

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCION

En estos últimos años y a un ritmo cada vez más rápido los gobiernos de los países de América están en su construcción de grandes vías ya sean urbanas como rurales, y ahora ya es una tarea principal de cada unos de los estados de América la construcción de un sistema de carreteras para unir países vecinos, ciudades departamentos y el campo.

En la actualidad se ha vuelto una tarea muy importante la evaluación y conservaciones de los caminos de acuerdo a la necesidad de los usuarios lo cual a veces es conveniente realizar una conservación o tratamiento que construir una nueva vía, ya que en muchos países es evidente que las vías urbanas y rurales significa un alto al desarrollo económico y social por lo que los caminos son vías de comunicación importantes y que si no se los conserva con el tiempo llegan los deterioros los cual significa una pérdida económica muy grande y es casi irreparable.

En Bolivia una de las problemáticas en los pavimentos es la importancia que se les debe dar a las carreteras para cada región del país ya que por la topografía, el clima y otros factores, los pavimentos se deterioran y no cumplen su vida útil, por lo que se debe realizar la evaluación superficial de los pavimentos, para calificar el estado de los pavimentos determinando de esa forma si está en buenas o malas condiciones y plantear ideas sobre las posibles soluciones para mejorar el estado de las carreteras.

Las fallas en los pavimentos se originan principalmente por la falta de mantenimiento adecuado y oportuno, así como también se puede decir que los métodos corrientes del diseño de pavimentos se encuentran dentro del campo empírico, pese a los recientes avances teóricos efectuados para comprender mejor el comportamiento de dichos pavimentos

1.2. ANTECEDENTES

La evaluación de superficial de pavimentos es una metodología para saber es estado actual de un pavimento y nos proporciona resultados confiables al momento de evaluar un pavimento, es este estudio aplicaremos tres métodos de evaluación el PCI (Índice de Condición del Pavimento), PSI (índice de Serviciabilidad Presente) y el IRI (Índice de Rugosidad Internacional), también conoceremos las características de uno y su forma de medición.

Con los resultados de la evaluación se llegara a conocer el tipo de mantenimiento que requiere la vía, con ello se dará soluciones a cada tipo de falla y así se pretende llegar que la vía cuente con mayor seguridad y confort al usuario.

Con este estudio se podrá identificar cada tipo de falla y poderlas clasificar según su severidad que es muy importante al momento de evaluar porque de ello depende el tipo de reparación y el grado con el que se debe efectuar.

Con este estudio nos permitirá saber el tiempo de ejecución del mantenimiento y el costo que se requiere para el mantenimiento.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Ante la sentida necesidad de los barrios aledaños a la zona de estudio los cuales son los barrios Carlos Wagner, Luis Pizarro, Los Álamos, Panamericano, Los Mecánicos, 15 de Septiembre, Las Barrancas, Libertad y muchos barrios más que tienen ya sea un contacto no directo pero son entradas a los mismos además es una avenida que nos vincula al norte del país por donde circula tránsito pesado como liviano, por esa razón principal se pretende averiguar el estado de la Avenida Panamericana desde el Puente de Tomatitas hasta el cruce con la Calle Froilán Tejerina, vía que actualmente se encuentra en pleno uso, pero con algunas dificultades de transitabilidad por las fisuras y fallas.

Se ve por conveniente realizar una evaluación superficial del pavimento, ya que contando con el estudio de esta manera se podrá hacer mejoras para el tránsito vehicular.

El propósito fundamental es de realizar esta evaluación superficial porque encontramos patologías con defectos y deformaciones a lo largo de la Avenida Panamericana en los tramos mencionados anteriormente.

La importancia de la evaluación superficial de pavimentos asfálticos en la Avenida Panamericana surge de una necesidad a ser satisfecha lo más pronto posible ya que un pavimento de una vía al igual que cualquier estructura u obra ingenieril tiene una vida útil, además de que necesita de conservación y mantenimiento determinando de ese modo si el pavimento podría ser rehabilitado o en su defecto a ser remplazado en su totalidad para seguir brindando eficazmente sus servicios previniendo su conservación y continuidad.

Con este trabajo se propone sintetizar los conocimientos actuales relacionados con el tema de evaluación de los pavimentos flexibles desde el punto de vista de sus condiciones superficiales, ya que la misma evaluación superficial de la Avenida Panamericana debe orientar al profesional proyectista en la búsqueda de soluciones a los problemas prácticos fundamentales planteados en este campo de la ingeniería vial.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.-

- Realizar una Evaluación Superficial de Pavimento Flexible en la Avenida Panamericana desde el puente de Tomatitas hasta el cruce con la Calle Froilán Tejerina de la ciudad de Tarija, para brindar soluciones factibles, mediante el mantenimiento pertinente, resultante del análisis efectuado y permitiendo que el pavimento flexible cumpla con su vida útil bajos los parámetros de seguridad y confort.

1.4.2 OBJETIVOS ESPÉCIFICOS.-

- ✓ Realizar un estudio del pavimento flexible mediante una evaluación superficial.
- ✓ Analizar 3 metodologías de evaluación superficial de pavimentos (PCI, PSI y el IRI).

- ✓ Determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI).
- ✓ Determinar el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).
- ✓ Determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).
- ✓ Cuantificar las fallas y deterioros que tienen los pavimentos flexibles existentes en la Avenida en su parte superficial bajo ciertas metodologías planteadas (PCI).
- ✓ Determinar el estado actual del pavimento mediante la utilización de 3 métodos de evaluación superficial.
- ✓ Dar soluciones factibles para cada tipo de fallas que se presenten a dicho tramo estudiado.
- ✓ Evaluar el costo necesario y el tiempo de ejecución que requiere para la reparación de todas las fallas encontradas en la evaluación superficial que presenta el tramo estudiado.

1.5. ALCANCE

El estudio de evaluación superficial se realizará en la Avenida Panamericana desde el Puente de Tomatitas hasta el cruce con la Calle Froilán Tejerina.

Lo que se quiere con el estudio es orientar como se puede realizar una evaluación superficial, ya que existen diferentes tipos y metodologías para un estudio de evaluación superficial, todos con un solo fin el de “reflejar el estado del pavimento”. La metodología empleada para el desarrollo del tema se la describirá en los capítulos posteriores.

Los deterioros superficiales caracterizados por fallas de todo tipo provocan incomodidad al usuario, presentan riesgos para la inseguridad. Este estado de las vías provoca grandes pérdidas de tiempo y altos costos de operación a los usuarios.

Es necesario identificar y clasificar las fallas o deterioros para poder plantear o recomendar las alternativas técnicas de reparación para las mismas, que se presenten en el estudio.

Primeramente se realizara un reconocimiento de las calles y avenidas de estudio, buscar información sobre la estructura del pavimento, la capa de rodadura, también averiguar vida

útil y los mantenimientos que se hicieron a la vía, tratar de obtener toda la información necesaria si es posible.

Se tomara una inspección visual del tramo de la avenida Panamericana se realizara un estudio para reconocer los desperfectos que cuenta dicha avenida para conocer el estado actual con la que se encuentre, y saber un poco de la problemática que causa la misma.

Según los resultados que se obtengan se podrán saber el estado y si es necesario hacer un mantenimiento de la misma y hacer las mejoras si así lo dispone dicha avenida.

En nuestro proyecto no contempla la evaluación estructural de la avenida solo una evaluación superficial y recomendaciones después del estudio de la misma, a su vez los costos que llevaría a hacer la reparación de la carretera.

El alcance del estudio pretende mostrar la necesidad de la evaluación superficial de pavimentos flexibles, por las fallas y deterioros visualizados en la Avenida.

CAPÍTULO II

2.1 Pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

2.2 Características que debe reunir un pavimento

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos.

- ✓ Ser resistente a la acción de cargas impuestas por el tránsito.
- ✓ Ser resistente ante los agentes de interperismo.
- ✓ Presentar una textura superficial adaptada a velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial.
- ✓ Debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ✓ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de deformaciones y la velocidad de circulación.
- ✓ Debe ser durable.
- ✓ Presentar condiciones adecuadas al respecto al drenaje.
- ✓ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afecta al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- ✓ De ser económico.
- ✓ Debe poseer el color adecuado para evitar los reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.3 Clasificación de los pavimentos

En nuestro los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimento articulado y pavimento semi-rígido.

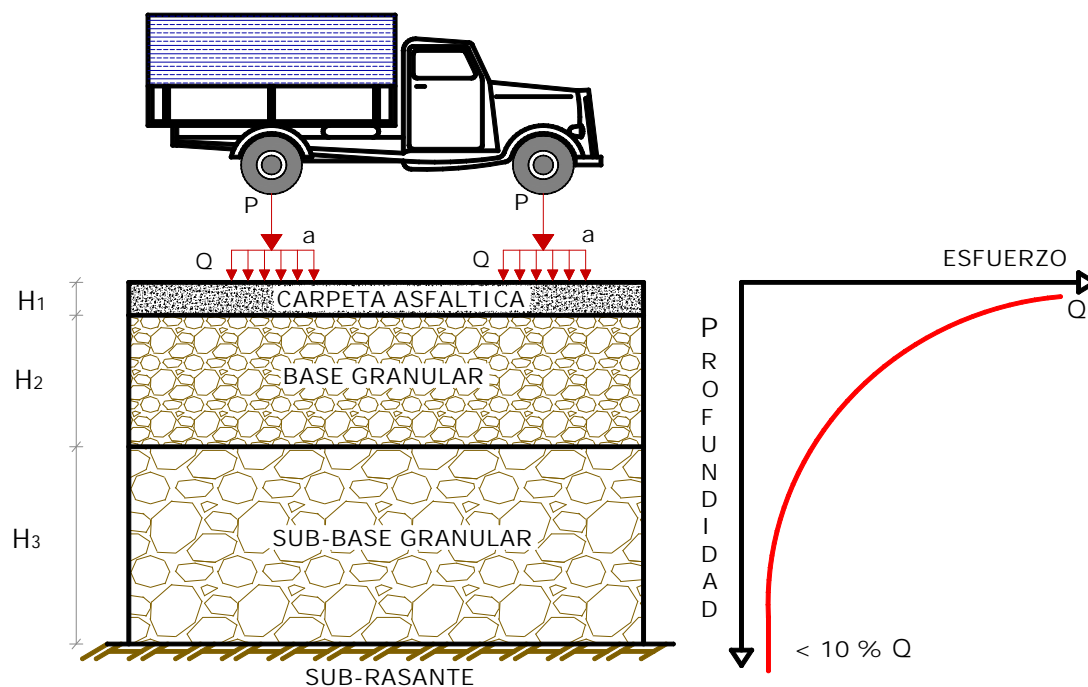
2.3.1 Pavimentos flexibles

El pavimento flexible se define como una estructura constituida de varias capas de material seleccionado y una superficie de rodamiento para el tránsito de automotores.

Esta estructura puede ser diseñada para soportar cualquier tipo, cantidad y carga de vehículos, inclusive, se puede prevenir para un tiempo y cargas futuras.

En este tipo de pavimentos están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

Figura 2.1 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles



Fuente: Elaboración propia

El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas de tránsito.

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentra las siguientes.

- ↪ **Resistencia estructural.**
- ↪ **Deformabilidad.**
- ↪ **Durabilidad.**
- ↪ **Costo.**
- ↪ **Requerimiento de conservación**
- ↪ **Comodidad**

Resistencia estructural.-

Debe soportar las cargas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural.

Además de los esfuerzos cortantes también se tienen por la aceleración, drenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura

Durabilidad.-

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar al camino, depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

Requerimiento de conservación.-

Los factores clínicos influyen de gran manera en la vida de un pavimento.

Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe de tomar en cuenta el comportamiento futuro de las características, deformaciones y

derrumbes. La degradación estructural de los materiales por la carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado.

La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

Comodidad.-

Para grandes autopistas y caminos, los métodos diseños se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

El pavimento de asfalto o pavimento flexible es una estructura formada por varias capas:

- **Capa Sub-base**
- **Capa Base**
- **Carpeta Asfáltica**

Con el fin de satisfacer los siguientes propósitos:

1.- Resistir y Distribuir las cargas producida por el tránsito.

Un pavimento debe estar constituido de tal forma que no se produzcan deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante al aplicar una cierta carga sobre ella, ni se produzcan grietas internas en la estructura.

Por tanto debe tener un determinado espesor para soportar y distribuir las cargas de tránsito.

2.- Tener impermeabilidad.

El pavimento debe tener la impermeabilidad suficiente, para evitar que el agua se infiltre en su interior, con la consiguiente pérdida de la capacidad de soporte.

3.- Resistencia.

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste y desprendimiento de las partículas del pavimento provocando la meteorización alteración de los materiales que lo forman.

De ahí que los pavimentos deben resistir estos efectos.

4.- Presentar cierta flexibilidad.

En algunas ocasiones la sub-base o base sufre pequeños asentamientos por el peso del tránsito, de ahí que es conveniente que el pavimento deba tener cierta flexibilidad, a fin de adaptarse a esas fallas del terreno sin necesidad de reparaciones costosas.

La estructura de un pavimento flexible puede proyectarse para que resista, sin romperse o deformarse en forma perjudicial, cualquier densidad de tránsito y cualquier carga por eje que se le aplique, existiendo una gran variedad de combinaciones que permiten un proyecto económico para tales condiciones.

Se ha indicado ya que los pavimentos de asfalto son llamados comúnmente pavimentos flexibles ya que tienen poca resistencia a la flexión tal como se las construye.

Cuando se aplican cargas en la superficie del pavimento se desarrollan dos resistencias fundamentales, una de corte perimetral función de la longitud del perímetro del área de apoyo de la carga, y otra resistencia interna a compresión función del área afectada por la carga.

Cuando se aplica la carga, de inmediato se desarrolla resistencias al corte en el perímetro.

Como puede observarse, la capacidad de un pavimento flexible para transmitir cargas en forma más eficiente por medio de elevados valores de resistencia al corte, dependerá de la densidad del pavimento y de la fricción interna entre las partículas del mismo.

Por lo tanto una compactación cuidadosa de la estructura, una granulometría apropiada de los materiales y un buen drenaje.

Son factores esenciales en un pavimento de asfalto bien proyectado y bien construido.

2.3.1.1 Partes de un pavimento flexible

a) Capa Subrasante.-

Su finalidad es de resistir las cargas que el tránsito transmite al pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo del terraplén, evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento.

Esta que se encuentra después de realizar el movimiento de tierras, es la que sirve para fundar el pavimento toda su estructura y debe cumplir ciertas condiciones:

CBR > 3% Caso contrario mejorar el suelo.

b) Capa Sub-base.

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

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

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

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

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

c) Capa Base.

Es la capa que sirve para drenar y evitar cambios de volumen y debe cumplir lo siguiente:

La sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es:

- Reducir el costo de pavimento disminuyendo es espesor de la base.
- Proteger a la base asilándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.

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

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

La capa base es la capa de material que se construye sobre la sub-base los materiales con los que se construye deben ser de mejor calidad que los de la sub-base su función de la capa base es:

- Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.
- Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub-base.
- Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales

Como es la capa más importante del pavimento, que soporta la carga estructural, por tanto debe cumplir todas las especificaciones:

- ✓ $LL < 15\%$
- ✓ $IP < 6\%$
- ✓ $CBR > 50\%$
- ✓ Desgaste de los ángulos $< 40\%$
- ✓ Expansión máxima = 2%

- ✓ Contracción máxima = 3%
- ✓ Suelo Tipo; A-1 y A-2

d) Capa de Rodadura o Carpeta Asfáltica.-

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. Los materiales pétreos para ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del interperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes:

- Proporciona una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos

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

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

Resistencia: Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento. En síntesis podemos decir que tiene como objeto impermeabilizar la capa base y darle una superficie lisa. Es de un material bituminosos (Asfalto o concreto hidráulico).

2.3.1.2 Cemento Asfáltico.-

El asfalto, llamado cemento asfalto, es el último residuo de la destilación del petróleo. A temperaturas normales, es sólido y posee un color café oscuro.

Para poder mezclarlo con los materiales pétreos este debe tener una temperatura de 140°C.

2.3.1.3 Relajados asfálticos.-

Los relajados asfálticos se utilizan para fluidificar al cemento asfáltico y poderlo trabajar a menores temperaturas. Para fabricar los rebajados asfálticos, se diluye el concreto asfáltico en gasolina, tracto Lina, diesel o aceites ligeros.

Los que se diluyen en tracto Lina son de fraguado lento.

Los que se diluyen en diesel o en aceites ligeros son de fraguado lento.

Los que se diluyen en gasolina son de fraguado rápido.

Los tres fraguados FR, FM y FL se pueden utilizar con diferentes proporciones de cementos asfálticos y de solventes.

2.3.1.4 Emulsiones Asfálticas.-

Las emulsiones asfálticas tienen grandes ventajas ya que son fáciles de emplear. La finalidad de las emulsiones es trabajar a temperaturas ambiente con asfaltos que a esta temperatura no es manejable debido a que es semi – sólido.

Las emulsiones asfálticas son líquidas de color chocolate casi tan fluidas como el agua y de la cual contienen entre 40 y 50 %.

2.3.1.5 Carpetas asfálticas de uno, dos y tres riegos.-

Sobre la impregnada, se pone una serie de capas sucesivas de productos asfálticos y pétreos.

2.3.1.6 El procedimiento para construirlas:

Sobre la impregnada seda un riego de producto asfáltico que se cubre con un riego de material pétreo más grueso que se vaya utilizar. Se pasa con una compactadora de rodillo lizo de 10 ton. se le da un acomodo cubriendo tres veces la superficie.

Por lo regular, después de hacer este procedimiento, se tiene que esperar una semana para que fragüe el producto asfáltico. Una vez que ha transcurrido la semana se necesita barrer para retirar el material que no esté adherido a la estructura.

Se puede crear carpetas de un riego en donde solo se lleva a cabo este procedimiento una vez se da un riego de producto asfáltico a razón de 0.6 a 1.0 l/m², e inmediatamente se cubre con material pétreo numero 3 a razón de 8 a 11 l/m². Esta carpeta es aconsejable para un transitó inferior a los 200 vehículos por día.

Existen también las carpetas de dos riegos, donde el procedimiento se tiene que llevar a cabo dos veces. Para la primera capa se da un riego a razón de 0.6 a 1.0 l/m², el material pétreo es numero 2 a razón de 8 a 12 l/m². Para construir la segunda capa se debe esperar 2 a 3 días. El producto asfáltico se riega a razón de 0.8 a 1.1 L/m², el material pétreo es número 3 a razón de 6 a 8 L/m². Este tipo de carpeta es aconsejable para un tránsito inferior a los 600 vehículos por día.

En las carpetas de tres riegos, el procedimiento se ejecuta tres veces, la primera capa se riega producto asfáltico a razón de 0 de 0.6 a 1.0 l/m², el material pétreo es número

1 a razón de 20 a 25 l/m². Dos o tres días se coloca la segunda capa con producto asfáltico se riega a razón de 0.8 a 1.2 L/m², para la última capa se utiliza producto asfáltico a 0.7 a 2.0 L/m² el material pétreo número 3 a razón de 6 a 8 L/m². Este tipo de carpeta es aconsejable para un tránsito inferior a los 1000 vehículos por día.

2.3.1.7 Carpetas asfálticas de mezclas en el lugar o en frío.-

Para poder construir este tipo de mezclas se hace lo siguiente:

- Se hace una exploración de la zona para elegir los bancos.
- Extraer el material de los bancos

- Hacer tratamientos previos como cribado y el triturado.
- Transportar el material a la obra y con moto conformadoras acamellanario y calcular la cantidad de producto asfáltico que se requiere.
- Abrir el material pétreo con la moto conformadora y regar asfalto con la petrolizadora, esto se debe hacer unas veces que sea necesario hasta tener incorporado todo el asfalto. Luego la moto conformadora mezclará el material pétreo y el asfalto poniéndolos a un lado de la corona hasta que se encuentren homogenizados.
- Sobre la base impregnada y barrida, se da un riego de liga con rebajado asfáltico y de inmediato se extiende la mezcla.
- Compactar con rodillo liso o neumático de 8 a 15 tm hasta alcanzar 95 % de P.V. S.M.

2.3.1.8 Ensayos de laboratorio que se hacen a los asfaltos

Para la utilización de asfaltos en pavimentos flexibles estos deben estar controlados en sus característica a través de ensayos normalizados tanto por la ASTM como por la AASTHO, en nuestro país adoptamos como nuestros al igual que otros países tienen sus propias normas pero que generalmente toman como base la AASTHO y ASTM, los ensayos más importantes que se realizan a los asfaltos son los siguientes:

- 1. Ensayo de densidad.**
- 2. Ensayo de destilación.**
- 3. Ensayos de viscosidad.**
- 4. Ensayo de penetración.**
- 5. Ensayo de punto de fusión.**
- 6. Ensayo de flotación.**
- 7. Ensayo de disolución en tetra cloruro de carbono.**
- 8. Ensayo de ductilidad.**
- 9. Ensayo de punto de encendido.**

1. Ensayo de densidad del asfalto:

Objetivo: Es la determinación del valor de densidad para que sirva en las transformaciones de peso a volumen del material asfáltico.

Procedimiento: Para la realización del ensayo de densidad se toman muestras del cemento asfáltico las cuales son calentadas previamente hasta que tenga una temperatura levemente mayor a 15°C, la cantidad de cemento asfáltico es de 150 gr. por muestra. Se debe tener también previamente calentada agua a temperatura de 15°.

Se procede al pesado utilizando un matraz de 100 cc. Del agua hasta el punto de aforamiento a una temperatura de 15°.

De la misma manera se procede hacer el pesado del matraz mas asfalto hasta la misma marca de aforo teniéndose ambos pesos y con el conocimiento previo del peso del matraz vacío se procede al cálculo de la densidad del asfalto.

Para obtener mejores resultados se recomienda realizar 3 repeticiones del ensayo y se adopta el valor promedio.

2. Ensayo de destilación:

Objetivo: Es determinar los porcentajes de pérdida de aceites volátiles de un asfalto rebajado en un proceso de calentamiento. Como es normas de que el asfalto sea útil a temperaturas altas tanto en elaboración como en el colocado en pavimentos flexibles dentro de ese proceso a temperaturas diferentes irá perdiendo diferentes cantidades de aceite fluidificante por lo que este ensayo nos puede mostrar en forma porcentual las pérdidas a diferentes temperaturas.

Equipo: Es un equipo común de destilación que esté compuesto por un matraz de 500 a 1000 cc. de capacidad con tapa de goma, un destilador más el condensador ambos de vidrio que permitan el proceso de condensación de los aceites volátiles, un recipiente volumétrico graduado para recoger los gases condensados, una fuente de calor que vaya elevando la temperatura de la muestra hasta alcanzar los 360°C

Procedimiento: Se coloca una muestra de asfalto rebajado, calentado a 25°C dentro del matraz, se cierra el matraz se introduce el termómetro en un orificio especial de la tapa hasta que el bulbo esté a unos 7 mm. de la base. SE procede a calentar la muestra, se realiza las lecturas en el frasco volumétrico de material condensado a 190°C, 225°C, 260°C, 315°C y 360 C° cuando ha alcanzado la temperatura de 360°C se desconecta el equipo de destilación y se mide el total condensado en el frasco volumétrico.

3. Ensayo de viscosidad:

Objetivo: Determinar el grado de fluidez que tiene el material siendo este un valor importante en la producción de mezclas asfálticas, ya que este más denso puede ser más perjudicial a la adherencia con el agregado y por el contrario más fluido puede ser más beneficiosa a la mezcla pero sin hacerse ligante porque al hacerse ligante no le da el tamaño suficiente para que recubra toda la superficie del agregado por esto es importante determinar la fluidez del asfalto rebajado.

Equipo: Consta fundamentalmente de un viscosímetro, habiendo variedad de éstos de los cuales en nuestro medio se adoptó el viscosímetro Say bult con orificio furel que consta de un recipiente provisto de dispositivos de calentamiento que permite calentar el aceite que se introduce en el mismo, se dispone de un tubo especial donde se ingresa el asfalto rebajado también a una temperatura determinada, y se consta de un recipiente de 60 cc. de capacidad para la realización del ensayo además de equipo adicional se debe tener un cronómetro.

Procedimiento: Se procede a calentar el aceite del viscosímetro a una temperatura mayor en 1°C a la temperatura de ensayo, por separado se calienta el cemento asfáltico rebajado a una temperatura mayor en 0.5°C de la temperatura de ensayo. Cuando ambos han adquirido la temperatura respectiva se deposita el asfalto rebajado en el recipiente del viscosímetro, se deja reposar por 15 min. al cabo de los cuales habrán adquirido el aceite del viscosímetro y el aceite rebajado la temperatura de ensayo en ese momento se procede a destapar el orificio inferior del viscosímetro y dejar que fluya y llenen el recipiente de 60 CC. Al cabo de los cuales se determina el tiempo.

Se recomienda repetir el ensayo por lo menos 3 veces y determinar el valor medio.

Cálculos: La viscosidad está representada directamente por el factor estabilizante en segundos para llenar el recipiente de 60 cc., este valor habrá que comparar con las especificaciones que se tienen al respecto.

4. Ensayo de penetración:

Objetivo: El ensayo de penetración de asfaltos tiene como objetivo la determinación del grado de dureza que tiene un residuo de asfalto o cemento puro.

Este ensayo nos determina el grado de penetración en décimas de milímetro siendo ésta una especificación fundamental de los proveedores de cemento asfáltico, su importancia es en que no todos los asfaltos tienen la misma susceptibilidad térmica de que cada una ellas es utilizada en diferentes proyectos, no es lo mismo que se trabaje con asfaltos en lugares en que la temperatura es de 30°C comparado con otros lugares que tienen temperaturas de 10 a 15°C.

En las primeras se requerirá de un asfalto rígido que no se deforma por la excesiva temperatura y en la segunda se requerirá de asfalto menos rígido para evitar su fisuramiento por ello es importante la determinación del grado de penetración del asfalto.

Equipo: Consta de una prensa de penetración, una cápsula, termómetros, fuentes de precalentamiento y espátulas. La prensa de penetración, a su vez está conformada por un soporte de la aguja de penetración, un manómetro de penetración y una base de apoyo.

Procedimiento: Para realizar este ensayo se preparan muestras de residuo asfáltico o cemento asfáltico en una cantidad suficiente para llenar de una a tres cápsulas de ensayo, en el caso de cemento asfáltico previamente se debe calentar antes de introducir en la cápsula. En ambos casos se prepara la muestra calentando a 15°C antes de llevar a la prensa, una vez instalada en la prensa se coloca la aguja sobre la superficie de la muestra, se ajusta el manómetro en cero y se deja caer libremente durante 5 segundos durante los cuales se mide en el manómetro la penetración en décimas de milímetro, se repite el procedimiento en la misma cápsula unas 4 o 5 veces pero en diferentes partes limpiando siempre la aguja.

Si se tiene más de una cápsula de un mismo material se deben ensayar todas las cápsulas y de los resultados obtener un valor medio normalmente si el material no cumple con esta especificación se debe rechazar y cambiar por otros.

Cálculos: El resultado del ensayo está dado en grados de penetración (décimas de milímetros) y resultan directamente de la lectura del manómetro.

En base al ensayo de penetración y el de destilación se puede determinar qué tipo de asfalto se tiene, si la muestra no permite el ensayo de penetración por que la aguja llega antes de los 5 seg. a la base de la cápsula se considera un asfalto de fraguado lento.

Si permite la penetración puede ser de curado rápido o medio, es de curado rápido cuando el % de destilación es mayor a 50% a 225°C y de curado medio si es menor al 50% a 225°C.

5. Ensayo de flotación:

Objetivo: El ensayo de flotación se realiza a muestras de asfaltos ya sean estas provenientes de residuo o cemento puro cuyo ensayo de penetración no se pudo realizar por lo cual es considerado un asfalto de curado lento.

Equipo: Se utiliza básicamente un recipiente de agua fría, un recipiente de agua atemperada provisto de tornillos se sujeción para el casquete semiesférico, un casquete semiesférico metálico, termómetros espátulas.

Procedimiento: Se procede a preparar la muestra para lo cual se amalgama una superficie metálica lisa con glicerina con objeto de que el asfalto no quede pegado, sobre ella se coloca el casquete semiesférico y por la parte superior se introduce el asfalto rebajado precalentado se coloca el tapón al casquete y todo sellado al recipiente de agua a 5°C se saca del recipiente de agua fría, se saca el casquete y se llena al recipiente de agua caliente a 50°C se ajusta el casquete con sus tornillos respectivos y se mide el tiempo que tarda el tapón del casquete por efectos de dilatación a permitir la fluidez del material asfáltico hasta que llega al recipiente de agua caliente y en cuyo momento se determina el tiempo en segundos y ese será el valor de flotación del material asfáltico.

6. Ensayo de punto de fusión o reblandecimiento:

Objetivo: Este ensayo tienen como objetivo establecer la temperatura en la cual el material asfáltico se puede considerar fluido o reblandecido, este valor es de utilidad en el tratamiento de las mezclas asfálticas donde el asfalto debe ser previamente calentado permitiendo su fluidez para elaborar las mezclas.

Equipo: Consta de un soporte metálico, una base de apoyo para colocar un matraz de 500 a 1000 cc., un termómetro, una fuente de calor, un anillo de latón de 15.88 mm. de diámetro y una altura de 6.55 mm. y una esfera de acero de 3/8" de diámetro y espátulas.

Procedimiento: Sobre una superficie metálica amalgamada se coloca el anillo de latón, sobre ella se vierte el asfalto previamente calentado, todo el conjunto se deja enfriar en un recipiente a 5°C y luego se lleva, ese conjunto del anillo más la muestra y se coloca dentro del matraz que está con agua destilada hasta una altura de 8.25 cm. y se deja unos 5 minutos tanto la muestra y la esfera adquieran la misma temperatura y luego con unas pinzas se coloca la esfera sobre el anillo y se empieza a calentar y a medida que aumenta la temperatura se comienza a ablandar el material y cuando cae una porción de material en forma fluida se llama punto de fusión.

7. Ensayo de disolución en tetracloruro de carbono:

Objetivo: El ensayo de disolución en tetracloruro de carbono tiene como objetivo determinar el grado de capacidad de resistir del cemento asfáltico o asfalto rebajado ante agentes abrasivos cuya presencia puede presentarse en el área circundante a los caminos o carreteras construidas con pavimentos flexibles.

Equipo: Está compuesto por recipientes, una solución de disulfuro de carbón o tetracloruro de carbono, balanzas medianas y herramientas de tipo menor como ser cucharones, espátulas, etc.

Procedimiento: Se utiliza una muestra aproximada de 150 gr. de cemento asfáltico puro o cemento rebajado considerándose a este peso como peso inicial, luego se prepara una solución de tetracloruro de carbono en otro recipiente al cual se lleva el cemento asfáltico, se deja reposar por 24 hrs., al cabo de este tiempo se saca la muestra que queda y se tamiza

sobre un tamiz No. 100 y lo que queda retenido se seca en el horno a temperatura constante y se pesa considerando a este peso como peso final.

Resultados: Se los obtiene como una relación del peso inicial menos el peso final dividido sobre el peso inicial por 100 lo cual nos da el porcentaje de disolución del material asfáltico.

8. Ensayo de ductilidad:

Objetivo: Determinar el grado de docilidad que presenta un material asfáltico, por lo general todos los materiales asfálticos que van a ser utilizados en pavimentos flexibles requieren caracterización de docilidad y no así de rigidez, de tal manera que permiten ciertas deformaciones ante el tráfico de circulación sin que se produzca fisuramiento, cuanto mayor sea la ductilidad menor será posible la fisuración.

Equipo: Es un equipo Standard especialmente diseñado, compuesto por un recipiente rectangular, una regla metálica de medición y dos mordazas de sujeción, una fija y otra removible.

Además de este equipo se requiere en el ensayo los moldes para las viguetas, termómetros, espátulas, etc.

Procedimiento: Generalmente se prepara los moldes para las viguetas amalgamadas con glicerina para evitar que se pegue el asfalto, luego se vacía todo el molde ya sea de asfalto rebajado o de asfalto previamente calentado.

Se enrasa hasta la parte superior y se deja que se enfríe a temperatura ambiente durante 40 min., después de esto la vigueta se lleva al recipiente del ensayo de ductilidad cuya agua en su interior está a una temperatura a de 25°C, se sujeta la vigueta con las mordazas y se deja en esa posición 24 hrs. luego de las cuales se empieza a mover la mordaza removible de tal manera que vaya estirando la vigueta a 5 cm/min. Hasta el momento en que la parte central de la vigueta que inicialmente tiene 1 cm. prácticamente esté por romperse, en este momento se mide la distancia de estiramiento que se conoce como la ductilidad del material.

Resultado: De la medición de la distancia de estiramiento antes de romper (1 cm.) da directamente la ductilidad de un material.

9. Ensayo de punto de ignición o encendido:

Objetivo: Determinar la temperatura a la cual el material asfáltico debe usarse con precaución debido a que temperaturas mayores al punto de ignición podrías producir un incendio.

Equipo: Se utiliza un vaso Cleveland especialmente diseñado en el cual se introduce una muestra de asfalto rebajado, se coloca un termómetro introducido 5 mm. Antes de la superficie inferior. Este empieza a calentar y a medida que sube la temperatura que más o menos es 1.5°C/min. a diferentes intervalos, generalmente a cada grado se pasa una llama por los borde del vaso y se observa si esta produce alguna chispa, en el momento que esto suceda se lee el termómetro considerando ésta como punto de ignición.

Resultado: El resultado es directamente la temperatura leída en el momento de producirse la chispa.

2.3.1.9 Métodos utilizados para determinar los espesores en el pavimento flexible.-

Se entiende por diseño de espesores del pavimento a la determinación de las capas.

Existen distintos tipos variables para determinar los espesores de un paquete estructural de una carretera estos pueden ser:

Gráficos, semigráficos, analíticos hasta el uso de matemáticas muy avanzadas.

Los métodos usados en dicho proyecto son los siguientes:

- **Método de índice de grupo**
- **Método de CBR**
- **Método ASSTHO**

A continuación explicaremos brevemente cada uno de estos métodos

2.3.1.9.1 Método del índice de grupo.-

Una vez determinados los ensayos de consistencia de los suelos (LL,LP,IP,LC) se determina el índice de grupo (IG) de los suelos, fundamentalmente del terreno de fundación por lo tanto se deben calcular los espesores de las capas sub-base, base, capa de rodadura, mediante gráficos elaborados para el efecto, los cuales han sido preparados para una carga por rueda de 9000 lb.

Además debemos tener en cuenta que estos gráficos han sido elaborados para las siguientes condiciones:

- 1.) Para terrenos de fundación debidamente compactados a la humedad óptima y densidad máxima no menor al 95% de la densidad máxima obtenida por el método Estándar T-99.
- 2.) Para sub-bases y bases compactadas a no menos del 100% de su densidad máxima.

Se supone así mismo que los sistemas de drenaje subterráneo y superficial son buenos y que el nivel freático se encuentra a una profundidad no perjudicial para estabilidad del terreno de fundación.

Ecuación 2.1 Índice de grupo

$$I_G = 0.2*a + 0.005*a*c + 0.01*b*d$$

Fuente: Manual de Carreteras para Pavimento Flexible

Donde

a = Porcentaje que pasa tamiz No. 200 menos 35.

b = Porcentaje que pasa tamiz No. 200 menos 15

c = Límite líquido menos 40.

d = Índice de plasticidad menos 10.

Si el valor es menor que 0 entonces se toma el 0 y si el valor es mayor que el rango entonces se asume el máximo que es 40 o 20.

Tipo de tránsito.- Para el diseño por índice de grupo se determinan tipo de tránsito a ser usado en el pavimento que pueden ser:

Tránsito liviano.- Aquel cuyo tránsito comercial es menor a 50 camiones y autobuses diarios.

Tránsito mediano.- Cuyo tránsito comercial está comprendido entre 50 - 300 camiones y autobuses diarios.

Tránsito pesado.- Aquel que tiene un tránsito comercial mayor a 300 camiones y autobuses diarios.

En todos los casos se considera un máx. Del 15 % de los vehículos tienen una carga por rueda de 9000 lb.

2.3.1.9.2 Método del CBR.-

Fue propuesto por los ingenieros Staton y partes del Departamento de Carreteras de Estado de California en 1929 desde entonces tanto en Europa como en otros países es utilizado con gran frecuencia, en este método se establece la relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte.

Para diferentes valores de CBR y por carga por eje o por rueda se han determinado los respectivos valores de los espesores de pavimentos. De la cual nos proporciona el espesor de las distintas capas de pavimentos con un determinado CBR.

Para diferentes valores de CBR y cargas por rueda, o por eje, se han determinándolos respectivos espesores de pavimentos, en base a datos experimentales. Los diferentes organismos viales y técnicos, han elaborado curvas para facilitar este cálculo, y en la actualidad se conoce un sinnúmero de gráficos para la determinación de espesores de pavimentos flexibles, en función del CBR.

En la construcción de un pavimento flexible, se recomienda que el material para sub-base tenga un CBR mayor de 15%. El materias para base debe tener un CBR mayor a 40%

cuando las cargas por rueda son menores de 10000 libras (4540 Kg.) como es el caso de las carreteras en general, y un CBR no menor del 80% cuando las cargas por rueda son mayores de 10000 libras, como sucede en la mayor parte de las pistas de aterrizaje.

2.3.1.9.3 Método ASSHTO.-

Este método describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues que tales estructuras soportan niveles significativos de tránsito (mayores de 50.000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el periodo de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terrecería.

