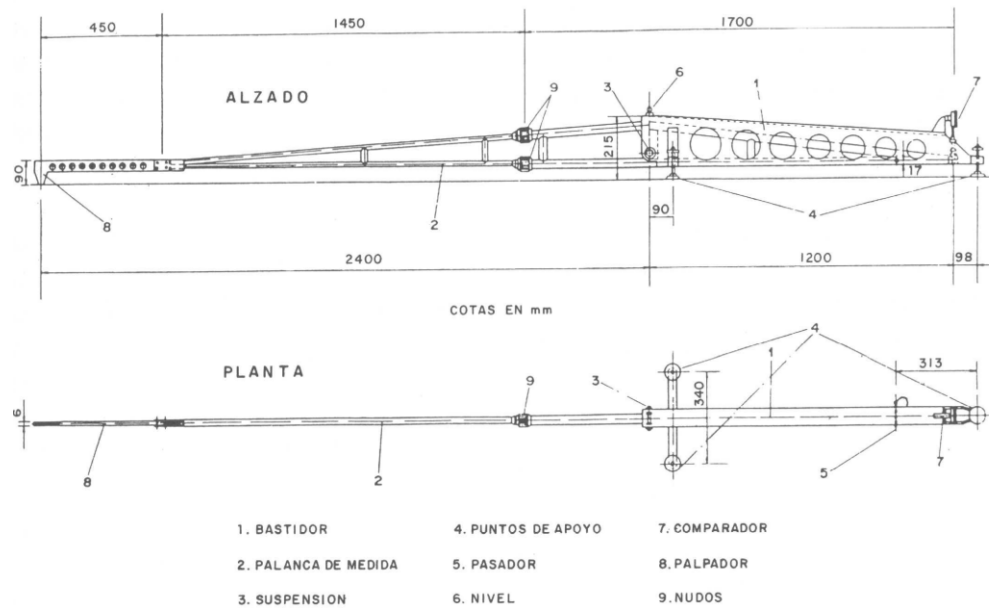
Entre los equipos que miden la deflexión como parámetro de la capacidad estructural se pueden citar los siguientes:

Viga Benkelman
Deflectógrafos
Destructivo (METODO)

Existen varios equipos más para la medición de la deflexión, pero el equipo que se ha utilizado tradicionalmente para la determinación de las necesidades de rehabilitaciones estructurales en pavimentos flexibles, es la Viga Benkelman. Este equipo está compuesto de un brazo de palanca en cuyo extremo final existe un comparador en el que

se realiza la medida de la deflexión producida en el tramo inicial, que se sitúa entre las dos ruedas gemelas las cuales tienen un eje tipo de 13 toneladas.

Figura 12. Partes de una viga Benkelman

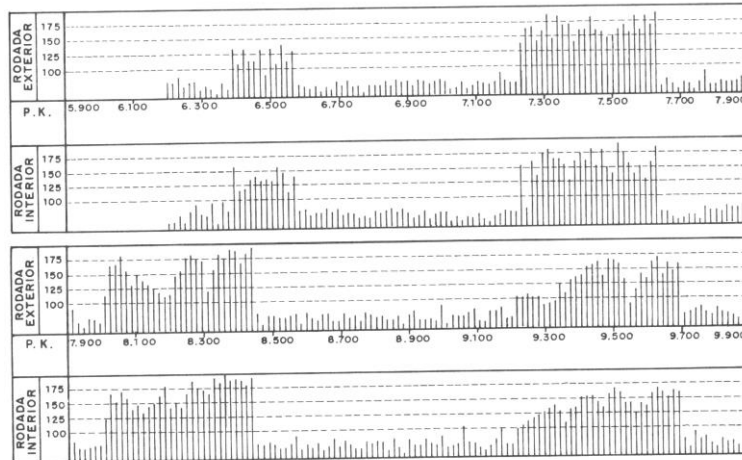


Fuente: Mecánica de pavimentos principios básicos

Uno de los deflectógrafos automáticos más extendidos es el deflectógrafo Lacroix. Realiza las medidas según un principio análogo al de la viga Benkelman. Consta básicamente de dos vigas montadas sobre camión que miden las deflexiones automáticamente cada 3 a 5 m, mientras que con la viga Benkelman, no resulta práctico hacer medidas distanciadas a menos de 25 m, la velocidad del deflectógrafo Lacroix es sin embargo muy reducida (2 a 4 km/h), por lo que puede provocar graves interferencias en el tráfico.

A modo de referencia mostramos un gráfico de las lecturas que arroja el deflectógrafo cuando este se encuentra en operatividad. Los resultados de estas exploraciones o auscultaciones sirven para tomar decisiones respecto al estado de la carretera y las necesidades de la mejora para su conservación.

Figura 13. Deflectógrafo y registro de medición



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

CAPITULO III

CORRELACION ENTRE EVALUACION SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL

3.1 CORRELACION ENTRE EVALUACION SUPERFICIAL Y EVALUACION ESTRUCTURAL

Entendemos que tanto la evaluación superficial como la evaluación estructural son necesarias e indispensables cuando se quiere evaluar el estado de un pavimento flexible, si bien los procesos metodológicos y resultados son independientes en cada caso y cumplen con un propósito definido consideramos que en la realidad en el comportamiento del pavimento si debe existir una correlación entre los deterioros mostrados a nivel superficial y las condiciones estructurales del pavimento.

Diversos investigadores sobre el comportamiento de los pavimentos han estudiado de alguna manera como se puede correlacionar la evaluación y los resultados del estado superficial y estructural de un pavimento flexible.

En lo que se refiere a una correlación de la evaluación superficial y la evaluación estructural si analizamos detenidamente los procedimientos de evaluación en el caso del estado superficial las metodologías para obtener los resultados de estado de los indicadores PCI Indice de Condición Presente, PSI Indice de Serviciabilidad Presente e IRI Indice de Regularidad Internacional toman en cuenta la condición superficial del pavimento independiente de que los deterioros además de tener causales superficiales sean consecuencia de causas estructurales.

Es decir, que muchas de las fallas y deterioros que se manifiestan superficialmente no siempre pueden tener como causal un aspecto superficial.

En cuanto a la metodología de la evaluación superficial ya sea a través de métodos destructivos haciendo calicatas de muestreo y estudio de las capas del paquete estructural del pavimento de manera que se determine el estado degradado de los

materiales que componen cada una de las capas del pavimento y en el caso de los métodos no destructivos como el de la viga Benkelman establecer la deflexión máxima remanente de manera que se pueda establecer la condición estructural del pavimento en base a ese indicador.

Como podemos analizar aparentemente no existiría una correlación directa si sólo visualizamos la forma metodología de la evaluación, sin embargo, los resultados a los que se pueda llegar en las evaluaciones tienen que tener alguna correlación ya que el comportamiento del pavimento flexible no puede sólo tener deterioros superficiales, sino que también tiene deterioros estructurales ante los esfuerzos que se presentan.

Por ello de un primer análisis se establece la siguiente hipótesis:

- Un pavimento flexible tiene un mayor deterioro superficial cuando las condiciones estructurales son bajas

Por otra parte:

- Un pavimento sin fallas estructurales mostrará un deterioro menor en su condición superficial

3.2 MEDICION Y EVALUACION PARA LA CORRELACION

La medición y evaluación de los pavimentos flexibles con fines de correlación se realiza para ambas condiciones, es decir las condiciones del estado superficial y las condiciones del estado estructurales.

3.2.1 Medición y evaluación para condiciones superficiales

La medición de las condiciones superficiales de un pavimento flexible está representado por los indicadores de estado que son:

- Índice de Serviciabilidad Presente
- Índice de Regularidad Internacional
- Índice de Condición Presente

3.2.1.1. Medición del PSI

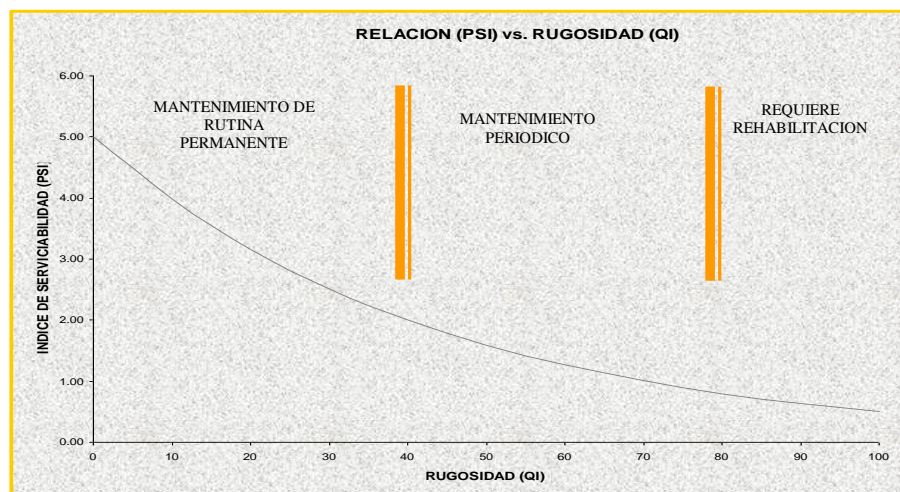
Con la asistencia técnica que ofreció a Bolivia WILBUR SMITH Y ASOCIADOS, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{-0.02291*QI} \quad \text{Ec. 1}$$

QI = Rugosidad determinada con un aparato auscultador.

