

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

En Bolivia y puntualmente en la ciudad de Tarija se invierten una gran cantidad de recursos económicos pertenecientes al Tesoro General de la República, en la construcción de grandes carreteras y vías urbanas para facilitar el tránsito de los automotores para así elevar la calidad de vida de las personas.

La tarea en la actualidad de los gobiernos municipales es la conservación y mantenimiento de las vías urbanas de acuerdo a la necesidad de los usuarios, para así garantizar que el pavimento llegue a cumplir con su vida útil de diseño.

Una problemática constante es la falta de atención a las vías urbanas, tomando en cuenta el gran aumento del parque automotor de la ciudad, junto a la inconsciencia de algunos conductores que muchas veces transitan vehículos pesados por calles que fueron diseñadas para un tránsito liviano, de esta manera el deterioro de las vías urbanas es más rápido de lo inicialmente previsto, llegando a causar fallas superficiales, como estructurales que impiden el normal tránsito de los automotores.

Al principio, estos deterioros suelen ser pequeños que si no son atendidos oportunamente van aumentando de severidad y cantidad de fallas. Debido a esta situación se realiza una evaluación superficial de pavimentos de un tramo en específico, para luego calificar el estado de la misma, determinando si está en buenas o malas condiciones de transitabilidad, planteando las soluciones y costos que representaría la rehabilitación de todas las fallas que puedan presentarse.

El estudio de las Técnicas de Rehabilitación de Vías Urbanas, se aplica en la ciudad de Tarija en una vía urbana que se encuentre en mal estado y que no tenga mucho tiempo de haber sido ejecutada para así hacer notar los impactos de no contar con un mantenimiento rutinario de las vías como es debido; el tramo inicialmente será recorrido lentamente a pie, para así poder apreciar la calidad de la vía, tipo y cantidad de tráfico existente, como también llegar a tener una apreciación de las fallas más representativas que puedan presentarse .

Por tal motivo, nuestra inquietud es presentar un documento completo que esté a la mano de las todas las personas que deseen analizar el problema y darles una solución que pueda asegurar el periodo de vida útil de la vía urbana. Debemos tener en cuenta que es más conveniente realizar el mantenimiento rutinario de las vías y no dejar que se deterioren hasta el punto en que ya no es económicamente factible rehabilitarla, ésto nos llevaría a realizar un nuevo diseño, ejecución y posterior mantenimiento de la vía urbana para que cumpla con las solicitudes actuales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En nuestra ciudad de Tarija, uno de los principales problemas de la población en general es la existencia de varios barrios que no cuentan con sus vías pavimentadas o mínimamente empedradas, ésto acarrea problemas con el tránsito vehicular como peatonal, la contaminación por el polvo, la formación de charcos de agua que se presenta con mayor intensidad en épocas de lluvia, todos estos problemas afectan a las personas que transitan por el lugar poniendo muchas veces en riesgo la salud y seguridad del pueblo en general.

Las ventajas de tener las calles pavimentadas son muchas y principalmente es que dichas vías pueden ser transitadas con seguridad para las personas y vehículos durante todo el año, se protege a la población en general de la contaminación que llega a producir el polvo y el estancamiento de aguas, la calidad de vida de las personas aumentan al contar vías debidamente pavimentadas, por este motivo el Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija está realizando muchos trabajos de pavimentación y empedrado en diferentes puntos de nuestra ciudad.

Otro punto muy importante a seguir es el de realizar el mantenimiento que se les debe hacer, para así garantizar la calidad de tránsito de vehículos durante todos los años para el que fue diseñado dicho pavimento, garantizando así una buena inversión de recursos económicos.

Una de las calles pavimentadas es el tramo de la “Av. Circunvalación y Av. Gamoneda – Av. Julio Delio Echazú y Av. Jaime Paz Zamora”, en la cual realizaremos la aplicación práctica de nuestro tema para poder apreciar el estado de las mismas.

Nuestro tramo de aplicación tiene ya un par de años de haber sido ejecutadas, pero en dicho tiempo de funcionamiento no se les ha realizado ninguna evaluación de su estado ni trabajos de mantenimiento, solo la reparación muy superficial de algunos defectos que se presentan en la superficie del pavimento. Por este motivo nuestra inquietud de realizar una evaluación superficial del tramo para luego plantear las diferentes Técnicas de Rehabilitación que podamos aplicar a dicho tramo.

Si cumpliríamos con un mantenimiento rutinario los costos de estos serían relativamente bajos a comparación de una rehabilitación cuando ya existe un deterioro demasiado grande. Previamente debemos determinar si es conveniente realizar una rehabilitación de la vía o finalmente tener que levantarla para colocar un nuevo paquete estructural.

Por ser esta una propuesta que se lo analizara partiendo de un estudio superficial del pavimento, aremos conocer los diferentes métodos, técnicas y alternativas de solución que existen actualmente factibles para la rehabilitación de las vías urbanas en la ciudad de Tarija.

La finalidad de desarrollar este tema es el de poder contar con un documento completo que en un futuro pueda brindar información confiable y completa, para luego ser aplicado por estudiantes, profesionales, etc. a distintas vías urbanas de nuestra ciudad como también de otras con similares características climatológicas, topográficas y así poder dar solución a los deterioros que presentan los pavimentos debido a distintos factores, para así garantizar una buena inversión de los recursos económicos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Plantear soluciones adecuadas, realizando un análisis de las Técnicas de Rehabilitación de Vías Urbanas sobre Pavimento Flexible, aplicado al tramo indicado, que permitan que el pavimento cumpla su periodo de vida útil con la seguridad y confort necesario, garantizando una buena inversión de los recursos económicos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y estudiar las principales características de la evaluación de pavimentos flexibles.
- Realizar la evaluación superficial del tramo mediante el método del PCI.
- Determinar el grado de deterioro que cuenta el tramo a ser evaluado y analizar los posibles motivos de dichas falla.
- Analizar y estudiar las diferentes metodologías para la rehabilitación de Vías Urbanas.
- Determinar la solución más adecuada para cada tipo de falla que se presente y de las secciones completas que lo necesiten.
- Determinar el costo total que representaría realizar la reparación de todas las fallas que puedan presentarse.
- Proponer un plan de mantenimiento rutinario para el tramo.