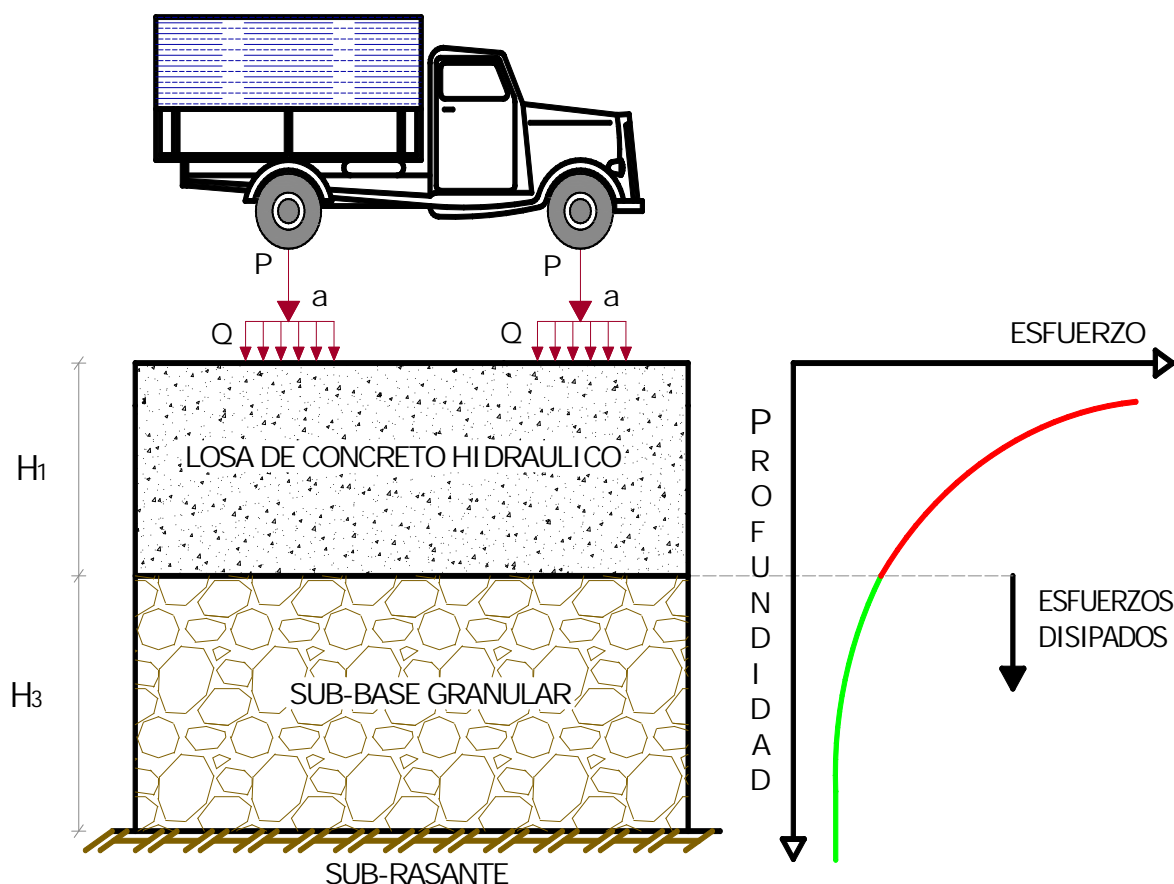
En este trabajo se resume el procedimiento tanto para pavimento flexible como para rígidos con el objeto de que el usuario disponga de una metodología práctica y sencilla de uso frecuente en su ámbito de trabajo.

El procedimiento está basado en ecuaciones orinales de la AASHO que datan de 1961, productos de pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escalas natural y para todo tipos de pavimentos. La versión de 1988 y la actual de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el metro original y su versión, más moderna, además de incluir experiencias de otras dependencias y consultores independientes.

2.3.2 Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyado sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

Figura 2.2 Mecanismo de distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos



Fuente: Elaboración propia

Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de la losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

2.3.2.1 Funciones de la capas de un pavimento rígido

La subbase

La función más importante es impedir la acción del bombeo de las juntas, grietas y extremos del pavimento, Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua

fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

- ✓ Servir como capa de transición y suministrar u apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- ✓ Facilitar trabajos de pavimentación.
- ✓ Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- ✓ Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- ✓ Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

Losa de concreto

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

2.3.2.2 Requerimientos mínimos para pavimentos hidráulicos.

- Requisitos de los Materiales.
- Dosificación.
- Equipamiento Necesario.
- Procedimiento Constructivo.
- Juntas de Hormigonado.

2.3.2.3 Requisitos de materiales para la dosis mínima de cemento

- Grado corriente 320 kg / mt³ .
- Grado alta resistencia 280 kg / mt³

Dosificación.-

La dosificación del hormigón consistirá en combinar en proporciones definidas, los diferentes componentes, de modo de obtener un hormigón que cumpla con la resistencia, docilidad, durabilidad y restantes exigencias requeridas en el proyecto.

En todo caso, cualquier estudio de dosificación estará respaldado por ensayos que acrediten una resistencia característica a la flexo tracción mínima de 4.6 MPA a los 90 días, u otra que especifique el proyecto, considerando una fracción defectuosa del 20 %.

Procedimiento constructivo.-

Sobre la base compactada, la que deberá estar limpia y cuyas especificaciones están dadas en el capítulo correspondiente, se recomienda aplicar una membrana asfáltica del tipo MC-30 o similar, con el objetivo de crear un puente de adherencia entre la base y el hormigón fresco. Además, sirve para minimizar problemas de alabeo de losas y evitar la pérdida de agua de amasado.

Deberán verificarse los requisitos topográficos, ya sea de la base, como así mismo del trazado, pendientes y peraltes.

Se recomienda un cono de trabajo de entre 2 y 5 cm., para el caso de un hormigón vibrado, y entre 5 y 8, en el caso de hormigón apisonado.

Por otra parte, no se colocará hormigón con temperaturas superiores a 35 ° C, ni con temperaturas inferiores a 5°C. En caso contrario, deberán tomarse las precauciones necesarias.

2.3.2.4 Métodos utilizados para determinar los espesores del pavimento rígido.-

El método que se utilizó en este caso fue el método ASSHTO para pavimento rígido el cual haremos un resumen de dicho método.

2.3.2.5.1 Método AASHTO.-

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el Estado de Illinois. A partir de los deterioros que experimentan representar las relaciones deterioro - sollicitación para todas las condiciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original. Los modelos matemáticos respectivos también requieren de una calibración para las condiciones locales del área donde se pretenden aplicar.

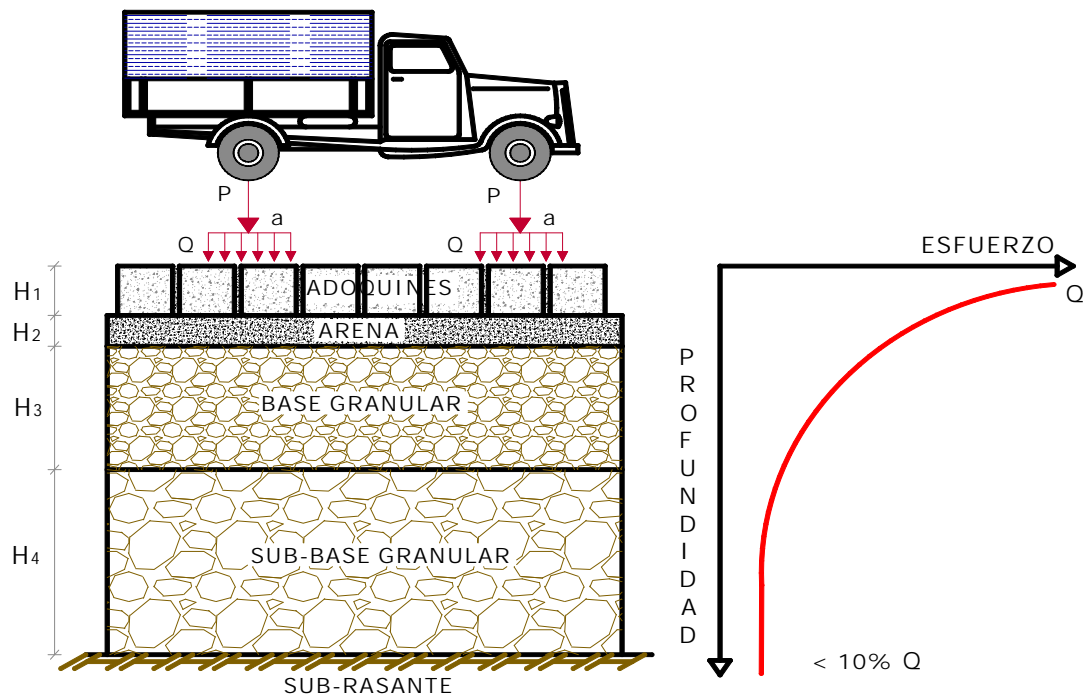
Un pavimento de hormigón o pavimento rígido consiste básicamente en losas de hormigón simple o armado, apoyadas directamente sobre una base o sub-base.

Este método para pavimento rígido es muy sencillo y fácil de realizarlos y se recomienda para el usuario que disponga de una metodología práctica y sencilla de uso frecuente en su ámbito de trabajo.

2.3.3 Pavimento articulado

Este tipo de pavimento, está constituido en la parte superior por un conjunto de elementos de gran rigidez individual (adoquines), apoyados sobre una capa de arena de 4.0 cm a 5.0 cm de espesor, y seguidamente, las capas inferiores son de las características de las capas inferiores de un pavimento flexible, donde el adoquín y la capa de arena, reemplazan la capa de concreto asfáltico.

Figura 2.3 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Articulados



Fuente: Elaboración propia

2.3.3.1 Funciones de las capas de los pavimentos articulados

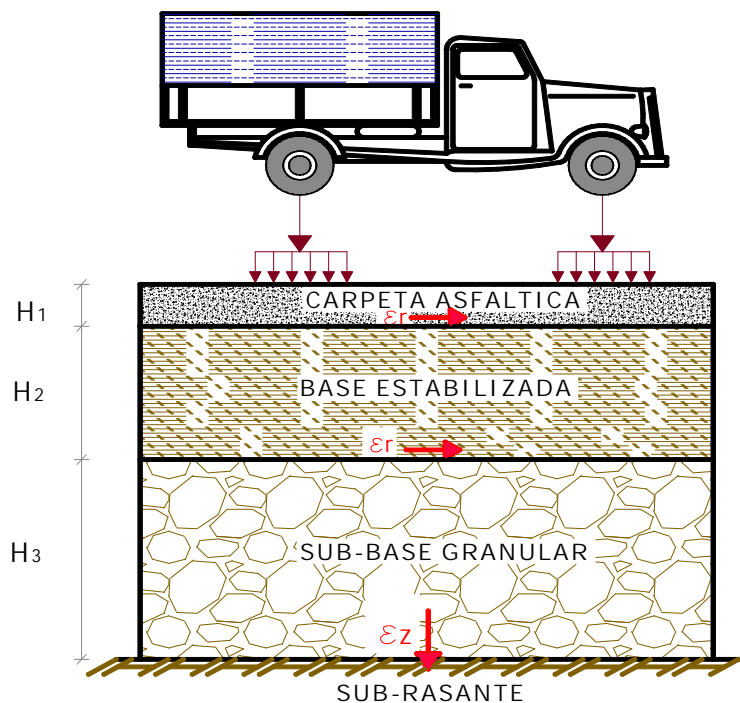
- ✓ **Capa de arena**
 - Soportar y detener los adoquines, y evitar el desprendimiento de estos.
- ✓ **Adoquines**
 - Su principal función es estructural; es útil para concentraciones grandes de carga (puertos y bodegas).
 - Presenta un aspecto agradable, lo que lo hace tener buen semblante estético.
 - Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.

2.3.4 Pavimento semi-rígido

Son tipos de pavimento, que conservando la estructura esencial de un pavimento flexible, tienen una o más capas rigidizadas artificialmente con cal, cemento, asfalto, etc.

La transmisión de esfuerzos al suelo de soporte, se hace por disipación y distribución; por eso, se asume que este tipo de estructura de pavimento tiene un comportamiento mixto. En pavimentos semi-rígidos, la capa estabilizada tiene aporte estructural.

Figura 2.4 Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Semi rígidos



Fuente: Elaboración propia

2.3.4.1 Funciones de las capas de los pavimentos semi-rígidos

✓ Capa estabilizada

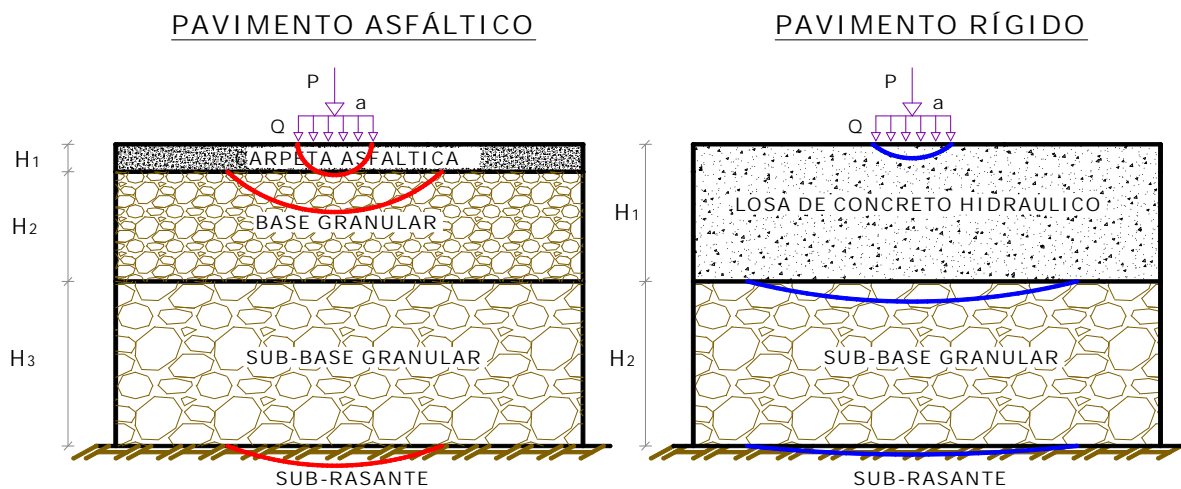
- Su función principal es estructural, es muy resistente a la compresión y por lo tanto, su parámetro de diseño es la resistencia a la tracción, en la parte inferior de la capa estabilizada

✓ **Otras capas**

- La Base granular, sub-base granular, y la carpeta asfáltica, tienen las mismas funciones de estas capas en los pavimentos flexibles

2.4.1 Diferencia entre pavimento flexible y pavimento rígido

Figura 2.5 Diferencia entre pavimentos flexibles y rígidos



Fuente: Elaboración propia

<ul style="list-style-type: none"> ● Grandes tensiones ● Grandes deformaciones ● Deflexiones admisibles < 0.5 mm ● $\epsilon_{\text{carpeta}} 10^{-4}$, $\epsilon_{\text{Sub-rasante}} 10^{-4}$ ● $\sigma_{\text{sub-rasante}} = 0.1 Q_{\text{contacto}}$ ● Menor Durabilidad

<ul style="list-style-type: none"> ● Pequeñas deformaciones ● Pequeñas tensiones ● Erosión en la sub-base ● $M_r_{\text{concreto}} = 40 \text{ a } 45 \text{ Kg/cm}^2$ ● Si $\sigma_{\text{losa}} > 0.45 M_r \rightarrow$ Fatiga ● Mayor durabilidad

CAPÍTULO III

3.1 Evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es una tarea muy importante, que cada institución dedicada al mantenimiento y conservación de las vías (caminos, calles, autopistas) debe realizar, con el único propósito de detectar las posibles fallas o anomalías que pudiera presentar una determinada vía, para luego ver la mejor alternativa de solución en caso de necesitarla, de tal forma poder seguir dando una continuidad de operación a dicha vía.

La incidencia de factores de diverso origen determina alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro. La finalidad fundamental de todo proceso de mantenimiento o refuerzo de los pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un período de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

Las causas de los defectos mencionados son de distinto origen y naturaleza; entre las que cabe destacar las siguientes:

- ✓ Elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original.
- ✓ Deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales en espesores o en las operaciones de construcción, particularmente en la densificación de las capas.
- ✓ Diseños deficientes (ejemplos: empleo de métodos de diseño que resultan inadecuados en la actualidad; incorrecta valoración de las características de los materiales empleados; incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el período de diseño del pavimento).
- ✓ Factores climáticos regionales desfavorables (ejemplos: Elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia de drenaje superficial ó profundidad prevista).

- ✓ Deficiente mantenimiento por escasez de recursos económicos disponibles, equipo, maquinaria especializada y personal capacitado.
- ✓ Problemas de aprovisionamiento en algunas zonas del país, por agotamiento de materiales adecuados en las proximidades de los puntos de empleo, obligando a mayores distancias de acarreo. A veces la limitante es legal, por razones urbanísticas y aún ambientales.

Por los anteriores y otros problemas, existe una necesidad de optimizar el empleo de materiales (agregados pétreos y ligantes), maquinaria, mano de obra especializada y recursos económicos en las tareas de construcción y conservación de la red de carreteras; poniendo énfasis, además, no tanto en construir nuevos tramos como si en conservar la red existente.

3.2 Tipos de fallas en los pavimentos flexibles

Las fallas en los pavimentos pueden ser de dos tipos:

Fallas de superficie: Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La corrección de estas fallas se efectúa con sólo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad. Ello se logra con capas asfálticas delgadas que poco aportan desde el punto de vista estructural en forma directa.

Fallas estructurales: Comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir de una o más de las capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales. En la corrección de este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado. Se hace pues necesario el diseño de una estructura nueva formada por las subrasante- pavimento antiguo - refuerzo.

Teniendo en cuenta que un pavimento es una estructura con cierta capacidad para absorber como energía elástica potencial el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante durante su vida útil; retirada la carga, dicha energía es la determinante de la

recuperación elástica o cuasi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuanto menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

- 1) Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas, las que se acumulan modificando los perfiles de la calzada hasta valores que resultan intolerables para la comodidad, seguridad y rapidez del tránsito y aún pueden provocar el colapso de la estructura.
- 2) Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales y en particular las capas asfálticas sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas. En este caso la deformación horizontal por tracción en la parte inferior de las capas asfálticas al flexionar la estructura, puede exceder el límite crítico y se llega a la iniciación del proceso de fisuramiento.

3.3 Importancia de la evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto.

La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de mantenimiento, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio, ahorrando de esta manera gastos mayores.

3.4 Objetividad en la Evaluación de Pavimentos

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita personas verdaderamente capacitadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así, dichas pruebas pueden perder credibilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además, es importante que se escoja un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva.

No siempre se pueden obtener mediciones o índices que cumplan con la condición para comparar dos proyectos debido al sesgo intrínseco de la toma de decisiones, produciéndose una desviación entre la realidad y lo expresado por las muestras. La desviación que ocurre puede deberse a dos causas principales.

- Variabilidad de las unidades, debido a que las unidades son la base para los análisis que se realizaran.
- Diversidad de la respuesta dentro de cada unidad, esto porque se relaciona a la fiabilidad de la eventual rehabilitación.

3.5 Examen superficial del pavimento

Consiste en la definición del estado superficial de la carretera y su entorno, comprendiendo este último todo tipo de obras o elementos auxiliares relacionados con el pavimento que de manera directa o indirecta pueden afectar a la comodidad y seguridad del usuario. Como resultado del examen superficial del pavimento puede obtenerse una importante serie de conclusiones para el desarrollo de trabajos futuros de conservación, a saber:

- ✓ Detectar los inicios de posibles fallas y determinar sus causas.
- ✓ Establecer zonas prioritarias para conservación.
- ✓ Determinar la necesidad de una evaluación de tipo estructural para el diseño de refuerzos.
- ✓ Presentar elementos de juicio que permitan confirmar o modificar los criterios de diseño vigentes.

Para llevar a cabo una inspección visual es preciso establecer una sistemática que deberá estar orientada a la finalidad que justifique tal inspección, (inventario para un banco de datos, programar una actuación en un tramo concreto, definir en un refuerzo generalizado las zonas puntuales que, además, necesiten reparación, etc.).

La inspección visual más sencilla, pero no por ello menos eficaz, se puede llevar a cabo mediante el paso de personas con suficiente calificación y experiencia que vayan recorriendo un itinerario y anotando todas las deficiencias e irregularidades observadas, siguiendo una metodología previamente establecida.

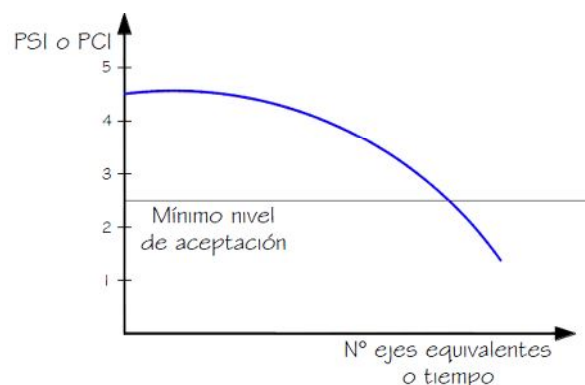
3.6 Curva de comportamiento de los pavimentos

La curva de comportamiento de los pavimentos es la representación histórica de la calidad del pavimento.

Para analizar el comportamiento funcional del pavimento se necesita información de calidad de rodadura durante el periodo de estudio y de los datos históricos del tránsito que se han solicitado al pavimento durante ese periodo.

Con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento versus el tiempo o el número de ejes equivalentes, se puede graficar la degradación del pavimento, consiguiendo de esta manera visualizar el tiempo en el que un pavimento necesitará una rehabilitación, consiguiendo con esto incrementar la vida útil del pavimento.

Figura 3.1 Curva de comportamiento de pavimentos



Fuente:

<http://www.google.com.bo/search?tbm=isch&hl=es&>

3.7 Tipos de evaluación de pavimentos

Las fallas en los pavimentos pueden ser divididas en dos grandes grupos que son fallas de superficie y fallas en la estructura lo que nos lleva a tener los siguientes tipos de evaluación:

- ✓ **Evaluación Superficial**
- ✓ **Evaluación Estructural** (*este trabajo no se realizara esta evaluación*)

3.7.1 Evaluación superficial

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

Este tipo de evaluación debe basarse en:

- ❖ Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.
- ❖ Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- ❖ Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

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

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

Los objetivos de la observación sistemática son:

- ❖ Detectar los posibles tipos de deterioros o fallas.
- ❖ Fijar prioridades dentro un programa de mantenimiento para el tramo en estudio.
- ❖ Analizar el comportamiento del pavimento en vista de mejoras o reconstrucción.

3.7.2 Procedimiento para la Evaluación Superficial de Pavimentos

Para efectuar la evaluación superficial de pavimentos de la red vial seleccionada, se han considerado 3 pasos importantes a realizar en base a la necesidad de identificar los defectos o fallas del pavimento, que serán materia de evaluación específicamente en relación a las características físicas de la calzada y su superficie de rodadura.

La evaluación a realizar para efectos prácticos, considera la toma de datos como la base metodológica principal a desarrollar a partir de la inspección visual del pavimento, debiéndose hacer las anotaciones de lo observado mientras se maneja o camina sobre la red vial en estudio, en planillas especialmente preparadas para tal fin. Dentro de los elementos viales prioritarios a ser inspeccionados están:

- ✓ Secciones transversales de las vías y ancho del pavimento.
- ✓ Tipo de pavimento: flexible, rígido o mixto.
- ✓ Condiciones del pavimento.
- ✓ Condiciones de las bermas.

A continuación, se describen en forma resumida los pasos a seguir para efectuar la evaluación superficial de los pavimentos flexibles de una Red Vial, mediante la Inspección Visual de las vías, la que está siendo desarrollada en el presente trabajo académico

Paso 1: Inspección Visual de las Vías. Para tal efecto, se efectuará un recorrido de la vía a estudiar, con la finalidad de obtener información sistematizada para lo cual será necesario seleccionar tramos de características y condiciones homogéneas. Utilizando un vehículo se manejará lentamente sobre la vía para inspeccionar visualmente las condiciones generales de la superficie del pavimento, seleccionando tramos según la uniformidad de las condiciones. Si se observan diferencias significativas (como cambios en la superficie de rodadura o en las secciones transversales), los pavimentos se deben subdividir en dichos puntos. Para efectos de ayudar en el manejo de la información y obtener una imagen completa de la vía entre dos puntos, los tramos serán cortados a través de los carriles en el mismo punto. Así, si en una dirección el tramo empieza en un punto diferente de otro, en la otra dirección, éste deberá también ser artificialmente dividido en dicho punto, aún

pensando que no se requeriría hacerlo, constituyéndose en tramos apropiados para ser evaluados.

Paso 2: Observación de fallas. Determinar las condiciones del pavimento recorriendo la vía lentamente para observar manifestación de fallas (la velocidad máxima no debe rebasar los 20 kph en áreas urbanas, 30 kph en áreas rurales). Se deben hacer dos o tres paradas por tramo para examinar las fallas en función de tipo, severidad y extensión de la manifestación y ocurrencia de dichas fallas.

Paso 3: Registro en Planilla de Evaluación. Se deberá efectuar registro de todo lo observado en el recorrido de la inspección visual, anotando todas las manifestaciones de fallas, en las unidades de medida correspondientes que permitan determinar los tratamientos de mantenimiento posibles de aplicar. De esta manera se tendrá definida la condición del pavimento de determinada vía y/o red vial, que posibilitará definir la política de ejecución inmediata de los programas de conservación vial urbana.

3.7.3 Manual de daños

Cuando se realiza la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de la severidad.

Severidad

La severidad se refiere a la gravedad del problema. La escala de severidad, basada en experiencia previa, tiene tres niveles: baja, moderada y alta. A continuación, se da una descripción de cada etapa de la escala de severidad, acompañada de representaciones gráficas.

L: (Low: Bajo): Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo, creando incomodidad.

H: (High: Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos o hundimientos individuales causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

La calidad de tránsito se determina recorriendo la sección de pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad establecida por el límite legal. Las secciones de pavimento cercanas a señales de detención deben calificarse a la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

Antes de describir individualmente cada tipo de falla es importante aclarar algunos puntos que generalmente presentan duda con respecto a la forma de medición de las distintas tipos de fallas que se presentan en un pavimento flexible.

- ✚ Si éstas se presentan como fisuras, grietas, baches y ahuellamiento en la misma área de estudio se debe de medir separadamente cada una de éstas.
- ✚ Si el pavimento presenta exudación, el agregado pulido no se cuenta en la misma área de estudio.
- ✚ Si existen grietas en los bordes de una falla de elevación – hundimiento éstas se deben de medir separadamente cada una.
- ✚ Las fallas en un bache no se cuentan, ellas sólo afectan a la severidad del bache.
- ✚ Los huecos se miden de acuerdo al número de huecos con una determinada área y no como un área total del mismo.

A continuación se describen las distintas fallas, formas de medición, severidad y tipo de rehabilitación a utilizar que se pueden presentar en un pavimento flexible.

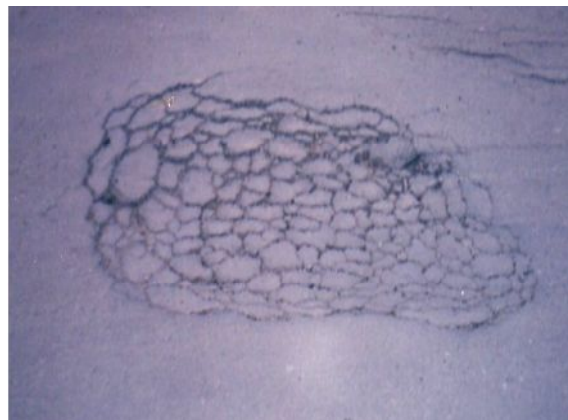
Cuadro 3.1 Manual de fallas

TIPOS DE FALLAS					
1	Piel de cocodrilo	m ²	11	Parcheo y Acometidas	m ²
2	Exudación	m ²	12	Agregados pulidos	m ²
3	Agrietamiento en Bloque	m ²	13	Hundimientos	m
4	Abultamientos	m	14	Tapas de Alcantarilla-Rejilla Drenaje	m ²
5	Corrugación	m ²	15	Ahuellamiento	m ²
6	Depresión	m ²	16	Desplazamiento	m ²
7	Grietas de borde	m	17	Grietas de deslizamiento	m ²
8	Grietas de reflexión de juntas	m	18	Hinchamiento	m ²
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desprendimiento de Agregados	m ²
10	Grietas Long. y trans.	m			

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

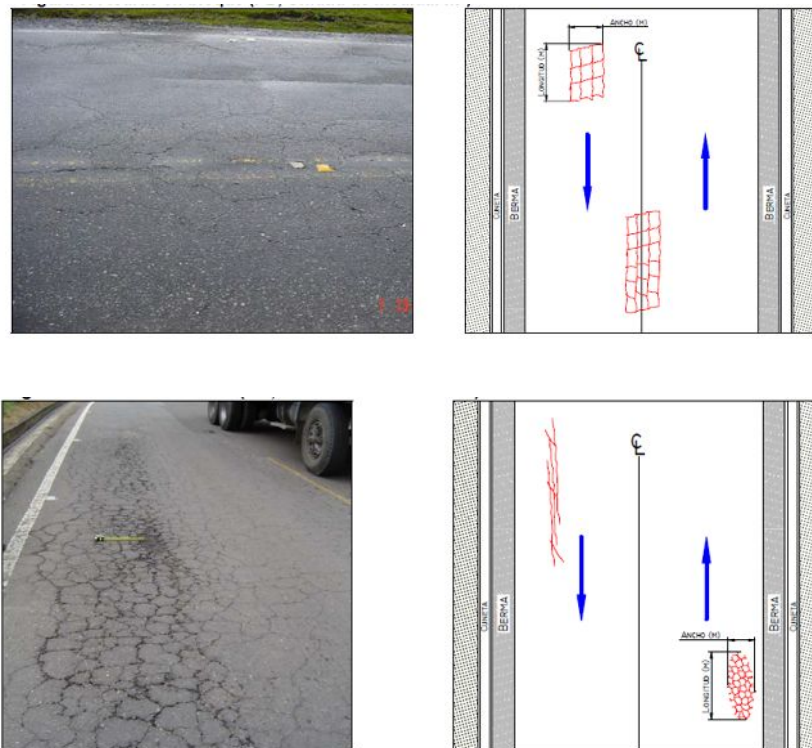
3.7.3.1 PIEL DE COCODRILO

Figura 3.2 Nivel alto de piel de cocodrilo



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.3 Falla por piel de cocodrilo



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repetición de cargas. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como uno o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Causas: La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- ✓ Espesor de la estructura insuficiente.
- ✓ Deformaciones de la subrasante.
- ✓ Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).

- ✓ Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- ✓ Compactación deficiente de las capas granulares asfáltica.
- ✓ Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el modulo).
- ✓ Reparaciones más ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos es factores pueden reducir la capacidad estructural o inducir esfuerzos adicionales en cada una de la capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

Niveles de Severidad:

BAJA (L). Fisuras y grietas son muy finas, longitudinales y paralelas con poca o ninguna interconexión entre ellas.

MEDIA (M):

- Grietas más desarrolladas e interconectadas con algo de desintegración en los bordes.

ALTA (H):

- Las grietas han progresado de tal manera que forman bloques o partículas bien definidos con fuertes desintegraciones de los bordes y algunos pedazos se pueden soltar fácilmente.

Forma de medición: Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada, es frecuente encontrar diferente severidad en una misma área afectada, en caso que no se pueda separar o estimar las áreas correspondientes a cada nivel se debe considerar el área total por afectada de la mayor severidad.

Evolución probable: Deformaciones, descascaramiento, baches.

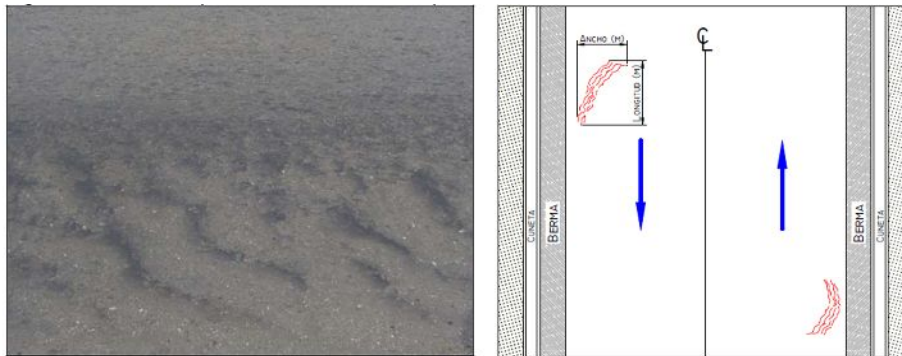
3.7.3.2 EXUDACIÓN

Figura 3.4 Nivel moderado de exudación



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.5 Falla por exudación



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento flexible creando una superficie brillante y reflectaba, comúnmente pegajosa, la exudación es la causa de exceso asfalto en la mezcla en aplicación de sellos o bajos contenidos de vacíos, esto suele ocurrir cuando se producen altas temperaturas o en climas cálidos.

Causas: La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos de aire de la mezcla sea bajo: sucede especialmente durante épocas o zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- La exudación ha ocurrido en un menor grado y apenas se puede notar, el asfalto todavía no se pega a los neumáticos.

MEDIA (M):

- La exudación se ha incrementado, el asfalto ya se pega a los neumáticos de los vehículos pero esto sucede en los días más calurosos.

ALTA (H):

- La exudación es severa y extensa, una considerable cantidad de asfalto se pega a los neumáticos de los vehículos al aumentar las temperaturas considerablemente.

Forma de medición: Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

3.7.3.3 AGRIETAMIENTO EN BLOQUE

Figura 3.6 Nivel moderado de agrietamiento en bloque



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares con lados entre 0.30m y 3m respectivamente, estas grietas son principalmente producidas por la contracción del asfalto por efecto de las variaciones climáticas de la temperatura, no están asociadas con cargas ni fatiga, indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente, estas ocurren generalmente en áreas grandes de pavimento y algunas veces donde no hay tráfico vehicular.

Causas: En general difieren de los baches o piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y que estas últimas son causadas por carga por (fatiga) y existen en áreas que hay mucho tráfico.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Grietas sin sellar hasta un ancho menor a 10mm.
- Grietas selladas de cualquier ancho de abertura.

MEDIA (M):

- Grietas sin sellar entre un ancho de 10 a 51mm.
- Grietas sin sellar hasta un ancho de 51mm pero con grietas finas adyacentes.
- Grietas finas de cualquier ancho pero con grietas finas adyacentes.

ALTA (H):

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de 51mm. De ancho.
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

Forma de medición: Grietas de contracción son medidas en m² de área afectada, normalmente ocurren con una sola severidad en la misma área del pavimento, si ocurren diferentes casos de severidad esto deben reportarse separadamente.

3.7.3.4 ABULTAMIENTO

Figura 3.7 Nivel moderado de abultamiento



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.8 Falla por abultamiento



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

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

Causas: (elevaciones)

- Movimiento y levantamiento de trozos de losas debajo de la carpeta asfáltica.
- Hinchamiento por localización
- Infiltración de material en las juntas.

Severidad

BAJA (L):

- Profundidad menor a 10 mm. Causas poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.

MEDIA (M):

- Profundidad máxima entre 10 mm. y 20 mm. Causa mayor vibración al vehículo y generando incomodidad al conductor.

ALTA (H):

- Profundidad máxima mayor que 20 mm. causa mayor vibración excesiva que puede generar un alto o grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

Evolución probable: fisuración, desprendimientos, exudación, ahuellamiento.

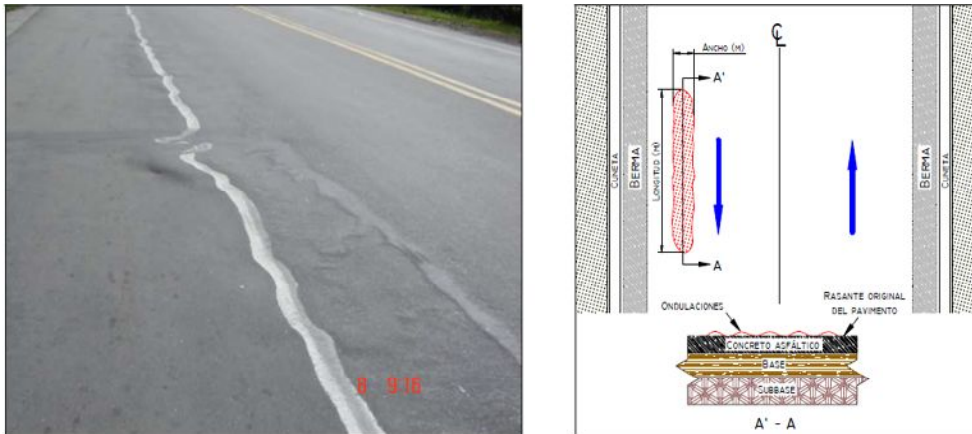
3.7.3.5 CORRUGACIÓN

Figura 3.9 Falla por corrugación nivel bajo



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.10 Falla de corrugación



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito. Éstas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas menos de 3m en sentido transversal al tráfico vehicular, estas son causadas normalmente por tráfico en pavimento de base o de una superficie inestable.

Causas: la ondulación es una formación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subsante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas probables son:

- ✓ Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- ✓ Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- ✓ Exceso o mala calidad de asfalto.
- ✓ Falta de curado de las mezclas en la vía.

- ✓ Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- ✓ Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.

Nivel de Severidad:**BAJA (L):**

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Evolución probable: Exudación y ahuellamiento

Forma de medición: Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

3.7.3.6 DEPRESIÓN

Figura 3.11 Falla por depresión nivel de severidad media



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Son áreas del pavimento con elevaciones inferiores a las adyacentes, las pequeñas depreciaciones son difíciles de observar en pavimentos secos a simple vista. Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua que generalmente dejan una marca de contorno al secar. Generalmente son productos del asentamiento de la fundación o fallas constructivas, pueden producir rugosidades y ser muy peligrosas al llenarse con agua, se diferencian de los hundimientos porque no son abruptos.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- 13 a 25mm.

MEDIA (M):

- 25 a 51mm

ALTA (H):

- Más de 51mm.