Con la aplicación de esta fórmula se determinan las relaciones existentes entre la Rugosidad QI y PSI están determinadas, las relaciones de equivalencia entre el IRI, QI, y PSI, asimismo se muestran la relación de equivalencia IRI, PSI.

Figura 14. Relación PSI vs Rugosidad



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

El Índice de Serviciabilidad 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 serviciabilidad. 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.

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASHO para pavimentos flexibles, es la utilización de la siguiente ecuación.

$$PSI = 6,20 - 0,8 * C_1 - 0,3 * C_2 - 0,1 * C_3 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

C_1 , C_2 , C_3 , son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala. Cuadro 5

El valor final del PSI de la sección del pavimento es:

$$\overline{PSI} = \frac{\sum PSI_i}{n} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

Cuadro 5. Constantes de apreciación del PSI

Coefficientes C1, C2, Y C3

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

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Cuadro 6. Aplicación de la fórmula para determinar el PSI

Aplicación de la ecuación No 1

QI	PSI
0	5,00
10	3,98
20	3,16
25	2,82
30	2,51
35	2,24
40	2,00
50	1,59
60	1,26
65	1,13
70	1,01
75	0,89
80	0,80
90	0,64
100	0,51
110	0,40
120	0,32
125	0,28
130	0,25
140	0,20
150	0,16
160	0,13
170	0,10
175	0,09
180	0,08
190	0,06
200	0,05

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Cuadro 7. Relación de valores PSI vs rugosidad

RELACION DE RUGOSIDAD (QI) CON EL PSI

QI Unidades/Km	PSI	Descripción
0 - 20	3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
35 - 65	1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
65 - 110	0,4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 mt., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Cuadro 8. Descripción de valores PSI vs rugosidad vs PCI

RANGOS DE RELACION PCI, QI, PSI

PCI	Descripción	QI Unidades/Km	PSI	Descripción
90 - 100	Muy bueno, excelente	0 – 20	3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
60 - 90	Bueno	20 – 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
40 - 60	Regular	35 – 65	1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
20 - 40	Muy pobre			
0 - 20	Fallado	65 – 110	0,4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), Baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 mt., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Cuadro 9. Relación de Rangos PSI vs rugosidad vs PCI

RANGOS DE RELACION IRI, QI, PSI

IRI m/Km	QI Unidades/Km	PSI	Descripción
0 – 1,6	0 - 20	3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
1,6 – 2,8	20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni corrugaciones.
2,8 – 5,2	35 - 65	1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
5,2 – 8,8	65 - 110	0,4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15-20 baches cada 50 mt., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

3.2.1.2 Medición del IRI

Para llevar adelante este método de evaluación del IRI, se utilizará 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:

Cuadro 10 Valorización de datos cálculo del IRI

Delta X (Dx)
Identificación del tramo ()
Entrada Información
Calculo IRI
Gráfica
Imprimir Información
Terminar

Fuente: Software IMPACO

DELTA X (DX)

Es la parte del programa que permite escoger el incremento en las abscisas de los datos de nivelación. Se dispone de los siguientes deltas en el programa:

- 50 mm.
- 100 mm.
- 152,4 mm. (0,5 ft)
- 166,7 mm.
- 200 mm.
- 250 mm.
- 304,8 mm. (1,0 ft)
- 333.3 mm.
- 500 mm.
- 609,6 mm. (2,0 ft)

IDENTIFICACION 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

La abscisa inicial y final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del delta escogido.

Delta (mm)	Longitud Máxima (m)
50	800
100	1600
152,4	2438
166,7	2667
200	3200
250	4000
304.8	4876
333,3	5332
500	8000
609,6	9753

ENTRADA DE INFORMACION

Esta parte del programa dará la posibilidad de entrada de las cotas por abscisa de la nivelación.

CALCULO 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.

GRAFICA

Sacar una gráfica del perfil del tramo con 2 ejes coordenados (X - Abscisas y Y - Cotas), dando la posibilidad definir límites superior e inferior.

IMPRIMIR INFORMACION

Se obtendrá un listado por impresora de todos los datos digitados anteriormente, el IRI encontrado debe ser analizado para luego dar una conclusión del estado de rugosidad de la superficie del pavimento del tramo en estudio.

3.2.1.3 Medición 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.

El grado de 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).

$$PCI = 100 - \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{mi} VD(T_i, S_j, D_{ij}) \right] * F \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

PCI = Índice de condición de pavimento.

VD = Valor de deducción, en función del tipo de falla (Ti), severidad (Sj), y densidad de fallas (Dij) 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 del sumatorio total y el número de valores de deducción mayor que 5.

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.

VALOR DE DEDUCCION

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 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.

Se 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.

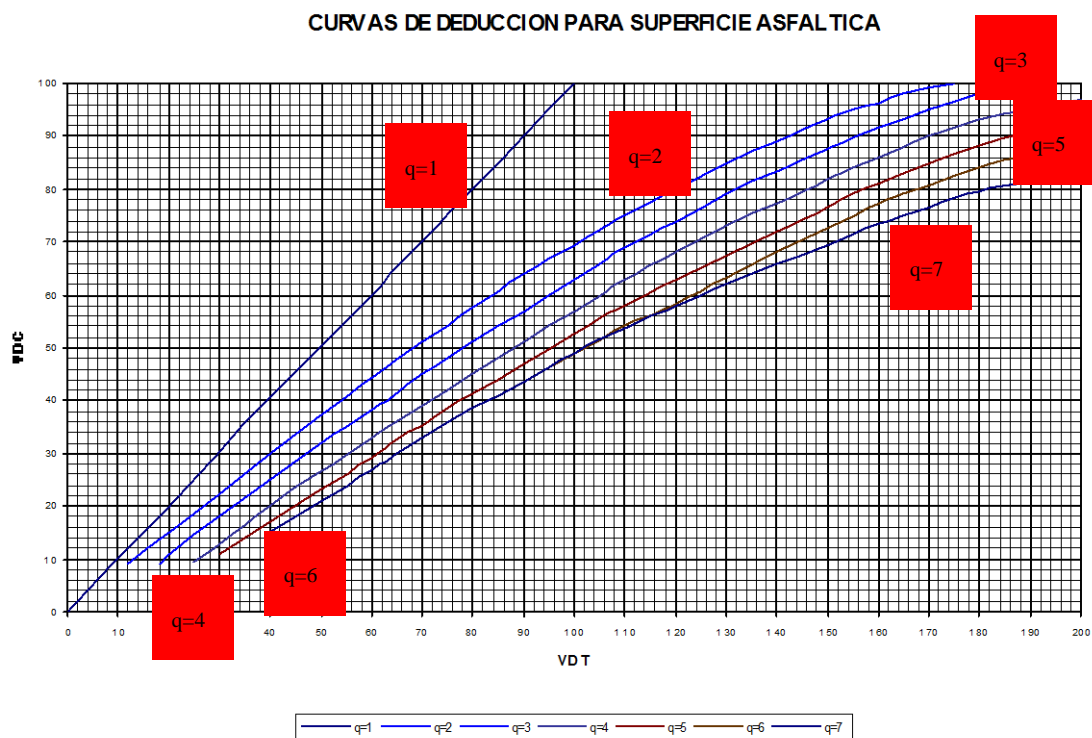
Esquemáticamente los pasos necesarios para determinar el PCI. Se indica los diferentes niveles de clasificación del pavimento en función del valor PCI.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCION

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 270 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.