1.4 ALCANCE

Para poder realizar el presente proyecto con éxito se llevan a cabo diferentes trabajos, tanto en la vía misma como en gabinete, que son descritos a continuación de manera simplificada.

a) Conseguir toda la información que sea posible del tramo en estudio, como ser: espesores del paquete estructural, años de servicio, forma de ejecución, anchos de calzadas. Dicha información será pedida a la unidad ejecutora de dichos tramos, siendo estas vías urbanas, la unidad ejecutora será dependiente de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija.

b) Se presenta información general relacionada al tema que contemplen similares objetivos, planificación y ejecución de las actividades que comprenden la rehabilitación de las vías urbanas evitando que lleguen a su deterioro total, dichos temas serán buscados en libros, tesis, monografías preferentemente de nuestro país u otros países que tengan características similares al nuestro.

- c) Se dan a conocer los puntos más relevantes de una evaluación superficial, ya que para hacer la rehabilitación de una vía previamente debemos saber el grado de deterioro que tiene, lo que obtenemos haciendo una evaluación superficial del tramo en estudio. Se hará un diagnóstico de cada una de las fallas presentadas para poder establecer las causas que provocan el deterioro de la vía. El método por el cual se realiza la evaluación superficial será el PCI (Índice de Condición del Pavimento) ya que dicho método contempla la totalidad de las fallas que pueden presentarse en un pavimento flexible.
- d) Para determinar la severidad de cada una de las fallas se investiga la bibliografía pertinente para tener un buen criterio al momento de clasificar las fallas.
- e) Se hace identificar, cuantificar y clasificar las fallas encontradas para luego, con la utilización de los ábacos planteados por el método PCI se determine el grado de deterioro de las secciones evaluadas como del total del tramo. Seguidamente, se plantean o recomiendan la alternativa más factible para la rehabilitación de las mismas.
- f) Pretendemos plantear los procedimientos y costos de rehabilitación de las vías urbanas desde el punto de vista teórico hasta su aplicación práctica, haciendo énfasis en las metodologías y técnicas de rehabilitación superficial.
- g) No se elabora una evaluación estructural del tramo ya que para esto se necesita un equipo más sofisticado, más difícil de conseguir en nuestro medio.
- h) Todas las técnicas planteadas están destinadas a impermeabilizar, reparar las fallas de diferente severidad del pavimento, otorgarles mayor coeficiente de rozamiento al pavimento, de esta manera se asegure un confortable tránsito de vehículos sobre la vía y el cumplimiento del periodo de vida útil de la misma.
- i) Por último se plantean conclusiones sobre todo el trabajo realizado, haciendo énfasis en las recomendaciones necesarias para una mejora del presente trabajo en un futuro no muy lejano en la que se pueda contar con equipo de mayor precisión y sofisticado, para la determinación de la condición del pavimento mediante otros métodos existentes en la actualidad.

CAPÍTULO II

2.1 PAVIMENTO

Un pavimento es una estructura diseñada con la capacidad de absorber las fuerzas causadas por acción de la circulación de vehículos, durante el periodo de tiempo para el cual ha sido diseñado. Cuando existe un incremento del tráfico o se ha superado el periodo de diseño de un pavimento es cuando se producen los deterioros que pueden ser muy diversos, que por lo general se presentan por la pérdida de elasticidad del pavimento.

De esta manera, es necesario tener una idea clara del concepto de pavimento, el cual se describirá a continuación.

Se adoptaran, un par de definiciones de autores que explican de muy buena manera la definición de pavimento:

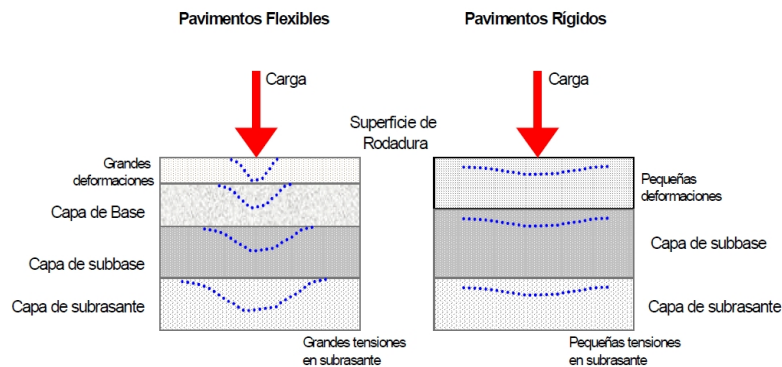
“Es una estructura que se encuentra constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de la vía obtenida por el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

Se entiende por pavimento al conjunto de los elementos estructurales de un camino (o de otras superficies como las pistas de aterrizaje de los aeropuertos), es decir, son todas las capas que lo conforman y las que se denominan comunmente capa superficial, base, subbase.

Se define al pavimento como la estructura formada por varias capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la subrasante o terreno natural obtenido por el movimiento de tierras y han de soportar las cargas de tráfico.

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarse cargas es muy diferente, tal como puede verse en la siguiente figura.