Forma de medición: Se miden en m² de área afectada.

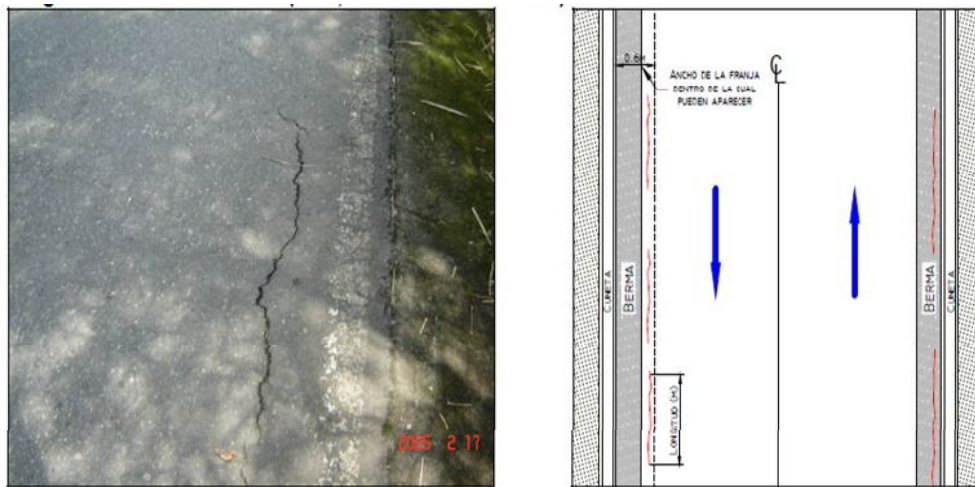
3.7.3.7 GRIETA DE BORDE

Figura 3.12 Falla por grieta de borde



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.13 Falla por grieta de borde de nivel de severidad media



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

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

Causas: La principal causa de este daño es la falla de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillo, anchos de berma insuficientes o sobrecarpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel de la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentra a distancias entre a,3 m a 0,5 m del borde de la calzada.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Grietas de baja severidad sin disgregación.

MEDIA (M):

- Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de borde.

ALTA (H):

- Considerable rotura de borde y disgregación en grietas.

Forma de medición: Este tipo de fallas se mide en metros lineales (ml)

Evolución probable: Desprendimiento de borde o descascaramiento.

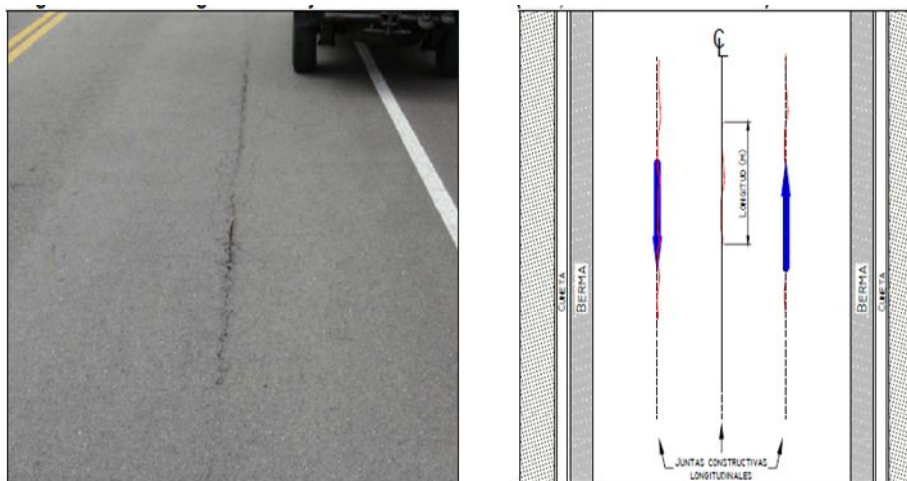
3.7.3.8 GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS

Figura 3.14 Falla por reflexión de juntas



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.15 Falla por reflexión de juntas de nivel de severidad bajo



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Ocurren en capas asfálticas de pavimentos de concreto (rígidos y flexible), no incluyen grietas de reflexión de ningún otro, tipo de base o material bajo el asfalto superficial, normalmente son longitudinales y transversales causadas por expansión y contracción o movimiento de las losas por infiltración del agua, como también por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Este tipo de falla no está asociada con el tráfico vehicular, sin embargo éste puede producir disgregación en los bordes, el conocer las dimensiones de la losa de concreto nos ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

Se localizan generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zonas de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico.

Causas:

- ✓ Carencia de ligante en las paredes de la junta
- ✓ Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad
- ✓ Deficiencia de compactación en la zona de la junta.
- ✓ Unión de materiales de diferente rigidez

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Grietas sin sellar con un ancho inferior a 10 mm.
- Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

MEDIA (M):

- Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51 mm.
- Grietas sin sellar hasta 51mm. Con grietas finas adyacentes.
- Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

ALTA (H):

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de 51mm. De ancho.

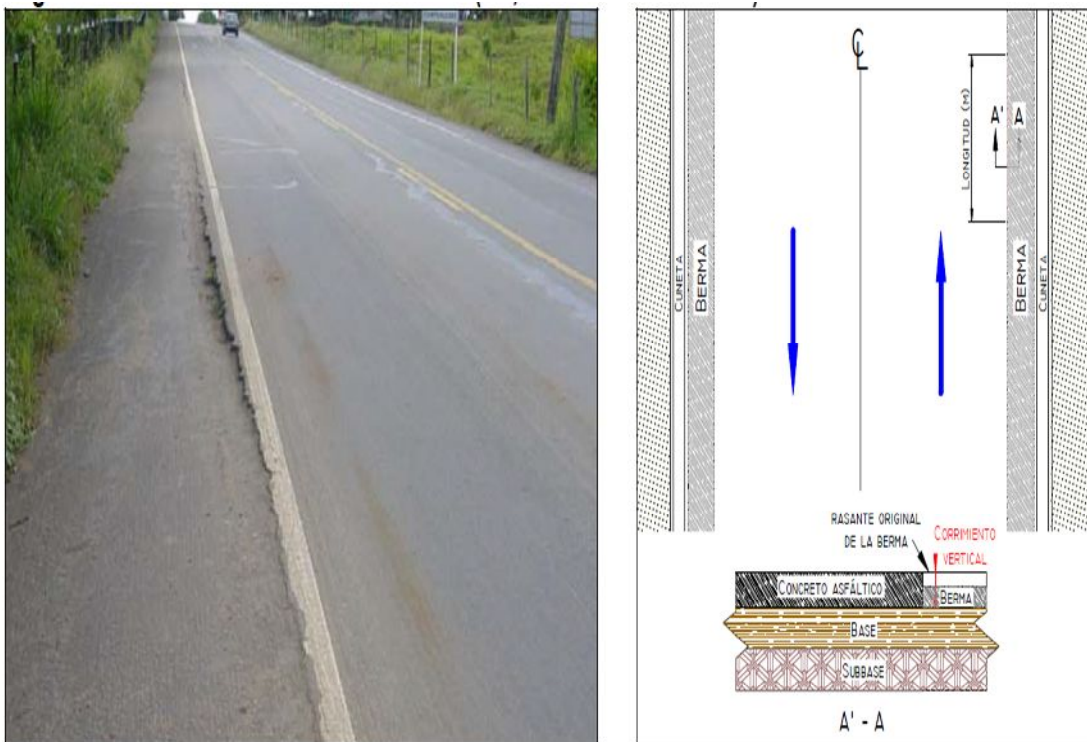
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

Forma de medición: Se miden en metros lineales (ml), la longitud correspondiente a diferente severidad debe anotarse por separado aun cuando se trate de una sola grieta, si se observan elevaciones o hundimientos deben anotarse por separado.

Evolución probable: Perdida de agregado, descascaramiento, asentamientos longitudinales o transversales, piel de cocodrilo, desportillamientos.

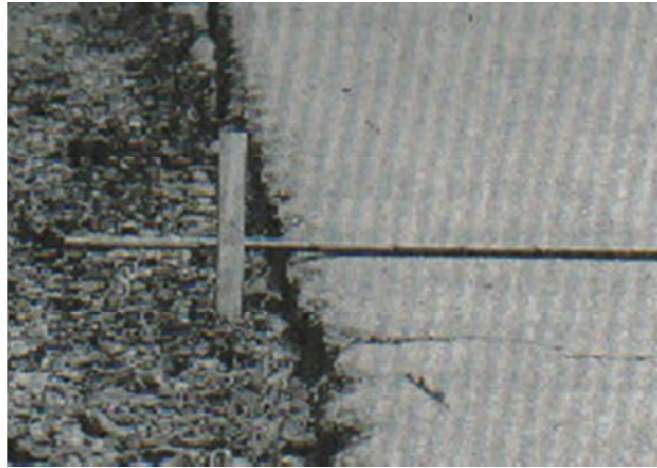
3.7.3.9 DESNIVEL CARRIL/BERMA

Figura 3.16 Falla por desnivel de berma



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.17 Falla por desnivel de calzada de nivel de severidad baja



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

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

Causas: Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base de la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- La diferencia de elevación es de 25 a 51mm.

MEDIA (M):

- La diferencia de elevación es de 51 a 102mm.

ALTA (H):

- La diferencia de elevación es mayor a 102mm.

Forma de medición: Este tipo de fallas se mide en metros lineales (ml).

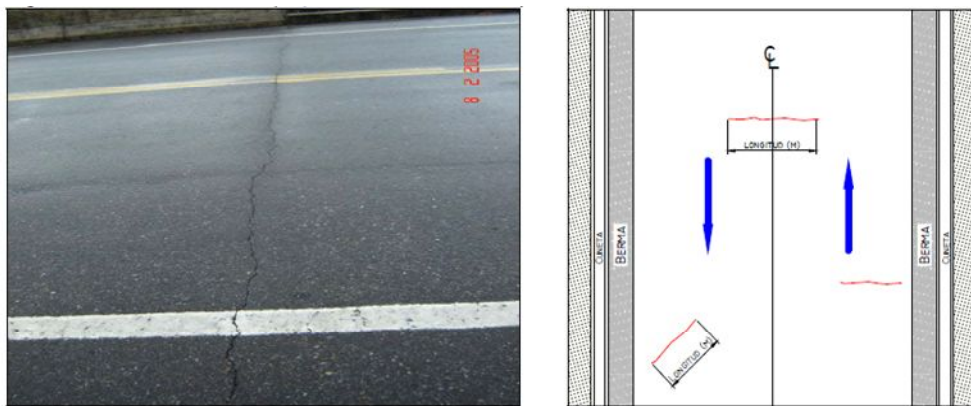
3.7.3.10 GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Figura 3.18 Falla por grietas longitudinales de nivel de severidad media



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.19 Falla por grietas longitudinales y transversales



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, a cuales han superado la resistencia de material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las

genero, ya que aquellas que se encuentra en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de algunas de sus partes.

Causas Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento o el eje de construcción causadas por:

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

Las grietas transversales son aproximadamente perpendiculares al eje del pavimento y pueden ser causadas por las mismas razones indicadas, este tipo de grietas no están asociadas con el tráfico o tipo de carga.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Grietas sin sellar con un ancho inferior a 10mm.
- Grietas selladas adecuadamente de cualquier ancho.

MEDIA (M):

- Grietas sin sellar de ancho entre 10 y 51mm.
- Grietas sin sellar hasta 51mm. Con grietas finas adyacentes.
- Grietas selladas de cualquier ancho con grietas finas adyacentes.

ALTA (H):

- Grietas selladas o sin sellar con grietas adyacentes de media o alta severidad.
- Grietas sin sellar más de 51mm. De ancho.
- Grietas de cualquier ancho en las que varios centímetros del pavimento adyacentes están severamente dañadas.

Forma de medición: Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales (ml), la longitud y severidad de cada grieta debe ser identificada. Si una grieta muestra

varias severidades, estas deben de diferenciarse. Si su elevación o hundimiento ocurre simultáneamente, también estas deben anotarse.

Evolución probable: Piel de cocodrilo, desintegración, descascaramiento, asentamientos longitudinales o transversales (por el ingreso del agua), fisuras en bloque.

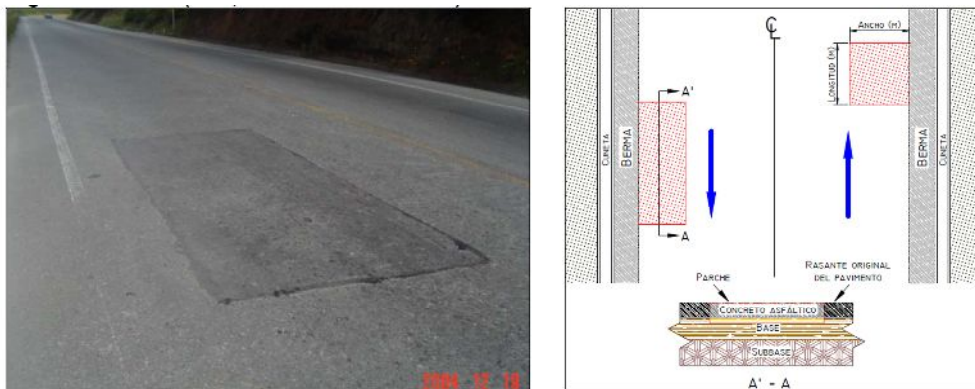
3.7.3.11 PARCHEO Y ACOMETIDAS

Figura 3.20 Falla por parcheo de nivel de severidad media



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.21 Falla por parcheo y zanja reparada



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Un bacheo es un área de un pavimento que ha sido reparada mediante el empleo de material nuevo. Un bache es considerado un defecto, independiente de lo bien que haya sido ejecutado, pero este produce algo de rugosidades.

Causas: Las causas del deterioro propio del parche puede establecerse teniendo en cuenta el tipo de daño que presente. Sin embargo, pueden estar asociadas principalmente:

- ✓ Procesos constructivos deficientes.
- ✓ Progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo (cuando la intervención fue inadecuada para solucionar problemas).
- ✓ Deficiencias de las juntas.
- ✓ Propagación de daños existentes en las áreas aledañas al parche.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Bache bien curado y en condiciones satisfactorias, tiene un bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- El bache presenta un poco de deterioro, tiene un efecto medio sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Bache severamente deteriorado que debe ser reemplazado, tiene un alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

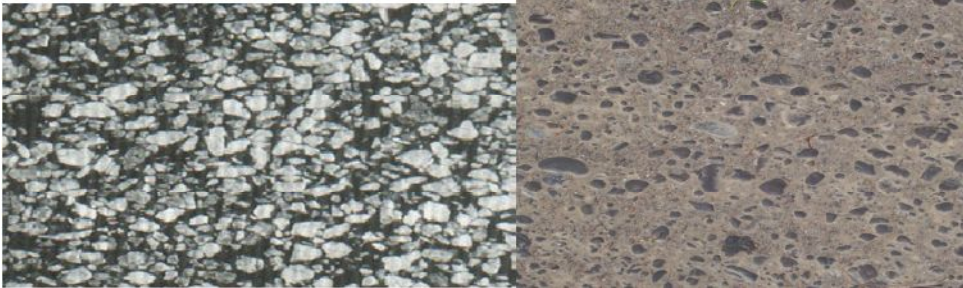
Forma de medición: Este tipo de fallas se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada, si un mismo bache presenta diferentes niveles de severidad, estos deben anotarse por separado en base al área que ocupen.

Ninguna otra falla como grietas o deformaciones por empuje es anotada dentro de un bache, solo se cuenta el área del bache en función de su severidad, si una excesiva área de un pavimento ha sido reemplazada ésta debe considerarse como un pavimento nuevo no como un bache.

Evolución probable: De acuerdo a la naturaleza del daño. Sin embargo, puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.

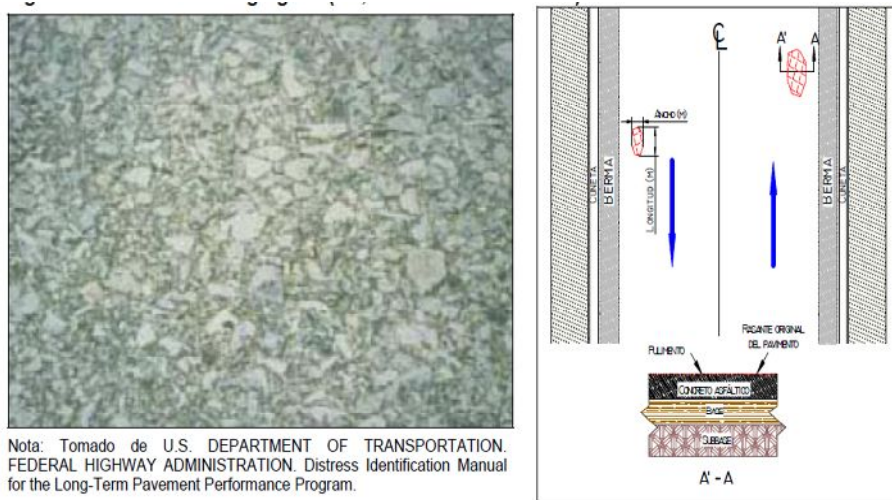
3.7.3.12 AGREGADO PULIDO

Figura 3.22 Falla por pulimento de agregados



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.23 Falla por agregado pulido de severidad media



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Esta falla es producida por pasos continuos del tráfico vehicular, la adherencia con los neumáticos se reduce considerablemente. El agregado pulido se cuenta cuando un examen detallado revela que la textura del pavimento es inadecuada y las superficies de las partículas del agregado son suaves al tacto, este tipo de falla está asociada con la baja resistencia a la fricción.

Causas: La causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento.

Nivel de Severidad:

No se define el nivel de severidad, sin embargo el grado de pulidura debe ser significativo antes que se lo incluya como defecto.

Forma de medición:

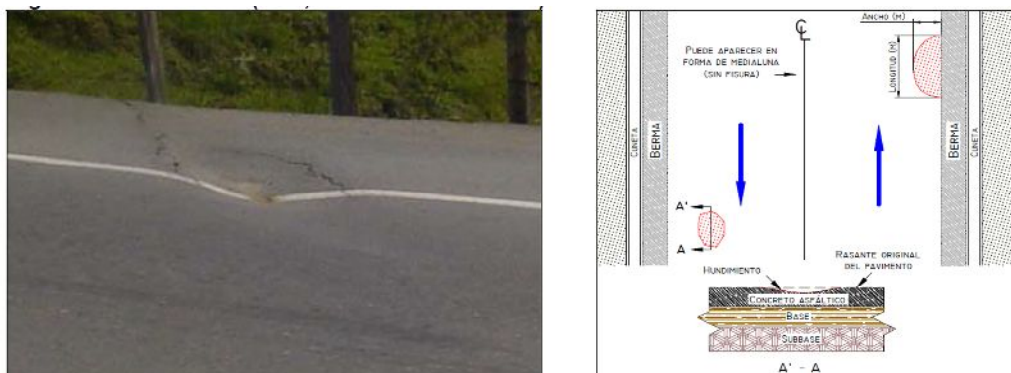
Este tipo de fallas se mide en m² de área afectada. Si hay exudación debe contarse y el agregado pulido no se considera.

3.7.3.13 HUNDIMIENTOS

Los **hundimientos** son pequeñas deformaciones de la superficie del pavimento, no debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por el hinchamiento. Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contiene agua pues puede producir hidropneumático.

Figura 3.24 Falla por hundimiento



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Causas: (hundimientos) Existen diversas causas de que producen los hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento.

- ✓ Asentamientos de la subrasante
- ✓ Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- ✓ Deficiencia de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- ✓ Deficiencia en la rigidez de las materiales de la subrasante en los sectores de transición entre corte y terraplén.
- ✓ Deficiencia de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.
- ✓ Circulación de tránsito pesado.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Profundidad menor a 20 mm. Causas poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.

MEDIA (M):

- Profundidad entre 20 mm. Y 40 mm. Causa mayor vibración al vehículo y generando incomodidad al conductor.

ALTA (H):

- Profundidad mayor que 40 mm. causa mayor vibración excesiva que puede generar un alto o grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

Forma de medición: Las elevaciones y hundimientos se miden en metros lineales (ml), si estas fallas se presentan perpendicularmente al tráfico y separadas menos de 3 metros se denominan corrugaciones, si estas se presentan conjuntamente con grietas ambas deben ser contadas.

3.7.3.14 CRUCE DE VÍA FÉRREA (REJILLAS DE DRENAJE – TAPA DE ALCANTARILLA)

Figura 3.25 Falla por rejillas de drenaje y tapas de alcantarilla



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Éstos producen depresiones y elevaciones a la rodadura.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición: Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada. Si la junta entre la estructura y el pavimento no afectó a la calidad de la rodadura se debe de ignorar.

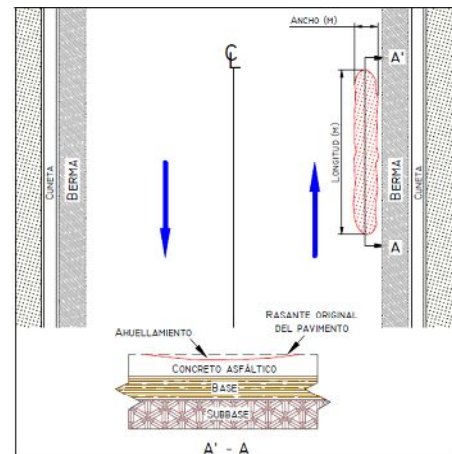
3.7.3.15 AHUELLAMIENTO

Figura 3.26 Falla por ahuellamiento



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.27 Falla por ahuellamiento de severidad media



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

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

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

Causas: El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, genera por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

Además, la falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas.

Nivel de Severidad:

Profundidades del ahuellamiento.

BAJA (L):

- Profundidad de 6 a 13mm.

MEDIA (M):

- Profundidad de 13 a 25mm.

ALTA (H):

- Profundidad mayor a 25mm.

Forma de medición: Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada. Y la severidad se calcula por la profundidad media de ahuellamiento.

Evolución probable: piel de cocodrilo, desprendimientos.

3.7.3.16 DESPLAZAMIENTO

Figura 3.28 Falla por deformación de empuje



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición: Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

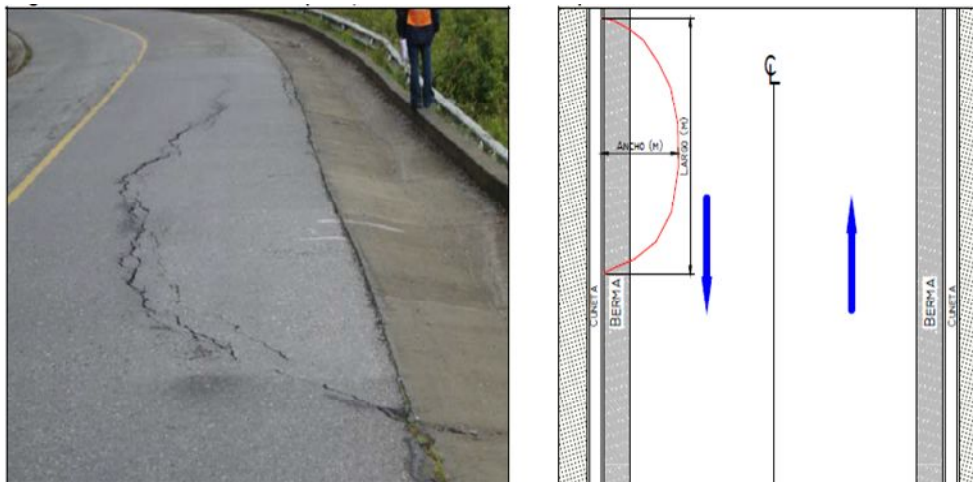
3.6.2.17 GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

Figura 3.29 Falla por grietas de deslizamiento



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.30 Falla por grietas de deslizamiento de nivel de severidad alto



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

Son grietas en forma de media luna, con sus puntas en el sentido de la dirección de tráfico. Son causadas por los deslizamientos de las capas asfálticas superficiales y ocurren por falta o exceso de riego de adherencia.

Causas: En general este tipo de fisura se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- ✓ Falla lateral del talúd en zonas de terraplén.
- ✓ Falla del talúd en zonas de corta o media ladera.
- ✓ Ausencia o falla de obras de contención de la banca.
- ✓ Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca del borde de la vía.
- ✓ Consolidación de rellenos que acompañan las obras de contención.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- El ancho de grieta es menor a 10 mm.

MEDIA (M):

- El ancho de grietas entre 10 y 38 mm.
- El área adyacente a las grietas presenta grietas finas.

ALTA (H):

- Ancho de grietas mayor a 38 mm.
- El área adyacente a las grietas presenta trozos sueltos.

Forma de medición:

Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Evolución probable: Ampliación del proceso (aumento del área afectada) aumento del hundimiento, pérdida de la banca.

3.7.3.18 HINCHAMIENTOS

Figura 3.31 Falla por hinchamiento



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Es un desplazamiento del pavimento localizado hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrazante o alguna porción de la estructura del pavimento. Generalmente causado por la humedad en los suelos expansivos o esponjamiento por congelación de las capas granulares.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición: Se miden en metros cuadrados (m²) de área afectada.

3.7.3.19 METEORIZACIÓN / DESPRENDIMIENTOS DE AGREGADOS

Figura 3.32 Falla por desprendimientos



Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos

Figura 3.33 Falla por desintegración de distintos niveles de severidad



Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles

La disgregación es el desprendimiento o pérdida sucesiva de material superficial, por la abrasión del tráfico el clima es causado generalmente por el uso de métodos de construcción pobres, la utilización de agregados de baja calidad. En épocas de lluvia forman los charcos de agua.

Causas:

- ✓ Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- ✓ Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- ✓ Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- ✓ Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- ✓ Endurecimiento significativo del asfalto.
- ✓ Deficiencia de compactación en la carpeta asfáltica.
- ✓ Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

Nivel de Severidad:**BAJA (L):**

- Pequeñas peladuras distribuidas aleatoriamente en la superficie del pavimento. El agregado fino y/o el ligante ha empezado a desprenderse e sectores. Cuando hay acción de aceites y solventes, pueden observarse residuos de estos, la superficie se mantiene firme y no puede penetrarse con una moneda.

MEDIA (M):

- Desprendimientos extensivos de agregados pétreos finos y/o ligante. Superficie abierta y rugosa. Bajo la acción de aceites, la superficie se ablanda y puede ser penetrada por una moneda.

ALTA (H):

- Desprendimientos extensivos de agregados pétreos gruesos y finos, textura muy rugosa, cavidades de menos de 15 mm de profundidad. Bajo la acción de aceites, el agregado ha quedado suelto por la pérdida de las propiedades ligantes del asfalto.

Forma de medición: Se miden en m² de área afectada.

Evolución probable: Descascaramiento, aumento de la permeabilidad de la estructura.

3.7.4 Métodos de evaluación superficial del pavimento flexible

En la actualidad existen varios métodos para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible, en el presente proyecto haremos el método de Índice de Condición del Pavimento PCI, Índice de Serviciabilidad Presentes PSI y el Índice de Rugosidad Internacional IRI.

3.7.4.1 Índice de condición del pavimento (PCI – PAVEMENT CONDITION INDEX)

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

Se presentan la totalidad de los daños incluidos en la formulación original del (PCI), pero eventualmente se harán las observaciones de rigor sobre las patologías que no deben ser consideradas debido a su génesis o esencia ajenas a las condiciones locales. El usuario de esta guía estará en capacidad de identificar estos casos con plena comprensión de forma casi inmediata.

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

En el siguiente cuadro se presentan los rangos de (PCI) con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Cuadro 3.2 Rangos de calificación del PCI

RANGO	CALIFICACIÓN
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Cuadro 3.3 Valor de PCI y actividad de mantenimiento a realizar

PCI	ESTADO	INTERVENCION
0 – 30	Malo	Construcción
31 – 70	Regular	Rehabilitación
71 - 100	Bueno	Mantenimiento

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

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

3.7.4.1 Procedimiento de Evaluación de la Condición del Pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

3.7.4.1.2 Unidades de Muestreo

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

- a) Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En el siguiente cuadro se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Cuadro 3.4 Longitudes de unidades de muestreo

Ancho de calzada en (m)	Unidades de longitud de muestreo en (m)
5.0	46
5.5	42
6.0	38
6.5	35
7.3	32
8.0	29
8.5	27
9.0	26
9.5	24
10.0	23
10.5	22

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

- b) Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Portland y losas con longitud inferior que 7.6 m., El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas. Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades, ya que servirá para referencia futura.

3.7.4.1.3 Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación

En la “Evaluación de una Red Vial” puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se

obtiene mediante la ecuación 3, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

Ecuación 3.1

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

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Dónde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del (PCI) de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35), en inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real o el rango (PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

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

3.7.4.1.4 Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

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

- a) El intervalo de muestreo (**i**) se expresa mediante la siguiente Ecuación.

Ecuación 3.2

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Dónde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

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

b) El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo *i*. Así, si *i* = 3, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), (S+3), etc. Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

3.7.4.1.5 Selección de Unidades de Muestreo Adicionales

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado.

También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria.

Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del (PCI) es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección.

3.7.4.1.6 Evaluación de la Condición

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños de este documento para obtener un valor del (PCI) confiable.

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a) Equipo

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Manual de Daños del (PCI) con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

b) Procedimiento. Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños, se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

c) El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

3.7.4.1.7 Cálculo del (PCI) de las Unidades de Muestreo

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el (PCI). El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

3.7.4.1.8 Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica.

Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos:

1. a Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato elegido de acuerdo al manual del (PCI). El daño puede medirse en área, longitud ó por número según su tipo.

1. b Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Ésta es la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

1. c Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “valor deducido del daño” que se adjuntan en el anexo 1 de este documento, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

Etapa 2. Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)

2. a Si ninguno ó tan sólo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del mayor “valor deducido corregido”, (VDC), obtenido en la etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.

2. b Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

2. c Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 3.3

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} * [100 - HDV_i]$$

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Dónde:

mi = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo (**i**).

HDVi =El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo (**i**).

2. d El número de valores individuales deducidos se reduce a (m), inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que (m) se utilizan todos los que se tengan.

Etapa 3. Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, (VDC).

El máximo (VDC) se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

- 3. a** Determine el número de valores deducidos “**q**” mayores que **2**.
- 3. b** Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.
- 3. c** Determine el (VDC) con “**q**” y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.
- 3. d** Reduzca a **2** el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que **2** y repita las etapas **3.a** a **3.c** hasta que “**q**” sea igual a **1**.
- 3. e** El máximo (VDC) es el mayor de los (VDC) obtenidos en este proceso.

Etapa 4. Calcule el (PCI) de la unidad restando de 100 el máximo (VDC) obtenido en la etapa 3.

3.7.4.1.9 Cálculo del PCI de una Sección de Pavimento

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

Ecuación 3.4

$$PCI_F = \frac{\sum PCI_i}{n}$$

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Dónde:

PCI_i = PCI de cada unidad evaluada

n = Número de unidades que existen en la sección

PCI_F = Índice de Condición del Pavimento Final del tramo en estudio.

Si se utilizó la técnica del muestreo, se emplea otro procedimiento. Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales, se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

Ecuación 3.5

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Dónde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

PCIr = PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCIa = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

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

A = Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

3.7.4.2 Índice de serviciabilidad presente (PSI- PRESENT SERVICE INDEX)

La evaluación de estado del pavimento con este método consiste en el relevamiento de las fallas más significativas que afectan al mismo. Estas son:

- Deformación longitudinal
- Deformación transversal
- Fisuración
- Desprendimiento.

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.

Ecuación 3.6

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C_1 - 0.3 * C_2 - 0.1 * C_3$$

Fuente: Manual PSI

Dónde:

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

Cuadro 3.5 Coeficientes C_1 , C_2 , y C_3

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 deformación ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: Manual PSI

El valor final del índice de serviciabilidad presente (**PSI**) es:

Ecuación 3.7

$$\overline{PSI} = \frac{\sum PSI_i}{n}$$

Fuente: Manual PSI

Dónde:

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

El rango de calificación del PSI luego de haber realizada la evaluación superficial es la siguiente:

Cuadro 3.6 Rango de calificación del PSI

RANGO	CALIFICACIÓN
5.00 – 4.25	Excelente
4.25 – 3.50	Muy Bueno
3.50 – 2.75	Bueno
2.75 – 2.00	Regular
2.00 – 1.25	Malo
1.25 – 0.50	Muy Malo
0.50 – 0.00	Fallado

Fuente: Manual PSI

3.7.4.3 Índice de rugosidad internacional (IRI - INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)

Aunque en la literatura se encuentran distintas definiciones del IRI, se puede decir que el Índice de Rugosidad Internacional se define como la acumulación del movimiento vertical no deseado que sufre la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando éste recorre la superficie a una velocidad de referencia de 80 km/h. Es pues, un índice de comodidad de rodadura, y constituye el parámetro de la vía que mejor percibe el usuario.

Es de señalar que la rugosidad superficial es mucho más valorada por el usuario que la capacidad estructural, ya que ésta última tan sólo la percibe en forma indirecta cuando se presentan deterioros en la superficie del pavimento como consecuencia de las deficiencias estructurales del mismo.

3.7.4.3.1 Método para Determinar la Rugosidad (IRI)

Hay dos categorías de equipo para medir el perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, y son diferenciadas entre sí por la velocidad o rendimiento con que miden y no por la precisión con que lo hacen. Están los de bajo rendimiento que son llamados estáticos y los equipos de alto rendimiento. Entre los de bajo rendimiento se pueden incluir el nivel y mira, el perfilómetro transversal y el perfilómetro portátil con inclinómetro más conocido como *DipStick* que es más rápido que el método de nivel y mira. Entre los de alto rendimiento se puede mencionar el perfilómetro óptico y el perfilómetro láser.

3.7.4.3.2 Perfilómetro Inercial con Sensores Láser (RSP)

Dentro de la generación más reciente de equipos para medición directa del perfil para calcular la rugosidad de un pavimento, así como su ahuellamiento, se encuentra el perfilómetro inercial con sensores láser (RSP, Road Surface Profiler) modelo 5051 Mark IV L5.2+ fabricado por Dynatest, compuesto de 5 sensores y dos acelerómetros. De acuerdo con los certificados emitidos por la fábrica, este perfilómetro se clasifica como Clase 1 de acuerdo a la norma ASTM E 950.

Cuadro 3.7 Intervalos longitudinales de almacenamiento de datos (ASTM E950)

CLASE	REQUERIMIENTO
Clase 1	Menor o igual a 25 mm (1in)
Clase 2	Mayor que 25mm (1in) hasta 150mm (6in)
Clase 3	Mayor que 150mm (6in) hasta 300mm (12in)
Clase 4	Mayor que 300mm (12in)

Fuente: (ASTM E950)

Cuadro 3.8 Resolución en mediciones verticales (ASTM E950)

CLASE	REQUERIMIENTO
Clase 1	Menor o igual a 0.1 mm (0.005in)
Clase 2	Mayor que 0.1mm (0.005in) hasta 0.2mm (0.01in)
Clase 3	Mayor que 0.2mm (0.01in) hasta 0.5mm (0.02in)
Clase 4	Mayor que 0.5mm (0.02in)

Fuente: (ASTM E950)

Con el Perfilómetro inercial con sensores láser RSP, se puede recolectar información del estado de la carretera, midiendo con exactitud el perfil longitudinal y transversal de la misma. Este equipo calcula, almacena y despliega automáticamente parámetros como el IRI, RN (Ride Number) y Ahuellamiento (Rutting), además de registrar la velocidad de operación del equipo; todo esto lo realiza en tiempo real y a la velocidad de circulación de la carretera.

Dentro de la viga del RSP se tienen instalados 5 sensores láser y 2 acelerómetros colocados estratégicamente para medir todo el ancho de la pista. Estos dispositivos miden, por triangulación, la distancia entre la barra del RSP y la superficie de la carretera, ubicados según se lo indica a continuación.

Se puede hacer notar que para la medición del IRI se utilizan los sensores colocados en las posiciones 1, 2 y 3, mientras que para la medición de ahuellamiento es necesario utilizar además, los dos sensores restantes, colocados (de manera inclinada) en las posiciones 4 y 5 respectivamente.

Los dos acelerómetros se encuentran ubicados en la posición de los sensores láser 1 y 3, los cuales se encargan de convertir la aceleración vertical en una medida de referencia inercial.

El RSP tiene un medidor de distancia (DMI, Distance Measurement Instrument) con resolución de 1 mm, con el que se establecen las mediciones longitudinales o intervalos de medición (por ejemplo: a cada 100 m, a cada 200 m, etc.)

3.7.4.3.3 Merlín

Debido a que en los países latinoamericanos la oportunidad de empleo de los rugosímetros aún sigue siendo esporádica, lo que no justifica muchas veces la manutención de vehículos ad hoc destinados a la operación de equipos dinámicos y los costos de calibración relativamente altos, o a que las redes a ser evaluadas no son de gran extensión, el MERLIN constituye una buena alternativa, siempre y cuando sea resuelto el problema del bajo rendimiento (uso de métodos adecuados para medición y cálculo), más aún cuando los resultados que proporciona son más exactos que los de cualquier equipo automatizado.

Figura 3.37 Rugosímetro Merlín en funcionamiento



Fuente: Manual Del Usuario Merliner

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

a) Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces:

Ecuación 3.8

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * D$$

Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

b) Cuando $IRI < 2.4$, entonces:

Ecuación 3.9

$$IRI = 0.0485 * D$$

Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

c) Superficies con macadam de penetración de extendido manual:

Ecuación 3.10

$$IRI = 1.913 + 0.0490 * D$$

Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

3.7.4.3.4 Mira y Nivel de Ingeniero

Este método es considerado muy preciso pero bastante lento y moroso, ya que toma tiempo realizar dicha nivelación y cuando queremos evaluar tramos muy grandes es recomendable tratar de hacerlo con el perfilómetro inercial con sensores láser.

Para llevar adelante este método de evaluación, se utilizara el software denominado INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca, de Colombia, por los ingenieros Alfonso Murgueitio Valencia, Eduardo Castañeda y Efrain de J. Solano Fajardo.