Figura 15. Curva de deducción corregida PCI



Fuente: Ingepav ingeniería de pavimentos

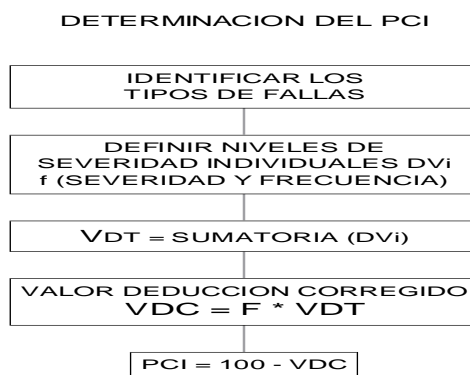
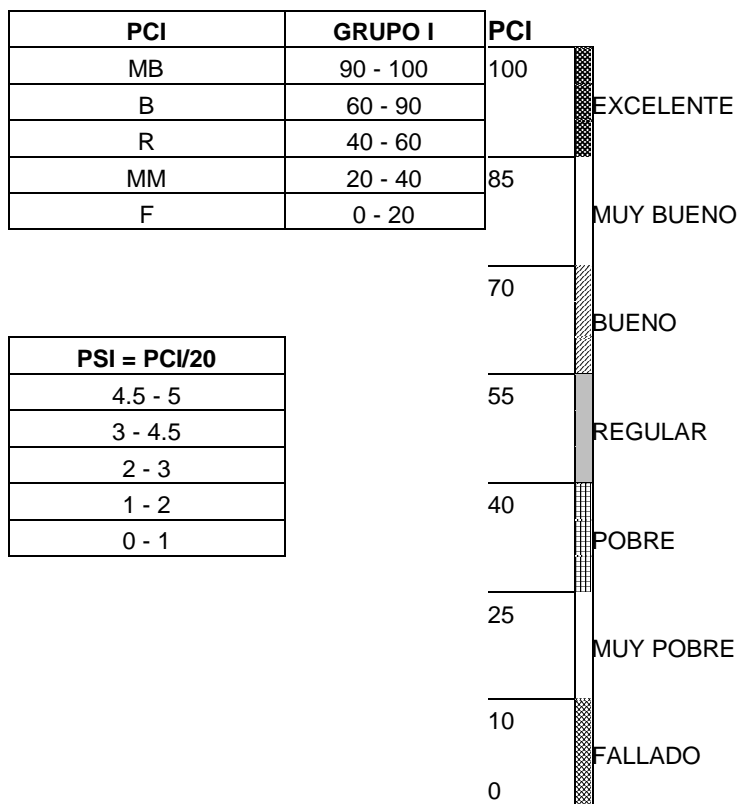


Figura 16. Niveles de clasificación del PCI

NIVELES DE CLASIFICACION DEL PAVIMENTO SEGUN EL PCI



Fuente: Ingepav ingeniería de pavimentos

3.2.2 Medición de condiciones estructurales

Para la medición de las condiciones estructurales se realiza en base a mediciones con la viga Benkelman la que nos determina las deflexiones predominantes en un pavimento flexible mediante el uso de la viga benkelman con la que se tienen los siguientes objetivos:

- Graficar las deflexiones recuperables del pavimento.
- Analizar los resultados obtenidos del tramo vial flexible en estudio.
- Ejecutar sondeos del pavimento en correlación con las deflexiones recuperables del pavimento y con la evaluación visual.
- El presente trabajo de evaluación del tramo vial flexible utilizando la viga benkelman como instrumento de evaluación, en razón de poder determinar e investigar las causas como instrumento de evaluación, en determinadas progresivas y áreas en forma continua y repetida la formación de deterioros como el mayor daño y descomposición predominante del asfaltado.

Se basó en las recomendaciones de la c.g.r.a c.g.r.a. (canadian canadian good good road road association association) utilizando el método de la washo y la norma de ensayo AASTHO T-256. El equipo que se utiliza para realizar las mediciones de las deflexiones es el siguiente:

- Una regla Benkelman
- Un camión cuyo eje trasero pesará en balanza 8,175 kg las cubiertas deberán ser 10 x 20 pulgadas; 12 telas e infladas a 80 libras por pulgada cuadrada.
- Un medidor de presión de inflado.
- Un termómetro de 0° C a 100° C
- Una cinta métrica de acero de 5 m

El Procedimiento de ensayo determina en función del ancho del carril la distancia desde el borde del pavimento

Ancho carril	Distancia del borde
2,70 m.	0,45 m.
3,00 m.	0,60 m.
3,30 m.	0,75 m.
3,60 m ó más	0,90 m.

Deflexión media. -

$$\mathbf{dm = deflexiones / n} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

dm = Deflexión media o promedio

n = N° de las deflexiones

$\sum d$ = Sumatoria de las deflexiones

Deflexión característica. –

$$\mathbf{dc = dm + ts} \quad \text{Ec. 6}$$

$$dc = dm$$

$$dc = dm + s$$

$$dc = dm + 1,3 s$$

$$dc = dm + 1,65s$$

$$dc = dm + 2s$$

$$dc = dm + 3s$$

Tomando como valor representativo para las condiciones del estudio 1,65s la deflexión característica queda de la siguiente manera:

$$dc = dm + 1,65s \quad \text{Ec. 7}$$

Por tanto, el valor de 1,65 cubre un 95 % de probabilidades seleccionando esta relación deflexión admisible según Ing. Celestino Ruíz de Argentina se tiene:

$$\log d \text{ adm} = 3,01 - 0,176 \log EE \quad \text{Ec. 8}$$

EE = Ejes equivalentes

Bajo estas hipótesis la metodología de correlación entre la evaluación superficial y la evaluación estructural está orientada a establecer las siguientes relaciones:

ESTADO SUPERFICIAL	VS	ESTADO ESTRUCTURAL
Indice de Condición Presente		Deflexión Característica
Indice de Serviciabilidad Presente		Deflexión Característica
Indice de Regularidad Internacional		Deflexión Característica

CAPITULO IV
APLICACION PRACTICA

4.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Figura 17. Area de estudio: Tramo.- Santa Bárbara – Cruce Falda la Queñua



Fuente: Elaboración propia

Se ha elegido como área de estudio del tramo Carretero Tarija – Potosí, en el sector de Santa Bárbara cruce Falda la Queñua, la razón del tramo debido a que este presenta deterioros tanto en lo superficial, como en lo estructural, por lo que se considera un tramo adecuado para realizar un estudio de correlación entre la evaluación superficial y la evaluación estructural de un pavimento.

4.2 CARACTERISTICAS DEL TRAMO

El tramo en estudio del sector de Santa Bárbara cruce Falda la Queñua el cual tiene las siguientes características:

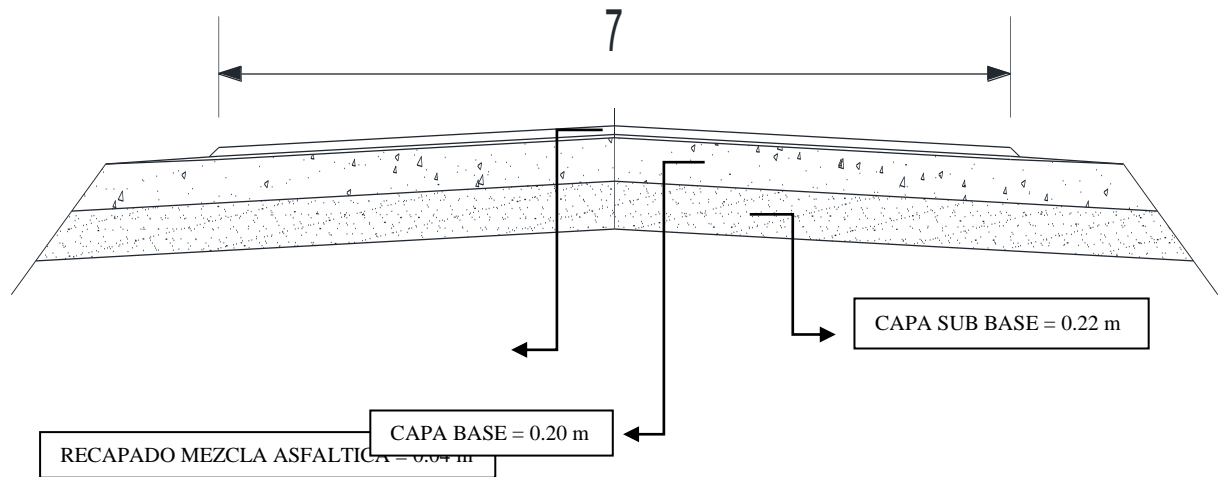
Sus características geométricas son las siguientes:

- Ancho vía 7,00 m. (Con inicio de rotonda)
- Ancho carril de 3,50 m. (Longitud de 900,00 m.)
- Ancho de vía de 9,00 m. (Longitud de 300 m. en sector Rotonda).
- Longitud del tramo de estudio 1,200.00 m.

Sus características estructurales son las siguientes:

- La estructura tiene un CBR de subrasante de 8,00 %
- Tiene una capa sub base de 0,22 m. de material A-1-a
- Tiene una capa base de 0,20 m. de material A-1-a
- Tiene una capa de rodadura de concreto asfáltico de 4,00 cm, recapado, capa de rodado de proyecto original y 0,015 m tratamiento superficial triple.

Figura 18. Sección típica del Area de estudio:
Tramo.- Santa Bárbara – Cruce Falda la Queñua



Fuente: Servicio Nacional de Caminos

4.3 EVALUACION SUPERFICIAL DEL TRAMO DE ESTUDIO

Los parámetros de evaluación están divididos según la evaluación superficial y evaluación estructural.

Desde el punto de vista de la evaluación superficial los parámetros de estado que han sido tomados en cuenta para el estudio son:

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

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.