Figura 2.1 Comportamiento de pavimentos



Fuente: [http://www.google.com.bo/search?tbm=isch&hl=es&source=hp&biw=1004&bih=635&q=diferenci
as+entre+pavimento+flexible+y+rigido&gbv=2&aq=f&aqi=&aql=&oq=](http://www.google.com.bo/search?tbm=isch&hl=es&source=hp&biw=1004&bih=635&q=diferenci+as+entre+pavimento+flexible+y+rigido&gbv=2&aq=f&aqi=&aql=&oq=)

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

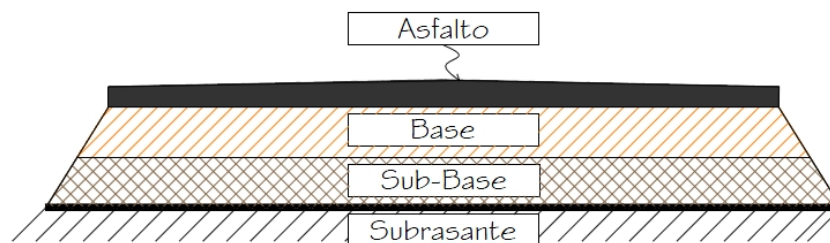
Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura, al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

2.1.1 PAVIMENTO FLEXIBLE

Es el pavimento que tienen en su parte superior una carpeta bituminosa, apoyada sobre dos capas granulares, denominadas base y subbase. En la siguiente figura se presenta un corte de la sección típica de un pavimento flexible.

Elementos que integran el Pavimento Flexible

Figura 2.2 Sección de un pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

2.1.1.1 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

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

a) Materiales

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tremo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

Las especificaciones de los materiales de la subrasante son las siguientes:

- Deben ser materiales no orgánicos.
- Deben ser materiales con valor soporte de CBR mayor al 3%.
- No debe tener un hundimiento o hinchamiento mayor al 4%.

b) Compactación

Para compactar la capa subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr la densidad máxima según AASHTO T-180.

2.1.1.2 Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones

inherentes a dicho suelo, que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, protegiendo así la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Esta capa de material se coloca entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

a) Materiales

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Las especificaciones de los materiales de la capa subbase son las siguientes:

- Material de buena calidad y debe estar clasificado por la clasificación ASSTHO como A1, A2 y A4.
- La plasticidad de este material no debe superar el 2%.
- El límite líquido debe ser menor a 25%.
- El valor de soporte de CBR debe ser mayor a 35%.
- El porcentaje que pasa el tamiz número 200, no debe superar el 8%.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

b) Compactación

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Éste debe homogeneizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea

necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

2.1.1.3 Base

Base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

a) Materiales

Las exigencias de los materiales para esta capa son los siguientes:

- El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.
- Debe ser material clasificado por la ASSTHO como A1 y A2.
- Debe tener un límite líquido menor a 15%.
- Debe tener un índice de plasticidad menor al 6%.
- Debe tener un valor de soporte de CBR mayor al 80%.
- Su desgaste en la máquina de Los Ángeles no debe superar el 40%.
- El material que pasa el tamiz 200 debe ser menor a los 2/3 del material que pasa el tamiz número 40.
- Debe tener un índice de contracción menor al 3%.
- Debe tener una expansión máxima menor al 4%.
- Los agregados entre planas y alargadas no deben superar el 20%.
- Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas

de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en un suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz N°10.

Se recomienda que el material utilizado para esta capa sea triturado y seleccionado en planta de manera que cumpla las especificaciones técnicas requeridas.

b) Compactación

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación especificada.

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

Base Estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o gravas trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa subbase.

2.1.1.4 Carpeta de Rodadura

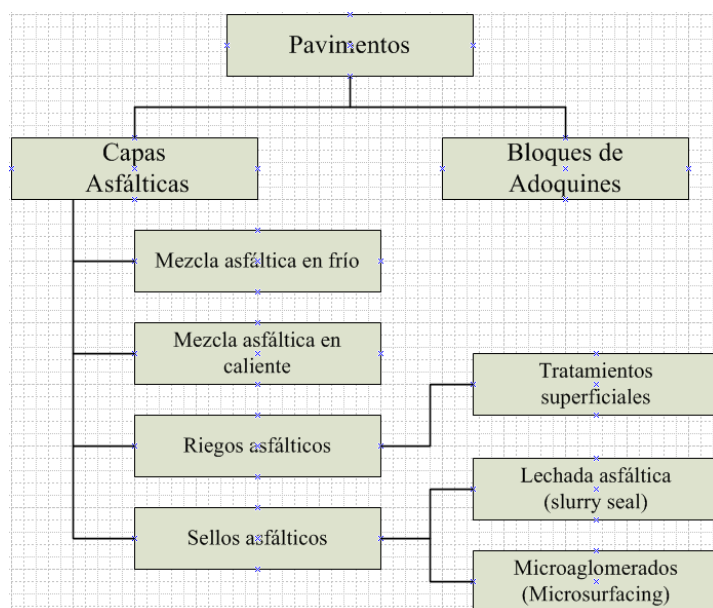
Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que

podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para éstos se considera nula.

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según la siguiente figura.

Figura 2.3 División de las superficies de rodadura



Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras

Los agregados de una mezcla asfáltica deben cumplir los siguientes requisitos:

- No mayor a un 5% entre planas y alargadas.
- Por lo general no debe contener material orgánico.
- No mayor a un 20% de material blando más conocido como laja.
- Debe tener una contracción lineal menor 3%.
- El material debe tener a lo máximo un tamaño de $\frac{2}{3}$ del espesor de la capa.
- Debe soportar la prueba de desgaste de los Ángeles con un valor menor al 40%.

- Lo más importante es que el material debe tener adherencia con el asfalto.
- Su densidad aparente debe ser mayor a 2.3.

2.1.2 FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Las funciones de las diferentes capas que conforman al pavimento flexible son descritas a continuación de manera resumida.

2.1.2.1 Subrasante

- **Resistencia.** La subrasante debe soportar la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

2.1.2.2 Subbase

- **Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que 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 es frecuentemente más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económico.
- **Capa de transición.** La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los 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 las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse 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 transmitidos a un nivel adecuado de 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.

2.1.2.3 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.