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 éstos 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:

a) Delta “X”.

Ésta es la parte del programa que permite escoger el incremento en el abscisado de los datos de la nivelación, se dispone de los siguientes deltas en el programa.

Cuadro 3.9 Deltas según longitud máxima

DELTA (mm)	LONGITUD MÁXIMA (m)
50,0	800
100,0	1600
152,4	2438
166,7	2667
200,0	3200
250,0	4000
304,8	4876
333,3	5332
500,0	8000
609.6	9753

Fuente: Software INPACO

b) Identificación del Tramo de Estudio.

Este módulo es el encargado de entrar las características esenciales del tramo de estudio, estas características son:

- Código del tramo
- Nombre del tramo
- Abscisa inicial y final

c) Entrada de Información

Esta parte del programa dará la posibilidad de entrada de las abscisas y cotas obtenidas de la nivelación con el nivel de ingeniero.

d) Cálculo del (IRI)

d. 1 Se calculará el índice de rugosidad internacional teniendo en cuenta la información digitalizada anteriormente.

d. 2 En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identificará el proceso de cálculo necesario para encontrar el (IRI).

d. 3 Delta Y (delta escogido). Número total de datos (es la cantidad de abscisas existentes en el tramo) Z1, Z2, Z3, Z4, Sumatoria RSi: Variables requeridas por el sistema IRI valor de índice de rugosidad internacional calculado.

e) Gráfica

Sacará una gráfica del perfil del tramo con dos ejes de coordenadas que son: (X-Abcisas y Y-cotas), dando la posibilidad definir límite superior e inferior.

f) Imprimir Información

Se obtendrá un listado por la impresora de todos los datos digitalizados anteriormente, el (IRI) encontrado se debe de analizar, para luego dar una conclusión del estado de rugosidad de la superficie del pavimento del tramo de estudio.

Figura 3.10 Calificación del Método IRI

RANGO DEL IRI	CLASIFICACION
0 – 1.6	MUY BUENO
1.6 – 2.8	BUENO
2.8 – 5.2	REGULAR
5.2 – 8.8	FALLADO

Fuente: Manual INPACO

3.8 Rehabilitación:

La rehabilitación de vía es un proceso mediante el cual se devuelven las características funcionales y estructurales que tenía en un principio la vía, o incluso estas pueden llegar a mejorarse.

3.8.1 Razones para una rehabilitación

Las razones para cada una de las rehabilitaciones son diferentes según su tipología.

3.8.2 Rehabilitación superficial

El motivo principal para llevar a cabo una rehabilitación superficial es que el pavimento presente deficiencias que afectan tanto a la seguridad de la circulación, como a la comodidad del usuario y a la durabilidad del firme. Estas deficiencias son un pavimento deslizante por pulimento o falta de macrotextura, un pavimento con un regularidad superficial inadecuada, deformado longitudinal o transversalmente, o la presencia de fisuras y/o descarnaduras en el pavimento.

En caso de que se realice una tramificación y existan tramos inferiores a 200m que no precisen ni de rehabilitación superficial ni estructural, pero los contiguos al mismo sí que precisen de ellas, el tramo intermedio deberá someterse a una rehabilitación superficial para dar continuidad a la superficie de rodadura.

La rehabilitación superficial también puede ejecutarse como medida preventiva, si se prevea que a corto plazo es necesaria una rehabilitación.

3.8.3 Rehabilitación estructural

La rehabilitación estructural es necesaria si las propiedades resistentes del pavimento se pueden ver afectadas y presentar de esta manera deficiencias. Las circunstancias que pueden propiciar este hecho son:

- **Agotamiento estructural del firme:** En este caso, la vida útil del firme se ha agotado, o está próxima a agotarse, aunque no se hubieran cumplido las hipótesis planteadas en el proyecto de dimensionamiento del firme.
- **Previsión de crecimiento importante de la intensidad de tráfico pesado:** El tráfico pesado es el que produce el agotamiento de la infraestructura puesto que las cargas que transmite a la capa de firme son muy elevadas. Un aumento en la intensidad del mismo podría dar lugar a un agotamiento acelerado del firme existente a corto o medio plazo, lo que puede hacer conveniente la rehabilitación.
- **Gastos excesivos en actividades de conservación ordinaria:** Las reparaciones propias de la conservación ordinaria, si se repiten continuamente, reflejan que existe no un problema únicamente en la capa más superficial, sino que el mismo se produce en las capas inferiores, por lo que es necesaria su rehabilitación. Es consecuencia de la gestión de la conservación de la red.
- **Afección significativa a la vialidad de las actuaciones de conservación ordinaria:** En este caso, se valoran las actuaciones de conservación frecuente o significativamente extensas en función de las perturbaciones de las mismas que afectan a los usuarios de la vía.

3.8.4 Determinación de la solución adecuada

No es fácil conocer cuál es la solución adecuada si una infraestructura viaria requiere de una rehabilitación superficial o estructural, por lo que es necesario el establecimiento de una metodología de trabajo una vez decidida la necesidad de llevar a cabo una rehabilitación. En el caso más general, se compone de las siguientes etapas:

- **Recopilación y análisis de datos.** Con el fin de evaluar el estado del firme, es necesario el análisis de los parámetros más significativos del mismo, así como los del entorno y los de las solicitudes del tráfico.
- **Evaluación del estado del firme y de su nivel de agotamiento.** En esta etapa se pretende diagnosticar el estado del firme para poder seleccionar y proyectar la actuación más adecuada en cada uno de los tramos.
- **Análisis de soluciones y selección del tipo más apropiado.** Las soluciones posibles se deben analizar para así lograr seleccionar el tipo de actuación de rehabilitación más apropiado para mejorar la situación del firme diagnosticada en la etapa anterior.
- **Proyecto de la solución adoptada.** Una vez seleccionada la solución idónea, se procede al desarrollo de la misma en un proyecto.

3.8.5 Técnicas de rehabilitación de pavimentos flexibles

La aplicación de procedimientos modernos para el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos tanto flexibles como rígidos, constituyen actualmente técnicas aceptadas ampliamente en los países desarrollados y están basadas en la observación del comportamiento de las características físicas y funcionales de los pavimentos y la acción que fundamentalmente ejerce sobre ellos, el tránsito vehicular y las variaciones climatológicas.

Las causas y efectos que interactúan sobre la estructura de los pavimentos originan daños que se van manifestando en forma gradual, con acción progresiva y continua sobre las superficies pavimentadas. En muchos casos esta situación, sumada a la ausencia de un sistema de administración de pavimentos moderno, generó una práctica de acción puntual de emergencia, no planificada e imprecisa en el tratamiento de las fallas.

A continuación daremos algunas definiciones de algunas actividades de rehabilitación que citaremos en adelante.

- ✓ *Fresado y reposición.*
- ✓ *Tratamientos superficiales*
- ✓ *Capas delgadas.*
- ✓ *Reciclado de firmes.*
- ✓ *Sellado de fisuras.*
- ✓ *Reparación de baches y fisuras locales.*
- ✓ *Riego en negro*
- ✓ *Sello de arena – asfalto*
- ✓ *Tratamiento superficial*
- ✓ *Microaglomerado en frío*
- ✓ *Microaglomerado en caliente*
- ✓ *Mezcla drenante*

Sello con Lechada de Emulsión Asfáltica. Es una mezcla de asfalto emulsionado de rotura lenta, agregado fino y un mineral de relleno a la que se añade agua para darle consistencia de lechada.

Sello Negro de Asfalto. Es una aplicación ligera de emulsión asfáltica de rotura lenta diluida en agua y para sellar grietas y pequeños vacíos de la superficie. La emulsión se diluye en una cantidad igual de agua y se riega a razón de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado (de material diluido), dependiendo de la textura superficial y sequedad del pavimento viejo.

Carpeta Asfáltica de Nivelación. Es una capa (mezcla de agregado y asfalto) de espesor variable, utilizada para eliminar las irregularidades de la superficie existente antes de cubrirla con un tratamiento nuevo o con una carpeta de recubrimiento.

Carpeta Asfáltica de Recubrimiento. Consiste en una o más capas asfálticas aplicadas sobre el pavimento existente. La carpeta de recubrimiento generalmente consta de una carpeta de nivelación, para corregir las irregularidades del pavimento viejo, seguida por una o varias carpetas de grosor uniforme, hasta obtener el espesor total necesario. (La

aplicación de carpetas de recubrimiento se considera generalmente como trabajo de construcción y no como tarea de mantenimiento).

Capa de Sello Asfáltico. Es un tratamiento superficial consistente en la aplicación de una capa delgada de asfalto para impermeabilizar y mejorar la textura de la carpeta asfáltica superficial. De acuerdo al fin que se persiga, los sellos pueden ser sellos de agregado, sellos negros, sellos de lechada asfáltica y sellos de arena.

Tratamiento Asfáltico Superficial. Son aplicaciones a cualquier tipo de carretera, superficie o pavimento, de materiales asfálticos con o sin cubrimiento de agregado mineral, de espesor no mayor de 25mm.

Pavimento Asfáltico de Capas Gruesas. Es una estructura de pavimento asfáltico en la cual la carpeta de base asfáltica se coloca en una o varias capas de 10 o más centímetros de espesor compactado.

3.9 Mantenimiento

El mantenimiento de pavimentos es el trabajo rutinario realizado para conservar el pavimento, bajo la acción normal del tráfico y de las fuerzas de la naturaleza, en condiciones tan semejantes como sea posible a las del pavimento recién construido.

Todos los pavimentos requieren mantenimiento, siendo la principal razón de ello el que las tensiones que producen los pequeños defectos están constantemente en acción. Tales tensiones pueden ser ocasionadas por cambios de temperatura o del contenido de humedad, por el tráfico, por pequeños movimientos en el terreno subyacente o adyacente. Las grietas, hundimientos, depresiones y otros tipos de fallas son las evidencias visibles del desgaste del pavimento. Ellas son, simplemente, el resultado final del proceso de desgaste que comienza cuando la construcción termina. En las áreas urbanas, la excavación de zanjas a lo largo del pavimento para la instalación de redes de conducción de agua o para cualquier otro servicio público es la causa principal que determina la necesidad del mantenimiento del pavimento.

3.9.1 Mantenimiento Rutinario

Es la reparación menor localizada para subsanar defectos (fallas) en la calzada y el pavimento, semejante a la reparación de hundimientos y parchado localizado. Es llevado a cabo después que el deterioro ha ocurrido y usualmente aplicando tratamientos de acuerdo a los niveles de deterioro y bajo límites aceptables, con frecuencia de una o más veces al año. También incluye servicios y reparaciones que son requeridas por razones de seguridad, operación y serviciabilidad de la vía, tales como el mantenimiento de la señalización vertical y horizontal, pintado de sardineles y marcas correspondientes.

Su principal objetivo es evitar la destrucción gradual de una vía mediante acciones y reparaciones preventivas de protección física de la estructura básica y de su superficie de rodadura.

Figura 3.35 Echado de una capa bituminosa



Fuente: Manual de mantenimientos para pavimentos flexibles

Figura 3.36 Sellado de una grieta longitudinal



Fuente: Manual de mantenimientos para pavimentos flexibles

Figura 3.37 Preparación para el bacheado de una calle



Fuente: Manual de mantenimientos para pavimentos flexibles

3.9.2 Mantenimiento Diferido

Son las acciones y actividades de mantenimiento que deberían haberse efectuado en el pasado, pero que por alguna razón no se realizaron.

Su principal objetivo es detener y restablecer las condiciones de transitabilidad de un camino evitando que los deterioros no atendidos con oportunidad sean más graves e irreversibles, que conlleven a una posterior rehabilitación o reconstrucción.

3.9.3 Mantenimiento Periódico

Es la reparación y renovación parcial extensiva, a ejecutarse cada cierto tiempo en las vías, para evitar deterioros que afecten la estructura básica y superficie de las vías. Se considera el ciclo de vida de las vías y el probable desgaste en el tiempo de las mismas, por acción de las cargas variables del tráfico vehicular.

Comprende tratamientos superficiales en general (sellado, recapado, riego bituminoso, etc.) y también la renovación de la superficie de rodadura (mayormente aplicado a pavimentos flexibles) y la renovación del material de las juntas en pavimentos rígidos.

Su principal objetivo es proteger la estructura básica y la superficie de las vías, mediante la ejecución de actividades extensivas periódicas, tales como tratamientos superficiales o renovación de la superficie de rodadura.

3.10 Refuerzo

La incidencia de los factores de diverso origen determina alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro.

La finalidad fundamental de todo proceso de mantenimiento o refuerzo de los pavimentos en servicio, es corregir los defectos mencionados para alcanzar un grado de transitabilidad adecuado durante un periodo de tiempo suficientemente prolongado que justifique la inversión necesaria.

3.10.1 Causas de un refuerzo

La causa de los defectos mencionados es de distinto origen y naturaleza; entre las que cabe destacar las siguientes;

- 🍏 Elevado incremento de las cargas circulantes y de su frecuencia con respecto a las previstas en el diseño original.
- 🍏 Deficiencias durante el proceso constructivo en la calidad real de los materiales en espesores o en las operaciones de construcción, particularmente en la densificación de las capas.
- 🍏 Diseño deficiente; mala valoración de los materiales empleados, incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el periodo de diseño del pavimento, etc.
- 🍏 Factores climáticos regionales desfavorables (lluvias prolongadas, mal drenaje, elevación del nivel freático)
- 🍏 Deficiente mantenimiento por escases de recursos económicos disponibles, equipo, maquinaria especializada y personal capacitada.

Figura 3.38 Refuerzo de un pavimento



Fuente: El asfalto en el mantenimiento de los Pavimentos

3.10.2 Rehabilitación de pavimentos con refuerzos:

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

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

Las fallas estructurales son aquellas que afectan la capacidad del pavimento para soportar las cargas. Ejemplos de fallas de este tipo son: espesor inadecuado, fisuraciones, distorsiones y desintegraciones.

Existen distintos tipos de refuerzos los cuales son los siguientes:

Cuadro 3.11 Tipos de refuerzo

REFUERZO	PAVIMENTO EXISTENTE
Concreto asfáltico	Concreto asfáltico
Concreto asfáltico	Hormigón roto, Fisurado o triturado previamente
Concreto asfáltico	C°A°s/H°S°, C°A°s/, H°A° c/juntas, C°A°s/ H°A° continuo
Concreto asfáltico	H°S°, H°A°, c/juntas, H°A° continuo
Hormigón simple adherido	H°S°, H°A°, c/juntas, H°A° continuo
Hormigón simple no adherido	H°S°, H°A°, c/juntas, H°A° continuo
Hormigón simple	Concreto asfáltico

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras

3.10.3 Posibilidad de aplicabilidad de tipo de refuerzo:

Esta depende de las siguientes condiciones:

- 1) Disponibilidad de fondos adecuados para realizar el refuerzo.
- 2) Factibilidad constructiva del refuerzo. En este se incluyen:

- Control de tránsito
 - Disponibilidad de materiales y equipos.
 - Condiciones climáticas.
 - Problemas constructivos.
 - Interrupciones al tránsito y costo de la demora del usuario.
- 3) Vida útil a adoptar para el refuerzo. Esta depende de:
- Deterioro del pavimento existente.
 - Diseño del pavimento existente, condiciones de los materiales que forman el paquete, tipo de sub-rasante.
 - Cargas de tránsito futuras.
 - Clima local.
 - Condiciones de drenaje.

3.10.4 Condiciones importantes para el diseño:

Estas son las condiciones que debemos de tener o controlar para el correcto diseño de un refuerzo, que incluyen; reparaciones previas al refuerzo, control de reflexión de fisuras, cargas de tránsito, drenaje, fresado del pavimento existente, reciclado del pavimento existente, materiales, etc.

- a) **Reparaciones previas al refuerzo:** Es necesario realizarlas las mismas a la capa superficial existente antes de la colocación del refuerzo. Estas tareas dependen del tipo de refuerzo a colocar.
- b) **Control de reflexión de fisuras:** La reflexión es una de las causas de deterioro de los refuerzos, por lo que se deben recabar tareas para un control efectivo de la misma. Algunos tipos de refuerzos son menos sensibles que otros a la reflexión.
- c) **Cargas de tránsito:** Para el diseño del refuerzo es necesario conocer el número de ESALs previstos durante la vida útil del refuerzo. Esto se hace en base a los datos de tránsito y a los LEFs según sea el tipo de pavimento (rígido o flexible).

- d) Drenaje:** Las condiciones de drenaje del pavimento existente influyen mucho en el comportamiento del refuerzo.
- e) Refuerzos funcionales vs. Estructurales:** Si se pretende usar el criterio de diseño de refuerzos para corregir deficiencias estructurales para corregir defectos funcionales se obtendrían espesores despreciables, esto n quiere decir que el pavimento no necesita refuerzo. En este caso el espesor de refuerzo ebe ser el necesario para corregir la falla funcional.
- f) Durabilidad de las losas de hormigón:** La durabilidad de la losa existente de hormigón tiene gran influencia en el comportamiento de refuerzos ce concreto asfáltico. Si hay fisuras de durabilidad o reacción álcali agregado, estas fallas continuaran y afectaran el comportamiento del refuerzo.
- g) Confiabilidad y desviación estándar del refuerzo:** En función de la confiabilidad y desvío de todas las variables en juego se determina la capacidad estructural del refuerzo. La confiabilidad tiene una gran influencia en el espesor de los refuerzos. Para la desviación So se recomienda un valor de 0.39 para cualquier tipo de refuerzo diseñado con la ecuación de diseño para pavimento rígido y un valor de 0.49 para refuerzos diseñados con la ecuación de pavimentos flexibles.
- h) Ensanche de pavimentos:** Muchos refuerzos de concreto asfáltico están realizados sobre pavimentos de hormigón, y como tarea adicional, se ensancha la calzada. Se debe de asegurar que las secciones existentes y ensanchadas funcionan bien desde el punto de vista estructural. Muchas veces ha habido problemas a lo largo de la línea que marcaba el borde externo de la calzada primitiva.

Se recomienda:

- La vida útil del refuerzo y el ensanche debe ser la misma para evitar reparaciones en distintos momentos.
- La sección transversal del ensanche debe SER igual a la del pavimento existente en lo que concierne al tipo de material, espesor, armaduras y espaciamiento entre juntas.
- El espesor del refuerzo debe ser el mismo en el ensanche y en el ancho previo.
- Si fuera necesario debería preverse drenaje longitudinal.

3.11 Reciclado

Se entiende por reciclaje a la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de una materia de pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede emplearse para construir un refuerzo en la misma carretera o alguna capa de una calzada nueva.

Entre los factores fundamentales que han contribuido al desarrollo de estas técnicas merecen destacarse las siguientes:

Figura 3.39 Reciclado de pavimento



Fuente: Técnicas de reciclado en pavimentos flexibles

Figura 3.40 Remoción con maquinaria para el reciclado



Fuente: Técnicas de reciclado en pavimentos flexibles

- a) La crisis energética causante de los significativos aumentos en los precios de los productos derivados del petróleo.
- b) El progresivo agotamiento de las fuentes de obtención de los agregados pétreos de adecuada calidad y el incremento de sus precios en canteras.
- c) Los aspectos ecológicos y la necesidad de conservar el medio ambiente, son factores que les otorgan actualmente la debida atención en los países más desarrollados, razones por las cuales es notoria la tendencia hacia la reutilización de los materiales existentes en lugar de proceder a la explotación de yacimientos y canteras, contaminando la zona donde se realizan estas actividades.
- d) La crítica disponibilidad de los recursos económicos destinados a proyectos nuevos o su insuficiencia para hacer frente a la continua y efectiva conservación, rehabilitación y reconstrucción de los sistemas viales existentes, ha obligado a estudiar y aplicar técnicas de mantenimiento menos generoso pero con un comportamiento similar a las actuaciones convencionales.

3.11.1 Tipos de Reciclaje

Existen varios tipos de reciclaje, cuyas denominaciones y características se muestran a continuación.

Son los siguientes:

- ✓ Reciclaje superficial (en el lugar).
- ✓ Reciclaje en Frío (in-situ).
- ✓ Reciclaje en Caliente (en planta).
- ✓ Reciclado “in situ” en frío con cemento.
- ✓ Reciclado “in situ” en frío con emulsiones bituminosas.

Figura 3.41 Preparación con maquinaria para el recojo del reciclado



Fuente: Técnicas de reciclado en pavimentos flexibles

Figura 3.42 Mezclado de asfalto



Fuente: Técnicas de reciclado en pavimentos flexibles

3.11.1.1 Reciclaje Superficial (en el lugar)

Este sistema es aplicable a espesores muy delgados de pavimento, generalmente no superiores a los 2.5cm, puede realizarse en caliente o en frío y constituye una solución en aquellos casos en los que existen problemas de deslizamiento, ya que mediante la eliminación de un espesor superficial débil, se pueden regenerar las características antideslizantes del pavimento. Asimismo, puede resultar aplicable cuando se presenten otros tipos de fallas superficiales, tales como degradación de la carpeta por pérdidas de ligante o agregados pétreos o abultamientos producidos por el empleo de mezclas asfálticas de baja estabilidad. El retiro de esta delgada capa puede ser de carácter provisional hasta que se decida extender una nueva capa asfáltica o bien puede ser una solución a largo plazo, válida en todos los casos en que no existan defectos de tipo estructural.

1. **Fresado en frío.** Consiste en el molido en frío, controlado automáticamente, de la superficie del pavimento para restaurar las rasantes especificadas y remover ondulaciones y otras imperfecciones, dejando una superficie texturizada, resistente al deslizamiento y al hidropilado, que sirve como buena superficie en pavimentos en los que el ruido de rodadura no sea el condicionante básico. Las máquinas que ejecutan esta labor se denominan fresadoras y ejercen su acción mediante una especie de uñas acopladas a un eje giro horizontal.
2. **Cepillado.** Lo realizan máquinas llamadas cepilladoras o más comúnmente rascadoras, las cuales únicamente pueden trabajar previo calentamiento del pavimento y desarrollan su labor por medio de unas cuchillas o útiles similares y sólo son utilizables para levantamientos de muy poco espesor.
3. **Termo-reperfilado.** Comprende un conjunto de operación que son realizadas por una sola máquina de forma secuencial, a excepción de la compactación final. Estas operaciones son las siguientes:

- Calentamiento previo del pavimento antiguo, generalmente mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado o fresado del pavimento hasta la profundidad deseada, que generalmente no excede de 2.5 cm.
- Homogeneización del material escarificado y nivelación del mismo.
- Precompactación del material mediante una maestra adosada a la parte trasera de la máquina.
- Compactación definitiva hasta la densidad deseada, por medio de equipos normales de compactación.

Las características fundamentales que distingue este sistema, es que no existe aporte de mezcla bituminosa nueva, lo cual impide que el material reciclado mejore sus características; esto limita su aplicación a la corrección de pequeñas irregularidades superficiales, a la corrección de excesos de desestabilidad o cuando se quiere incrementar la densidad de la carpeta.

Consecuentemente, este tratamiento no resulta apropiado para corregir defectos de tipo estructural, por lo que no es aplicable en los casos que existan elevadas deformaciones superficiales. Tampoco es viable cuando la mezcla asfáltica presente deficiencias del tipo granulométrico o exceso de ligante (caso de deformaciones plásticas), ya que, al no existir aporte de mezcla nueva, tales deficiencias no pueden corregirse.

4. **Termo-regeneración.** Esta técnica presenta una serie de características comunes con la anterior, con la diferencia de que existe un aporte de mezcla nueva que se coloca sobre la antigua escarificada (adicionada o no de un agente rejuvenecedor), compactándolas sin mezclarlas. El conjunto de operaciones a realizarse es el siguiente.

- Calentamiento del pavimento mediante rayos infrarrojos.
- Escarificado y descompactación del pavimento, en una determinada profundidad.

- Retiro del material escarificado, aunque a veces esta operación no se presenta, aprovechándose la totalidad.
- Adición, en caso necesario, de un agente rejuvenecedor.
- Distribución transversal del material escarificado mediante una hoja niveladora.
- Aporte de mezcla nueva, la cual es conducida mediante una banda transportadora, desde una tolva de recepción situada en la parte delantera de la máquina hasta su extremo final, donde es puesta en obra sobre la capa de material escarificado.
- Precompactación de las dos capas, sin mezcla de las mismas, mediante una muestra vibrante colocada en la parte posterior de la máquina.
- Compactación hasta la densidad deseada de las dos capas anteriores, con un tren de compactación convencional.

Aunque es un proceso menos económico, a veces, la mezcla de aporte, puede colocarse en obra independientemente, mediante una terminadora convencional.

3.11.1.2 Reciclaje en Frio (in-situ)

Consiste en la pulverización de la carpeta asfáltica existente y su mezcla con el material de base existente, hasta una profundidad mayor de 2.5cm, añadiendo un aditivo que desarrolle en la capa reciclada una resistencia suficiente para soportar adecuadamente las cargas del tránsito futuro.

La selección del aditivo apropiado depende de factores tales como el uso proyectado, la resistencia requerida y el costo del producto.

Los aditivos más empleados para este tipo de reciclaje son: el cemento asfáltico, los asfaltos líquidos y emulsionados, el cemento Portland y la cal cuando el material a reciclar tenga un contenido considerable de arcilla.

En la mayoría de los procesos de estabilización, se requiere la colocación de una capa de rodadura para proteger la capa reciclada del efecto abrasivo del tránsito y de la acción de los agentes climáticos.

- **Selección del aditivo**

Evaluadas las características de los materiales a reciclar, se elige el aditivo que proporcione el resultado final deseado.

A menudo, con más de un aditivo se obtienen las características requeridas para la mezcla y en tales casos, la elección se basa en consideraciones de costos y disponibilidad de los estabilizantes.

Asimismo, resulta conveniente estudiar la posibilidad de incorporar más de un aditivo. Es el caso, por ejemplo, de una base granular que se encuentre contaminada por el suelo arcilloso de la subrasante.

En esta eventualidad, puede resultar conveniente un pre-tratamiento con cal que disminuya la plasticidad y haga más trabajable la mezcla a la cual se añadirá después otro aditivo que incremente la resistencia.

3.11.1.3 Reciclaje en Caliente (en planta)

Denominado también reciclaje en planta, consiste en escarificar el espesor deseado del pavimento existente y transportar el material trozado a una planta en la que es triturado y clasificado por su granulometría. El material también puede obtenerse del pavimento por medio de fresado en frío. Posteriormente, en base al análisis de composición del material viejo, se reconstruye en caliente la nueva mezcla a reciclar, la cual debe responder al diseño adoptado. Por ello, se agregan materiales nuevos que comúnmente incluyen un agente de reciclaje y agregado pétreo virgen, así como asfalto nuevo. La nueva mezcla en caliente se lleva al sitio de origen o al que se haya elegido para su colocación, donde se distribuye y compacta mediante métodos y equipos convencionales.

En todos los casos, la estructura resultante del trabajo de reciclaje, respondiendo al proyecto correspondiente, podrá emplearse como capa de rodadura o base, en este último caso se deberá superponer una nueva capa superficial.

- **Agentes de reciclaje**

Las alteraciones o cambios que sufren los asfaltos, ya sea durante el mezclado o en el transcurso del tiempo, conducen a un aumento de consistencia y por lo tanto a una pérdida del poder ligante y cohesivo del asfalto. Muchos investigadores consideran que un asfalto se encuentra en el límite de servicio, cuando presentan las siguientes características:

- Penetración (258.5 seg. 100g) < 20 (1/10mm)
- Viscosidad absoluta a 258C > 10⁸ poises.

En el reciclaje de pavimentos, cuando lo que se busque sea reciclar asfaltos envejecidos (debe tenerse presente que el reciclaje se puede aplicar a pavimentos con mezclas de baja estabilidad donde el asfalto no es la causa del problema), lo que se intenta es volver las propiedades del asfalto a su estado original o lo más cerca posible de él. Para lograr este objetivo, se recurre a los “agentes de reciclaje”, denominados también rejuvenecedores, ablandadores o modificadores, los cuales deben restaurar las características del asfalto original, no solamente en lo que se refiere a la consistencia, sino también a su estructura coloidal intrínseca.

El envejecimiento del asfalto de un pavimento es un proceso físico-químico complejo en el que están involucradas fundamentalmente reacción de oxidación y evaporación. En última instancia, ese endurecimiento progresivo se pone de manifiesto a través de fenómenos visibles como el fisuramiento, el desprendimiento de agregados, etc.

Los agentes de reciclaje deben cumplir las siguientes funciones:

1. Devolverle al asfalto envejecido su estructura fisicoquímica para hacerlo nuevamente durable.
2. Restaurar en el asfalto un nivel de consistencia adecuado para una buena trabajabilidad de la nueva mezcla en sus etapas fundamentales de mezcla, compactación y servicio.
3. Contribuir a satisfacer la cantidad de ligante total requerido por el diseño de la nueva mezcla asfalto-agregado a reciclar.

Para cumplir estas funciones, los agentes de reciclaje, que en general son productos especiales derivados del petróleo, deben cumplir con las siguientes características:

- Alto contenido de hidrocarburos aromáticos.
- Alto punto de inflamación, por razones de seguridad.
- Alta viscosidad.
- Total compatibilidad y facilidad de difusión en el asfalto a reciclar.
- Resistencia al endurecimiento.

3.11.1.4 Reciclado “in situ” en frío con cemento.

Este es un procedimiento que se basa en el fresado en frío de un cierto grosor del firme envejecido y el mezclado de este material con un conglomerante hidráulico (cemento normalmente). El nuevo material se extiende y se compacta definiendo una sólida base para posteriores refuerzos.

3.11.1.5 Reciclado “in situ” en frío con emulsiones bituminosas

Esta técnica, que es la utilizada en los tramos que posteriormente estudiaremos y comentaremos, permite reutilizar la totalidad de los materiales extraídos del firme envejecido en condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales muy favorables. El procedimiento usual y básico consiste fundamentalmente en las siguientes operaciones:

- ✓ Fresado en frío de un cierto grosor del firme
- ✓ Mezclado del material obtenido con una proporción determinada de emulsión y otros aditivos
- ✓ Extensión en obra de la nueva mezcla
- ✓ Compactación energética
- ✓ Curado de la capa reciclada
- ✓ Extensión de una capa delgada de rodadura a base de mezcla en caliente

3.11.2 Campos de Aplicación del Reciclaje

El reciclado de pavimentos puede emplearse en aquellos casos en que las fallas pueden atribuirse a:

- a) Elevada rigidez del ligante asfáltico, como consecuencia de su envejecimiento por acción del tiempo.
- b) Desprendimiento de los agregados ocasionado por una falla de adherencia con el asfalto o bien por el envejecimiento del mismo.
- c) Deformaciones plásticas que producen ahuellamientos, ondulaciones, corrimientos, etc. Esto es atribuible, principalmente, a mezclas con baja estabilidad.
- d) Pulimento de los agregados superficiales que disminuye la resistencia al deslizamiento de la capa de rodamiento.
- e) Afloramiento del asfalto, como consecuencia de una falla en el diseño de la mezcla, que conduce también a superficies propensas al patinaje de los vehículos.
- f) Fisuras y grietas ocasionadas por la fátiga de la capa asfáltica (piel de cocodrilo) o bien por contracción producida por efectos térmicos (fisuramiento transversal).

3.11.3 Ventajas de las Técnicas de Reciclado

Las técnicas clásicas tienen importantes defectos. Un firme envejecido sin problemas estructurales graves se compone de unas capas inferiores o más o menos sanas y de unas capas superficiales deterioradas.

La colocación sin ningún tratamiento de una nueva capa sobre la superficie envejecida (refuerzo o recrecido) hace que en el nuevo firme exista una capa intermedia deteriorada que ha perdido sus cualidades mecánicas y que constituye por tanto un elemento inútil y perturbador para su buen funcionamiento.

En la actualidad, multitud de capas de rodadura colocadas en una operación de refuerzo por recrecido convencional resultan grave y prematuramente dañadas debido a la suma del asiento.

El reciclaje de esta capa deteriorada antes de la extensión de la nueva capa superficial asegura un buen funcionamiento estructural del conjunto del firme, una mayor durabilidad y un mejor servicio a los usuarios.

El reciclado de pavimentos asfálticos supone en primer lugar un aprovechamiento de los recursos disponibles en la obra.

Los materiales envejecidos pueden ser reutilizados mediante una técnica adecuada de forma que son nuevamente válidos para la construcción del firme.

Con este tipo de técnicas, en las operaciones de conservación se puede disminuir mucho la demanda de materiales (áridos, betún, etc.), se elimina la necesidad de encontrar canteras y vertederos próximos a la obra, se mejoran los rendimientos de fabricación, etc.

Cuadro 3.12 Ventajas de las Técnicas de Reciclado

PRINCIPALES VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO	
TÉCNICA DE RECICLADO	VENTAJAS
Reciclado Superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia al deslizamiento - Corrige las deficiencias de origen superficial - Mejora el perfil geométrico de la calzada - Permite eliminar la capa de restitución de galibo en refuerzos del pavimento
Reciclado en Frio	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la resistencia al deslizamiento - Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural - Permite incrementar en forma limitada la resistencia estructural del pavimento - Elimina temporalmente las fisuras reflejas - Permite corregir las características de las mezclas asfálticas superficiales (6 a 7cm) con deformaciones plásticas - Mejora el perfil geométrico de la calzada
Reciclado en Caliente	<ul style="list-style-type: none"> - Refuerza estructuralmente al pavimento de acuerdo con las necesidades del proyecto - Corrige las deficiencias de origen superficial y estructural - Produce mezclas asfálticas de mejor calidad - Permite eliminar o corregir las capas intermedias de deficiente comportamiento - Elimina las fisuras reflejas - Mejora la resistencia al deslizamiento - Corrige el perfil geométrico de la calzada

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras

Figura 3.43 Retirado de pavimento flexible para ser reciclado



Fuente: Nuevas tecnologías de reciclado

Figura 3.44 Retirado de pavimento flexible con maquinaria



Fuente: Nuevas tecnologías de reciclado

Evita problemas de gálibo. La técnica clásica de recrecer el firme, utilizada de forma sucesiva puede provocar problemas asociados al crecimiento de la cota de la superficie del firme. Suele darse este problema en túneles, en ciudades (pérdida de desnivel respecto a la acera), en puntos de recogida de aguas, puede afectar a las pendientes, a la altura de la señalización vertical, etc.

Facilita las actuaciones relativas al cambio de la geometría de la carretera. Así, se pueden hacer cambios en la alineación vertical y horizontal sin la necesidad de grandes actuaciones, cosa que sería más difícil hacer mediante técnicas clásicas.

Optimiza los recursos disponibles. El recrecimiento de los firmes puede no optimizar los recursos, como es el caso de una vía de varios carriles, donde los deterioros se concentran en los carriles exteriores ya que por ellos circulan los vehículos pesados de forma canalizada. La técnica clásica obliga a recrecer todos los carriles, quedando sobredimensionados los centrales, mientras que las técnicas de reciclado permiten rehabilitar sólo el carril que lo necesita.

Además, esta actuación permite el paso del tráfico por los carriles que no son tratados.

Tienen un nivel de afectación al tráfico menor. Es posible reciclar sólo un carril y permitir la circulación por los restantes. Además, el tiempo de ocupación de la vía es menor que el de las técnicas clásicas, ya que un firme reciclado puede generalmente abrirse al tráfico en pocas horas.

Permite la estabilización de las capas inferiores en caso de problemas estructurales y el aprovechamiento de la capa de rodadura envejecida. Es posible reparar fallos estructurales sin necesidad de desechar los materiales existentes.

Mejora las condiciones de adherencia superficial. Además, si el firme tiene otros deterioros superficiales, el reciclado puede resolver el problema automáticamente.

El reciclaje no es aplicable a todas las operaciones de conservación realizables. Estas técnicas pueden tener un coste económico superior al de las clásicas, pueden no ser aceptables ambiental o socialmente, o simplemente pueden no dar buenos resultados desde el punto de vista técnico. De este modo, el análisis de los fallos es fundamental para la elección de la técnica de conservación a emplear.

3.11.4 Consideraciones previas para proyectar un reciclado

Cuando nos planteemos el reciclado de una carretera, hay tres grandes áreas que deberíamos considerar para asegurar el éxito de la operación: la técnica, la ambiental y la económica. Cada uno de estos bloques, contiene elementos que pueden inclinar la balanza a favor de un determinado tipo de técnica.

3.11.4.1 Consideraciones de carácter técnico

Los firmes están integrados por diferentes capas de materiales cuya misión es transmitir las sollicitaciones del tráfico que llegan a la superficie, a la explanada, de forma que ésta, que no tiene una gran capacidad portante, no sufra deformaciones plásticas. Cada una de las capas está definida por su espesor y la naturaleza del material que la forma, que le confiere un cierto comportamiento mecánico cuantificable a través de su módulo elástico.

Cabe recordar que estas capas funcionan principalmente de dos formas.

Cuando son materiales granulares, la transferencia de cargas se realiza a través del esqueleto mineral de la capa. Con el tiempo, se produce una reordenación de las partículas minerales que se traduce en deformaciones en la superficie.

Cuando hablamos de materiales ligados, la capa funciona en su conjunto actuando (en mayor o menor grado) como una placa. Esto significa que en su parte superior moviliza una serie de compresiones horizontales y las correspondientes tracciones en su zona inferior. Estos materiales fallan por acumulación de ciclos de carga-descarga que fatigan el material dando lugar a fisuras que se transmiten de abajo a arriba.

Cuando nos enfrentamos a una rehabilitación es fundamental tener en cuenta lo anterior. Tendremos que identificar cuál es el espesor de cada una de las capas del firme y su naturaleza, qué tipo de explanada tenemos y qué tipo de fallo se ha producido.