Las fallas que tengan su forma de medición en metros cuadrados (m^2), se utilizará 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.

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.

Figura 19.Registro de forma de medición



Fuente: Elaboración propia

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. Así mismo los baches y zanjas reparadas requerirán el mismo método de medición.

Figura 20.Registro de forma de medición



Fuente: Elaboración propia

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 30 m. cada uno de ellos, para que de esta forma se controle mejor la cuantificación de las fallas. El dato de la cuantificación se muestra en el anexo correspondiente.

4.3.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACION SUPERFICIAL

4.3.1.1 Método de evaluación PCI (Índice de Condición de 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 el anterior capítulo. 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.

En el anexo correspondiente se muestran los cálculos y resultados de la aplicación de este método de evaluación para cada sub tramo, y el Cuadro 11 (pág. 68), es un resumen de los resultados de la evaluación del PCI de los sub tramos.

4.3.1.2 Método de evaluación PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

Este método de evaluación, al estar basado en la observación cuidadosa del estado superficial del pavimento, requiere previamente el conocimiento adecuado de los tipos de fallas superficiales que generalmente se presentan en los pavimentos flexibles, como sus niveles de Severidad o daño, pues de ser así, la determinación de los coeficientes de: Rugosidad longitudinal (c1), Intensidad de grietas y parches (c2), y Deformación transversal (c3), serán fáciles de asumir, para luego aplicar en la ecuación 2 (pág. 45), y de tal manera obtener resultados que representen las condiciones superficiales del pavimento, expresado por el Índice de Serviciabilidad Presente.

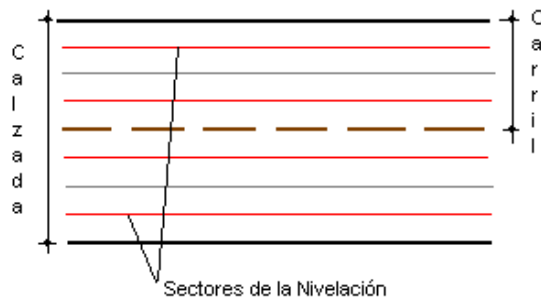
Se determinó el PSI para cada sub tramo, como también para el tramo total que es el promedio de los PSI de los sub tramos, en el Cuadro 12 (pág. 69), nos muestran los resultados de la aplicación de este método de evaluación.

4.3.1.3 Método de evaluación IRI (Índice de Regularidad 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 100 m. de longitud, escogiendo un Delta (X) de 100 mm (pág. 53), que corresponde para una longitud máxima de 1600 m. pues al tener una longitud de tramo de estudio de 1200,00 m., estamos dentro de lo que nos pide el programa.

La nivelación efectuada, se la hizo en las huellas, o lugar de tránsito de las llantas de los vehículos en el carril. En el sector donde existe una sola calzada con dos carriles, tramos comprendidos entre E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12 fig. 21, se realizó una nivelación por carril. Mientras que en el sector de la rotonda, también de proyecto se realizó en cada una como un solo carril, tramo comprendido entre E-0, E-1, E-2 a E-3 fig. 22 En ambos casos se consideró para la nivelación, la huella del tránsito vehicular en el carril, y por consiguiente el pavimento debe cumplir con su objetivo superficial y estructural, donde, nos permitirá conseguir resultados aceptables de su Índice de Rugosidad.

Figura 21. Gráfica de nivelación en ambos carriles



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Gráfica de nivelación en un solo carril



Fuente: Elaboración propia

Una vez llevada adelante la nivelación, se obtienen las cotas de la superficie del pavimento de los sub tramos estudiados, seguidamente estas cotas son introducidas en el programa IRI (Método mira y nivel), el cual nos dará como resultado el Índice de Regularidad Internacional (IRI) para cada sub tramo, el promedio de estos, será el IRI que representa al tramo total en estudio. Cuadro 13.

4.3.2 Resultados de la evaluación superficial del pavimento

Los resultados obtenidos de las evaluaciones detallamos a continuación:

Cuadro 11. Resultados evaluación PCI

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE PCI				
Tramo	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	Calculo PCI	Condición de pavimento
E0 - E1	100	100	48	REGULAR
E1 - E2	100	200	53	REGULAR
E2 - E3	100	300	48	REGULAR
E3 - E4	100	400	52	REGULAR
E4 - E5	100	500	51	REGULAR
E5 - E6	100	600	56	BUENA
E6 - E7	100	700	41	REGULAR
E7 - E8	100	800	49	REGULAR
E8 - E9	100	900	44	REGULAR
E9 - E10	100	1000	51	REGULAR
E-10 - E11	100	1100	50	REGULAR
E11 - E12	100	1200	47	REGULAR
PCI PROMEDIO			49,18	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Resultados evaluación PSI

DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES C1 - C2 - C3 PARA EL CALCULO DEL PSI				
Tramo	Rugosidad longitudinal	Intensidad de grietas y baches	Deformación transversal	Índice de serviciabilidad presente
	C1	C2	C3	PSI
E0 - E1	2	2	2	3,8
E1 - E2	2	2	2	3,8
E2 - E3	2	2	2	3,8
E3 - E4	2	2	2	3,8
E4 - E5	4	3	2	1,9
E5 - E6	3	2	2	3,0
E6 - E7	4	3	3	1,8
E7 - E8	4	3	3	1,8
E8 - E9	4	3	2	1,9
E9 - E10	5	4	3	0,7
E-10 - E11	4	3	2	1,9
E11 - E12	4	3	2	1,9
PSI PROMEDIO				2,46

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13. Resultados evaluación IRI

Sub tramos	Longitud (m)	DX (mm)	Código	IRI m/km
E0 - E1	100	100	1	4,47
E1 - E2	100	100	2	5,04
E2 - E3	100	100	3	4,29
E3 - E4	100	100	4	4,07
E4 - E5	100	100	5	4,27
E5 - E6	100	100	6	4,45
E6 - E7	100	100	7	4,24
E7 - E8	100	100	8	4,33
E8 - E9	100	100	9	4,49
E9 - E10	100	100	10	4,51
E-10 - E11	100	100	11	5,26
E11 - E12	100	100	12	4,71
IRI PROMEDIO				4,511

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1 Tipos de fallas existentes

En el presente estudio de evaluación de pavimento flexible del tramo en estudio: tramo Carretero Tarija – Potosí, en el sector de Santa Bárbara cruce Falda la Queñua, existen los siguientes tipos de fallas o deterioros:

Grieta Piel de cocodrilo
Grietas de Contracción
Elevaciones – Hundimiento
Corrugaciones
Depresiones
Grietas de Borde
Grietas Longitudinales y Transversales
Baches y Zanjas Reparadas
Agregado Pulidos
Huecos
Ahuellamiento
Deformación por Empuje
Hinchamiento
Disgregación y Desintegración

4.3.2.2 Resultado del método de evaluación PCI

Este método de evaluación, nos dio como resultado la obtención del Índice de Condición del Pavimento para el tramo en estudio, es:

$$PCI = 49,18$$

Este valor corresponde a un Índice de Condición del pavimento de: **REGULAR**.

4.3.2.3 Resultado del método de evaluación PSI

Este otro método de evaluación dio como resultado la obtención del Índice de Serviciabilidad Presente para el tramo en estudio, es:

$$PSI = 2,46$$

Este valor encontrado, según la escala o rango que se muestra en el Cuadro 7 (pág. 48), corresponde a: **“El Pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro”**.

4.3.2.4 Resultado del método de evaluación IRI

Este Método de evaluación nos dio como resultado la obtención del Índice de Rugosidad Internacional para el tramo en estudio, es:

$$\text{IRI} = 4,51 \text{ m/Km}$$

Este valor encontrado, según la escala que se muestra en el Cuadro 9 (pág. 50), nos muestra de que: **“El pavimento muestra tramos con primeros vestigios de deterioro”**.

La calidad de servicio que ofrece una carretera al medirse en función del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se establece que la Rugosidad Admisible para una carretera es de 40 QI, lo que equivale a un PSI de 2, y que para valores mayores o igual a este su “mantenimiento es de rutina permanente”, y para valores mayores a 40 QI su PSI equivale a valores menores al PSI admisible, por consiguiente, teniéndose **“Un mantenimiento periódico o una rehabilitación”**.

De acuerdo a los rangos de relación entre la rugosidad y PSI , el resultado del método de evaluación es de PSI igual a 2,46, nos muestra que: “El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”, y que correspondería al rango o intervalo de rugosidad de (30 a 35) QI, y (2.51 a 2.54) PSI, por lo cual podemos decir que como el resultado encontrado está próximo al intervalo superior del PSI, corresponderá efectuar a la carretera en estudio de: **“Un mantenimiento de rutina permanente”**.