2.1.2.4 Carpeta de rodadura

- **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.
- **Resistencia.** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

Por otro lado, es preciso tener en cuenta a los pavimentos flexibles tanto en las vías y carreteras, no son simplemente unos materiales de construcción tienen una misión determinada de resistir estructuralmente como pavimento, aparte de cumplir los requisitos

estructurales deben satisfacer una serie de requerimientos no estructurales de acuerdo a su entorno; por ello es preciso considerar características de superficie, como luminosidad, color, sonoridad, facilidad al ser pintadas y facilidad de limpieza que suelen tener en cuenta en los pavimentos.

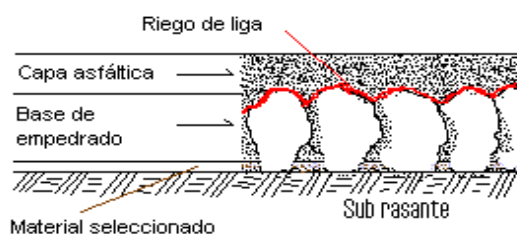
Para conseguir la prevalecencia de las propiedades citadas anteriormente el ingeniero deberá considerar la cualidad de los materiales que constituyen su dosificación y condiciones de fabricación de la mezcla asfáltica para pavimentos.

2.1.3 PAVIMENTOS FLEXIBLES SOBRE BASE DE EMPEDRADO

Este tipo de pavimento flexible, consiste en la colocación de una carpeta asfáltica, sobre el pavimento de piedra. En nuestra ciudad se vienen ejecutando desde el año 1995 debido a su economía de construcción a comparación de un pavimento flexible con las bases granulares.

Está conformado por dos capas, la base y la carpeta asfáltica, como capa de rodadura, la base está compuesta por el empedrado, y la capa de rodadura es una carpeta asfáltica.

Figura 2.4 Carpeta asfáltica sobre base de empedrado



Fuente: Elaboración propia

La base del empedrado ésta sobre una pequeña capa de material seleccionado y descansa sobre la subrasante, y conjuntamente con la carpeta asfáltica tienen que satisfacer los propósitos, y cumplir con las características de los pavimentos flexibles mencionadas anteriormente.

Pero estos trabajos no responden a algún tipo de diseño para pavimentos, debido a que se asemeja más a un recapado de la superficie con otro tipo de carpeta, o quizás se podría

mencionar que se convierte en pavimentos de doble capa de rodadura en el supuesto caso de que el pavimento de piedra responde a un diseño de un paquete estructural bien diseñado y ejecutado.

A este tipo de pavimentos se los considera flexibles, aunque en realidad no son del todo flexibles, pues los efectos de bóveda que se manifiestan en el empedrado tienen por efecto transmitir las presiones.

Haciendo un análisis genérico del por qué se están ejecutando en nuestro medio este tipo de pavimentos, llegamos a la conclusión de que el factor más importante es el bajo costo que arrojan en relación al costo por la ejecución de un pavimento flexible, con todas sus capas correspondientes. Otro factor que se puede mencionar es el de aprovechar de la consolidación que presentan los pavimentos de piedra, debido al periodo de servicio que han tenido (entre 3 a 5 años) antes de que se coloque la carpeta asfáltica, aunque esto depende del tipo de terreno subyacente al empedrado.

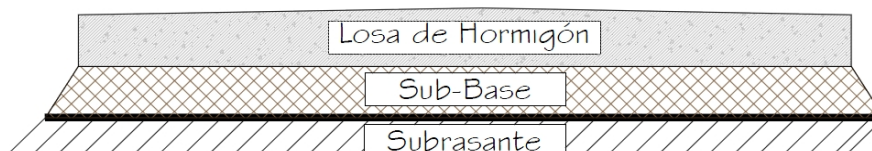
Las ventajas superficiales que presentan este tipo de pavimentos con relación a un pavimento de piedra (empedrado), es que dan una superficie impermeable, se elimina la tierra suelta que acogen los empedrados y dan un tránsito más cómodo a los vehículos.

No se mencionan las ventajas o desventajas estructurales que presentan este tipo de pavimentos, debido a que se necesita un estudio minucioso en este tema y no es el objeto del presente proyecto.

2.1.4 PAVIMENTO RÍGIDO

Consta fundamentalmente de una capa de rodadura que es de hormigón, con frecuencia también de una capa base y a veces incluso de una capa de sub base.

Figura 2.5 Sección de un pavimento rígido



Fuente: *Elaboración propia*

La capa de rodadura más empleada es el de hormigón vibrado en masa, dividido en losas mediante juntas; para evitar, por un lado las fisuras que aparecerían por la retracción del hormigón y, por otro, para facilitar el alabeo entre carriles y juntas transversales de contracción distanciadas de 4 a 5 m. En estas últimas, se disponen a veces pasadores (barras lisas de acero no adheridas al hormigón) para la transmisión de cargas de una losa a la siguiente, con lo que se asegura la continuidad de rodadura a largo plazo.

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se los designa, difieren de los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, primero en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura. Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

2.2 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al conducir, ésto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil

de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

2.2.1 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 rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio, ahorrando de esta manera gastos mayores.

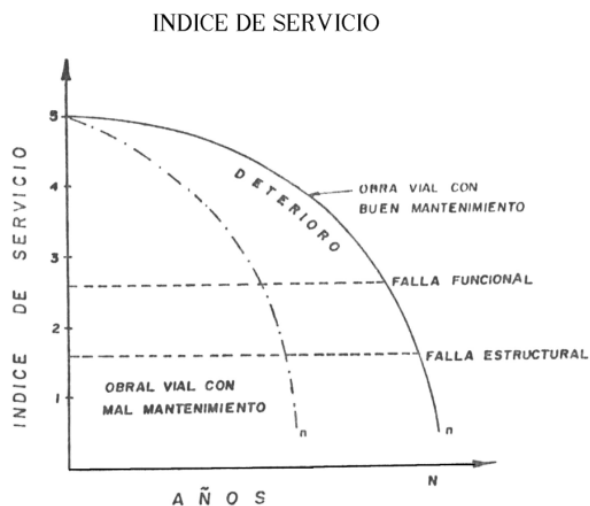
2.2.2 CURVA DE COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

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 ésto incrementar la vida útil del pavimento.