Los fallos que proceden de los cimientos del firme (explanadas de mala calidad, deficiente capacidad portante, etc.), deben ser estudiados de manera particular. Sin embargo, cuando los fallos proceden de las capas superiores, el identificar la naturaleza de los mismos ayuda a determinar cuál es la solución más adecuada para su rehabilitación.

Además de la identificación de los materiales existentes, es muy importante que conozcamos sus condiciones de trabajo. Para ello debemos conocer con exactitud cuál es el tráfico que soporta la carretera en el momento presente y cuál es su evolución previsible (especialmente en lo que respecta a los vehículos pesados). No debemos de olvidar que estos proyectos tienen un periodo de diseño de 10 a 20 años. El análisis de las deflexiones nos aportará muchos datos para una mejor comprensión del comportamiento mecánico de las capas.

Por último, es importante señalar dentro de este capítulo la disponibilidad de materiales y equipos, así como las propias condiciones de la obra.

3.11.3.2 Consideraciones de carácter ambiental

Todavía hoy es frecuente que el diseño de las secciones de firme se realice en base a criterios estructurales a pesar de las diferentes condiciones ambientales. Las condiciones ambientales afectan a la carretera de tres maneras:

La superficie del firme está expuesta al clima del lugar. Los ciclos térmicos y la radiación solar producen un envejecimiento y progresivo deterioro de la capa.

La estructura del firme es muy sensible al ingreso de agua que se produce a través de las fisuras y grietas superficiales. Esta agua, en combinación con los mencionados efectos térmicos, puede tener un efecto totalmente destructivo para la carretera.

Las condiciones medioambientales, que afectarán a la disponibilidad de nuevos áridos (explotación de canteras), posibles puntos de vertido, emisiones a la atmósfera, etc.

Todos estos factores se deben tener en cuenta a la hora de considerar cuál es la solución más adecuada de rehabilitación.

3.11.4.3 Consideraciones de carácter económico

Es bien evidente que sienta este el bloque que se menciona en último lugar, es el que probablemente tenga un mayor peso específico a la hora de decantarse por una solución u otra.

Figura 3.45 Reciclado de Pavimentos



Fuente: Técnicas de Reciclado en Bogotá

En general, todas las propuestas que implican un proceso de reciclado son más económicas por cuestiones obvias. Sin embargo, en algunos casos, la comparación económica no es claramente favorable para el proceso de reciclado en sentido estricto. Aún en estos casos, el proceso de reciclado siempre es más económico en términos globales, si tenemos en cuenta todas las externalidades que se producen en muchos de los procedimientos convencionales.

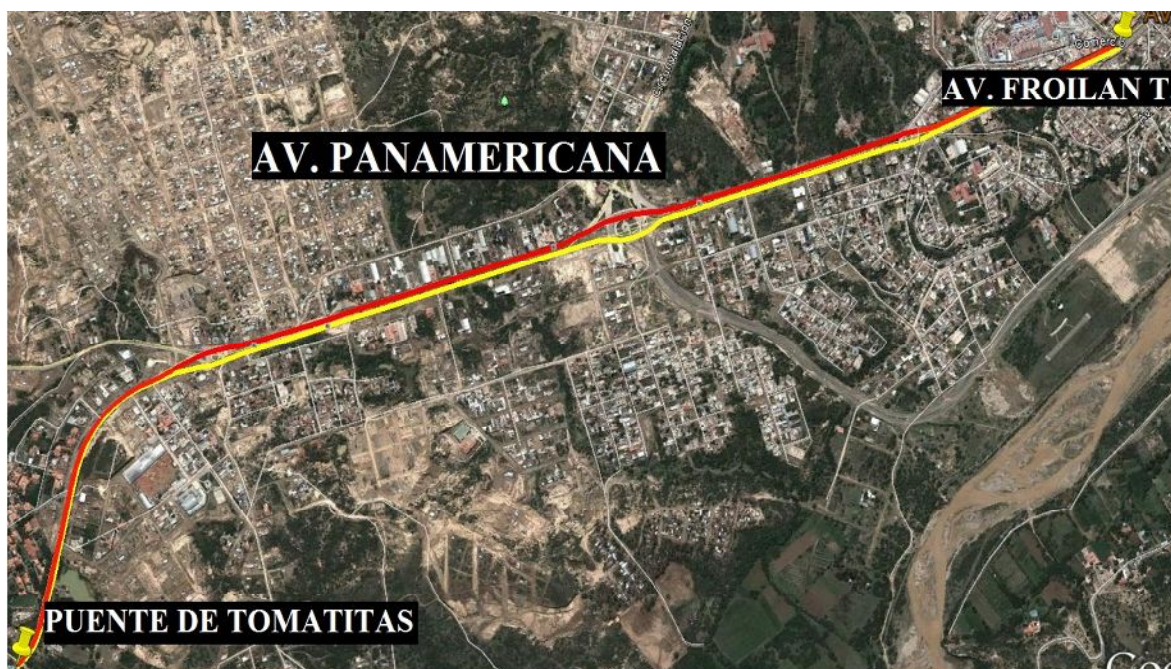


CAPÍTULO IV

4.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija perteneciente a la Provincia Cercado, la vía que será esta estudiada corresponde del tramo Av. Panamericana entre Puente de Tomatitas y el cruce con la Calle Froilán Tejerina, se mostrara una fotografía satelital para tener mejor entendido del tramo evaluado.

Figura 4.1 Imagen satelital del tramo en estudio



Fuente: Google Earth

4.2 Datos y Especificaciones Técnicas del Pavimento Flexible

Los datos de la vía fueron medidos y también fueron proporcionados por el Ing. Oscar Sierra perteneciente al Gobierno Autónomo Municipal de Tarija Provincia Cercado.

En los presentes esquemas se presentaran datos de cada tramo que han sido evaluados.

➤ **Tramo 1**

Av. Panamericana entre Puente Tomatitas y Cruce con la Rotonda del camino a San Mateo

Figura 4.2 Imagen satelital del tramo 1 en estudio



Fuente: Google Earth

✓ Tipo de pavimento:	Pavimento Flexible con paquete estructural
✓ Altura de la Sub-base:	30 cm.
✓ Altura de la Base:	20 cm.
✓ Altura de la Carpeta Asfáltica:	7 cm.
✓ Ancho de Calzada:	10 m. (cada calzada)
✓ Años de Servicio:	20 años
✓ Periodo de vida:	15 años
✓ Mantenimiento realizado a la vía:	recapamiento el 2006 una altura de 4 cm.
✓ Carriles:	izquierdo y derecho
✓ Longitud:	828 metros.
✓ Progresivas:	0+000 hasta la 0+828

➤ **Tramo 2**

Av. Panamericana entre Cruce con la Rotonda del camino a San Mateo hasta la rotonda del Campesino (Estación Policial P.A.C.).

Figura 4.3 Imagen satelital del tramo 2 en estudio



Fuente: Google Earth

✓ Tipo de pavimento:	Pavimento Flexible con paquete estructural
✓ Altura de la Sub-base:	30 cm.
✓ Altura de la Base:	20 cm.
✓ Altura de la Carpeta Asfáltica:	7 cm.
✓ Ancho de Calzada:	10 m. (cada calzada)
✓ Jardinera Central:	5 m.
✓ Años de Servicio:	20 años
✓ Periodo de vida:	15 años
✓ Mantenimiento realizado a la vía:	recapamiento el 2006 con una altura de 4 cm.
✓ Carriles:	izquierdo y derecho
✓ Longitud:	1840 metros.
✓ Progresivas:	0+828 hasta la 2+668

➤ **Tramo 3**

Av. Panamericana desde la rotonda del Campesino (Estación Policial P.A.C.) hasta el cruce con la Calle Froilán Tejerina.

Figura 4.4 Imagen satelital del tramo 3 en estudio



Fuente: Google Earth

✓ Tipo de pavimento:	Pavimento Flexible con paquete estructural
✓ Altura de la Sub-base:	30 cm.
✓ Altura de la Base:	20 cm.
✓ Altura de la Carpeta Asfáltica:	7 cm.
✓ Ancho de Calzada:	10 m. (cada calzada)
✓ Jardinera Central:	2.50 m.
✓ Años de Servicio:	20 años
✓ Periodo de vida:	15 años
✓ Mantenimiento realizado a la vía:	recapamiento el 2006 con una altura de 4 cm.
✓ Carriles:	izquierdo y derecho
✓ Longitud:	460 metros.
✓ Progresivas:	2+668 hasta la 3+128

4.3 Métodos de Evaluación Superficial

4.3.1 Método de Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Para la realización de este método se siguieron los siguientes procedimientos los cuales nombramos a continuación:

4.3.1.1 Procedimiento de Evaluación PCI

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

Unidades de Muestreo.- Se divide la vía en secciones o unidades de muestreo cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vías y la capa de rodadura.

Cuadro 4.1 Longitudes de unidades de muestreo.

Ancho de calzada en (m)	Unidades de longitud de muestreo en (m)
5	46
5.5	42
6	38
6.5	35
7.3	32
8	29
8.5	27
9	26
9.5	24
10	23
10.5	22
11	21
11.5	20
12	19

Fuente: Pavement Condition Index (PCI).

- ✓ Con el dato obtenido para el tramo 1 era 5 m. nos dio una longitud de muestreo de 46 así una vez obtenido el dato se calculó el área cual será de 230 m².
- ✓ Con el dato obtenido para el tramo 2 y 3 era 10 m. nos dio una longitud de muestreo de 23 así una vez obtenido el dato se calculó el área igual 230 m².

Severidad

La severidad se refiere a la gravedad del problema. La escala de severidad, basada en experiencia previa, tiene tres niveles: baja, moderada y alta. A continuación, se da una descripción de cada etapa de la escala de severidad, acompañada de representaciones gráficas.

L: (Low: Bajo): Se perciben las vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones) pero no es necesaria una reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad; o los abultamientos causan un ligero rebote del vehículo, pero creando poca incomodidad.

M: (Medium: Medio): Las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos causan un rebote significativo, creando incomodidad.

H: (High: Alto): Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; o los abultamientos causan un excesivo rebote del vehículo, creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

4.3.1.2 Metodología para el cálculo del PCI.

ETAPA 1: Cálculo de valores deducidos

1. a.- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y registro en la columna Total del formato elegido de acuerdo al manual del PCI. El daño puede medirse en área, longitud o por numero según tipo.

1. b.- Divida la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre en el área total de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la densidad de daño, en nivel de severidad especificado, dentro de la unidad con estudio.

Ecuación 4.1

$$\text{Densidad. \%} = \frac{\text{Clase. daño}}{\text{Area. total}} \times 100 = \%$$

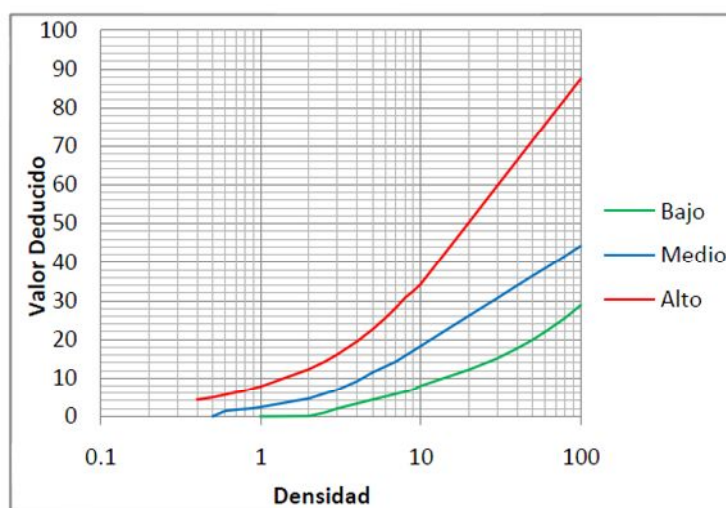
Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

1. c.- Determine el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad, mediante curvas denominadas “valor deducido del daño” que se adjunta en el anexo de este documento, de acuerdo al tipo de falla observado en la tabla.

Ejemplo:

Con el valor de la severidad ya sea tipo L, M, H y con el dato obtenido de la densidad en porcentaje se lee la tabla.

Figura 4.5 Ábacos para el método PCI (severidad)



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

ETAPA 2: Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos

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

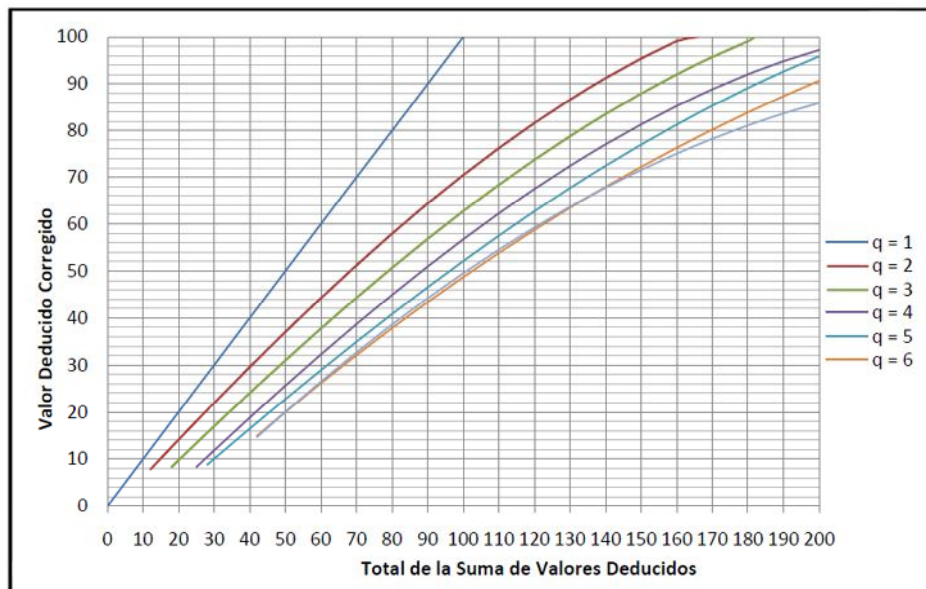
Etapa 3: Cálculo del “Máximo valor deducido corregido” (VDC)

El máximo (VDC) se determina mediante el siguiente proceso iterativo.

3. a.- Determine el número de valores deducidos “q” mayores que 2.
3. b.- Determine el valor “Valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
3. c.- Determine el (VDC) con “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al pavimento.

CURVAS DE DEDUCCIÓN PARA SUPERFICIE ASFÁLTICA

Figura 4.6 Curvas de deducción para una superficie asfáltica



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

3. d.- Reduzca a 2 el menor de los valores “Valores deducidos” individuales que sea mayor que 2 y se repita en las etapas 3.a y 3.C hasta que “q” sea igual a 1.

3.e.- El máximo (VDC) es el mayor de los (VDC) obtenido en este proceso.

ETAPA 4: Cálculo del PCI

Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo VDC obtenido en la etapa 3.

ETAPA 5: Cálculo del PCI promedio

Se calcula el promedio total de cada tramo para obtener un solo dato y de ahí poder calificar el estado del pavimento.

$$\text{Ecuación 4.2}$$

$$PCI_f = \frac{\sum PCI_i}{n}$$

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Dónde:

PCI_i = PCI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades que existen en la sección.

PCI_f = Índice de condición del pavimento final del tramo en estudio.

Tabla con los diferentes valores de VDC para cada q_i del cual luego escogeremos el mayor VDC para trabajar.

ETAPA 6: Calificación del tramo evaluado

RANGO DE CALIFICACIÓN DEL PCI

Cuadro 4.2 Rangos de calificación del PCI

RANGO	CALIFICACIÓN
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Cuadro 4.3 Planilla para el cálculo del método PCI.

CÁLCULO DEL (PCI) INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

NOMBRE DE LA VÍA: AV. PANAMERICANA

FECHA: ABR. 2012 UNIDAD N°: 19 Derecho SUB TRAMO: E18 - E19

ANCHO VÍA: 10 m LONG. TRAMO: 23 m ÁREA DE LA MUESTRA: 230 m²

REALIZADO POR: DAVID MARTÍNEZ M.

PROGRESIVAS: 0+828 - 0+851

TIPOS DE FALLAS					
1	Piel de cocodrilo	m ²	11	Parcheo y Acometidas	m ²
2	Exudación	m ²	12	Agregados pulidos	m ²
3	Agrietamiento en Bloque	m ²	13	Hundimientos	m
4	Abultamientos	m	14	Tapas de Alcantarilla-Rejilla Drenaje	m ²
5	Corrugación	m ²	15	Ahuellamiento	m ²
6	Depresión	m ²	16	Desplazamiento	m ²
7	Grietas de borde	m	17	Grietas de deslizamiento	m ²
8	Grietas de reflexión de juntas	m	18	Hinchamiento	m ²
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desprendimiento de Agregados	m ²
10	Grietas long. y trans.	m			

TIPOS DE FALLAS EXISTENTES

Falla	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad (%)	Valor deducido
11	M	34.45	34.45	15	36.25
12	M	105.17	105.17	45.73	11.07
10	L	1	1	0.44	0

TOTAL VALOR DE DEDUCCIÓN	VTD	47.32
MÁXIMO VALOR DE DEDUCCION CORREGIDO	VDC	36.25
PCI = 100-VDC	PCI	63.75

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

4.3.1.3 Cálculo de los diferentes tramos por el método PCI.

Se procederá a la tabulación del método PCI para los diferentes tramos de manera resumida y posteriormente en ANEXOS III se tendrá el procedimiento para su cálculo respectivo.

TRAMO 1 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.4 Cálculo del método PCI (tramo1 carril izquierdo)

N* SECCION	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PCI
1	0 + 000	0 + 046	64.62
2	0 + 046	0 + 092	75.49
3	0 + 092	0 + 138	82.64
4	0 + 0138	0 + 184	100.00
5	0 + 184	0 + 230	62.85
6	0 + 230	0 + 276	83.69
7	0 + 276	0 + 322	70.99
8	0 + 322	0 + 368	84.19
9	0 + 368	0 + 414	84.36
10	0 + 414	0 + 460	82.24
11	0 + 460	0 + 506	80.00
12	0 + 506	0 + 552	66.47
13	0 + 552	0 + 598	73.90
14	0 + 598	0 + 644	77.86
15	0 + 644	0 + 690	76.37
16	0 + 690	0 + 736	80.00
17	0 + 736	0 + 782	85.32
18	0 + 782	0 + 828	40.09
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 IZQ.			76.17
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (70 - 85)			MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 1 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.5 Calculo del método PCI (tramo1carril derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PCI
1	0 + 000	0 + 046	82.24
2	0 + 046	0 + 092	88.32
3	0 + 092	0 + 138	85.60
4	0 + 0138	0 + 184	74.17
5	0 + 184	0 + 230	81.57
6	0 + 230	0 + 276	73.86
7	0 + 276	0 + 322	67.04
8	0 + 322	0 + 368	79.93
9	0 + 368	0 + 414	81.33
10	0 + 414	0 + 460	81.39
11	0 + 460	0 + 506	81.53
12	0 + 506	0 + 552	69.00
13	0 + 552	0 + 598	79.13
14	0 + 598	0 + 644	70.35
15	0 + 644	0 + 690	84.93
16	0 + 690	0 + 736	84.82
17	0 + 736	0 + 782	82.02
18	0 + 782	0 + 828	78.93
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 DER.			79.23
CALIFICACION SEGÚN TABLAS (70 - 85)			MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.6 Cálculo del método PCI (tramo 2 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR PCI
19	0 + 828	0 + 851	86.23
20	0 + 851	0 + 874	20.40
21	0 + 874	0 + 897	72.42
22	0 + 897	0 + 920	84.26
23	0 + 920	0 + 943	72.30
24	0 + 943	0 + 966	84.64
25	0 + 966	0 + 989	57.97
26	0 + 989	1 + 012	57.90
27	1 + 012	1 + 035	72.68
28	1 + 035	1 + 058	79.42
29	1 + 058	1 + 081	64.48
30	1 + 081	1 + 104	93.58
31	1 + 104	1 + 127	91.63
32	1 + 127	1 + 150	56.22
33	1 + 150	1 + 173	86.40
34	1 + 173	1 + 196	89.10
35	1 + 196	1 + 219	82.10
36	1 + 219	1 + 242	74.75
37	1 + 242	1 + 265	86.61
38	1 + 265	1 + 288	84.22
39	1 + 288	1 + 311	83.52
40	1 + 311	1 + 334	82.09
41	1 + 334	1 + 357	78.70
42	1 + 357	1 + 380	76.37
43	1 + 380	1 + 403	79.22
44	1 + 403	1 + 426	61.74
45	1 + 426	1 + 449	82.54
46	1 + 449	1 + 472	58.48
47	1 + 472	1 + 495	79.35
48	1 + 495	1 + 518	83.98
49	1 + 518	1 + 541	88.62
50	1 + 541	1 + 564	87.30
51	1 + 564	1 + 587	90.77
52	1 + 587	1 + 610	80.72
53	1 + 610	1 + 633	89.72
54	1 + 633	1 + 656	81.55

55	1 + 656	1 + 679	88.62
56	1 + 679	1 + 702	85.83
57	1 + 702	1 + 725	82.64
58	1 + 725	1 + 748	83.30
59	1 + 748	1 + 771	74.40
60	1 + 771	1 + 794	84.91
61	1 + 794	1 + 817	88.18
62	1 + 817	1 + 840	55.78
63	1 + 840	1 + 863	82.02
64	1 + 863	1 + 886	86.49
65	1 + 886	1 + 909	80.46
66	1 + 909	1 + 932	88.62
67	1 + 932	1 + 955	48.17
68	1 + 955	1 + 978	74.00
69	1 + 978	2 + 001	96.35
70	2 + 001	2 + 024	98.82
71	2 + 024	2 + 047	100.00
72	2 + 047	2 + 070	100.00
73	2 + 070	2 + 093	93.35
74	2 + 093	2 + 116	96.35
75	2 + 116	2 + 139	90.20
76	2 + 139	2 + 162	89.50
77	2 + 162	2 + 185	96.35
78	2 + 185	2 + 208	100.00
79	2 + 208	2 + 231	100.00
80	2 + 231	2 + 254	96.98
81	2 + 254	2 + 277	100.00
82	2 + 277	2 + 300	96.05
83	2 + 300	2 + 323	100.00
84	2 + 323	2 + 346	96.90
85	2 + 346	2 + 369	89.80
86	2 + 369	2 + 392	100.00
87	2 + 392	2 + 415	100.00
88	2 + 415	2 + 438	95.50
89	2 + 438	2 + 461	100.00
90	2 + 461	2 + 484	96.35
91	2 + 484	2 + 507	100.00
92	2 + 507	2 + 530	96.35
93	2 + 530	2 + 553	100.00
94	2 + 553	2 + 576	96.35
95	2 + 576	2 + 599	100.00

96	2 + 599	2 + 622	100.00
97	2 + 622	2 + 645	88.80
98	2 + 645	2 + 668	84.50
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 IZQ.			84.80
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (70 - 85)			MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.7 Cálculo del método PCI (tramo 2 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR PCI
19	0 + 828	0 + 851	63.75
20	0 + 851	0 + 874	63.27
21	0 + 874	0 + 897	100.00
22	0 + 897	0 + 920	65.02
23	0 + 920	0 + 943	34.65
24	0 + 943	0 + 966	59.18
25	0 + 966	0 + 989	80.95
26	0 + 989	1 + 012	65.22
27	1 + 012	1 + 035	73.64
28	1 + 035	1 + 058	91.18
29	1 + 058	1 + 081	88.57
30	1 + 081	1 + 104	76.11
31	1 + 104	1 + 127	79.68
32	1 + 127	1 + 150	72.74
33	1 + 150	1 + 173	43.36
34	1 + 173	1 + 196	75.63
35	1 + 196	1 + 219	63.13
36	1 + 219	1 + 242	80.14
37	1 + 242	1 + 265	90.18
38	1 + 265	1 + 288	100.00
39	1 + 288	1 + 311	93.37
40	1 + 311	1 + 334	82.24
41	1 + 334	1 + 357	94.26
42	1 + 357	1 + 380	74.23
43	1 + 380	1 + 403	38.59
44	1 + 403	1 + 426	52.91

45	1 + 426	1 + 449	69.98
46	1 + 449	1 + 472	80.34
47	1 + 472	1 + 495	68.05
48	1 + 495	1 + 518	85.44
49	1 + 518	1 + 541	96.96
50	1 + 541	1 + 564	86.92
51	1 + 564	1 + 587	90.18
52	1 + 587	1 + 610	56.54
53	1 + 610	1 + 633	31.61
54	1 + 633	1 + 656	87.81
55	1 + 656	1 + 679	40.06
56	1 + 679	1 + 702	77.58
57	1 + 702	1 + 725	100.00
58	1 + 725	1 + 748	82.84
59	1 + 748	1 + 771	71.50
60	1 + 771	1 + 794	81.94
61	1 + 794	1 + 817	84.64
62	1 + 817	1 + 840	81.08
63	1 + 840	1 + 863	85.88
64	1 + 863	1 + 886	78.82
65	1 + 886	1 + 909	85.14
66	1 + 909	1 + 932	100.00
67	1 + 932	1 + 955	56.93
68	1 + 955	1 + 978	79.00
69	1 + 978	2 + 001	67.40
70	2 + 001	2 + 024	86.50
71	2 + 024	2 + 047	87.90
72	2 + 047	2 + 070	96.30
73	2 + 070	2 + 093	100.00
74	2 + 093	2 + 116	100.00
75	2 + 116	2 + 139	93.90
76	2 + 139	2 + 162	100.00
77	2 + 162	2 + 185	100.00
78	2 + 185	2 + 208	100.00
79	2 + 208	2 + 231	100.00
80	2 + 231	2 + 254	100.00
81	2 + 254	2 + 277	90.50
82	2 + 277	2 + 300	96.90
83	2 + 300	2 + 323	100.00
84	2 + 323	2 + 346	96.80
85	2 + 346	2 + 369	100.00

86	2 + 369	2 + 392	97.20
87	2 + 392	2 + 415	100.00
88	2 + 415	2 + 438	96.90
89	2 + 438	2 + 461	96.90
90	2 + 461	2 + 484	95.80
91	2 + 484	2 + 507	60.50
92	2 + 507	2 + 530	705.00
93	2 + 530	2 + 553	91.50
94	2 + 553	2 + 576	91.30
95	2 + 576	2 + 599	95.75
96	2 + 599	2 + 622	91.40
97	2 + 622	2 + 645	100.00
98	2 + 645	2 + 668	90.80
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 DER.			89.88
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (70 - 85)			MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.8 Cálculo del método PCI (tramo 3 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR PCI
99	2 + 668	2 + 691	60.90
100	2 + 691	2 + 714	52.50
101	2 + 714	2 + 737	73.50
102	2 + 737	2 + 760	100.00
103	2 + 760	2 + 783	81.20
104	2 + 783	2 + 806	80.46
105	2 + 806	2 + 829	62.50
106	2 + 829	2 + 852	73.10
107	2 + 852	2 + 875	61.10
108	2 + 875	2 + 898	78.90
109	2 + 898	2 + 921	76.50
110	2 + 921	2 + 944	63.90
111	2 + 944	2 + 967	68.80
112	2 + 967	2 + 990	59.70
113	2 + 990	3 + 013	70.90
114	3 + 013	3 + 036	62.80
115	3 + 036	3 + 059	76.90

116	3 + 059	3 + 082	78.80
117	3 + 082	3 + 105	55.40
118	3 + 105	3 + 128	31.00
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 3 IZQ.			68.44
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (55 - 70)			BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.9 Cálculo del método PCI (tramo 3 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR PCI
99	2 + 668	2 + 691	63.20
100	2 + 691	2 + 714	100.00
101	2 + 714	2 + 737	61.88
102	2 + 737	2 + 760	68.50
103	2 + 760	2 + 783	74.10
104	2 + 783	2 + 806	74.50
105	2 + 806	2 + 829	71.60
106	2 + 829	2 + 852	63.60
107	2 + 852	2 + 875	71.70
108	2 + 875	2 + 898	70.70
109	2 + 898	2 + 921	70.30
110	2 + 921	2 + 944	72.50
111	2 + 944	2 + 967	68.80
112	2 + 967	2 + 990	72.50
113	2 + 990	3 + 013	71.40
114	3 + 013	3 + 036	71.10
115	3 + 036	3 + 059	72.70
116	3 + 059	3 + 082	70.40
117	3 + 082	3 + 105	54.40
118	3 + 105	3 + 128	51.10
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 3 DER.			69.75
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (55 - 70)			BUENO

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.4 Resultados Generales del PCI Obtenidos de la Vía para cada Tramo

Cuadro 4.10 Valores promedios finales del método PCI

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	PCI	CALIFICACION
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	76.17	MUY BUENO
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	79.23	MUY BUENO
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	84.80	MUY BUENO
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	89.88	MUY BUENO
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	68.44	BUENO
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	69.75	BUENO

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Método de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Un método práctico desarrollado por los ensayos de la AASTHO para los pavimentos flexibles corresponde a la siguiente ecuación:

Ecuación 4.3

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C1 - 0.3 * C2 - 0.1 * C3$$

Fuente: Manual PSI

Dónde:

C1, C2, C3 son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la escala siguiente.

Para la obtención de los coeficientes se obtiene de la siguiente tabla:

Coeficiente C1, C2, C3

Cuadro 4.11 Coeficientes C1, C2 y C3.

RUGOSIDAD LONGITUDINAL	CALOR C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
INTENSIDAD DE GRIETAS Y PARTES	VALOR DE C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasas	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
DEFORMACIÓN TRANSVERSAL	VALOR C2
Sin deformación ni Ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: Manual PSI

Los resultados siguientes se obtuvieron de la fórmula del PSI los cuales se muestran en la tabla tabulada con los PSI de cada tamo.

Ecuación 4.4

$$\text{PSI} = 6.20 - 0.8 * 2 - 0.3 * 3 - 0.1 * 2 = \mathbf{3.50}$$

Fuente: Manual PSI

Para la obtención de los del PSI final del índice de serviciabilidad presente se sigue la siguiente formula el cual nos indicara el resultado.

El valor final del índice de serviciabilidad presente (PSI) es:

Ecuación 4.5

$$PSI_f = \frac{\sum PSI_i}{n}$$

Fuente: Manual PSI

Dónde:

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada

n = número de unidades que existen en la sección

PSI_f = Índice de Serviciabilidad Presente Final del tramo en estudio

RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PSI

Cuadro 4.12 Rango de calificación del PSI

RANGO	CALIFICACIÓN
5.00 – 4.25	Excelente
4.25 – 3.50	Muy bueno
3.5 – 2.75	Bueno
2.75 – 2.00	Regular
2.00 – 1.25	Malo
1.25 – 0.50	Muy malo
0.50 – 0.00	Fallado

Fuente: Manual PSI

4.3.2.1 Cálculo de los diferentes tramos por el método PSI.

Se procederá a la tabulación del método PSI para los diferentes tramos de manera resumida y posteriormente en ANEXO IV se tendrá el procedimiento para su cálculo respectivo.

TRAMO 1 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.13 Cálculo del método PSI (tramo 1 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
1	0 + 000	0 + 046	3.00
2	0 + 046	0 + 092	3.80
3	0 + 092	0 + 0138	3.80
4	0 + 138	0 + 184	3.80
5	0 + 184	0 + 230	3.50
6	0 + 230	0 + 276	3.50
7	0 + 276	0 + 322	3.50
8	0 + 322	0 + 368	3.00
9	0 + 368	0 + 414	3.00
10	0 + 414	0 + 460	3.80
11	0 + 460	0 + 506	3.80
12	0 + 506	0 + 552	3.00
13	0 + 552	0 + 598	3.00
14	0 + 598	0 + 644	3.00
15	0 + 644	0 + 690	3.50
16	0 + 690	0 + 736	3.00
17	0 + 736	0 + 782	3.10
18	0 + 782	0 + 828	3.00
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 IZQ.			3.34
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.75 – 3.50)			BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 1 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.14 Cálculo del método PSI (tramo 1 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
1	0 + 000	0 + 046	3.00
2	0 + 046	0 + 092	3.00
3	0 + 092	0 + 0138	3.00
4	0 + 0138	0 + 184	2.70
5	0 + 184	0 + 230	3.00
6	0 + 230	0 + 276	2.90
7	0 + 276	0 + 322	2.90
8	0 + 322	0 + 368	3.00
9	0 + 368	0 + 414	3.50
10	0 + 414	0 + 460	3.00
11	0 + 460	0 + 506	2.80
12	0 + 506	0 + 552	2.70
13	0 + 552	0 + 598	3.00
14	0 + 598	0 + 644	2.80
15	0 + 644	0 + 690	3.00
16	0 + 690	0 + 736	3.60
17	0 + 736	0 + 782	2.70
18	0 + 782	0 + 828	3.10
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 DER.			2.98
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.75 – 3.50)			BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.15 Cálculo del método PSI (tramo 2 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
19	0 + 828	0 + 851	3.70
20	0 + 851	0 + 874	1.90
21	0 + 874	0 + 897	3.80
22	0 + 897	0 + 920	3.80
23	0 + 920	0 + 943	3.00
24	0 + 943	0 + 966	4.10
25	0 + 966	0 + 989	2.60
26	0 + 989	1 + 012	3.00
27	1 + 012	1 + 035	3.80
28	1 + 035	1 + 058	3.00
29	1 + 058	1 + 081	3.10
30	1 + 081	1 + 104	3.90
31	1 + 104	1 + 127	3.80
32	1 + 127	1 + 150	2.80
33	1 + 150	1 + 173	3.90
34	1 + 173	1 + 196	4.10
35	1 + 196	1 + 219	3.90
36	1 + 219	1 + 242	3.00
37	1 + 242	1 + 265	4.00
38	1 + 265	1 + 288	3.80
39	1 + 288	1 + 311	3.80
40	1 + 311	1 + 334	3.90
41	1 + 334	1 + 357	3.10
42	1 + 357	1 + 380	3.80
43	1 + 380	1 + 403	3.90
44	1 + 403	1 + 426	3.00
45	1 + 426	1 + 449	3.90
46	1 + 449	1 + 472	3.00
47	1 + 472	1 + 495	3.90
48	1 + 495	1 + 518	3.90
49	1 + 518	1 + 541	4.10
50	1 + 541	1 + 564	3.90
51	1 + 564	1 + 587	3.90
52	1 + 587	1 + 610	3.80
53	1 + 610	1 + 633	4.10

54	1 + 633	1 + 656	3.90
55	1 + 656	1 + 679	4.20
56	1 + 679	1 + 702	4.20
57	1 + 702	1 + 725	3.90
58	1 + 725	1 + 748	3.90
59	1 + 748	1 + 771	3.00
60	1 + 771	1 + 794	3.10
61	1 + 794	1 + 817	3.80
62	1 + 817	1 + 840	3.00
63	1 + 840	1 + 863	3.80
64	1 + 863	1 + 886	3.90
65	1 + 886	1 + 909	3.80
66	1 + 909	1 + 932	4.20
67	1 + 932	1 + 955	3.00
68	1 + 955	1 + 978	3.50
69	1 + 978	2 + 001	3.80
70	2 + 001	2 + 024	3.50
71	2 + 024	2 + 047	3.50
72	2 + 047	2 + 070	3.50
73	2 + 070	2 + 093	2.70
74	2 + 093	2 + 116	2.70
75	2 + 116	2 + 139	2.70
76	2 + 139	2 + 162	3.50
77	2 + 162	2 + 185	3.70
78	2 + 185	2 + 208	3.50
79	2 + 208	2 + 231	3.50
80	2 + 231	2 + 254	3.50
81	2 + 254	2 + 277	2.90
82	2 + 277	2 + 300	3.50
83	2 + 300	2 + 323	2.60
84	2 + 323	2 + 346	3.40
85	2 + 346	2 + 369	3.70
86	2 + 369	2 + 392	3.70
87	2 + 392	2 + 415	2.90
88	2 + 415	2 + 438	2.70
89	2 + 438	2 + 461	3.50
90	2 + 461	2 + 484	3.50
91	2 + 484	2 + 507	3.50
92	2 + 507	2 + 530	2.70
93	2 + 530	2 + 553	3.40
94	2 + 553	2 + 576	2.70

95	2 + 576	2 + 599	3.50
96	2 + 599	2 + 622	3.50
97	2 + 622	2 + 645	3.00
98	2 + 645	2 + 668	2.70
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 IZQ.			3.47
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.75 – 3.50)			BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.16 Cálculo del método PSI (tramo 2 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
19	0 + 828	0 + 851	3.50
20	0 + 851	0 + 874	3.40
21	0 + 874	0 + 897	3.80
22	0 + 897	0 + 920	3.50
23	0 + 920	0 + 943	3.00
24	0 + 943	0 + 966	3.70
25	0 + 966	0 + 989	3.80
26	0 + 989	1 + 012	3.40
27	1 + 012	1 + 035	3.80
28	1 + 035	1 + 058	4.70
29	1 + 058	1 + 081	3.90
30	1 + 081	1 + 104	3.80
31	1 + 104	1 + 127	3.80
32	1 + 127	1 + 150	3.90
33	1 + 150	1 + 173	3.50
34	1 + 173	1 + 196	3.90
35	1 + 196	1 + 219	3.50
36	1 + 219	1 + 242	3.80
37	1 + 242	1 + 265	3.90
38	1 + 265	1 + 288	3.90
39	1 + 288	1 + 311	4.70
40	1 + 311	1 + 334	3.90
41	1 + 334	1 + 357	3.80
42	1 + 357	1 + 380	3.50
43	1 + 380	1 + 403	3.00

44	1 + 403	1 + 426	3.50
45	1 + 426	1 + 449	3.80
46	1 + 449	1 + 472	3.90
47	1 + 472	1 + 495	3.00
48	1 + 495	1 + 518	3.90
49	1 + 518	1 + 541	4.70
50	1 + 541	1 + 564	3.80
51	1 + 564	1 + 587	4.40
52	1 + 587	1 + 610	3.00
53	1 + 610	1 + 633	3.50
54	1 + 633	1 + 656	3.90
55	1 + 656	1 + 679	3.00
56	1 + 679	1 + 702	3.90
57	1 + 702	1 + 725	3.80
58	1 + 725	1 + 748	4.10
59	1 + 748	1 + 771	3.90
60	1 + 771	1 + 794	3.90
61	1 + 794	1 + 817	4.60
62	1 + 817	1 + 840	3.80
63	1 + 840	1 + 863	3.90
64	1 + 863	1 + 886	4.10
65	1 + 886	1 + 909	3.80
66	1 + 909	1 + 932	4.00
67	1 + 932	1 + 955	3.50
68	1 + 955	1 + 978	2.60
69	1 + 978	2 + 001	3.50
70	2 + 001	2 + 024	2.90
71	2 + 024	2 + 047	3.50
72	2 + 047	2 + 070	3.50
73	2 + 070	2 + 093	3.40
74	2 + 093	2 + 116	3.40
75	2 + 116	2 + 139	3.40
76	2 + 139	2 + 162	3.40
77	2 + 162	2 + 185	3.50
78	2 + 185	2 + 208	3.40
79	2 + 208	2 + 231	3.50
80	2 + 231	2 + 254	3.40
81	2 + 254	2 + 277	3.40
82	2 + 277	2 + 300	2.60
83	2 + 300	2 + 323	3.40
84	2 + 323	2 + 346	3.40

85	2 + 346	2 + 369	3.70
86	2 + 369	2 + 392	3.40
87	2 + 392	2 + 415	3.50
88	2 + 415	2 + 438	3.40
89	2 + 438	2 + 461	3.70
90	2 + 461	2 + 484	3.50
91	2 + 484	2 + 507	2.70
92	2 + 507	2 + 530	2.70
93	2 + 530	2 + 553	3.40
94	2 + 553	2 + 576	3.50
95	2 + 576	2 + 599	3.80
96	2 + 599	2 + 622	3.70
97	2 + 622	2 + 645	3.40
98	2 + 645	2 + 668	3.50
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 DER.			3.62
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (3.50 – 4.25)			MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.17 Cálculo del método PSI (tramo 3 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
99	2 + 668	2 + 691	2.70
100	2 + 691	2 + 714	3.50
101	2 + 714	2 + 737	2.70
102	2 + 737	2 + 760	3.00
103	2 + 760	2 + 783	3.00
104	2 + 783	2 + 806	3.00
105	2 + 806	2 + 829	2.70
106	2 + 829	2 + 852	2.60
107	2 + 852	2 + 875	1.80
108	2 + 875	2 + 898	2.70
109	2 + 898	2 + 921	2.90
110	2 + 921	2 + 944	2.60
111	2 + 944	2 + 967	2.70
112	2 + 967	2 + 990	1.80
113	2 + 990	3 + 013	2.90
114	3 + 013	3 + 036	2.60

115	3 + 036	3 + 059	2.60
116	3 + 059	3 + 082	2.70
117	3 + 082	3 + 105	3.00
118	3 + 105	3 + 128	1.80
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 3 DER.			2.67
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.00 – 2.75)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.18 Cálculo del método PSI (tramo 3 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL PSI
99	2 + 668	2 + 691	3.00
100	2 + 691	2 + 714	2.60
101	2 + 714	2 + 737	2.70
102	2 + 737	2 + 760	2.90
103	2 + 760	2 + 783	2.60
104	2 + 783	2 + 806	2.60
105	2 + 806	2 + 829	2.60
106	2 + 829	2 + 852	2.70
107	2 + 852	2 + 875	2.60
108	2 + 875	2 + 898	2.70
109	2 + 898	2 + 921	2.60
110	2 + 921	2 + 944	1.80
111	2 + 944	2 + 967	2.70
112	2 + 967	2 + 990	2.60
113	2 + 990	3 + 013	2.70
114	3 + 013	3 + 036	1.80
115	3 + 036	3 + 059	1.90
116	3 + 059	3 + 082	2.70
117	3 + 082	3 + 105	2.60
118	3 + 105	3 + 128	1.80
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 3 IZQ.			2.51
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.00 – 2.75)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2 Resultados Generales del PSI Obtenidos de la Vía para cada Tramo

Cuadro 4.19 Valores promedios finales del método PSI.