El resultado obtenido utilizando el método de evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), es de PCI igual a 49,18, corresponde a un PCI de **REGULAR**, lo cual

nos muestra que estaría en los intervalos de (40 a 60) PCI, y (1.0 a 2.5) PSI (Cuadro 8) (pág. 49), teniéndose que el estado de la carretera según el Índice de Serviciabilidad Presente, relacionado con el PCI sería: **“El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”**, su rango o intervalo de rugosidad estaría entre (35 a 65) QI, pues si el PCI se quiere expresar en PSI, sólo se debe realizar una división del PCI entre 20 como el método lo establece, realizando esta operación obtenemos un PSI igual a 2,46, este valor al estar próximo al rango superior del PSI (Cuadro 8) se tendría que efectuarse: **“Un mantenimiento de rutina permanente”**.

El resultado alcanzado mediante el método de evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), nos ha dado un valor del IRI igual a 4.51 m/Km, corresponde a un IRI del pavimento: **“El pavimento tiene algunos tramo con vestigios de deterioro, corresponde a pavimentos viejos”**, si se quiere expresar el IRI en PSI recurriremos a los rangos de relación de equivalencia del Cuadro 9, veremos que el valor del IRI se encuentra en el intervalo (2.8 a 5.2)IRI, y en los rangos de rugosidad de (35 a 65)QI y (1.0 a 2.5)PSI, teniéndose que el estado de la carretera según el Índice de Serviciabilidad Presente, relacionado con el IRI sería: **“El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”**.

4.4 EVALUACION ESTRUCTURAL

4.4.1 Procedimiento de la evaluación estructural

El presente trabajo de Evaluación Estructural de los sub tramos del área de estudio del tramo Carretero Tarija – Potosí, en el sector de Santa Bárbara cruce Falda la Queñua, fue ejecutado utilizando la VIGA BENKELMAN como instrumento de evaluación, en razón de poder determinar e investigar las causas del porque el pavimento existente presentaba en determinadas progresivas y áreas en forma continua y repetida la formación de grietas tipo piel de cocodrilo como deformaciones considerables y otros deterioros.

La ejecución de este trabajo tiene como objetivo evaluar el daño y descomposición predominante del asfalto. La ejecución de este trabajo se basó en las recomendaciones C.G.R.A. (Canadian Good Road Association) utilizando el método de la WASHO y la Norma de ensayo AASTHO T-256

Figura 23. Registro de forma de medición



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento




PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

ANCHO DEL CARRIL	DISTANCIA DESDE EL BORDE DEL PAVIMENTO
2.70 m.	0.45 m.
3.00 m.	0.60 m.
3.30 m.	0.75 m.
3.60 m ó más	0.90 m.

DEFLEXION MEDIA

$D_m = \sum \text{Deflexiones} / n$
 Donde:
 D_m = Deflexión media o promedio
 n = No de las deflexiones
 \sum = Sumatoria de las deflexiones



DEFLEXION CARACTERISTICA

$D_c = D_m + t\sigma$

DEFLEXION CARACTERISTICA $D_c = D_m + t\sigma$	EXTENSION O AREA DEL PAVIMENTO EN % CON $D > D_c$
$D_c = D_m$	50 %
$D_c = D_m + \sigma$	15 %
$D_c = D_m + 1.3 \sigma$	10 %
$D_c = D_m + 1.65 \sigma$	5 %
$D_c = D_m + 2 \sigma$	2 %
$D_c = D_m + 3 \sigma$	0,1%

$D_c = D_m + 1.65 \sigma$

Por tanto el valor de 1.65, cubre un 95% de probabilidades
 Seleccionando esta Relación

4.4.2. Resultado de la evaluación estructural

Cuadro 14. Registro de valores de la deflexión característica

Sub tramos	(Km)	Parámetros de evaluación corregidos por temperatura a 20° C		
		Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)
E0 - E1	0+100	21	5	199
E1 - E2	0+200	22	8	228
E2 - E3	0+300	31	14	177
E3 - E4	0+400	47	22	123
E4 - E5	0+500	37	16	145
E5 - E6	0+600	35	18	177
E6 - E7	0+700	29	22	399
E7 - E8	0+800	22	12	319
E8 - E9	0+900	25	16	319
E9 - E10	1+000	25	20	532
E-10 - E11	1+100	24	17	399
E11 - E12	1+200	23	13	319

Fuente: Elaboración propia

4.5 CORRELACION ENTRE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL

Como se indicó bajo las hipótesis planteadas buscamos una correlación entre los indicadores de la evaluación superficial y la evaluación estructural con las siguientes correlaciones:

Indice de Condición Presente Vs. Deflexión Característica

Indice de Serviciabilidad Presente Vs. Deflexión Característica

Indice de Regularidad Internacional Vs. Deflexión Característica

Una primera correlación que analizamos, Índice de Condición Presente PCI vs la Deflexión Característica, cuyos valores y relaciones son las siguientes:

Cuadro 11. Registro de valores del PCI

RESULTADOS DE LA EVALUACION DE PCI				
Tramo	Longitud (m)	Longitud acumulada (m)	Calculo PCI	Condición de pavimento
E0 - E1	100	100	48	REGULAR
E1 - E2	100	200	53	REGULAR
E2 - E3	100	300	48	REGULAR
E3 - E4	100	400	52	REGULAR
E4 - E5	100	500	51	REGULAR
E5 - E6	100	600	56	BUENA
E6 - E7	100	700	41	REGULAR
E7 - E8	100	800	49	REGULAR
E8 - E9	100	900	44	REGULAR
E9 - E10	100	1000	51	REGULAR
E-10 - E11	100	1100	50	REGULAR
E11 - E12	100	1200	47	REGULAR
PCI PROMEDIO			49,18	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

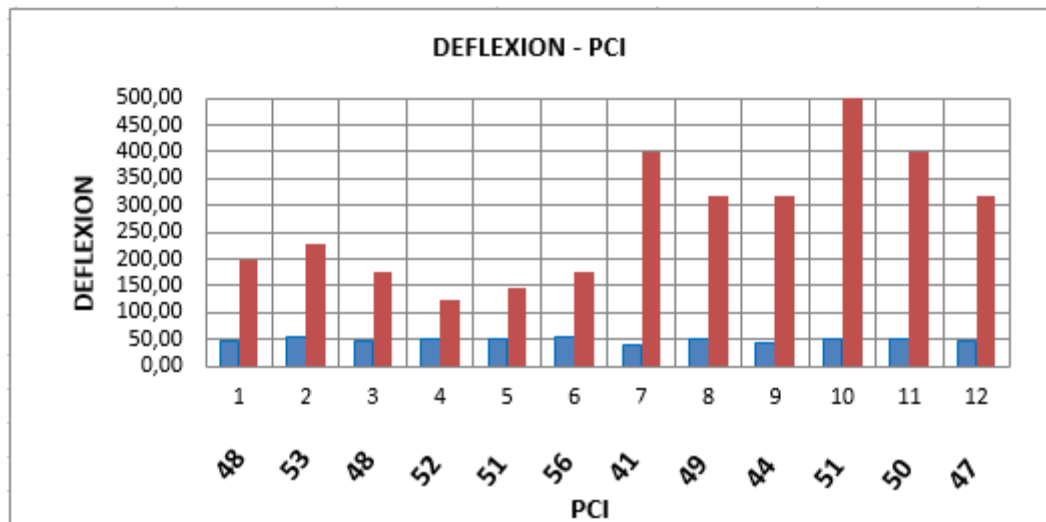
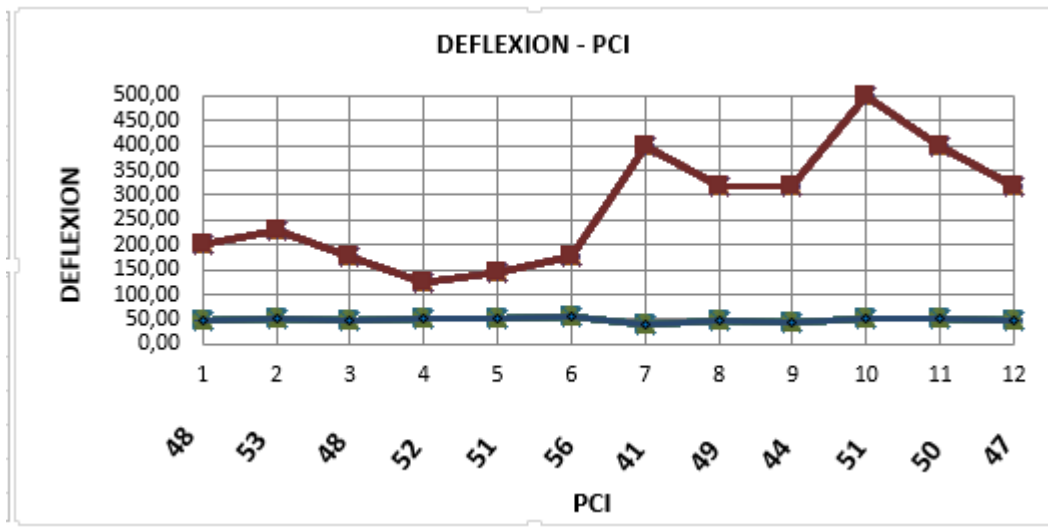
Cuadro 14. Registro de valores de la deflexión característica