Figura 2.6 Curva de comportamiento de pavimentos



Fuente: [http://www.google.com.bo/search?tbm=isch&hl=es&source=hp&biw=1004&bih=635&q=diferenci
as+entre+pavimento+flexible+y+rigido&gbv=2&aq=f&aqi=&aql=&oq=](http://www.google.com.bo/search?tbm=isch&hl=es&source=hp&biw=1004&bih=635&q=diferenci+as+entre+pavimento+flexible+y+rigido&gbv=2&aq=f&aqi=&aql=&oq=)

2.3 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

El presente trabajo sólo realiza una evaluación superficial, por lo cual se dedica plenamente a este punto. La evaluación estructural no se tocara desde el punto teórico ni práctico ya que no es el fin de este proyecto.

2.3.1 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:

- a. Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.
- b. Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- c. 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.

2.3.1.1 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.
- Condiciones de los sardineles.

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 artificiosamente 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.

2.4 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 severidad de daños tales como las corrugaciones y el cruce de vías férreas. A continuación se presenta una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito.

- **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 y severidad que se pueden presentan en un pavimento flexible.

2.4.1 PIEL DE COCODRILO

Figura 2.7 Nivel alto de piel de cocodrilo



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

Descripción: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito,

las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas. Por lo tanto, no podría producirse sobre la totalidad de un área a menos que esté sujeta a cargas de tránsito en toda su extensión. (Un patrón de grietas producido sobre un área no sujeta a cargas se denomina como “grietas en bloque”, el cual no es un daño debido a la acción de la carga).

La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

2.4.2 EXUDACIÓN

Figura 2.8 Nivel moderado de exudación



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

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida

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

2.4.3 AGRIETAMIENTO EN BLOQUE

Figura 2.9 Nivel moderado de fisuramiento en bloque



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

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

Niveles de severidad.

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

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un sólo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier

área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

2.4.4 ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS

Figura 2.10 Nivel moderado de abultamiento y hundimientos



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

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

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

Los hundimientos son desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos, de la superficie del pavimento. Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad

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

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

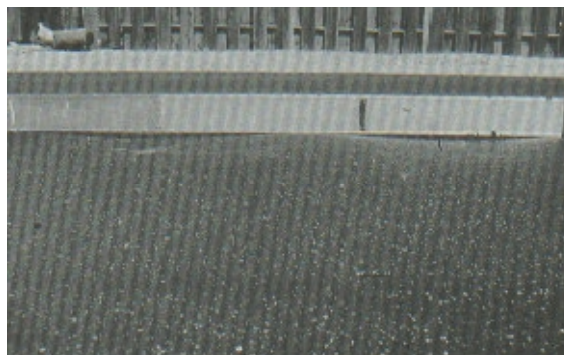
H: Los abultamientos o hundimientos originan una calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

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

2.4.5 CORRUGACIÓN

Figura 2.11 Corrugación de media severidad



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Descripción: La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3.0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. 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.

Niveles de severidad

L: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad.

H: Corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

2.4.6 DEPRESIÓN

Figura 2.12 Depresión de alta severidad



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Descripción: Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En múltiples ocasiones, las depresiones suaves sólo son visibles después de la lluvia, cuando el agua almacenada forma un “baño de pájaros” (bird bath). En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta. Originan alguna rugosidad y cuando son suficientemente profundas o están llenas de agua, pueden causar hidroplaneo.

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

Niveles de severidad.

Máxima profundidad de la depresión:

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

Medida

Se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) del área afectada.

2.4.7 GRIETA DE BORDE

Figura 2.13 Grieta de borde de alta severidad



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

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

Niveles de severidad.

L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

Medida

La grieta de borde se mide en pies lineales (ó metros lineales).

2.4.8 GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND)

Figura 2.14 Nivel bajo de grietas por reflexión de juntas



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

Descripción: Este daño ocurre solamente en pavimentos con superficie asfáltica construidos sobre una losa de concreto de cemento Pórtland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal). Estas grietas son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento Pórtland, inducido por temperatura o humedad, bajo la superficie de concreto asfáltico. Este daño no está relacionado con las cargas; sin embargo, las cargas del tránsito pueden causar la rotura del concreto asfáltico cerca de la grieta. Si el pavimento está fragmentado a lo largo de la grieta, se dice que aquella está descascarada. El conocimiento de las dimensiones de la losa subyacente a la superficie de concreto asfáltico ayudan a identificar estos daños.

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o
2. Grieta rellena de cualquier ancho

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeado de un ligero agrietamiento aleatorio.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.

2. Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.

3. Una grieta de cualquier ancho, en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15.0 m puede tener 3.0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión este también debe registrarse.

2.4.9 DESNIVEL CARRIL / BERMA

Figura 2.15 Desnivel carril / berma de media severidad



Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Descripción: El desnivel carril / berma es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y la berma. Este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada, sin ajustar el nivel de la berma.

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida

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

2.4.10 GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES (NO SON DE REFLEXIÓN DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND)

Figura 2.16 Nivel bajo de grieta transversal



Figura 2.17 Nivel moderado de grieta longitudinal



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

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

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

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

Niveles de Severidad

L: Existe una de las siguientes condiciones:

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

M: Existe una de las siguientes condiciones:

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

H: Existe una de las siguientes condiciones:

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

Medida

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

2.4.11 PARCHEO Y ACOMETIDAS DE SERVICIOS PÚBLICOS

Figura 2.18 Parcheo y acometidas de servicios públicos de media severidad



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

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

Niveles de Severidad.

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

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

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

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un sólo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2.32 m² puede tener 0.9 m² de severidad media y 1.35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registran dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica

únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento.