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	PSI	CLASIFICACION
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	3.34	BUENO
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	2.98	BUENO
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	3.47	BUENO
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	3.62	MUY BUENO
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	2.51	REGULAR
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	2.67	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Método Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

El método de evaluación (IRI) Índice de Rugosidad Internacional, requiere primeramente de una nivelación de todos los tramos de estudio, elegimos unidades de estudio de una longitud de 46 metros en el tramo 1 y 23 metros en el tramo 2 y 3, delta "X" para realizar la nivelación de 500 mm. el tramo total estudiado corresponde a 3128 metros .

Se realizó la nivelación en todas las unidades de estudio con el nivel de ingeniero cada 50 cm. En cada carril ya sea izquierdo o derecho, luego de realizar la nivelación realizamos el trabajo de gabinete que el cálculo de las cotas de las unidades de estudio a cada 50 cm.

Luego de calcular todas las cotas de las unidades de estudio a los lados derecho e izquierdo, introducimos estas cotas al programa IRI del método Mira y Nivel, calculamos lo de índices de rugosidad superficial, de todas las unidades en m/km, también calculamos el IRI total de cada tramo estudiado.

A continuación explicaremos el cálculo de una unidad de estudio cualquiera para su mejor comprensión.

Paso 1: Realizamos la nivelación de la sección de estudio en la parte izquierda y derecha dependiendo del carril en la que se estaba haciendo la nivelación de la vía la cual se hizo cada 50 cm. con el nivel de ingeniero.

Paso 2: Trabajo de gabinete, cálculo de cotas de la sección de estudio a cada 50 cm. de longitud.

Paso 3: Aplicación de programa IRI

Figura 4.7 Imagen del programa IRI



Fuente: Manual INPACO

Para llevar adelante este método de evaluación, se utiliza el software denominado INPACO del instituto de vías de la Universidad de Colombia.

El software para determinar el IRI hace del programa: IRI método de mira y nivel, este programa está conformado por 5 módulos que son los siguientes:

Delta "X"

Elegimos 50 cm.

Identificación del tramo:

- ✓ Sección "1" sub- tramo

Entrada de información

- ✓ Introducir las cotas calculadas.

Cálculo del IRI:

- ✓ Obtención de su valor.

Terminar:

- ✓ Terminación del método.

Cuadro 4.20 Rangos de Calificación del Método IRI

RANGO DEL IRI	CLASIFICACION
0 – 1.6	MUY BUENO
1.6 – 2.8	BUENO
2.8 – 5.2	REGULAR
5.2 – 8.8	FALLADO

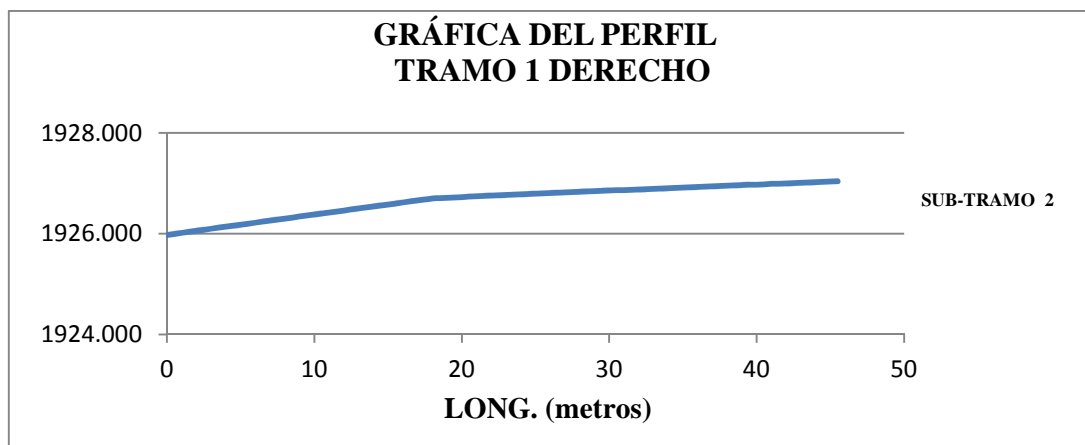
*Fuente: Manual INPACO***TRAMO 1 CARRIL DERECHO****SUB-TRAMO 2***Cuadro 4.21 Cuadro de cotas para introducir al programa IRI.*

2					
Nro.	DIST	COTA	Nro.	DIST	COTA
1	0,00	1925,975	47	23,00	1926,768
2	0,50	1925,995	48	23,50	1926,775
3	1,00	1926,016	49	24,00	1926,782
4	1,50	1926,036	50	24,50	1926,788
5	2,00	1926,057	51	25,00	1926,795
6	2,50	1926,078	52	25,50	1926,802
7	3,00	1926,098	53	26,00	1926,808
8	3,50	1926,118	54	26,50	1926,814
9	4,00	1926,139	55	27,00	1926,820
10	4,50	1926,159	56	27,50	1926,826
11	5,00	1926,179	57	28,00	1926,832
12	5,50	1926,199	58	28,50	1926,837
13	6,00	1926,219	59	29,00	1926,843
14	6,50	1926,240	60	29,50	1926,849
15	7,00	1926,260	61	30,00	1926,855
16	7,50	1926,280	62	30,50	1926,861
17	8,00	1926,300	63	31,00	1926,867
18	8,50	1926,320	64	31,50	1926,872
19	9,00	1926,341	65	32,00	1926,878
20	9,50	1926,361	66	32,50	1926,884
21	10,00	1926,381	67	33,00	1926,890
22	10,50	1926,401	68	33,50	1926,896

23	11,00	1926,420	69	34,00	1926,902
24	11,50	1926,440	70	34,50	1926,908
25	12,00	1926,460	71	35,00	1926,914
26	12,50	1926,480	72	35,50	1926,920
27	13,00	1926,500	73	36,00	1926,927
28	13,50	1926,520	74	36,50	1926,933
29	14,00	1926,540	75	37,00	1926,939
30	14,50	1926,560	76	37,50	1926,945
31	15,00	1926,580	77	38,00	1926,951
32	15,50	1926,599	78	38,50	1926,957
33	16,00	1926,619	79	39,00	1926,963
34	16,50	1926,639	80	39,50	1926,969
35	17,00	1926,658	81	40,00	1926,975
36	17,50	1926,677	82	40,50	1926,981
37	18,00	1926,697	83	41,00	1926,988
38	18,50	1926,706	84	41,50	1926,994
39	19,00	1926,713	85	42,00	1927,000
40	19,50	1926,720	86	42,50	1927,006
41	20,00	1926,727	87	43,00	1927,012
42	20,50	1926,734	88	43,50	1927,018
43	21,00	1926,741	89	44,00	1927,024
44	21,50	1926,748	90	44,50	1927,030
45	22,00	1926,755	91	45,00	1927,036
46	22,50	1926,762	92	45,50	1927,042
2,939 m/km					

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Gráfica del perfil (sub-tramo 2 derecho)



Fuente: Elaboración propia

4.3.3.1 Cálculo de los Diferentes Tramos por el Método de Evaluación IRI

A continuación se mostrará tablas de los resultados obtenidos de cada tramo evaluado por carriles, en la parte de ANEXO V se tiene el cálculo correspondiente del IRI.

TRAMO 1 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.22 Cálculo del método IRI (tramo1 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
1	0 + 000	0 + 046	1.993
2	0 + 046	0 + 092	3.337
3	0 + 092	0 + 138	11.881
4	0 + 138	0 + 184	3.869
5	0 + 184	0 + 230	6.874
6	0 + 230	0 + 276	4.718
7	0 + 276	0 + 322	2.987
8	0 + 322	0 + 368	4.859
9	0 + 368	0 + 414	2.286
10	0 + 414	0 + 460	4.003
11	0 + 460	0 + 506	9.133
12	0 + 506	0 + 552	0.984
13	0 + 552	0 + 598	0.781
14	0 + 598	0 + 644	1.057
15	0 + 644	0 + 690	4.312
16	0 + 690	0 + 736	3.255
17	0 + 736	0 + 782	3.304
18	0 + 782	0 + 828	3.817
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 IZQ.			4.081
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia.

TRAMO 1 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.23 Cálculo del método IRI (tramo1 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
1	0 + 000	0 + 046	4.326
2	0 + 046	0 + 092	2.939
3	0 + 092	0 + 138	9.477
4	0 + 138	0 + 184	1.576
5	0 + 184	0 + 230	4.413
6	0 + 230	0 + 276	3.991
7	0 + 276	0 + 322	1.986
8	0 + 322	0 + 368	3.969
9	0 + 368	0 + 414	2.595
10	0 + 414	0 + 460	5.513
11	0 + 460	0 + 506	7.765
12	0 + 506	0 + 552	3.132
13	0 + 552	0 + 598	1.727
14	0 + 598	0 + 644	3.936
15	0 + 644	0 + 690	5.441
16	0 + 690	0 + 736	3.357
17	0 + 736	0 + 782	3.861
18	0 + 782	0 + 828	3.103
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 1 DER.			4.062
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.24 Cálculo del método IRI (tramo 2 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
19	0 + 828	0 + 851	3.719
20	0 + 851	0 + 874	1.768
21	0 + 874	0 + 897	2.255
22	0 + 897	0 + 920	0.770
23	0 + 920	0 + 943	5.011
24	0 + 943	0 + 966	5.305
25	0 + 966	0 + 989	3.318
26	0 + 989	1 + 012	4.458
27	1 + 012	1 + 035	3.485
28	1 + 035	1 + 058	3.804
29	1 + 058	1 + 081	3.082
30	1 + 081	1 + 104	4.042
31	1 + 104	1 + 127	4.571
32	1 + 127	1 + 150	3.543
33	1 + 150	1 + 173	3.103
34	1 + 173	1 + 196	1.598
35	1 + 196	1 + 219	0.547
36	1 + 219	1 + 242	0.437
37	1 + 242	1 + 265	0.420
38	1 + 265	1 + 288	0.810
39	1 + 288	1 + 311	0.711
40	1 + 311	1 + 334	2.910
41	1 + 334	1 + 357	4.614
42	1 + 357	1 + 380	3.563
43	1 + 380	1 + 403	4.200
44	1 + 403	1 + 426	7.241
45	1 + 426	1 + 449	3.782
46	1 + 449	1 + 472	7.568
47	1 + 472	1 + 495	3.998
48	1 + 495	1 + 518	5.265
49	1 + 518	1 + 541	3.444
50	1 + 541	1 + 564	4.812
51	1 + 564	1 + 587	4.445
52	1 + 587	1 + 610	4.210
53	1 + 610	1 + 633	3.660

54	1 + 633	1 + 656	3.695
55	1 + 656	1 + 679	4.250
56	1 + 679	1 + 702	4.100
57	1 + 702	1 + 725	3.467
58	1 + 725	1 + 748	3.662
59	1 + 748	1 + 771	3.513
60	1 + 771	1 + 794	3.209
61	1 + 794	1 + 817	3.193
62	1 + 817	1 + 840	1.422
63	1 + 840	1 + 863	2.292
64	1 + 863	1 + 886	1.109
65	1 + 886	1 + 909	1.687
66	1 + 909	1 + 932	1.499
67	1 + 932	1 + 955	1.755
68	1 + 955	1 + 978	7.638
69	1 + 978	2 + 001	4.491
70	2 + 001	2 + 024	3.735
71	2 + 024	2 + 047	3.025
72	2 + 047	2 + 070	2.178
73	2 + 070	2 + 093	4.292
74	2 + 093	2 + 116	3.218
75	2 + 116	2 + 139	2.636
76	2 + 139	2 + 162	3.168
77	2 + 162	2 + 185	3.671
78	2 + 185	2 + 208	3.781
79	2 + 208	2 + 231	3.711
80	2 + 231	2 + 254	2.429
81	2 + 254	2 + 277	2.631
82	2 + 277	2 + 300	2.728
83	2 + 300	2 + 323	3.792
84	2 + 323	2 + 346	3.973
85	2 + 346	2 + 369	2.728
86	2 + 369	2 + 392	3.082
87	2 + 392	2 + 415	3.436
88	2 + 415	2 + 438	4.626
89	2 + 438	2 + 461	2.980
90	2 + 461	2 + 484	3.251
91	2 + 484	2 + 507	3.467
92	2 + 507	2 + 530	2.984
93	2 + 530	2 + 553	4.008
94	2 + 553	2 + 576	3.205

95	2 + 576	2 + 599	2.985
96	2 + 599	2 + 622	3.466
97	2 + 622	2 + 645	3.993
98	2 + 645	2 + 668	4.286
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 IZQ.			3.361
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.25 Cálculo del método IRI (tramo 2 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
19	0 + 828	0 + 851	2.388
20	0 + 851	0 + 874	4.385
21	0 + 874	0 + 897	4.478
22	0 + 897	0 + 920	4.533
23	0 + 920	0 + 943	3.771
24	0 + 943	0 + 966	3.584
25	0 + 966	0 + 989	4.028
26	0 + 989	1 + 012	5.531
27	1 + 012	1 + 035	3.288
28	1 + 035	1 + 058	1.928
29	1 + 058	1 + 081	2.470
30	1 + 081	1 + 104	2.402
31	1 + 104	1 + 127	3.486
32	1 + 127	1 + 150	3.398
33	1 + 150	1 + 173	5.231
34	1 + 173	1 + 196	4.108
35	1 + 196	1 + 219	1.775
36	1 + 219	1 + 242	1.009
37	1 + 242	1 + 265	0.788
38	1 + 265	1 + 288	2.244
39	1 + 288	1 + 311	2.663
40	1 + 311	1 + 334	2.687
41	1 + 334	1 + 357	2.525
42	1 + 357	1 + 380	1.819
43	1 + 380	1 + 403	4.698

44	1 + 403	1 + 426	3.378
45	1 + 426	1 + 449	5.207
46	1 + 449	1 + 472	5.219
47	1 + 472	1 + 495	2.589
48	1 + 495	1 + 518	3.878
49	1 + 518	1 + 541	3.576
50	1 + 541	1 + 564	2.740
51	1 + 564	1 + 587	3.605
52	1 + 587	1 + 610	4.878
53	1 + 610	1 + 633	3.259
54	1 + 633	1 + 656	4.077
55	1 + 656	1 + 679	2.870
56	1 + 679	1 + 702	2.419
57	1 + 702	1 + 725	7.022
58	1 + 725	1 + 748	2.353
59	1 + 748	1 + 771	2.426
60	1 + 771	1 + 794	1.640
61	1 + 794	1 + 817	0.967
62	1 + 817	1 + 840	2.026
63	1 + 840	1 + 863	1.166
64	1 + 863	1 + 886	1.244
65	1 + 886	1 + 909	0.964
66	1 + 909	1 + 932	1.059
67	1 + 932	1 + 955	1.495
68	1 + 955	1 + 978	3.087
69	1 + 978	2 + 001	2.910
70	2 + 001	2 + 024	2.680
71	2 + 024	2 + 047	1.146
72	2 + 047	2 + 070	2.775
73	2 + 070	2 + 093	2.391
74	2 + 093	2 + 116	2.771
75	2 + 116	2 + 139	2.447
76	2 + 139	2 + 162	2.411
77	2 + 162	2 + 185	2.005
78	2 + 185	2 + 208	2.290
79	2 + 208	2 + 231	2.757
80	2 + 231	2 + 254	2.376
81	2 + 254	2 + 277	2.576
82	2 + 277	2 + 300	5.710
83	2 + 300	2 + 323	3.215
84	2 + 323	2 + 346	2.360

85	2 + 346	2 + 369	3.255
86	2 + 369	2 + 392	2.306
87	2 + 392	2 + 415	2.497
88	2 + 415	2 + 438	3.760
89	2 + 438	2 + 461	3.173
90	2 + 461	2 + 484	4.065
91	2 + 484	2 + 507	3.301
92	2 + 507	2 + 530	3.515
93	2 + 530	2 + 553	3.136
94	2 + 553	2 + 576	3.193
95	2 + 576	2 + 599	3.065
96	2 + 599	2 + 622	3.317
97	2 + 622	2 + 645	3.465
98	2 + 645	2 + 668	2.907
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 2 DER.			3.002
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL IZQUIERDO)

Cuadro 4.26 Cálculo del método IRI (tramo 3 izquierdo)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
99	2 + 668	2 + 691	5.415
100	2 + 691	2 + 714	4.558
101	2 + 714	2 + 737	4.380
102	2 + 737	2 + 760	3.442
103	2 + 760	2 + 783	4.821
104	2 + 783	2 + 806	4.261
105	2 + 806	2 + 829	4.468
106	2 + 829	2 + 852	5.080
107	2 + 852	2 + 875	3.418
108	2 + 875	2 + 898	3.719
109	2 + 898	2 + 921	4.924
110	2 + 921	2 + 944	4.566
111	2 + 944	2 + 967	4.981
112	2 + 967	2 + 990	3.144
113	2 + 990	3 + 013	4.959

114	3 + 013	3 + 036	3.017
115	3 + 036	3 + 059	6.079
116	3 + 059	3 + 082	5.517
117	3 + 082	3 + 105	5.873
118	3 + 105	3 + 128	3.520
PROMEDIO FINAL DEL Ñ TRAMO 3 IZQ.			4.507
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3 (CARRIL DERECHO)

Cuadro 4.27 Cálculo del método IRI (tramo 3 derecho)

N* SECCIÓN	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL	VALOR DEL IRI m/km
99	2 + 668	2 + 691	4.854
100	2 + 691	2 + 714	4.428
101	2 + 714	2 + 737	3.286
102	2 + 737	2 + 760	4.021
103	2 + 760	2 + 783	5.704
104	2 + 783	2 + 806	3.962
105	2 + 806	2 + 829	3.514
106	2 + 829	2 + 852	3.733
107	2 + 852	2 + 875	3.307
108	2 + 875	2 + 898	3.653
109	2 + 898	2 + 921	3.155
110	2 + 921	2 + 944	3.372
111	2 + 944	2 + 967	4.314
112	2 + 967	2 + 990	5.283
113	2 + 990	3 + 013	4.895
114	3 + 013	3 + 036	3.999
115	3 + 036	3 + 059	5.586
116	3 + 059	3 + 082	3.989
117	3 + 082	3 + 105	4.414
118	3 + 105	3 + 128	3.957
PROMEDIO FINAL DEL TRAMO 3 DER.			4.171
CALIFICACIÓN SEGÚN TABLAS (2.8 – 5.2)			REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2 Resultados Generales del IRI Obtenidos de la Vía para cada tramo

Se procederá a la tabulación del método IRI para los diferentes tramos de manera resumida.

Cuadro 4.28 Valores promedios finales del método IRI

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	IRI (m/km)	CALIFICACIÓN
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	4.081	REGULAR
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	4.062	REGULAR
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	3.361	REGULAR
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	3.002	REGULAR
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	4.507	REGULAR
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	4.171	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Comparación de Resultados por Todos los Métodos de Evaluación

TRAMO 1

Cuadro 4.29 Comparación de resultados por los métodos IRI, PCI y PSI (tramo 1)

TRAMO	CARRIL	DISTANCIA (m.)	MÉTODO	VALOR	CALIFICACIÓN
1	IZQUIERDO	828 0+000/0+828	IRI	4.081	REGULAR
			PCI	76,17	MUY BUENO
			PSI	3.34	BUENO
	DERECHO	828 0+000/0+828	IRI	4.062	REGULAR
			PCI	79,23	MUY BUENO
			PSI	2.98	BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 2

Cuadro 4.30 Comparación de resultados por los métodos IRI, PCI y PSI (tramo2)

TRAMO	CARRIL	DISTANCIA (m.)	MÉTODO	VALOR	CALIFICACIÓN
2	IZQUIERDO	1840 0+828/2+668	IRI	3.361	REGULAR
			PCI	84.80	MUY BUENO
			PSI	3.47	BUENO
	DERECHO	1840 0+828/2+668	IRI	3.002	REGULAR
			PCI	89.88	MUY BUENO
			PSI	3.62	MUY BUENO

Fuente: Elaboración propia

TRAMO 3

Cuadro 4.31 Comparación de resultados por los métodos IRI, PCI y PSI (tramo3)

TRAMO	CARRIL	DISTANCIA (m.)	MÉTODO	VALOR	CALIFICACIÓN
3	IZQUIERDO	460 2+668/3+128	IRI	4.507	REGULAR
			PCI	68.44	BUENO
			PSI	2.51	REGULAR
	DERECHO	460 2+668/3+128	IRI	4.171	REGULAR
			PCI	69.75	BUENO
			PSI	2.67	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los resultados por los 3 métodos se ve que tienen una relación aceptable y llegamos a la conclusión que el método del PCI es el más aconsejable ya que toma en cuenta la mayoría de las fallas que se pueden presentar los tramo en estudio.

4.3.5 Acciones a Seguir Según el Valor del PCI

El cuadro resume la acción a tener en cuenta de acuerdo al valor del PCI calculado para cada tramo vía. Se aprecia además el estado del pavimento asociado a este mismo valor.

Cuadro 4.32 Valores para clasificar el tipo de mantenimiento

VALORES DE PCI		
MANTENIMIENTO A SEGUIR		
PCI	100 - 40	Mantenimiento de rutina permanente
PCI	40 - 16	Mantenimiento periódico
PCI	16 - 6,4	Rehabilitación
PCI	6,4 - 0,0	Reconstrucción

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Según los resultados obtenidos por el PCI ya sea para el tramo 1, 2 y 3, se puede entrar a la tabla y sacar que los tramos necesitan un **mantenimiento rutina permanente** porque sus valores entran en los rangos (100 – 40).

Cuadro 4.33 División del tramo total

Tramos	Calzada Izquierda	Calzada Derecha	Long. de sub-tramos	Intersección de Calles
TRAMO 1	E0 – E18 0+000/0+828	E0 – E18 0+000/0+828	828 m.	Av. Panamericana entre puente de Tomatitas y cruce a la rotonda del camino a San Mateo.
TRAMO 2	E18 – E98 0+828/2+668	E18 – E98 0+828/2+668	1840 m.	Av. Panamericana entre cruce a la rotonda del camino a San Mateo hasta la rotonda del Campesino (Puesto Policial P.A.C.)
TRAMO 3	E98 – E118 2+668/3+128	E98 – E118 2+668/3+128	460m.	Av. Panamericana entre la rotonda del Campesino (Puesto Policial P.A.C.) hasta el cruce con la Av. Froilán Tejerina.
LONGITUD TOTAL			3128 m.	Av. Panamericana

Fuente: Elaboración propia

4.4 Sumatoria de Fallas de la Evaluación del Método PCI (por sub-tramos)

Se mostrará la sumatoria de áreas de las fallas correspondientes a cada sub-tramo evaluado por el método PCI.

SUB - TRAMO 1 (CARRIL IZQUIERDO)

Longitud tramo: 828 metros.

Longitud de sub-tramos: 46 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 5 metros.

Carril: Izquierdo.

Progresivas: 0 + 000 hasta 0 + 828

Estaca: E0 – E18

Área total del tramo: 828 m. * 5 m. = 4140.00 m²

$$\text{Área total del Sub-tramo} = 4140 \text{ m}^2 = 100 \%$$

Cuadro 4.34 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo 1 izq.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL AREA AFECTADO
ABULTAMIENTOS	4	A	8.000	0.19
GRIETAS DE BORDE	7	L	105.950	2.56
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	17.350	0.42
		M	60.250	1.46
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	111.500	2.69
AGREGADOS PULIDOS	12	L	655.000	15.82
		M	137.200	3.31
HUNDIMIENTOS	13	L	14.000	0.34
AHUELLAMIENTO	15	L	128.150	3.10

Fuente: Elaboración Propia

SUB - TRAMO 1 (CARRIL DERECHO)

Longitud tramo: 828 metros.

Longitud de sub-tramos: 46 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 5 metros.

Carril: Derecho.

Progresivas: 0 + 000 hasta 0 + 828

Estaca: E0 – E18

Área total del tramo: 828 m. * 5 m. = 4140.00 m²

$$\text{Área total del Sub-tramo} = 4140 \text{ m}^2 = 100 \%$$

Cuadro 4.35 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo 1 Der.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
GRIETAS DE BORDE	7	L	74.000	1.79
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	47.500	1.15
		M	50.000	1.21
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	152.450	3.68
		M	1.200	0.03
AGREGADOS PULIDOS	12	L	808.750	19.54
HUNDIMIENTOS	13	L	17.000	0.41
		M	1.000	0.02
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	M	2.250	0.05
AHUELLAMIENTOS	15	L	79.200	1.91

Fuente: Elaboración Propia

SUB-TRAMO 2 (CARRIL IZQUIERDO)

Longitud tramo: 1840 metros.

Longitud de sub-tramos: 23 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 10 metros.

Carril: Izquierdo.

Progresivas: 0 + 828 hasta 2 + 668

Estaca: E19 – E98

Área total del tramo: 1840 m. * 10 m. = 18400 m²

Área total del Sub-tramo = 18400 m² = 100 %

Cuadro 4.36 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo 2 izq.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	46.800	0.25
		M	253.630	1.38
		A	8.730	0.05
ABULTAMIENTOS	4	L	154.000	0.84
GRIETAS DE BORDE	7	L	5.000	0.03
		M	166.000	0.90
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	L	4.500	0.02
		M	23.200	0.13
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	491.600	2.67
		M	217.000	1.18
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	172.320	0.94
		M	280.000	1.52
AGREGADOS PULIDOS	12	L	1579.880	8.59
		M	902.600	4.91
		A	110.000	0.60
HUNDIMIENTOS	13	L	12.000	0.07
		M	1.000	0.01
		A	1.000	0.01
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	4.200	0.02
AHUELLAMIENTO	15	L	135.950	0.74
		M	51.760	0.28

Fuente: Elaboración Propia

SUB-TRAMO 2 (CARRIL DERECHO)

Longitud tramo: 1840 metros.

Longitud de sub-tramos: 23 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 10 metros.

Carril: Derecho

Progresivas: 0 + 828 hasta 2 + 668

Estaca: E19 – E98

Área total del tramo: 1840 m. * 10 m. = 18400 m²

$$\text{Área total del Sub-tramo} = 18400 \text{ m}^2 = 100 \%$$

Cuadro 4.37 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo2 der.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	43.840	0.24
		M	52.190	0.28
		A	14.040	0.08
ABULTAMIENTO	4	L	49.000	0.27
		M	24.100	0.13
CORRUGACION	5	L	5.130	0.03
GRIETAS DE BORDE	7	L	69.200	0.38
		M	1.500	0.01
		A	5.000	0.03
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	M	9.530	0.05
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	481.330	2.62
		M	163.720	0.89
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	266.500	1.45
		M	80.780	0.44
		A	111.400	0.61
AGREGADOS PULIDOS	12	L	2761.050	15.01
		M	74.670	0.41
HUNDIMIENTOS	13	L	13.000	0.07
		A	1.000	0.01
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	0.800	0.00
		M	7.000	0.04
		A	4.000	0.02
AHUELLAMIENTO	15	L	304.030	1.65
		M	6.750	0.04

Fuente: Elaboración Propia

SUB-TRAMO 3 (CARRIL IZQUIERDO)

Longitud tramo: 460 metros.

Longitud de sub-tramos: 23 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 10 metros.

Carril: Izquierdo.

Progresivas: 2 + 668 hasta 3 + 128

Estaca: E98 – E118

Área total del tramo: 460 m. * 10 m. = 4600 m²

Área total del Sub-tramo = 4600 m² = 100 %

Cuadro 4.38 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo 3 izq.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	6.30	0.13
		M	86.10	1.78
ABULTAMIENTO	4	L	5.60	0.12
		M	26.25	0.54
GRIETAS DE BORDE	7	M	2.80	0.06
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	7.70	0.16
		M	42.70	0.88
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	1.40	0.03
		M	131.60	2.72
		A	52.50	1.09
AGREGADOS PULIDOS	12	L	32.20	0.67
		M	98.35	2.04
		A	70.00	1.45
HUNDIMIENTOS	13	M	3.00	0.06
		A	1.00	0.02
AHUELLAMIENTO	15	L	1.12	0.02
		M	7.42	0.15

Fuente: Elaboración Propia

SUB-TRAMO 3 (CARRIL DERECHO)

Longitud tramo: 460 metros.

Longitud de sub-tramos: 23 metros

Ancho de calzada: 10 metros.

Ancho de carril estudiado: 10 metros.

Carril: Derecho.

Progresivas: 2 + 668 hasta 3 + 128

Estaca: E98 – E118

Área total del tramo: 460 m. * 10 m. = 4600 m²

Área total del Sub-tramo = 4600 m² = 100 %

Cuadro 4.39 Porcentaje de las fallas más representativas (sub-tramo 3 der.)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA REAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	20.30	0.42
		M	16.10	0.33
ABULTAMIENTO	4	L	17.15	0.36
		M	9.45	0.20
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	43.05	0.89
		M	4.20	0.09
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	10.50	0.22
		M	7.00	0.14
AGREGADOS PULIDOS	12	L	163.80	3.39
		M	291.90	6.04
HUNDIMIENTOS	13	M	3.00	0.06
AHUELLAMIENTO	15	L	10.50	0.22
		M	2.52	0.05

Fuente: Elaboración Propia

4.4.1 Sumatoria de Fallas de la Evaluación del Método PCI (por tramos)

TRAMO 1 (CARRIL DERECHO E IZQUIERDO)

Cuadro 4.40 Porcentaje de las fallas (tramo 1)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 2	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
ABULTAMIENTOS	4	A	8.00	0.10
GRIETAS DE BORDE	7	L	179.95	2.17
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	64.85	0.78
		M	110.25	1.33
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	263.95	3.19
		M	1.20	0.01
AGREGADOS PULIDOS	12	L	1463.75	17.68
		M	137.20	1.66
HUNDIMIENTOS	13	L	31.00	0.37
		M	1.00	0.01
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	M	2.25	0.03
AHUELLAMIENTO	15	L	207.35	2.50

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 2 (CARRIL DERECHO E IZQUIERDO)

Cuadro 4.41 Porcentaje de las fallas (tramo 2)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	AREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 2	PORCENTAJE DEL AREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	90.640	0.25
		M	305.820	0.83
		A	22.770	0.06
ABULTAMIENTO	4	L	203.000	0.55
		M	24.100	0.07
CORRUGACION	5	L	5.130	0.01
GRIETAS DE BORDE	7	L	74.200	0.20
		M	167.500	0.46

		A	5.000	0.01
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	L	4.500	0.01
		M	32.730	0.09
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	972.930	2.64
		M	380.720	1.03
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	438.820	1.19
		M	360.780	0.98
		A	111.400	0.30
AGREGADOS PULIDOS	12	L	4340.930	11.80
		M	977.270	2.66
		A	110.000	0.30
HUNDIMIENTOS	13	L	25.000	0.07
		M	1.000	0.00
		A	2.000	0.01
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	5.000	0.01
		M	7.000	0.02
		A	4.000	0.01
AHUELLAMIENTO	15	L	439.980	1.20
		M	58.510	0.16

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 3 (CARRIL DERECHO E IZQUIERDO)

Cuadro 4.42 Porcentaje de las fallas (tramo 3)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 3	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	26.600	0.28
		M	102.200	1.06
ABULTAMIENTO	4	L	22.750	0.24
		M	35.700	0.37
GRIETAS DE BORDE	7	M	2.800	0.03
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	50.750	0.53
		M	46.900	0.49

PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	11.900	0.12
		M	138.600	1.43
		A	52.500	0.54
AGREGADOS PULIDOS	12	L	196.000	2.03
		M	390.250	4.04
		A	70.000	0.72
HUNDIMIENTOS	13	M	6.000	0.06
		A	1.000	0.01
AHUELLAMIENTO	15	L	11.620	0.12
		M	7.420	0.08

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2 Sumatoria de las Fallas Totales del Método PCI

En la siguiente tabla se mostrara la distancia de cada tramo y su ancho para así obtener un área total evaluada.

Cuadro 4.43 Sumatoria de las longitudes totales de cada tramo

TRAMOS	No.	CARRIL	LONGITUD (metros)	ANCHO ESTUDIADO (metros)	ÁREAS DE LOS TRAMOS (m ²)
TRAMO	1	IZQUIERDO	828 0+000/0+828	5	4140,00
TRAMO	1	DERECHO	828 0+000/0+828	5	4140,00
TRAMO	2	IZQUIERDO	1840 0+828/2+668	10	18400,00
TRAMO	2	DERECHO	1840 0+828/2+668	10	18400,00
TRAMO	3	IZQUIERDO	460 2+668/3+128	10	4600,00
TRAMO	3	DERECHO	460 2+668/3+128	10	4600,00
SUMATORIA DEL TOTAL DE ÁREAS ESTUDIADAS POR EL PCI					54280,00

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene un resumen total de los tipos de fallas encontradas en la vía.