Sub tramos	(Km)	Parámetros de evaluación corregidos por temperatura a 20° C		
		Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)
E0 - E1	0+100	21	5	199
E1 - E2	0+200	22	8	228
E2 - E3	0+300	31	14	177
E3 - E4	0+400	47	22	123
E4 - E5	0+500	37	16	145
E5 - E6	0+600	35	18	177
E6 - E7	0+700	29	22	399
E7 - E8	0+800	22	12	319
E8 - E9	0+900	25	16	319
E9 - E10	1+000	25	20	532
E-10 - E11	1+100	24	17	399
E11 - E12	1+200	23	13	319

Fuente: Elaboración propia

La correlación entre el PCI y la Deflexión Característica es como sigue:

Figura 24. Correlación entre PCI vs deflexión característica



Fuente: Elaboración propia

La segunda correlación que analizamos, Índice de Serviciabilidad Presente PSI vs Deflexión Característica, cuyos valores y relaciones son las siguientes:

Cuadro 12. Registro de valores del PSI

DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES C1 - C2 - C3 PARA EL CALCULO DEL PSI				
Tramo	Rugosidad longitudinal	Intensidad de grietas y baches	Deformación transversal	Índice de serviciabilidad presente
	C1	C2	C3	PSI
E0 - E1	2	2	2	3,8
E1 - E2	2	2	2	3,8
E2 - E3	2	2	2	3,8
E3 - E4	2	2	2	3,8
E4 - E5	4	3	2	1,9
E5 - E6	3	2	2	3,0
E6 - E7	4	3	3	1,8
E7 - E8	4	3	3	1,8
E8 - E9	4	3	2	1,9
E9 - E10	5	4	3	0,7
E-10 - E11	4	3	2	1,9
E11 - E12	4	3	2	1,9
PSI PROMEDIO				2,46

Fuente: Elaboración propia

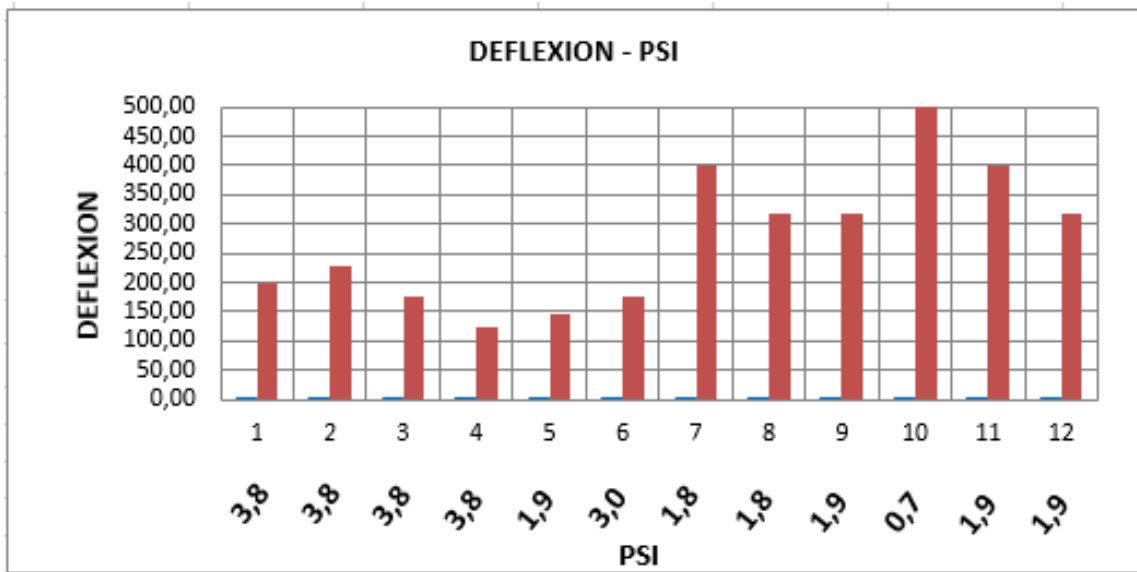
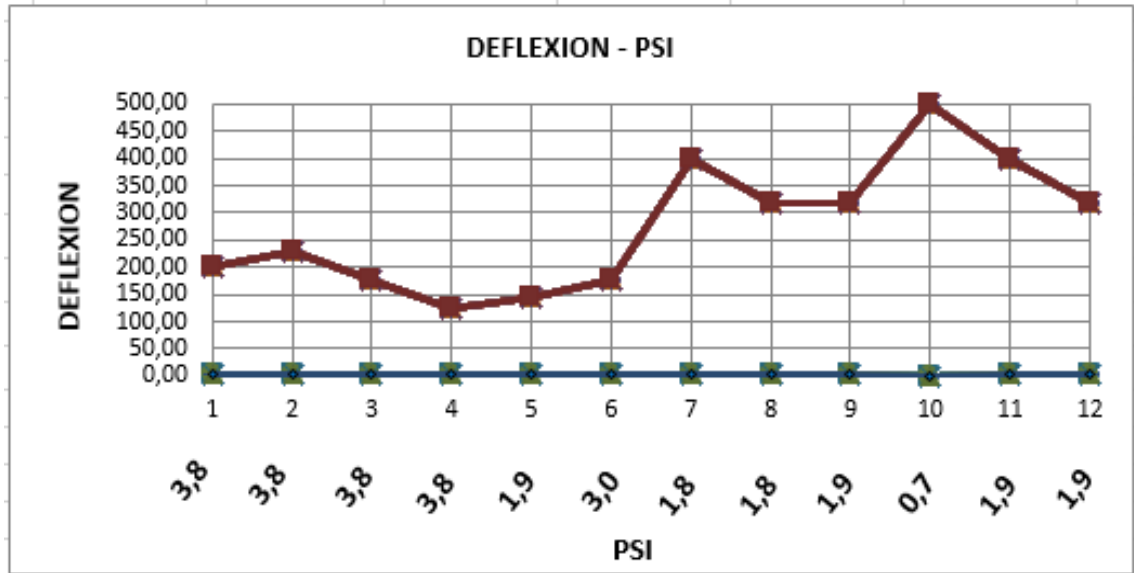
Cuadro 14. Registro de valores de la deflexión característica

Sub tramos	(Km)	Parámetros de evaluación corregidos por temperatura a 20° C		
		Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)
E0 - E1	0+100	21	5	199
E1 - E2	0+200	22	8	228
E2 - E3	0+300	31	14	177
E3 - E4	0+400	47	22	123
E4 - E5	0+500	37	16	145
E5 - E6	0+600	35	18	177
E6 - E7	0+700	29	22	399
E7 - E8	0+800	22	12	319
E8 - E9	0+900	25	16	319
E9 - E10	1+000	25	20	532
E-10 - E11	1+100	24	17	399
E11 - E12	1+200	23	13	319

Fuente: Elaboración propia

La correlación entre el PSI y la deflexión característica es como sigue:

Figura 25. Correlación entre PSI vs deflexión característica



Fuente: Elaboración propia

Una tercera correlación que analizamos, Índice de Regularidad Internacional IRI vs Deflexión Característica, cuyos valores y relaciones son las siguientes:

Cuadro 13. Registro de valores del IRI

Sub tramos	Longitud (m)	DX (mm)	Código	IRI m/km
E0 - E1	100	100	1	4,47
E1 - E2	100	100	2	5,04
E2 - E3	100	100	3	4,29
E3 - E4	100	100	4	4,07
E4 - E5	100	100	5	4,27
E5 - E6	100	100	6	4,45
E6 - E7	100	100	7	4,24
E7 - E8	100	100	8	4,33
E8 - E9	100	100	9	4,49
E9 - E10	100	100	10	4,51
E-10 - E11	100	100	11	5,26
E11 - E12	100	100	12	4,71
IRI PROMEDIO				4,511