2.4.12 PULIMENTO DE AGREGADOS

Figura 2.19 Pulimento de agregados



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

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

Niveles de severidad.

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

Medida

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

2.4.13 HUECOS

Figura 2.20 Hueco de media severidad



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

Descripción: Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general, presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia, los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad

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

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

Cuadro 2.1 Niveles de severidad para huecos

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

*Fuente: Pavement Condition Index (PCI)***Medida**

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

2.4.14 CRUCE DE VÍA FÉRREA (rejillas de drenaje – tapa de alcantarillado)*Figura 2.21 Tapa de alcantarillado de media severidad**Figura 2.22 Cruce de vía férrea de alta severidad**Fuente: Manual de Identificación, Clasificación y Tratamientos de Fallas en Pavimentos Urbanos*

Descripción: Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.

Medida

El área del cruce se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce, los alrededores de las rejillas de drenaje y tapas de alcantarillado.

2.4.15 AHUELLAMIENTO

Figura 2.23 Nivel alto de ahuellamiento



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

Descripción: El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia, cuando las huellas estén llenas de agua. El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

Medida

El ahuellamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella. La profundidad media del ahuellamiento se calcula colocando una regla perpendicular a la dirección del mismo, midiendo su profundidad, y usando las medidas tomadas a lo largo de aquél para calcular su profundidad media.

2.4.16 DESPLAZAMIENTO

Figura 2.24 Desplazamiento de baja severidad



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

Descripción: El desplazamiento es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie. Normalmente, este daño sólo ocurre en pavimentos con mezclas de asfalto líquido inestables (cutback o emulsión).

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento Pórtland. La longitud de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland se incrementa causando el desplazamiento.

Niveles de severidad

L: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

M: El desplazamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

H: El desplazamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

Medida

Los desplazamientos se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada. Los desplazamientos que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches, no como un daño separado.

2.4.17 GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

Figura 2.25 Grieta parabólica de media severidad



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Descripción: Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento.

Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento. Este daño no tiene relación alguna con procesos de inestabilidad geotécnica de la calzada.

Nivel de severidad

L: Ancho promedio de la grieta menor que 10.0 mm.

M: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

H: Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.

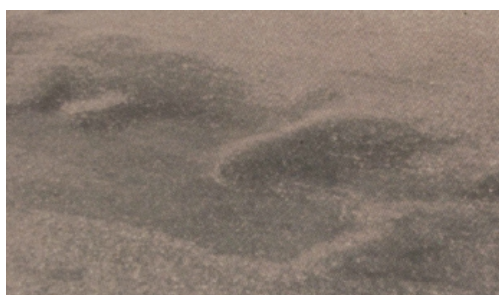
2. El área alrededor de la grieta está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

Medida

El área asociada con una grieta parabólica se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

2.4.18 HINCHAMIENTO

Figura 2.26 Hinchamiento de media severidad



Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Descripción: El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial.

Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

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

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

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

Medida

El hinchamiento se mide en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

2.4.19 METEORIZACIÓN / DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS

Figura 2.27 Nivel bajo de desprendimiento de agregados



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

Descripción: La meteorización y el desprendimiento son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien 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.

Niveles de severidad

L: Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse. En el caso de derramamiento de aceite, puede verse la mancha del mismo, pero la superficie es dura y no puede penetrarse con una moneda.

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada. En el caso de derramamiento de aceite, la superficie es suave y puede penetrarse con una moneda.

H: Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es muy rugosa y severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas tienen diámetros menores que 10.0 mm y profundidades menores que 13.0 mm; áreas ahuecadas mayores se consideran huecos. En el caso de derramamiento de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto ligante y el agregado está suelto.

Medida

La meteorización y el desprendimiento se miden en pies cuadrados (ó metros cuadrados) de área afectada.

2.5 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 mayor énfasis en el método de Índice de Condición del Pavimento PCI, al ser el que más se adecua a nuestra situación. Los otros métodos serán mencionados de manera superficial.

2.5.1 INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI – Pavement Condition Index)

Introducción.- 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 2.2 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 2.3 Valor de PCI y actividad de rehabilitación 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.

2.5.1.1 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.

2.5.1.1.1 Unidades de Muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía 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 2.4 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.

2.5.1.1.2 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 $PCI \pm 5$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

Ecuación 2.1

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

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

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.

2.5.1.1.3 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 2.2

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

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

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

b) El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo *i*. Así, si *i* = 3, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S+1), (S+2), (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.

2.5.1.1.4 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.

2.5.1.1.5 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.

2.5.1.2 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.

2.5.1.2.1 Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica.

Etapas 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.

Etap 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 2.3

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Donde:

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

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

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.

Etap 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.

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

2.5.1.3 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 2.4

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

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Donde:

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 2.5

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

Fuente: *Pavement Condition Index (PCI)*

Donde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

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

PCIa = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

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

A = Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

2.5.2 INDICE 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 2.6

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

Fuente: Manual PSI

Donde:

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

Cuadro 2.5 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 2.7

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

Fuente: Manual PSI

Donde:

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 2.6 Rango de calificación del PSI

RANGO	CALIFICACION
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

2.5.3 INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI - INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)