Área total de la vía = 54280.00 m²

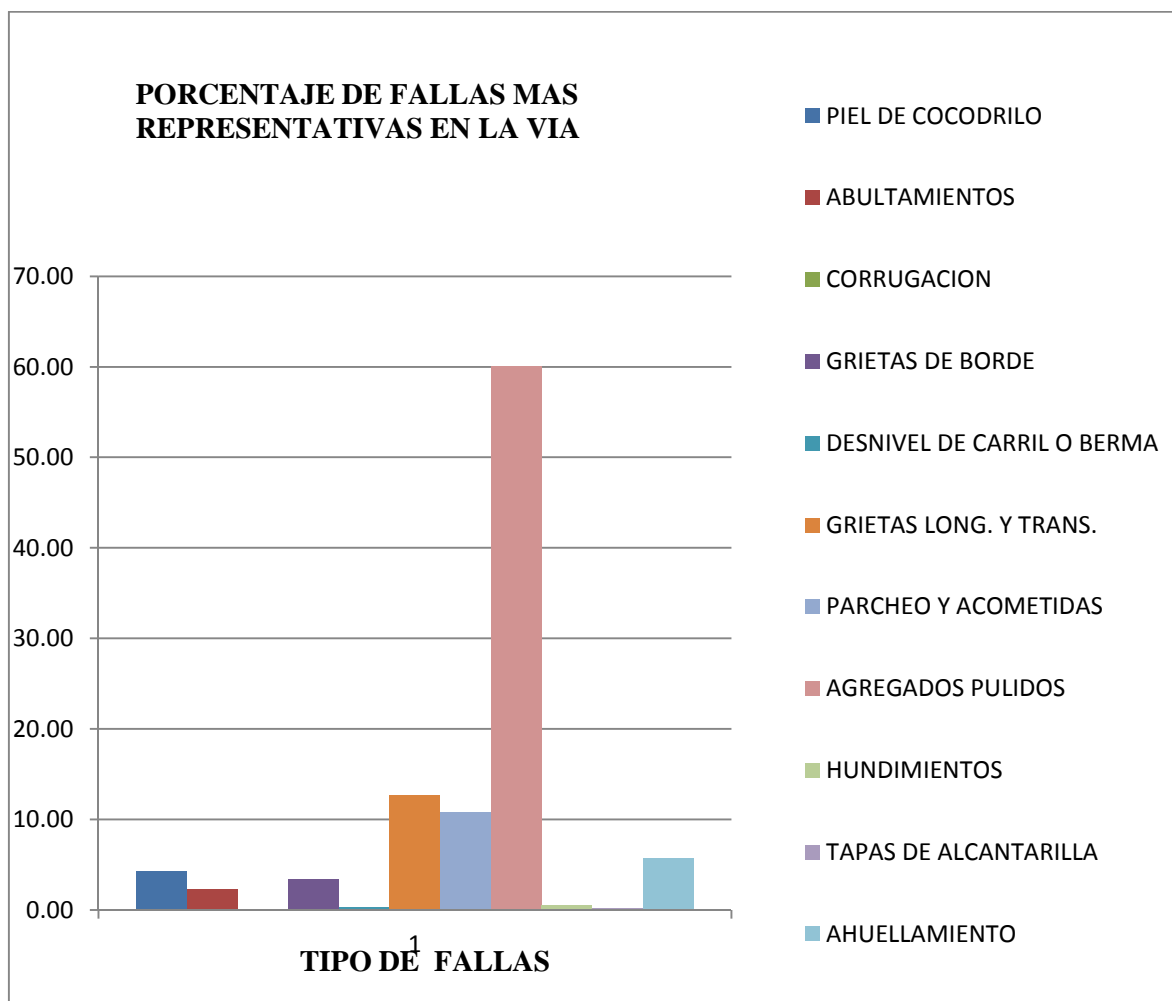
Área total = 54280 m² = 100 %

Cuadro 4.44 Sumatoria de fallas totales de la vía.

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL	PORCENTAJE DEL ÁREA AFECTADO
PIEL DE COCODRILO	1	L	117.24	0.21
		M	408.02	0.75
		A	22.77	0.04
ABULTAMIENTO	4	L	225.75	0.41
		M	59.80	0.11
		A	8.00	0.01
CORRUGACION	5	L	5.13	0.01
GRIETAS DE BORDE	7	L	254.15	0.46
		M	170.30	0.31
		A	5.00	0.01
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	L	4.50	0.01
		M	32.73	0.06
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	1088.53	1.99
		M	537.87	0.98
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	714.67	1.31
		M	500.58	0.91
		A	163.90	0.30
AGREGADOS PULIDOS	12	L	6000.68	10.96
		M	1504.72	2.75
		A	180.00	0.33
HUNDIMIENTOS	13	L	56.00	0.10
		M	8.00	0.01
		A	3.00	0.01
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	5.00	0.01
		M	9.25	0.02
		A	4.00	0.01
AHUELLAMIENTO	15	L	658.95	1.20
		M	65.93	0.12

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.10 Porcentaje de fallas encontradas en la vía



Fuente: Elaboración Propia

4.5 Soluciones a las Fallas Encontradas en la Vía

Para realizar la reparación de las diferentes fallas encontradas en el pavimento flexible estudiado en el presente proyecto, es necesario agrupar las fallas según la similitud y forma de reparación de las fallas.

A continuación se presenta la manera en la cual fueron agrupadas según su tipo:

Cuadro 4.45 Agrupación de fallas según clasificación

GRUPO	FALLAS
AGRIETAMIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> - Grieta piel de cocodrilo - Agrietamiento en bloque - Grietas de bordes - Grietas de reflexión de junta - Grietas longitudinales y transversales - Cruce de vía férrea
DISTORSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Abultamientos - Corrugación - Depresión - Parcheo y acometidas de servicios públicos - Ahuellamientos - Hinchamiento
DESINTEGRACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Hundimientos - Meteorización / desprendimiento de agregados

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1 AGRIETAMIENTOS

4.5.1.1 Piel de Cocodrilo

Causas. En la mayoría de los casos, los agrietamientos en forma de piel de cocodrilo son ocasionados por deflexiones excesivas de una superficie apoyada sobre una subrasante o capas inferiores del pavimento inestables. El soporte inestable es, generalmente, la consecuencia de la saturación de bases granulares o subrasantes. En la mayoría de los casos, el área afectada no es grande, sin embargo, algunas veces puede cubrir secciones completas de un pavimento. Cuando esto ocurre, probablemente es debido a la acción de cargas repetidas que exceden la cantidad de carga del pavimento.

Reparación. Puesto que las grietas en forma de piel de cocodrilo son, usualmente, el resultado de la saturación de bases o subrasantes, la corrección debe incluir la remoción del material húmedo y la instalación de los drenes necesarios. Para obtener un parche resistente se debe emplear únicamente un material asfáltico mezclado en planta. (Esta puede ser la reparación menos costosa, debido a que se realiza en una sola operación usando un solo material). Si no se dispone del material asfáltico mezclado en planta, se puede colocar un material granular de base nuevo, compactándolo en capas que no excedan de 15cm.

La base granular debe ser luego imprimada y bacheada. Cuando sea necesario, se pueden realizar reparaciones temporales, aplicando parches superficiales o capas de sello con agregado en las áreas afectadas. En todos los casos, las reparaciones deben hacerse prontamente para evitar mayores daños al pavimento.

En el caso de agrietamiento por sobrecarga, un recubrimiento debidamente diseñado corregirá la condición.

- **Bacheo profundo (Reparación Permanente)**

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme, extendiéndose al menos 30cm en el pavimento sano, fuera del área agrietada. Esto puede significar que parte del material de la subrasante también tendrá que ser removido. Hágase el corte cuadrado o rectangular, con caras rectas y verticales. Un par de

las caras debe formar un ángulo recto con la dirección del tráfico. Una sierra de pavimento puede hacer un corte rápido y limpio de pavimento.

- b) Si el agua es la causa de la falla, se instalan drenajes.
- c) Se aplica una capa de pega a las caras verticales.
- d) Para obtener los mejores resultados, se rellena el hundimiento con una mezcla asfáltica densamente gradada, mezclada en caliente en planta para evitar la segregación de la mezcla, extendiéndose cuidadosamente. Si no se dispone de mezcla asfáltica, se pueden hacer el relleno con un buen material granular de base. Parte del material de la superficie y de la parte superior de la base removida del hueco, desmenuzado en pequeños pedazos y mezclados completamente, puede colocarse en el fondo del hundimiento.
- e) Si el hundimiento tiene más de 15cm de profundidad, se debe compactar en capas, compactándose cada capa perfectamente. La compactación debe realizarse con el equipo más apropiado al tamaño del trabajo. Para parches pequeños, un compactador vibrante plano es excelente. Para áreas grandes puede ser más práctico un rodillo.
- f) Cuando la mezcla asfáltica se coloca directamente sobre la subrasante, no se requiere imprimación.
- g) Si se emplea una base granular, entonces debe ser imprimada. La reparación se completa luego colocando mezcla asfáltica mezclada en caliente en planta y compactándola hasta dejarla a ras con la superficie adyacente. Si no se dispone de mezcla asfáltica en caliente, se puede utilizar material mezclado en planta usando asfalto líquido.
- h) Utilice una regla o un alambre para verificar las cualidades de rodamiento y el alineamiento del bache.

Figura 4.11 Removiendo la superficie y la base

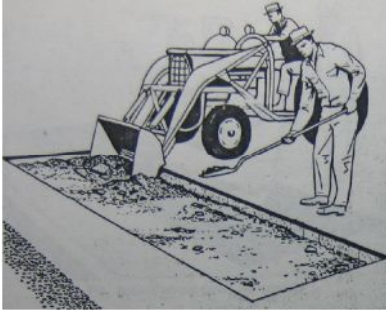


Figura 4.12 Aplicando la capa de pega a las caras verticales

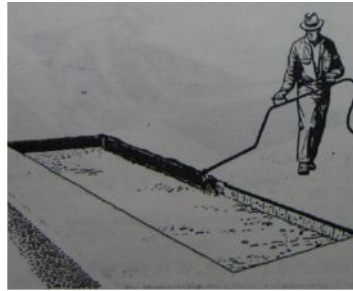


Figura 4.13 Rellenando el hueco con mezcla en planta



Figura 4.14 Extendiendo la mezcla



Figura 4.15 Compactando la mezcla

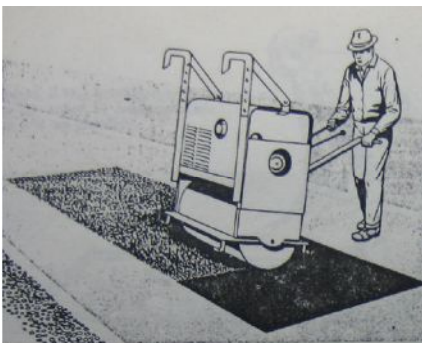


Figura 4.16 Nivelando el parche



Fuente: *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*

- **Bacheo superficial (reparación provisional) para superficies con grietas de más de tres milímetros de ancho**

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resulten con caras verticales.
- Se limpia el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- Se usa el cepillo para extender sobre las grietas de materiales asfálticos de gradación fina, mezclado en planta.
- Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- Se aplica una capa de pega.
- Se coloca un parche delgado con material asfáltico mezclado en caliente en planta. Si no se dispone de este material, se utiliza mezcla con asfalto líquido. Antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente, removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- Se compacta el parche con un compactador vibrante plano o con un rodillo. Si no se dispone de ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla.

Figura 4.17 Cortando una cara vertical **Figura 4.18** Extendiendo la mezcla en planta
alrededor del área agrietada sobre el área afectada

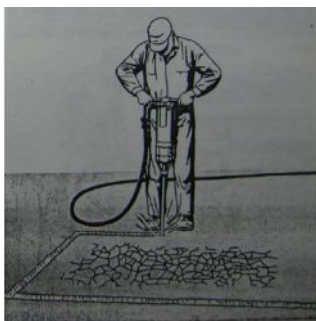


Figura 4.19 Extendiendo la mezcla en planta sobre el área afectada **Figura 4.20** Compactando con un compactador vibrante-plano

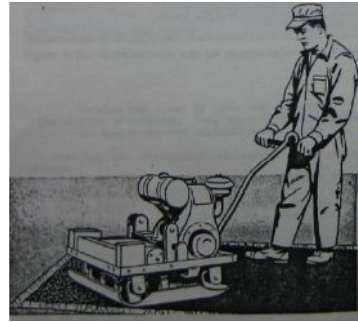


Figura 4.21 Aplicando la capa de pega



Figura 4.22 Colocando el parche delgado de mezcla en planta en caliente



Figura 4.23 Compactando con un compactador vibrante-plano



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

- **Parches con capas de sello con agregado (reparación provisional). Para superficies con grietas de menos de tres milímetros de ancho**

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- Se limpia el área agrietada con cepillo y si es necesario, con aire comprimido.
- Se riega la cantidad necesaria de asfalto líquido (puede ser emulsión de curado rápido o curado medio) sobre el área limpia. Generalmente, para la capa de sello es suficiente de 0.60 a 1.00 litro por metro cuadrado pero, si a través de las grietas se pierde una cantidad excesiva de asfalto, puede emplearse una cantidad ligeramente superior.
- Se aplican los agregados de cubierta inmediatamente después de regar el asfalto. Para este tipo de parche, un buen tamaño de agregado es el comprendido entre el cedazo de $\frac{1}{4}$ de pulgada y el cedazo número 10.
- Se apisona la capa de sello con una apisonadora de ruedas de caucho. Si no se dispone de una apisonadora, pueden emplearse entonces las ruedas del camión que lleva el agregado.
- Si es necesario elevar el nivel del área reparada al de las zonas adyacentes del pavimento, puede aplicarse una segunda capa de sello.
- Antes de abrir la vía al tráfico se debe esperar el curado completo.

Figura 4.24 Regando asfalto sobre las grietas en piel de cocodrilo *Figura 4.25 Aplicando el agregado de cubierta*

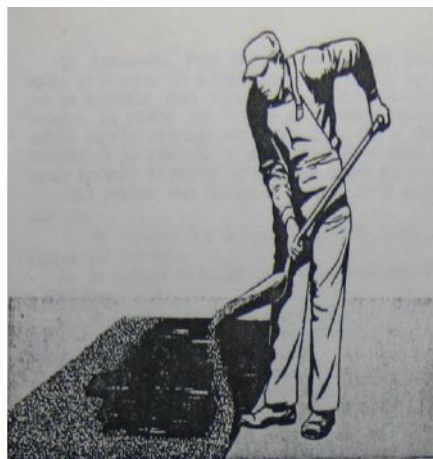
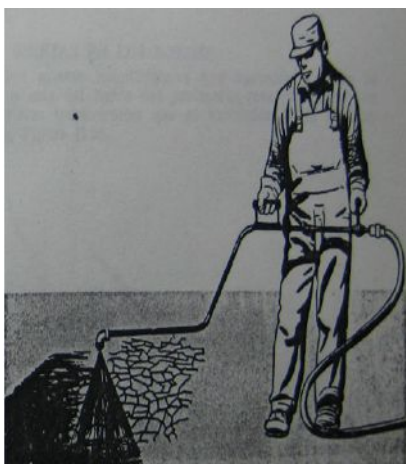
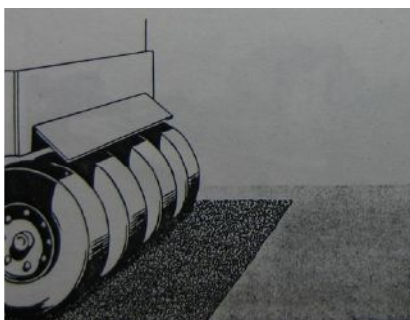


Figura 4.26 Apisonando la capa de sello con un rodillo de ruedas de goma



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

- **Parches con sello de lechada (reparación provisional) para superficies agrietadas por exceso de carga**

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- a) Se limpia el área agrietada con cepillo y si es necesario, con aire comprimido.
- b) Se aplica la lechada de emulsión asfáltica de acuerdo a la especificación determinada según los manuales existentes.

4.5.1.2 Agrietamiento en Bloque

Causas. Generalmente es difícil determinar si las grietas de encogimiento han sido ocasionadas por cambios de volumen de la mezcla asfáltica, de la base o de la subrasante. Frecuentemente, son producidas por los cambios de volumen de la mezcla asfáltica fabricadas con agregado fino y que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. En estos pavimentos, la ausencia de tráfico apresura la aparición de las grietas de encogimiento.

Reparación. Las grietas se rellenan con lechadas de emulsión asfáltica, seguida por un tratamiento superficial o un sello de lechada sobre toda la superficie.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se remueva toda la materia suelta de las grietas y de la superficie del pavimento con cepillos y aire comprimido.

- b) Se humedecen con agua la superficie del pavimento y todas las caras agrietadas.
- c) Cuando todas las superficies estén humedecidas uniformemente, sin que haya exceso de agua, se aplica una capa de pega de emulsión asfáltica diluída en partes iguales de agua.
- d) Se prepara la mezcla de lechada asfáltica.
- e) Se rellenan las grietas con la mezcla de lechada y se empareja con una maestra de mano (si las grietas son muy numerosas, se aplica a toda la superficie un sello de lechada).
- f) Cuando la lechada adquiere una consistencia firme, se aplica un tratamiento superficial o un sello de lechada a toda la superficie empleando equipo especial para esta operación.
- g) Déjese curar hasta que la superficie quede firme, para evitar que el tráfico la levante.

Figura 4.27 Limpiando grietas de encogimiento con aire comprimido



Figura 4.28 Aplicando la capa de pega



Figura 4.29 Llenando las grietas de encogimiento con sello de lechada



Figura 4.30 Aplicando un sello de lechada a la superficie



Fuente: *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*

4.5.1.3 Grieta de Borde

Causas. Generalmente, las grietas en los bordes son debidas a falta de soporte lateral (hombrillo). También pueden haber sido ocasionadas por el asentamiento o desplazamiento del material que se encuentra debajo del área agrietada, lo cual, a su vez, puede ser el resultado de drenaje deficiente, levantamiento por congelación, o encogimiento debido a la evaporación del agua en los suelos cercanos. En los tres últimos casos, los arbustos o cualquier vegetación fuerte próxima al borde del pavimento pueden ser la causa.

Reparación. Para efectuar reparaciones provisionales, se rellenan las grietas como en el caso de las grietas de reflexión. Para reparaciones de más duración, se rellenan las grietas con lechadas de emulsión asfáltica o asfalto líquido mezclado con arena. Si el borde del pavimento se ha asentado, se debe llevar a su nivel utilizando material de bacheo mezclado en planta en caliente.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se mejora los drenajes instalando subdrenajes cuando sea necesario.
- b) Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- c) Se rellenan las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido (SS-1, SS-1h o SM-K), mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- d) Se aplica una capa de pega.
- e) Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico mezclado en planta en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla o con un cable. Se compacta con un compactador vibrante plano o con una apisonadora. Los bordes del parche deben estar limpios y rectos.
- f) Se remueven los árboles, hierbas o cualquier otra vegetación, excepto la grama, que se encuentren próximos a los bordes del pavimento.

Figura 4.31 Aplicando la capa de pega

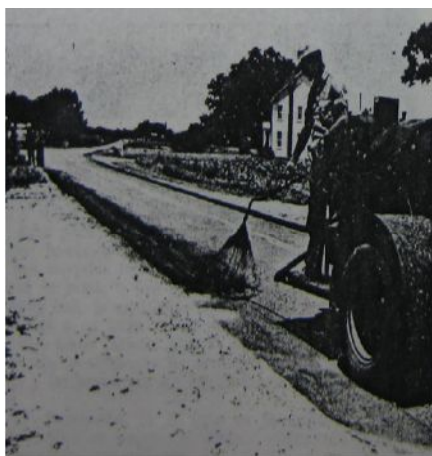
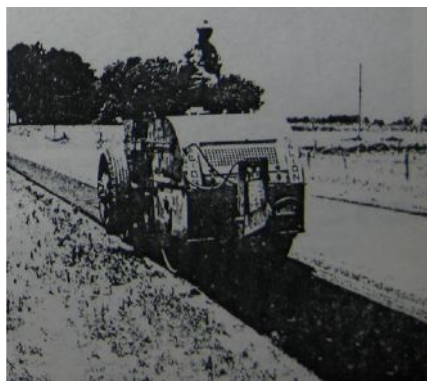


Figura 4.32 Extendiendo el material asfáltico mezclado en planta en caliente sobre un borde asentado



Figura 4.33 Compactando con una apisonadora



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

4.5.1.3 Grieta de Reflexión de Junta

Causas. Las grietas de reflexión son ocasionadas por los movimientos horizontales o verticales del pavimento que se encuentra debajo del recubrimiento, producidos por la expansión y contracción debidas a cambios de temperaturas o de humedad. También pueden ser ocasionadas por el tráfico o por movimientos del suelo, y por la pérdida de humedad en las subrasantes que tengan alto contenido de arcilla.

Reparación. Las grietas pequeñas (de menos de tres milímetros de ancho) son demasiado exiguas para ser selladas efectivamente. Las grietas grandes (de más de tres milímetros de ancho) se pueden

llenar con lechada de emulsión asfáltica o con un asfalto líquido liviano mezclado con arena fina, pudiéndose también usar compuestos asfálticos especiales o materiales asfálticos de mayor cuerpo.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se limpian las grietas con un cepillo de cerdas duras o aire comprimido.
- b) Grietas grandes. Utilizando una maestra de mano y un cepillo, se rellenan (sin aplicar un exceso) con lechada de emulsión o asfalto líquido mezclado con arena. Después de curado, se sella con asfalto líquido utilizando una regadera y una maestra de mano.
- c) Se recubre con arena seca la superficie de la grieta rellenada, para evitar que el tráfico la levante.

Figura 4.34 Limpiando la grieta con cepillo y aire comprimido



Figura 4.35 Sellando con una regadera y una maestra de mano



Figura 4.36 Recubriendo la superficie con arena seca



Fuente: *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*

4.5.1.4 Grietas Longitudinales y Transversales

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

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

Reparación. Véase reparación de “Grietas de Reflexión de Juntas”

4.5.1.5 Cruce de Vía Férrea (rejilla de drenaje - tapa de alcantarillado)

Causas. El cruce de vía férrea, tapa de alcantarilla y rejillas de drenaje son obras casi imposibles de evitar. Dichas obras pueden causar incomodidad de las movilidades al transitar sobre ellas, debido a que generalmente alrededor de éstas se produce ondulaciones y hundimientos, que generalmente es causada por la inadecuada ejecución de la obra y sus alrededores. También puede ser debida a humedades excesivas, contaminación con aceite, o falta de aeración cuando se colocan las mezclas utilizando asfalto líquido.

Reparación. Véase reparación de “Abultamientos y Hundimientos”

4.5.2 DISTORSIÓN

4.5.2.1 Abultamientos

Causas. Los abultamientos y hundimientos generalmente se producen en las capas asfálticas que carecen de estabilidad. La falta de estabilidad puede ser debida a que la mezcla sea demasiado rica en asfalto, tenga una alta proporción de agregados finos, o tenga agregados finos o gruesos demasiados redondos o de textura demasiado lisa, o que el cemento asfáltico sea demasiado blando. También puede ser debido a humedades excesivas, contaminación con aceite, o falta de aireación cuando se coloca las mezclas utilizando asfalto líquido.

Reparación. Si el pavimento ondulado está formado por una base de agregado y un tratamiento superficial delgado, una medida correctiva satisfactoria es escarificar la superficie, mezclarla con la base, y extender y recomprimir esta mezcla antes de repavimentar.

Si el pavimento tiene una base y una superficie asfáltica de más de 5cm de espesor, las ondulaciones superficiales pueden eliminarse con una máquina que se conoce con el nombre de plancha-calentadora, aplicando a continuación una capa de sello o una carpeta superficial de mezcla en planta.

Para lograr una reparación efectiva de las áreas combadas, éstas deben ser removidas y bacheadas.

- **Reparación de las ondulaciones en los tratamientos superficiales delgados**

Para realizar este trabajo, se procede de la manera siguiente:

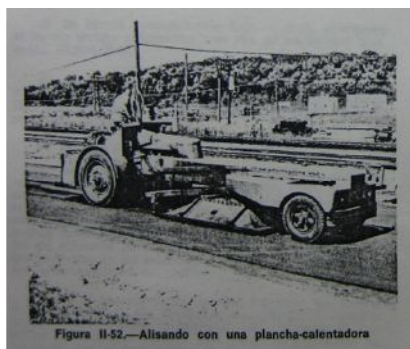
- a) Se escarifica y rompe la superficie con una cortadora rotativa.
- b) Se mezcla el material de superficie así desmenuzado con el material de base, hasta una profundidad de 10 cm.
- c) Se compacta y reconforma la base.
- d) Se imprima la base.
- e) Se aplica un tratamiento superficial nuevo.

- **Reparación de la ondulación en las superficies asfálticas gruesas:**

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se alisa con una plancha-calentadora hasta obtener una superficie libre de irregularidades. Si hay que llegar hasta el borde de una cuneta revestida, se debe cortar un escalón con la plancha-calentadora. Este escalón debe ser del espesor de la capa de sello que se va a colocar, de manera que sus bordes no tengan que ser rebajados.
- b) Se recubre la superficie alisada con una capa de sello asfáltico mezclado en planta en caliente o con una emulsión de lechada asfáltica (o, si es necesario, con una carpeta de recubrimiento de concreto asfáltico).

Figura 4.37 Alisando con una planta-calentadora



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

- **Reparación de Elevaciones y Hundimientos de Severidad Alta.** Véase “Grietas en piel de cocodrilo, bacheo profundo”.

4.5.2.2 Corrugación

Causas. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. También falta de estabilidad puede ser debida a que la mezcla sea demasiado rica en asfalto, tenga una alta proporción de agregados finos, o tenga agregados finos o gruesos demasiados redondos o de textura demasiado lisa, o que el cemento asfáltico sea demasiado blando. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Reparación. Véase “Abultamientos y Hundimientos”.

4.5.2.3 Depresión

Causas. Los hundimientos o depresión, pueden ser ocasionados por un tráfico más pesado que aquel para el que ha sido diseñado el pavimento, por el asentamiento de las capas inferiores del pavimento, o por haberse empleado métodos constructivos deficientes.

Reparación. Las depresiones deben llenarse con material asfáltico mezclado en planta en caliente y compactarse hasta emparejarlas con el pavimento circundante.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se delimitan los bordes de la zona hundida con una regla o con un alambre, marcándolos sobre la superficie del pavimento con un lápiz marcador.
- b) Si se dispone de una máquina de lijar se rebaja el área, a fin de obtener una cara vertical alrededor de los bordes. Si no se dispone de este equipo, este paso puede omitirse.
- c) Se limpia perfectamente toda el área, abarcando al menos treinta centímetros más allá de los límites marcados.
- d) Se aplica una capa de adherencia ligera (0.25 a 0.75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 diluida en partes iguales de agua) sobre la superficie limpia.
- e) Se deja curar la capa de adherencia.
- f) Se extiende sobre la depresión suficiente material asfáltico mezclado en planta en caliente, hasta alcanzar, cuando se compacte, el nivel original. Si no se dispone de mezcla en caliente, se puede utilizar mezcla en planta con asfalto líquido (colocada en frío). Si la mezcla es de este tipo, deberá airearse perfectamente antes de colocarla en la depresión. Esto es necesario para que se evaporen los solventes y el agua que pueden motivar la inestabilidad del parche.
- g) Si el pavimento no ha sido rebajado, los bordes del parche deben ser acñados, rastrillando y manipulando cuidadosamente el material. Sin embargo, al rastrillar debe tenerse cuidado para evitar la separación de las partículas gruesas y finas de la mezcla.
- h) Se verifica la lisura del parche con una regla o con un alambre.
- i) Se debe compactar perfectamente el parche con un compactador vibrante liso, con un rodillo o con un pisón de mano.

- j) Se coloca un sello de arena sobre el área bacheada, para evitar que entre el agua, cuidando de no aplicar un exceso de asfalto.

Figura 4.38 Demarcando y señalando un hundimiento **Figura 4.39** Lijando un borde hundimiento



Figura 4.40 Limpiando la superficie



Figura 4.41 Aplicando la capa de pega

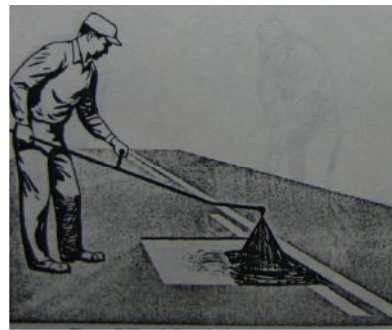


Figura 4.42 Nivelando el parche



Figura 4.43 Compactando el parche

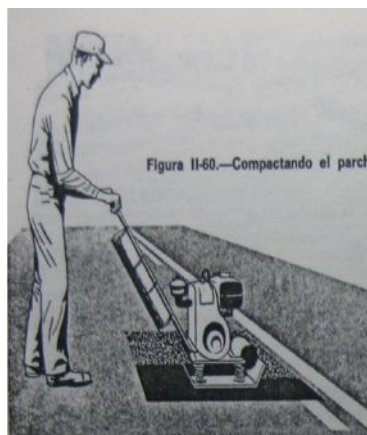


Figura 4.44 Colocando el sello de arena



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

4.5.2.4 Parcheo y Acometidas de Servicios Públicos

Causas. Estos hundimientos son causados, usualmente por la falta de adecuada compactación del relleno.

Reparación. Véase “Depresión”.

4.5.2.5 Ahuellamiento

Causas. Los ahuellamientos pueden producirse por la consolidación o por el movimiento lateral, bajo el tráfico de una o más de las capas inferiores, o por desplazamientos, en la propia capa asfáltica superficial. Pueden desarrollarse, bajo la acción del tráfico, en los pavimentos asfálticos nuevos que han tenido poca compactación durante su construcción o, también por movimientos plásticos en las mezclas que no tengan suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

Reparación. Se enrasa el pavimento rellenando las depresiones con mezclas asfálticas producida en planta en caliente y luego se coloca un recubrimiento asfáltico delgado de mezcla en planta.

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se determinan los límites de las depresiones con una regla o con un cable, demarcando con un lápiz las aéreas a rellenar.
- b) Se aplica una capa de pega ligera (0.25 a 0.75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-1h diluída en partes iguales de agua)
- c) En las depresiones se extiende concreto asfáltico densamente gradado (mezcla tipo IVa o IVb del Instituto del Asfalto) con una pavimentadora, debiendo quedar el material rebajado en los bordes.
- d) Se compacta con un rodillo de ruedas de goma. Si no se dispone de él, se utiliza un rodillo de ruedas metálica.
- e) Se aplica un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente.
- f) Si el pavimento no se va a recubrir con una carpeta, se aplica un sello de arena sobre el área bacheada a fin de evitar la entrada de agua teniendo cuidado de no regar asfalto en exceso.

Figura 4.45 Demarcando una depresión

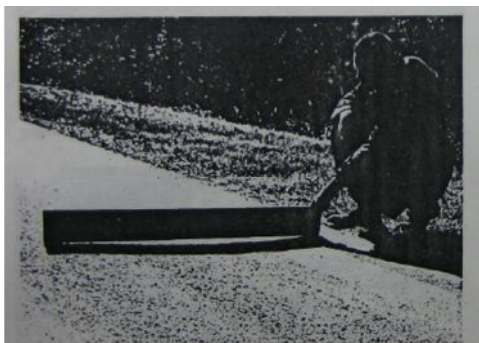


Figura 4.46 Aplicando la capa de pega

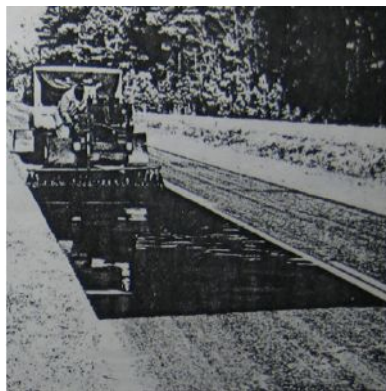


Figura 4.47 Extendiendo mezcla en planta densamente gradada

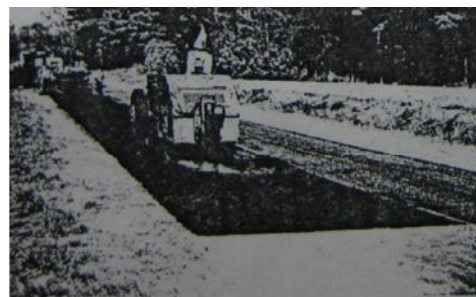
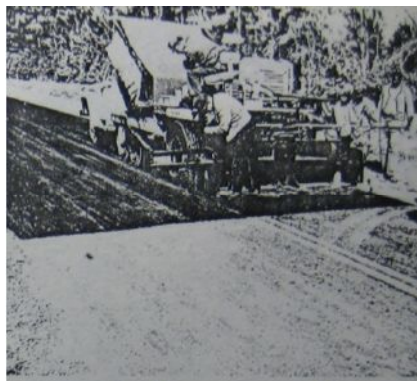


Figura 4.48 Compactando con el rodillo

Figura 4.49 Colocando un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

4.5.2.6 Hinchamiento

Causas. Los levantamientos son causados, principalmente, por la expansión del hielo en las capas inferiores del pavimento o de la subrasante. También pueden ser causados por el hinchamiento de los suelos expansivos debido a la humedad.

Reparación. Véase “Agrietamientos en Piel de Cocodrilo – Bacheo Profundo”

4.5.3 DESINTEGRACIÓN

4.5.3.1 Hundimientos

Causas. Los baches son causados, generalmente, por debilidad del pavimento, resultante de la escasez de asfalto, superficie de asfalto demasiado delgada, demasiados finos, pocos finos, o drenaje deficiente.

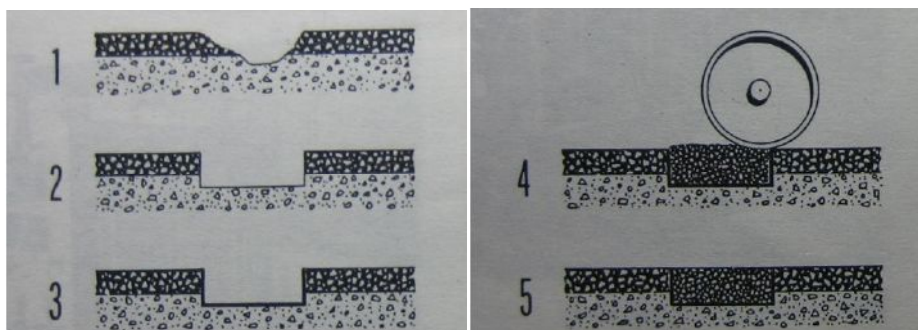
Reparación. Generalmente los baches aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces aplicar medidas de emergencia. Las reparaciones temporales consisten, usualmente, en la limpieza del hundimiento y su relleno con un material asfáltico de bacheo premezclado. La reparación permanente se realiza abriendo un hundimiento hasta alcanzar el material firme por lados y por el fondo, y rellenándolo con un nuevo material de base y de superficie.

Reparación Permanente

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- (1) Bache sin tratar.
- (2) La superficie y la base han sido removidas hasta alcanzar un apoyo firme.
- (3) Aplicando la capa de pega.
- (4) Compactación de la mezcla después de rellenar todo el hueco con mezcla asfáltica.
- (5) El parche terminado se compacta hasta emparejarlo con la superficie circundante.

Figura 4.50 Reparación permanente de un hundimiento



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

Reparación de Emergencia

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- a) Se limpia el hundimiento de todo el material suelto y el agua que sea posible.
- b) Se utiliza un calentador infrarrojo con el fin de calentar u ablandar la superficie asfáltica que rodea el hundimiento.
- c) Se rellena el hundimiento con una mezcla de emulsión asfáltica almacenada y se rastrilla hasta dejar la superficie lisa.
- d) Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo.
- e) Se seca el parche compactado con el calentador infrarrojo.

Figura 4.51 Limpiando el hundimiento del material suelto



Figura 4.52 Utilizando el calentador infrarrojo



Figura 4.53 Llenando el hundimiento con mezcla almacenada



Figura 4.54 Usando el compactador vibrante plano



Figura 4.55 Secando el parche con el calentador infrarrojo



Fuente: *El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos*

Reparación permanente: véase “Agrietamientos en Piel de Cocodrilo-Parqueo Profundo”

4.5.3.2 Meteorización / Desprendimiento de Agregados

Causas. La pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Éste daño indica que el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Reparación.

B: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

A: Tratamiento superficial. Sobre carpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

4.6 Presupuesto Económico para el mantenimiento de la Vía

El presupuesto del mantenimiento de cada uno de los tramos e imprescindible contabilizar el total del área de las fallas de acuerdo a su respectivo severidad. La información de los precios unitarios de dichas actividades fue obtenida de la OFICIALIA MAYOR TÉCNICA DE LA HONORABLE ALCALDÍA MUNICIPAL DE TARIJA.