Fuente: Elaboración propia

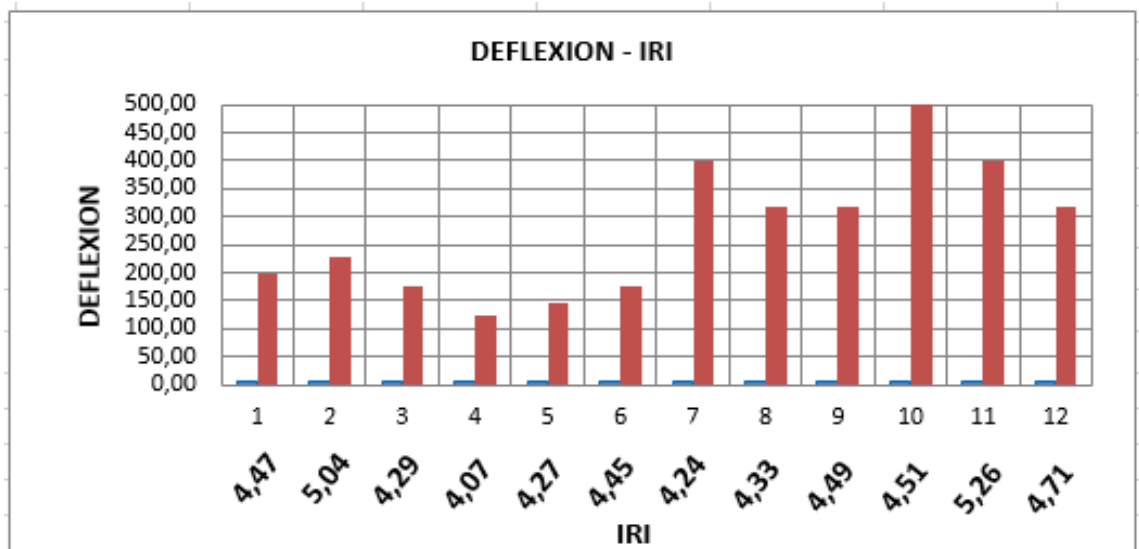
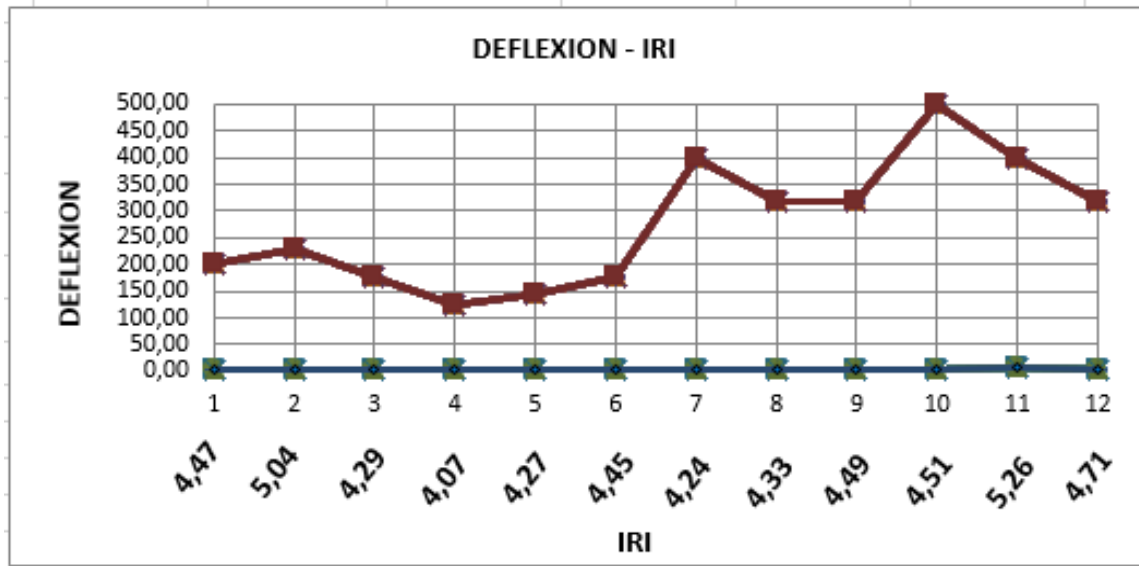
Cuadro 14. Registro de valores de la deflexión característica

Sub tramos	(Km)	Parámetros de evaluación corregidos por temperatura a 20° C		
		Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)
E0 - E1	0+100	21	5	199
E1 - E2	0+200	22	8	228
E2 - E3	0+300	31	14	177
E3 - E4	0+400	47	22	123
E4 - E5	0+500	37	16	145
E5 - E6	0+600	35	18	177
E6 - E7	0+700	29	22	399
E7 - E8	0+800	22	12	319
E8 - E9	0+900	25	16	319
E9 - E10	1+000	25	20	532
E-10 - E11	1+100	24	17	399
E11 - E12	1+200	23	13	319

Fuente: Elaboración propia

La correlación entre el IRI y la deflexión característica es como sigue:

Figura 26. Correlación entre IRI vs deflexión característica



Fuente: Elaboración propia

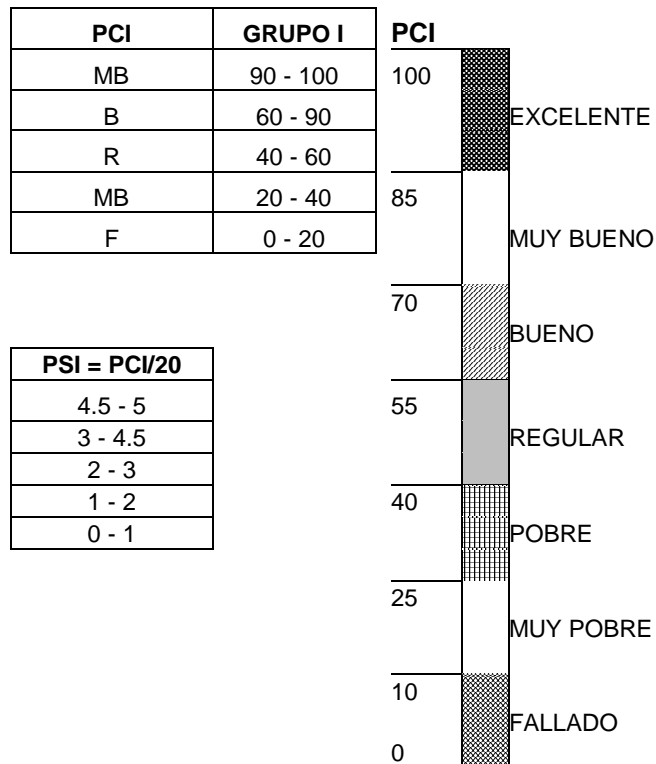
CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Mediante el método de evaluación 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 nos dio un PCI igual a 49,18, correspondiente a un Índice de Condición de Pavimento de REGULAR, y dicho valor expresado en PSI tenemos un valor de 2.46, lo cual nos propone efectuar en el tramo un: **“Mantenimiento preventivo o de rutina permanente”**.

NIVELES DE CLASIFICACION DEL PAVIMENTO SEGÚN EL PCI



Al utilizar el método de evaluación PSI nos dio un valor del PSI igual a 2,460, según su escala, corresponde a que el tramo evaluado es que: “El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”, lo cual nos confirma que debe efectuarse un: **“Mantenimiento preventivo o de rutina permanente”** en el tramo.

RANGOS DEL PSI

PSI	Descripción
3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80km/h.
0.4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 mt., 15% de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Al emplear el método del IRI, haciendo uso del programa IRI (método Mira y Nivel), se obtuvo un valor representativo del IRI de todo el tramo en estudio, la nivelación se realiza de 1200,00 m. de longitud, con un (Dx) de 100 mm., cada sub tramo de 100 m. de longitud, el IRI obtenido es igual a 4,51 m/Km, y según su escala se puede decir que: “El pavimento tiene defectos superficiales, y corresponde a pavimentos viejos”.

RANGOS DE RELACION IRI, QI, PSI

IRI m/Km	QI Unidades/Km	PSI	Descripción
0 – 1,6	0 – 20	3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
1,6 – 2,8	20 – 35	2,5 – 3,0	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni corrugaciones.
2,8 – 5,2	35 – 65	1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m, 2 % de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
5,2 – 8,8	65 – 110	0,4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15-20 baches cada 50 mt., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Como la calidad de servicio que ofrece una carretera se mide en función del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se ha expresado los resultados de la evaluación en PSI, recordando que la rugosidad admisible para una carretera es 40 QI, que equivale a un PSI de 2, o sea para valores mayores a 2 el mantenimiento es de rutina permanente, en cambio para valores menores a 2 puede realizarse un mantenimiento periódico o una

rehabilitación. En el tramo evaluado tenemos un valor mayor a dos, correspondiendo a un **“Mantenimiento preventivo o de rutina permanente”**.

Como se puede observar, que los tres métodos empleados de evaluación superficial de pavimentos flexibles, nos determinan el estado actual de la superficie del pavimento como REGULAR, y que presenta varios tipos de deterioro, deberá efectuarse un **“Mantenimiento preventivo o de rutina permanente”** del tramo en estudio.

El tramo en estudio data del año 1995, desde que fue colocada como tratamiento superficial triple, y se procedió con el recapado del tramo en fecha 2004, se puede decir que hasta la fecha, las características superficiales del pavimento se han deteriorado, ya que presentan varios tipos de fallas en la mayoría del tramo, o sea que dentro de un corto tiempo este tipo de pavimentos, que tienen como base un empedrado no están cumpliendo con los propósitos, y características de un pavimento flexible común cuya estructura está formada por una capa de una carpeta asfáltica, base, y sub base.