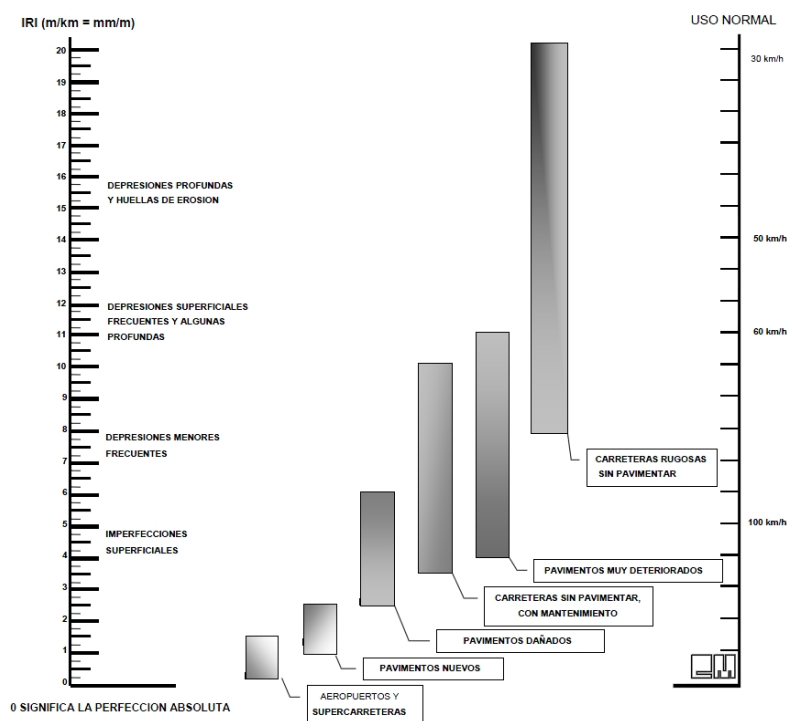
Aunque en la literatura se encuentran distintas definiciones del IRI, se puede decir que el Índice de Rugosidad Internacional se define como la acumulación del movimiento vertical no deseado que sufre la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando éste recorre la superficie a una velocidad de 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.

2.5.3.1 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.

Figura 2.28 Valores típicos de IRI para distintos tipos pavimentos



Fuente: CM Ingenieros

2.5.3.1.1 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 2.7 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 2.8 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)

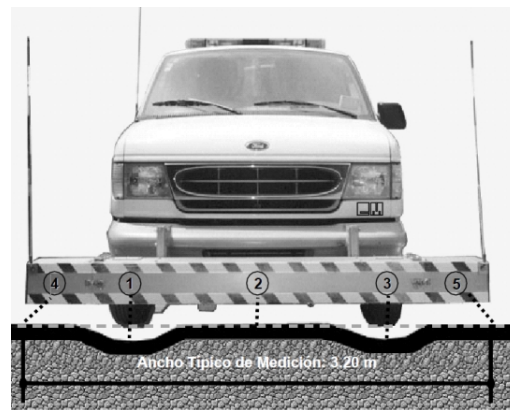
Fuente: (ASTM E950)

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.

Figura 2.29 Posición de sensores láser y acelerómetros de la viga del RSP



Fuente: CM Ingenieros

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.)

Figura 2.30 Equipo RSP en funcionamiento



Fuente: CM Ingenieros

2.5.3.1.2 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 2.31 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 $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces:

Ecuación 2.8

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 * D$$

Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

b) Cuando $\text{IRI} < 2.4$, entonces:

Ecuación 2.9

$$\text{IRI} = 0.0485 * D$$

Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

c) Superficies con macadam de penetración de extendido manual:

Ecuación 2.10

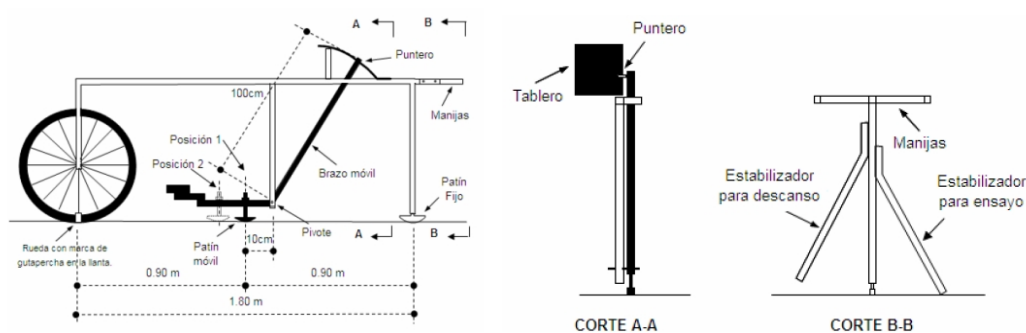
$$IRI = 1.913 + 0.0490 * D$$

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.

Figura 2.32 Esquema del rugosímetro MERLIN



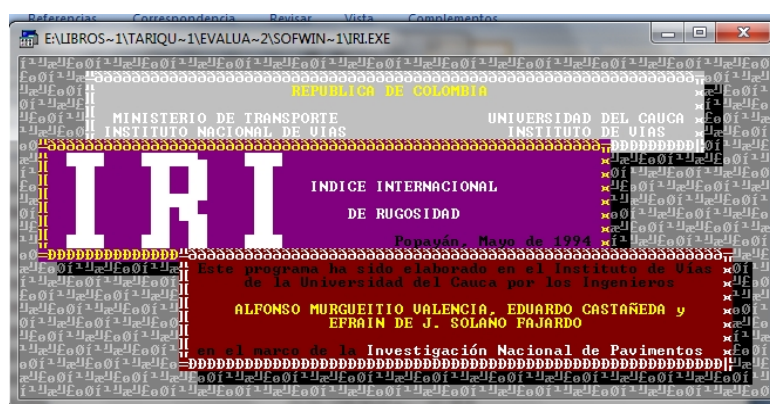
Fuente: Manual Del Usuario Merliner™

2.5.3.1.3 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 Efraín de J. Solano Fajardo.

Figura 2.33 Presentación del software para medición del IRI



Fuente: Software INPACO

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 2.9 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-Abscisas 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.

2.6 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.

- **Concreto asfáltico.** Es una mezcla en caliente, de alta calidad y perfectamente controlada de cemento asfáltico y agregados de buena calidad bien gradados, que se debe compactar perfectamente para formar una masa densa y uniforme, tipificada por las mezclas Tipo IV del Instituto del Asfalto.
- **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).
- **Pavimentos Asfálticos.** Son pavimentos compuestos de una capa superficial de agregado mineral recubierto y aglomerado con cemento asfáltico, colocada sobre superficies de apoyo tales como bases asfálticas, piedra triturada, escoria o grava; o sobre un pavimento de concreto de cemento portland, de ladrillo o de bloques.
- **Estructura del Pavimento Asfáltico.** (Llamada también estructura del pavimento Flexible). Es el conjunto de capas de mezcla de asfalto y agregados más cualquier capa no rígida colocada entre las capas asfálticas y la fundación o subrasante.