Cuadro 4.46 Precio unitario del bacheo superficial

BACHEO SUPERFICIAL					
Rendimiento : 150.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			150.32
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Insumos Partida					
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					150.32

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

Cuadro4.47 Precio unitario del parchado profundo

PARCHADO PROFUNDO					
Rendimiento : 80.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			218.77
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Insumos Partida					
Trans. Agregado obra	M3		0.3600	62.049	22.34
Material chancado de cantera (dmax=2")	M3		0.3000	81.168	24.35
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Excavación en zona de parches	M3		0.3000	21.453	6.44
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Conformación de base gran. (zona de parches)	M3		0.3000	51.096	15.33
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					218.77

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

Cuadro 4.48 Precio unitario del sellado de fisuras moderadas

SELLADO DE FISURAS MODERADAS					
Rendimiento : 1600.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			16.63
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operario	HH	5.00	0.0250	63.926	1.60
Oficial	HH	4.00	0.0200	57.200	1.14
Peón	HH	10.00	0.0500	51.658	2.58
Capataz "A"	HH	1.00	0.0050	83.083	0.42
					5.74
Materiales					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62
					6.62
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	2.548	0.13
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0050	179.504	0.90
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0050	365.245	1.83
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0050	150.170	0.75
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0050	133.622	0.67
					4.27

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

Cuadro 4.49 Precio unitario del sellado de fisuras severas

SELLADO DE FISURAS SEVERAS					
Rendimiento : 1000.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			24.32
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operario	HH	5.00	0.0400	63.926	2.56
Oficial	HH	4.00	0.0320	57.200	1.83
Peón	HH	10.00	0.0800	51.658	4.13
Capataz "A"	HH	1.00	0.0080	83.083	0.66
					9.18
Materiales					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62
					6.62
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	4.072	0.20
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0080	179.504	1.44
Ruteador	HM	1.00	0.0080	210.719	1.69
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0080	365.245	2.92
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0080	150.170	1.20
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0080	133.622	1.07
					8.52

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

Cuadro 4.50 Precio unitario de la carpeta asfáltica

CARPETA ASFÁLTICA					
Rendimiento : 200.00 M3/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			114.90
Descripción Insumo	Unidad	Rendimiento	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operador planta asfáltica	hr	0.008	0.01	12.00	0.10
Ayudante oper. Planta asfáltica	hr	0.006	0.01	6.00	0.04
Personal de Limpieza	hr	0.083	0.08	5.80	0.48
Peón riego	hr	0.090	0.09	5.80	0.52
Operador de terminadora de asfalto	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
Operador de Rodillo Neumático	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
operador de Rodillo Liso	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
Maestro de asfaltos	hr	0.008	0.01	12.00	0.10
					1.81
Materiales					
Gradación "B" 25%	m3	0.019	0.02	105.00	2.00
Gradación "D" 35%	m3	0.027	0.03	110.00	3.30
Arena 40%	m3	0.035	0.04	75.00	3.00
Gas natural	mill	0.005	0.01	16.00	0.08
Asfalto CA 85-100	KG	9.000	9.00	8.50	76.50
Diesel	litros	0.120	0.12	3.72	0.45
Gasolina especial	litros	0.005	0.01	3.74	0.02
Kerosene	litros	0.250	0.25	2.80	0.70
					86.04
Equipos					
Planta asfáltica	hr	0.0160	0.02	500.00	8.00
Distribuidor de asfalto	hr	0.0020	0.00	70.00	0.14
Terminadora de asfalto	hr	0.0160	0.02	250.00	4.00
Rodillo neumático	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
Rodillo Liso	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
Cargador frontal	hr	0.0160	0.02	212.00	3.39
Volquetas	hr	0.0480	0.05	120.00	5.76
Rodillo liso	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
					27.05

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

4.6.1 Soluciones de Mantenimiento a Cada Tipo de Falla Según su Severidad

TRAMO 1

Cuadro 4.51 Mantenimiento a cada tipo de falla (tramo 1)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 1	MANTENIMIENTO
ABULTAMIENTOS	4	A	8,00	PARCHADO PROFUNDO
GRIETAS DE BORDE	7	L	179,95	SELLADO DE FISURAS MODERADAS
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	64,85	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
		M	110,25	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	263,95	BACHEO SUPERFICIAL
		M	110,25	BACHEO SUPERFICIAL
AGREGADOS PULIDOS	12	L	1463,75	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
		M	137,20	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
HUNDIMIENTO	13	L	31,00	BACHEO SUPERFICIAL
		M	1,00	BACHEO SUPERFICIAL
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	M	2,25	BACHEO SUPERFICIAL
AHUELLAMIENTO	15	L	207,35	CARPETA ASFALTICA

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 2

Cuadro 4.52 Mantenimiento a cada tipo de falla (tramo 2)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 2	MANTENIMIENTO
PIEL DE COCODRILO	1	L	90.640	BACHEO SUPERFICIAL
		M	305.820	PARCHADO PROFUNDO
		A	22.770	PARCHADO PROFUNDO
ABULTAMIENTO	4	L	203.000	BACHEO SUPERFICIAL
		M	24.100	PARCHADO PROFUNDO
CORRUGACION	5	L	5.130	BACHEO SUPERFICIAL
GRIETAS DE BORDE	7	L	74.200	SELLADO DE FISURAS MODERADAS
		M	167.500	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
		A	5.000	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	L	4.500	CARPETA ASFALTICA
		M	32.730	CARPETA ASFALTICA
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	972.930	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
		M	380.720	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	438.820	BACHEO SUPERFICIAL
		M	360.780	BACHEO SUPERFICIAL
		A	111.400	PARCHADO PROFUNDO
AGREGADOS PULIDOS	12	L	4340.930	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
		M	977.270	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
		A	110.000	CARPETA ASFÁLTICA
HUNDIMIENTO	13	L	25.000	BACHEO SUPERFICIAL
		M	1.000	BACHEO SUPERFICIAL
		A	2.000	PARCHADO PROFUNDO
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	5.000	BACHEO SUPERFICIAL
		M	7.000	BACHEO SUPERFICIAL
		A	4.000	PARCHADO PROFUNDO
AHUELLAMIENTO	15	L	439.980	CARPETA ASFÁLTICA
		M	58.510	CARPETA ASFÁLTICA

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 3

Cuadro 4.53 Mantenimiento a cada tipo de falla (tramo 3)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 3	MANTENIMIENTO
PIEL DE COCODRILO	1	L	26.600	BACHEADO SUPERFICIAL
		M	102.200	PARCHADO PROFUNDO
ABULTAMIENTO	4	L	22.750	BACHEO SUPERFICIAL
		M	35.700	PARCHADO PROFUNDO
GRIETAS DE BORDE	7	M	2.800	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	50.750	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
		M	46.900	SELLADO DE FISURAS SEVERAS
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	11.900	BACHEO SUPERFICIAL
		M	138.600	BACHEO SUPERFICIAL
		A	52.500	PARCHADO PROFUNDO
AGREGADOS PULIDOS	12	L	196.000	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
		M	390.250	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)
		A	70.000	CARPETA ASFÁLTICA
HUNDIMIENTO	13	M	6.000	BACHEO SUPERFICIAL
		A	1.000	PARCHADO PROFUNDO
AHUELLAMIENTO	15	L	11.620	CARPETA ASFÁLTICA
		M	7.420	CARPETA ASFÁLTICA

Fuente: Elaboración Propia

4.6.2 Resumen de Costos y Rendimientos de cada Mantenimiento

En este cuadro se tendrá un resumen del costo por m² de cada mantenimiento a utilizar y posteriormente su respectivo rendimiento para saber cuánto tiempo de ejecución.

Cuadro 4.54 Resumen de costos y rendimientos para cada tipo de mantenimiento

MANTENIMIENTO	COSTO (Bs/m ²)	RENDIMIENTO (m ² /día)
BACHEO SUPERFICIAL	150,32	150,00
PARCHADO PROFUNDO	218,77	80,00
SELLADO DE FISURAS MODERADAS	1600,00	16,63
SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24,32	1000,00
CARPETA ASFÁLTICA	114,90	3364,00
REFUERZO SOBRE-CARPETA (3cm)	57,50	6728.00

Fuente: Oficialía Mayor Técnica

TRAMO 1

Cuadro 4.55 Costos de mantenimiento y ejecución (tramo 1)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS	MANTENIMIENTO	COSTO M2	COSTO TOTAL	RENDIMIENTO	DIAS
ABULTAMIENTOS	4	A	8.00	PARCHADO PROFUNDO	218.77	1750.16	80.00	0.80
GRIETAS DE BORDE	7	L	179.95	SELLADO DE FISURAS MODERADAS	16.63	2992.57	1600.00	0.90
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	64.85	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	1577.15	1000.00	0.52
		M	110.25	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	2681.28	1000.00	0.88
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	263.95	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	39676.96	150.00	14.08
		M	1.20	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	180.38	150.00	0.06
AGREGADOS PULIDOS	12	L	1463.75	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.50	84165.63	6728.00	1.74
		M	137.20	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.50	7889.00	6728.00	0.16
HUNDIMIENTO	13	L	31.00	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	4659.92	150.00	1.65
		M	1.00	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	150.32	150.00	0.05
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	M	2.25	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	338.22	150.00	0.12
AHUELLAMIENTO	15	L	207.35	CARPETA ASFALTICA	114.90	23824.52	3364.00	0.49
			2470.75	COSTO DEL MANTENIMIENTO =		169886.11	DIAS=	21.465

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 2

Cuadro 4.56 Costos de mantenimiento y ejecución (tramo 2)

TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	AREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO 2	MANTENIMIENTO	COSTO M2	COSTO TOTAL	RENDIMIENTO	DIAS
PIEL DE COCODRILO	1	L	90.640	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	13625.00	150	4.834
		M	305.820	PARCHADO PROFUNDO	218.77	66904.24	80	30.582
		A	22.770	PARCHADO PROFUNDO	218.77	4981.39	80	2.277
ABULTAMIENTO	4	L	203.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	30514.96	150	10.827
		M	24.100	PARCHADO PROFUNDO	218.77	5272.36	80	2.410
CORRUGACION	5	L	5.130	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	771.14	150	0.274
GRIETAS DE BORDE	7	L	74.200	SELLADO DE FISURAS MODERADAS	16.63	1233.95	1600	0.371
		M	167.500	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	4073.60	1000	1.340
		A	5.000	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	121.60	1000	0.040
DESNIVEL DE CARRIL O BERMA	9	L	4.500	CARPETA ASFÁLTICA	114.90	517.05	3364	0.011
		M	32.730	CARPETA ASFÁLTICA	114.90	3760.68	3364	0.078
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	972.930	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	23661.66	1000	7.783
		M	380.720	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	9259.11	1000	3.046
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	438.820	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	65963.42	150	23.404
		M	360.780	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	54232.45	150	19.242
		A	111.400	PARCHADO PROFUNDO	218.77	24370.98	80	11.140
AGREGADOS PULIDOS	12	L	4340.930	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.50	249603.48	6728	5.162
		M	977.270	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.50	56193.03	6728	1.162
		A	110.000	CARPETA ASFÁLTICA	114.90	12639.00	3364	0.262
HUNDIMIENTO	13	L	25.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	3758.00	150	1.333
		M	1.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	150.32	150	0.053
		A	2.000	PARCHADO PROFUNDO	218.77	437.54	80	0.200
TAPAS DE ALCANTARILLA - REJILLA DRENAJE	14	L	5.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	751.60	150	0.267
		M	7.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	1052.24	150	0.373
		A	4.000	PARCHADO PROFUNDO	218.77	875.08	80	0.400
AHUELLAMIENTO	15	L	439.980	CARPETA ASFÁLTICA	114.90	50553.70	3364	1.046
		M	58.510	CARPETA ASFÁLTICA	114.90	6722.80	3364	0.139
			9170.730	COSTO DEL MANTENIMIENTO =		692000.37	DIAS =	128.055

Fuente: Elaboración Propia

TRAMO 3

Cuadro 4.57 Costos de mantenimiento y ejecución (tramo 3)

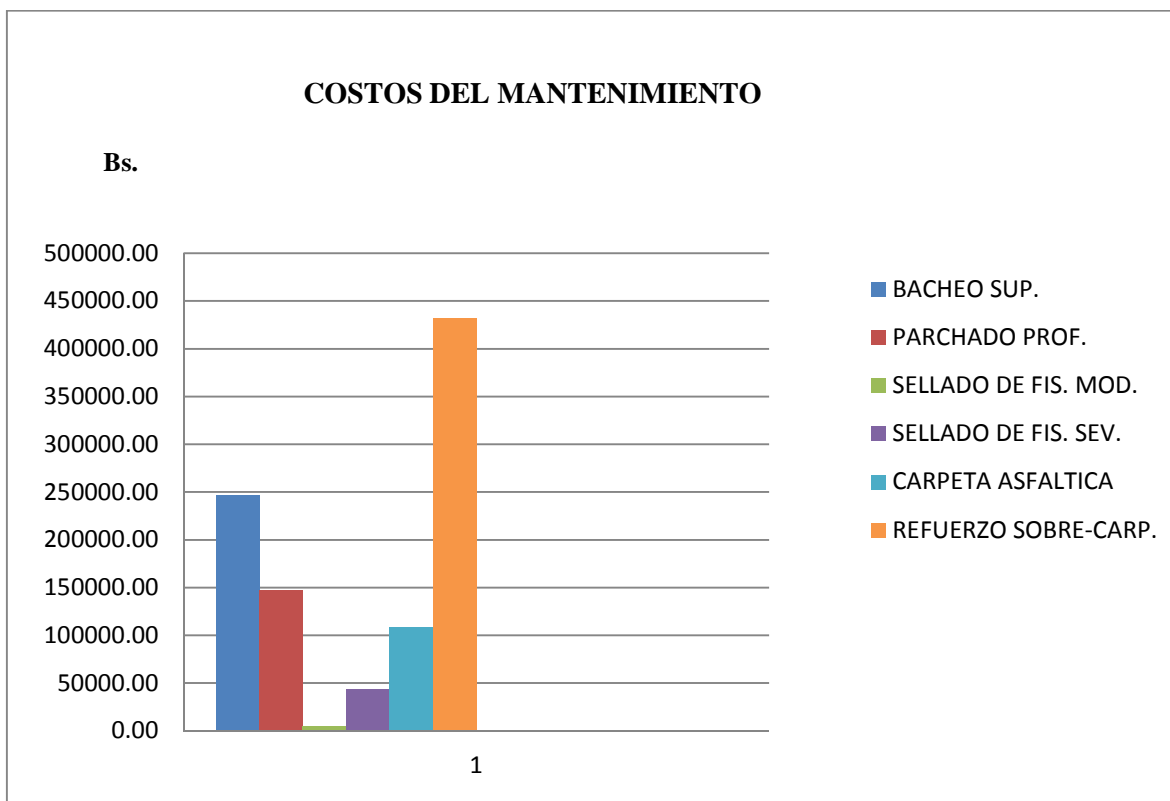
TIPO DE FALLA	FALLA	SEVERIDAD	ÁREA TOTAL DE FALLAS DEL TRAMO	MANTENIMIENTO	COSTO M2	COSTO TOTAL	RENDIMIENTO	DIAS
PIEL DE COCODRILO	1	L	26.600	BACHEADO SUPERFICIAL	150.32	3998.51	150	1.42
		M	102.200	PARCHADO PROFUNDO	218.77	22358.29	80	10.22
ABULTAMIENTO	4	L	22.750	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	3419.78	150	1.21
		M	35.700	PARCHADO PROFUNDO	218.77	7810.09	80	3.57
GRIETAS DE BORDE	7	M	2.800	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	68.10	1000	0.02
GRIETAS LONG. Y TRANS.	10	L	50.750	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	1234.24	1000	0.41
		M	46.900	SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	1140.61	1000	0.38
PARCHEO Y ACOMETIDAS	11	L	11.900	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	1788.81	150	0.63
		M	138.600	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	20834.35	150	7.39
		A	52.500	PARCHADO PROFUNDO	218.77	11485.43	80	5.25
AGREGADOS PULIDOS	12	L	196.000	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.5	11270.00	6728	0.23
		M	390.250	REFUERZO SOBRECARPETA (3cm.)	57.5	22439.38	6728	0.46
		A	70.000	CARPETA ASFÁLTICA	114.9	8043.00	3364	0.17
HUNDIMIENTO	13	M	6.000	BACHEO SUPERFICIAL	150.32	901.92	150	0.32
		A	1.000	PARCHADO PROFUNDO	218.77	218.77	80	0.10
AHUELLAMIENTO	15	L	11.620	CARPETA ASFÁLTICA	114.9	1335.14	3364	0.03
		M	7.420	CARPETA ASFÁLTICA	114.9	852.56	3364	0.02
COSTO DEL MANTENIMIENTO =						119198.97	DIAS=	31.83

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 4.58 Costo y tiempo de ejecución totales del Mantenimiento

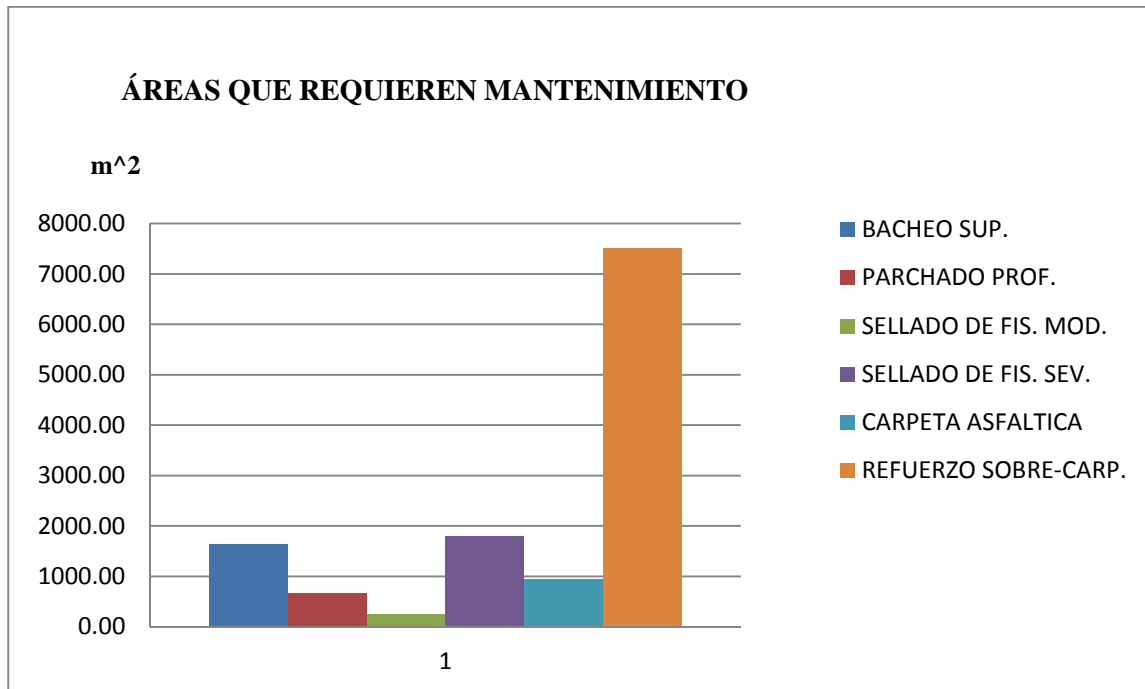
MANTENIMIENTO	COSTO x m2	RENDIMIENTO	ÁREA	COSTO (Bs.)	EJECUCIÓN (días)
BACHEO SUPERFICIAL	150.32	150.00	1641.62	246768.32	87.55
PARCHADO PROFUNDO	218.77	80.00	669.49	146464.33	66.95
SELLADO DE FISURAS MODERADAS	16.63	1600.00	254.15	4226.51	1.27
SELLADO DE FISURAS SEVERAS	24.32	1000.00	1801.70	43817.34	14.41
CARPETA ASFALTICA	114.90	3364.00	942.11	108248.44	2.24
REFUERZO SOBRE-CARPETA (3cm)	57.50	6728.00	7505.40	431560.50	8.92
TOTAL			12814.47	981085.44	181.35

Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.56 Grafica índice de costos

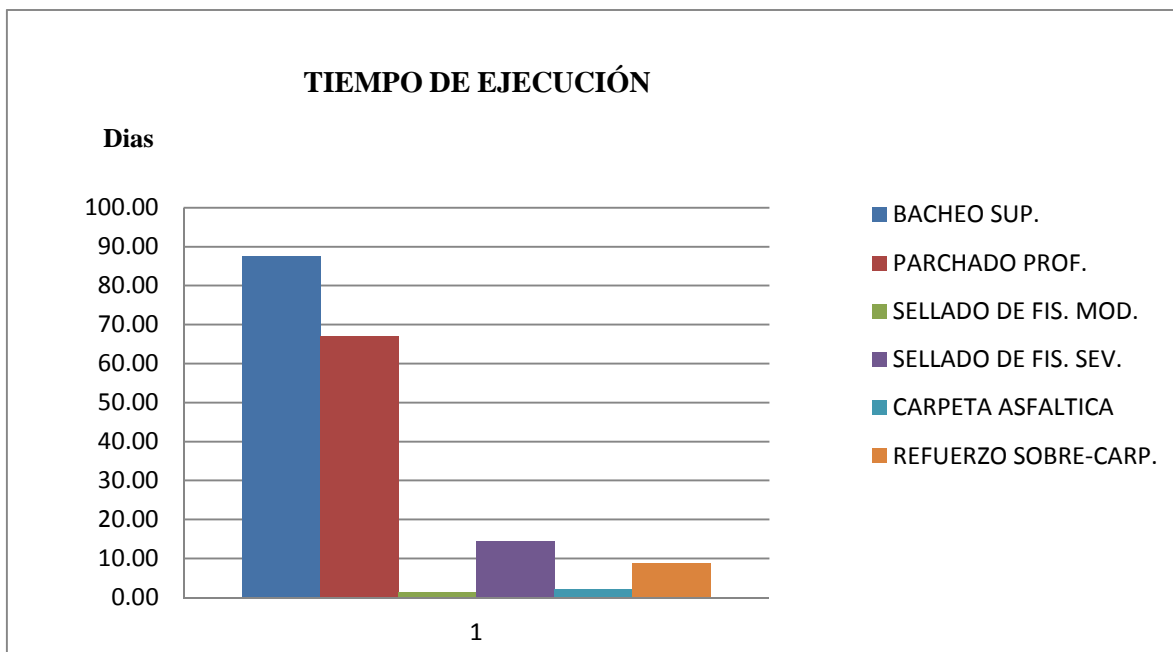
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.57 Grafica de valores de áreas que requieren mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.58 Duración de cada mantenimiento

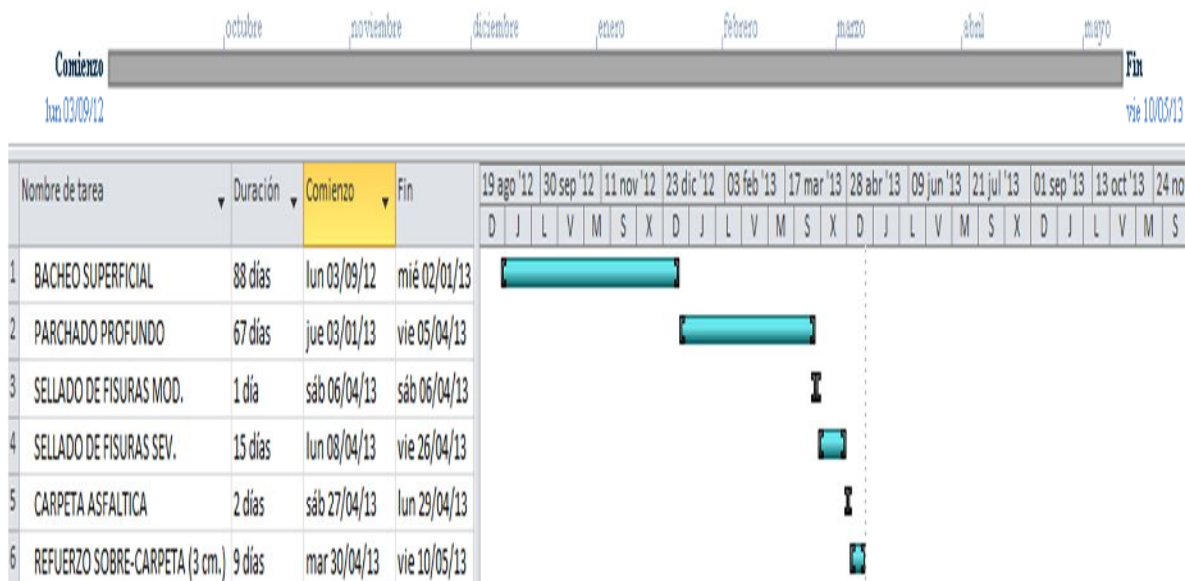


Fuente: Elaboración Propia

4.6.3 Programación para la Ejecución del Mantenimiento de la Vía

Programación mediante el diagrama de barras (diagrama de Gantt)

Figura 4.59 Diagrama de Gantt



Fuente: Elaboración Propia

DÍAS CALENDARIO PARA EL MANTENIMIENTO = 182 DIAS

INICIO: LUNES 3 DE SEPTIEMBRE 2012

FIN: VIERNES 10 DE MAYO 2013

4.6.4 Resumen de Costos y Cronograma de Actividades

TRAMO 1

TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:

Numeral = **169886.11** Bs.

Literal = ciento sesentainueve mil, ochocientos ochenta y seis 11/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (calzada de 10 m)

Carril = doble carril

Numeral = 828,00 m.

Literal = ochocientos veintiocho metros

Tiempo de ejecución de mantenimiento: 22 días calendario

TRAMO 2

TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:

Numeral = **692000.37** Bs.

Literal = seiscientos noventa y dos mil 37/100 Bolivianos

Tiempo de ejecución de mantenimiento: 128 días calendario

LONGITUD TOTAL (calzada izquierda 10 m. y calzada derecha 10 m.)

Carril = izquierdo

Carril = derecho

Numeral = 1840 m. (doble vía con jardinera central)

Literal = mil ochocientos cuarenta metros

TRAMO 3**TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:**

Numeral = 119198.97 Bs.

Literal = ciento diecinueve mil, ciento noventa y ocho 97/100 Bolivianos

Tiempo de ejecución de mantenimiento: 32 días calendario

LONGITUD TOTAL (calzada izquierda 10 m. y calzada derecha 10 m.)

Carril = izquierdo

Carril = derecho

Numeral = 460 m. (doble vía con jardinera central)

Literal = cuatrocientos sesenta metros

4.6.5 Costo, Longitud y Cronograma Total del Mantenimiento de toda la Vía**TRAMO TOTAL****TOTAL EN Bs. DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO:**

Numeral = 981085.47 Bs.

Literal = novecientos ochenta y un mil, ochenta y cinco 47/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (Sumatoria de ambos tramos)

Numeral = 3128 m.

Literal = tres mil ciento veinte y ocho metros.

TOTAL EN DÍAS CALENDARIO (todo el tramo)

Numeral = 182 días

Literal = ciento ochenta y dos días calendario



Presupuesto económico para el mantenimiento de la vía se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.59 Presupuesto y tiempo de ejecución del mantenimiento de la vía

ACTIVIDAD	TRAMO 1	TRAMO 2		TRAMO 3	
TIPO DE MANTENIMIENTO	MANTENIMIENTO RUTINARIO PERMANENTE	MANTENIMIENTO RUTINARIO PERMANENTE		MANTENIMIENTO RUTINARIO PERMANENTE	
CARRIL	DOBLE CARRIL	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
DISTANCIA TRAMO (m.)	828.00	1840.00	1840.00	460.00	460.00
COSTO DEL MANTENIMIENTO POR TRAMOS	169886.11	692000.37		119198.965	
COSTO TOTAL DEL MANTENIMIENTO (Bs.)	981085.44				
DISTANCIA TOTAL DE LA VIA (m.)	3128				
TIEMPO DE EJECUCIÓN	182 días.				

Con la opinión de varios ingenieros como también haciendo uso de la teoría y recolectando información de la vía, se puede llegar a estimar con el mantenimiento que se recomienda en dicho estudio se prevé que tendrá una duración de la vía de 4 a 6 años, también vale mencionar que mucho influye el tipo de mantenimiento y el seguimiento de la especificaciones técnicas que se haga al momento de realizar el mantenimiento porque si se tiene una mala supervisión no se lograra los resultados de la vida útil que se pretende llegar.

CAPÍTULO V

5.1 Conclusiones

- ✓ La evaluación superficial de pavimentos flexibles es una metodología para obtener el estado de la vía, ya que nos da resultados confiables del estado superficial de la capa de rodadura.
- ✓ Para realizar la evaluación superficial de pavimentos es muy importante la inspección visual de la carpeta asfáltica, porque así se tiene un diagnóstico real que nos permite realizar la toma de decisiones y programar un adecuado mantenimiento y conservación de dicha vía.
- ✓ La diversidad de fallas que se presentan en el pavimento, afectan al tráfico vehicular y a la seguridad de las personas que circulan por esa zona.
- ✓ De acuerdo a la observación y clasificación de las fallas se sugiere un debido mantenimiento para que estas no lleguen a un grado de alto deterioro y el costo no se incremente considerablemente en la restitución de la condición del pavimento.
- ✓ Los problemas de drenaje en nuestro tramo evaluado se debe a la acumulación de basura en las bocas de las alcantarillas y es un motivo por lo cual en los tiempos de lluvia se acumule agua y con el tiempo la capa de rodadura se va afectando y posterior a ello causa que se afecte las capas del pavimento flexible.
- ✓ La evaluación superficial depende mucho de la capacidad del evaluador ya que para hacer una evaluación efectiva se tiene que tener en cuenta el manual de fallas y tener mucho conocimiento para realizar la misma.
- ✓ Una vez realizado los tres métodos (PCI, PSI e IRI), analizando los principales características de cada uno de los métodos que existen para la evaluación superficial de pavimentos flexibles, el método más recomendable para su utilización es el PCI ya que una de sus principales ventajas es de poder cuantificar y medir la totalidad de fallas que se presentan en un pavimento flexible, porque el PSI solo toma una cierta cantidad de fallas que afectan a la serviciabilidad de una vía mientras el IRI solo toma la comodidad de rodadura es decir la rugosidad que se provoca por la llantas de un vehículo.

El método PCI permite realizar una cuantificación precisa de las diferentes fallas que puedan presentarse. Es ampliamente recomendado y utilizado en Colombia (Instituto Nacional de Vías).

- ✓ Los hundimientos son de mucha incidencia en la calidad de rodado, fueron pequeñas áreas de pavimento que estaban afectadas, el agua acumulada en ellos hizo que crecieran paulatinamente con el tiempo y se agrave la condición y el deterioro del pavimento.
- ✓ El agregado pulido observado en la vía demuestra que el pavimento ha reducido su adherencia con las llantas de los automóviles, esto es perjudicial al hablar de seguridad representando un peligro tanto para el conductor y como el peatón circundante.

Los resultados obtenidos del método PCI son:

Cuadro 5.1 Valores finales del método PCI

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	PCI	CALIFICACIÓN
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	76.17	MUY BUENO
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	79.23	MUY BUENO
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	84.80	MUY BUENO
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	89.88	MUY BUENO
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	68.44	BUENO
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	69.75	BUENO
RANGOS DE CALIFICACION DEL PCI			(85-70) MUY BUENO	(70-55) BUENO	(55-40) REGULAR	

Fuente: Elaboración propia

Con los valores del PCI se determina que es necesario un **mantenimiento de rutina permanente** porque presenta vestigios de deterioros de la superficie de la vía, baches ocasionales, hundimientos, agregados pulidos y ahuellamientos y es necesario hacer el mantenimiento para que las fallas encontradas no se prolonguen y tengan un grado de severidad mayor a la actual y la reparación no tenga un costo mas elevado.

El método *PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)*, está basado en la observación cuidadosa del estado superficial del pavimento flexible, primeramente se debe saber el adecuado conocimiento de los tipos de fallas y deterioros superficiales que se presentan en el pavimento, también se tiene que tener un conocimiento efectivo de los distintos coeficientes de serviciabilidad.

El método PSI tiene como desventaja, no tomar la totalidad de las fallas que pueden presentarse en un pavimento flexible.

En nuestro medio no existen equipos para poder determinar la rugosidad del pavimento, por lo que dependerá de la experiencia del evaluador.

Los resultados obtenidos del método PSI son:

Cuadro 5.2 Valores finales del método PSI

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	PSI	CALIFICACIÓN
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	3.34	BUENO
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	2.98	BUENO
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	3.47	BUENO
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	3.62	MUY BUENO
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	2.51	REGULAR
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	2.67	REGULAR
RANGOS DE CALIFICACION DEL PSI			(4.25-3.50) MUY BUENO	(3.50-2.75) BUENO	(2.75-2.00) REGULAR	

Fuente: Elaboración propia

En los diferentes tramos evaluados nos dio como resultado del PSI de BUENO a REGULAR el cual son los índice de serviciabilidad de la vía, con fallas de menor grado, también existen parches escasos, grietas, y tiene poca rugosidad, por lo que requiere de un **mantenimiento de rutina permanente**, para un confort del vehículo ya que la misma tendrá una capa de rodadura más eficiente para el paso de los vehículos y se tendrá una mayor circulación porque los conductores siempre transitan por zonas donde la capa de rodadura se encuentre en buen estado porque para ellos les significa que automóvil se mantendrá en buenas condiciones.

El método de evaluación **IRI (Índice de Rugosidad Internacional)** es un método que nos permita conocer la comodidad de rodadura de la vía. Requiere primeramente de una nivelación de todos los tramos en estudio, elegimos unidades de 23 y 46 metros y para realizar la nivelación se utilizó cada 0,5 metros y con los datos obtenidos de la nivelación se procedió a introducir al programa de Mira y Nivel y se determinó el IRI para los diferentes tramos, cuyos resultados son:

Cuadro 5.3 Valores finales del método IRI

TRAMO	SUBTRAMO	DISTANCIA (metros)	PROGRESIVAS	CALZADA	IRI (m/km)	CALIFICACIÓN
1	1	828	0+000 hasta 0+828	IZQUIERDA	4.081	REGULAR
	1	828	0+000 hasta 0+828	DERECHA	4.062	REGULAR
2	2	1840	0+828 hasta 2+668	IZQUIERDA	3.361	REGULAR
	2	1840	0+828 hasta 2+668	DERECHA	3.002	REGULAR
3	3	460	2+668 hasta 3+128	IZQUIERDA	4.507	REGULAR
	3	460	2+668 hasta 3+128	DERECHA	4.171	REGULAR
RANGOS DE CALIFICACION DEL IRI		(0-1.6) MUY BUENO		(1.6-2.8) BUENO		(2.8-5.2) REGULAR

Fuente: Elaboración propia

El pavimento presenta primeros vestigios de deterioros, haciendo una relación con las tablas del PCI e IRI se puede llegar que según el estudio requiere un **mantenimiento de rutina permanente** para que tenga una buena eficiencia para el usuario brindando un buen servicio.

El método IRI tiene como desventaja el basarse sólo en el ahuellamiento que presenta en la vía y la rugosidad notable del pavimento flexible.

El costo del mantenimiento de rutina permanente es de 981085.44 bolivianos el cual tendrá un tiempo de ejecución de 182 días calendario.

RESUMEN GENERAL DE LA EVALUACION SUPERFICIAL

Cuadro 5.4 Resultados generales de los métodos utilizados para la evaluación

TRAMO	SUB-TRAMO	DIST. (m)	PROGRESIVA	CALZADA	PCI	PSI	IRI	CALIFICACION	OBSERVACIONES
1	1	828	0+000/0+828	IZQUIERDA	76.17	3.34	4.081	MUY BUENO/BUENO/REGULAR	Se asume MUY BUENO porque el método más completo es el PCI tiene un manual amplio de fallas.
	1	828	0+000/0+828	DERECHA	79.23	2.98	4.062	MUY BUENO/BUENO/REGULAR	Se asume MUY BUENO porque el método más completo es el PCI y es evaluada con mayor detalle.
2	2	1840	0+828/2+668	IZQUIERDA	84.80	3.47	3.361	MUY BUENO/BUENO/REGULAR	Se asume MUY BUENO porque el método más completo es el PCI y logra calificar de una manera detallada.
	2	1840	0+828/2+668	DERECHA	89.88	3.62	3.002	MUY BUENO/MUY BUENO/REGULAR	Se asume MUY BUENO porque el método más completo es del PCI y precisa.
3	3	460	2+668/3+128	IZQUIERDA	68.44	2.51	4.507	BUENO/REGULAR/REGULAR	Se asume BUENO porque el método más completo es del PCI y esta con las características observadas.
	3	460	2+668/3+128	DERECHA	69.75	2.67	4.171	BUENO/REGULAR/REGULAR	Se asume BUENO porque el método más completo es el PCI.

Fuente: Elaboración propia

5.2 Recomendaciones

- Para realizar el PCI recomienda que el evaluador tiene que tener un amplio conocimiento del manual fallas y saber clasificar sus severidades correspondientes, para efectuar el levantamiento de fallas pero anterior a ello elegir los tramos de evaluación que van según el ancho de calzada de la vía para así tener un tramo correcto y poder evaluar al mismo. Con la medición de todas la fallas se procederá al cálculo y con ello poderlas clasificar mediante los rango del Manual del PCI y teniendo eso datos se procede a sacar un promedio final para saber el estado actual en el que se encuentra la vía.
- Para efectuar el PSI se tiene que haber hecho antes el método PCI para basarse en su levantamiento de fallas con sus respectivas severidades para tener en cuenta el grado de afectación y con esos datos se procede a realizar la clasificación de los distintos coeficientes de Serviciabilidad y poder utilizar la ecuación del PSI y reemplazar los coeficientes para obtener el valor del PSI del tramo, una vez calculado todos los sub-tramos se procederá a calcular el promedio final del PSI y así obtener el estado en actual en el que se encuentra la vía.
- Se recomienda para el cálculo del IRI hacerlo con Mira y Nivel de Ingeniero, primeramente hacer el respectivo levantamiento longitudinal con nivel y hacerlo cada 50 cm. a lo largo de la vía pero a una distancia de 2 metros de la calzada para medir la deformación que se produce a causa del empuje de las llantas del vehículo, un vez hecho todo el levantamiento se procede al cálculo mediante el software INPACO el programa nos da los resultados del cálculo del IRI y posterior a ello se calcula el promedio final para después clasificar el estado actual en el que se encuentra la vía.
- Al momento de ir a realizar las mediciones se deben llevar artículos de seguridad personal y señalización adecuada para evitar accidentes de tránsito.
- El mantenimiento debe planificarse y ejecutarse de forma efectiva según el requerimiento ya que al no ser asistida influye en el nivel de severidad de los diferentes daños que se presentan en el pavimento.
- Para no tener defectos prematuros en la carretera se debe realizar una buena construcción, ya sea la compactación de sus respectivas capas, la utilización de

materiales adecuados para las mismas o hacer cumplir las especificaciones técnicas y estructurales del proyecto, de esta manera conseguir resultados óptimos de dicha carretera para que pueda cumplir la vida útil para lo cual fue construida.

- Realizar la reparación de las fallas más severas de manera profunda para así garantizar un buen trabajo, dando de esta manera seguridad y confort al usuario.
- Para evitar que se formen baches se debe disciplinar a la gente para que no ocasione daños al pavimento echando aguas servidas sobre él, o si se rompe el pavimento por algún trabajo en particular se debe hacer la reposición exacta de cómo estaba en su estado original de manera que su resistencia no varié y así se mantenga a lo largo de su vida útil.
- La fallas que ocasionan las cámaras y bocas de tormentas producen elevaciones o depresiones a su alrededor y la solución es que cambie las capas de su alrededor de estas obras por un material de mayor resistencia ya que por estas cámaras el flujo de agua es casi constante en épocas de lluvia lo que daña las diferentes capas.