Resumen

Método de evaluación		PCI	IRI (m/Km)	PSI	Tipo de mantenimiento
PCI	(INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO)	49,18		2,46	"Un mantenimiento preventivo o de rutina permanente"
PSI	(INDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE)			2,46	"Un mantenimiento preventivo o de rutina permanente"
IRI	(INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)		4,51		"Un mantenimiento preventivo o de rutina permanente"

Fuente: Elaboración propia

La metodología de evaluación superficial de pavimentos flexibles que se ha empleado, es aplicable a tramos de pavimentos flexibles que estén compuestas por capa sub base,

base y carpeta asfáltica, o sea un pavimento flexible con base estructural, como es el de nuestro tramo en estudio.

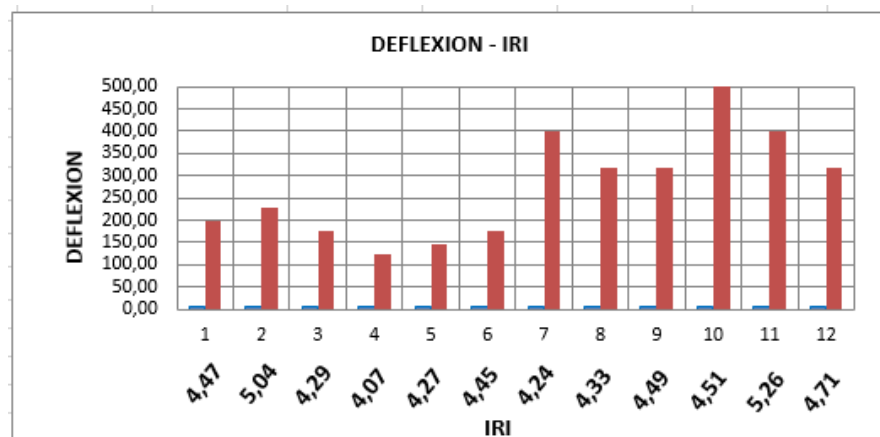
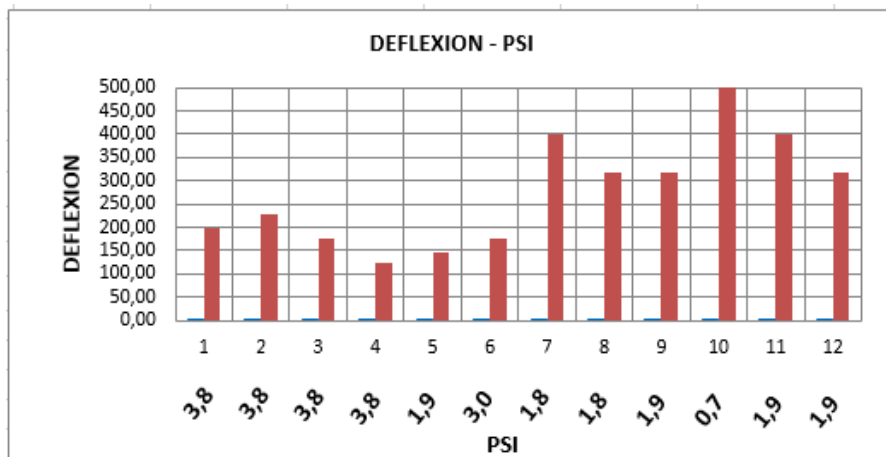
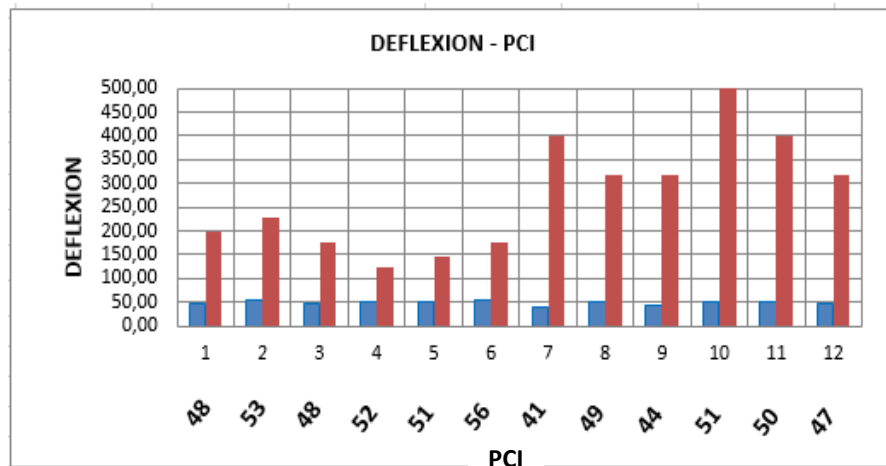
En cuanto a la evaluación estructural se tienen los siguientes resultados que indican que la deflexión es variable en el tramo lo que podemos concluir que en tres puntos existe mayor deterioro estructural mientras que 75 % restante tendría una condición homogénea estructural de deflexiones.

Valores deflexión característica

Sub tramos	(Km)	Parámetros de evaluación corregidos por temperatura a 20° C		
		Do (0,01 mm)	D50 (0,01 mm)	Rc (m)
E0 - E1	0+100	21	5	199
E1 - E2	0+200	22	8	228
E2 - E3	0+300	31	14	177
E3 - E4	0+400	47	22	123
E4 - E5	0+500	37	16	145
E5 - E6	0+600	35	18	177
E6 - E7	0+700	29	22	399
E7 - E8	0+800	22	12	319
E8 - E9	0+900	25	16	319
E9 - E10	1+000	25	20	532
E-10 - E11	1+100	24	17	399
E11 - E12	1+200	23	13	319

Fuente: Elaboración propia

En lo que se refiere a las correlaciones concluimos que las correlaciones entre los indicadores de condición superficial y condición estructural son los siguientes:



Por lo que muestran los gráficos de correlaciones concluimos que en el caso del PCI como indicador de condición superficial es el que tendría una correlación directa es decir, que sin tomar en cuenta los tres puntos que se disparan en cuanto a la deflexión, el resto de los puntos tiene una correspondencia directa aceptable, por lo que podríamos concluir diciendo que la hipótesis, se cumple cuando muestra el pavimento mayor deterioro marcado por el PCI las condiciones estructurales muestran también el mismo deterioro.

En cuanto a la correlación con el PSI el gráfico nos muestra que no existe una total correlación directa, es decir, no se cumple a cabalidad la hipótesis es decir que la gráfica nos muestra que sectores que tienen el mismo PSI contrariamente tienen un valor diferente de condición estructural, por lo tanto no podemos asegurar que cuando el indicador de PSI muestra un mayor deterioro superficial será correspondiente con un deterioro estructural.

En cuanto al IRI, aunque los valores no son tan diferentes a lo que ocurre con el PSI es decir no se ve una correspondencia directa a cabalidad en todos los puntos de estudio más por el contrario existe sectores donde no hay una correlación de acuerdo a la hipótesis planteada.

Finalmente conviene concluir que si bien en el estudio no concluimos tan satisfactoriamente consolidando nuestra hipótesis probablemente nuestra muestra no sea lo suficiente representativa, como para llegar a conclusiones definitivas, lo que nos ha demostrado nuestro estudio es que, si hay una correlación en el pavimento con la ocurrencia de sus aspectos superficiales y estructurales de la misma, pero que no podemos afirmar la hipótesis.

5.2 RECOMENDACIONES

La metodología empleada en cada uno de los métodos de evaluación superficial de pavimentos flexibles, deberá ser seguida, tomándose en cuenta sus propias condiciones particulares que requiera cada método, pues de esta forma se logrará la obtención de resultados favorables.

De los tres métodos de evaluación que se utilizaron, se recomienda el empleo del método del PCI (Índice de Condición del Pavimento), debido a que, para su utilización, requiere de aspectos que son muy importantes como ser: la cuantificación de cada tipo de falla, asociada con su Nivel de Severidad o daño, estos datos servirán para poder efectuar adecuadamente un mantenimiento adecuado de dichas fallas superficiales.

Conocidos los resultados de la evaluación del tramo en estudio, con las características del pavimento con el que está conformado, se sugiere que no es conveniente realizar este tipo de pavimento, pues las características superficiales del pavimento se deterioran en un tiempo breve una vez puesta en servicio, esto se atribuye principalmente a que su estructura es insuficiente para cumplir con los propósitos y características de un pavimento flexible común.

Si bien es cierto que los pavimentos flexibles sobre base de empedrado, son de un menor costo que los pavimentos flexibles comunes, los costos de mantenimiento con seguridad serán mayores debido al rápido deterioro de su superficie, y aún realizado este mantenimiento, el aspecto de la superficie del pavimento es desagradable, y con el paso del tiempo pueda ser que se requiera una reconstrucción del tramo.