- **Capa de Imprimación Asfáltica.** Se llama así a la aplicación de un asfalto líquido de baja viscosidad a una superficie absorbente. Se suele utilizar para preparar una base no tratada que vaya a ser recubierta con una carpeta asfáltica. La imprimación penetra en la base y llena los espacios vacíos, endurece la superficie y ayuda a adherirla a la carpeta superior. También reduce la necesidad de mantener una base sin tratar antes de colocar sobre ella el pavimento asfáltico.
- **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.
- **Capa de Pega Asfáltica.** Es una aplicación muy ligera de asfalto líquido sobre una superficie asfáltica o de concreto de cemento portland. El tipo de asfalto preferido es la emulsión asfáltica diluida en agua. Se emplea para asegurar la adhesión de la nueva carpeta a la superficie que se va a pavimentar.
- **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.
- **Pavimento Asfáltico de Alta Resistencia, (Deep Strength).** “Deep Strength” es un término registrado por el Instituto del Asfalto en la Oficina Norteamericana de Patentes. El término “Deep Strength”, también llamado “marca”, certifica que el pavimento está constituido con asfalto, con una superficie asfáltica sobre una base asfáltica y de acuerdo con los conceptos de diseño establecidos por el Instituto.
- **Deflexión.** Es el movimiento vertical hacia debajo de una superficie, ocasionado por la aplicación de una carga sobre esa superficie.
- **Pavimento Asfáltico Integral.** Es una estructura de pavimento asfáltico en la cual se emplean mezclas asfálticas en todas las capas colocadas sobre la subrasante mejorada. El pavimento asfáltico integral se coloca directamente sobre la subrasante preparada.

- **Mezcla en Sitio. (Mezcla en camino).** Es una carpeta asfáltica que se obtiene mezclando en el sitio agregado mineral y un asfalto líquido, ya sea por medio de plantas móviles, motoniveladoras, rastras o maquinaria especial para mezclar en camino.
- **Pavimento.** Es el conjunto de capas de mezcla de asfalto y agregados más cualquier capa no rígida colocada entre las capas asfálticas y la fundación o subrasante.
- **Estructura del Pavimento.** Se llama así al conjunto de capas de material seleccionado, distintas de cualquiera de las capas construidas para la explanación, colocadas sobre la fundación o sobre la subrasante del suelo.
- **Mezcla en Planta.** Es la mezcla de agregado mineral uniformemente recubierto con cemento asfáltico o asfalto líquido, producida en una planta de mezclado asfáltico.
- **Tratamientos Superficiales con Mezclas en Planta.** Son capas de menos de 25mm de espesor, compuestas de agregado que ha sido recubierto con asfalto en una planta mezcladora. Los tratamientos superficiales con mezclas en planta se utilizan ampliamente para obtener superficies resistentes al resbalamiento.
- **Asfalto para Inyecciones.** Es un asfalto con punto de ablandecimiento alto, utilizado para rellenar cavidades debajo de las placas de concreto portland y ocasionalmente, para corregir el alineamiento vertical, elevando las placas individuales.

Las diferentes alternativas de rehabilitación de pavimentos asfálticos son los que citamos a continuación.

2.6.1. MANTENIMIENTO

Figura 2.34 Mantenimiento de pavimento



Fuente: Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado)

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 huecos, 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.

2.6.1.1 Mantenimiento Rutinario

Es la reparación menor localizada para subsanar defectos (fallas) en la calzada y el pavimento, semejante a la reparación de huecos 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.

2.6.1.2 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.

2.6.1.3 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.

2.6.2. REFUERZO

Figura 2.35 Refuerzo sobre el pavimento



Fuente: *Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmando)*

El cálculo de los espesores de refuerzo es un tema de actualidad en muchos países del mundo. El mismo forma parte de los procedimientos para rehabilitar y extender la vida de numerosos pavimentos que en la actualidad evidencian síntomas de agotamiento o se

manifiestan insuficientes para poder soportar las repeticiones del tránsito que se prevé circularán por los mismos en el futuro.

Como en todo cálculo de obra de ingeniería, se requiere el análisis de varios factores de tipo técnico y económico. Dentro de estos elementos mencionados el factor de seguridad que se utilice juega un papel de mucha importancia. Normalmente, un mayor valor en la seguridad se traduce en un encarecimiento del valor inicial de la obra y viceversa. Entre dos variantes la de valor inicial más alto no necesariamente es la menos económica, ya que una correcta evaluación económica debe realizarse teniendo en cuenta los costos de mantenimiento y explotación. Es así que un refuerzo de mayor espesor puede requerir menor costo de mantenimiento y ser una mejor variante que otro calculado con menor seguridad.

Antes de decidir la necesidad de reforzar un pavimento en explotación se requiere la evaluación estructural del mismo, así es que cada procedimiento de cálculo de refuerzo conlleva un procedimiento de evaluación.

Como en el presente trabajo no se hará la evaluación estructural del pavimento, no ampliaremos más este punto.

2.6.3. RECICLADO

Figura 2.36 Reciclado del pavimento



Fuente: *Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado)*

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:

- 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 mas 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 onerosas pero con un comportamiento similar a las actuaciones convencionales.

2.6.3.1 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. Ésto 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).

2.6.3.2 Ventajas de las Técnicas de Reciclado

Cuadro 2.10 Ventajas de las Técnicas de Reciclado

PRINCIPALES VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO	
TÉCNICA DE RECICLADO	VENTAJAS
Reciclado Superficial	- 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	- 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	- 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

2.6.3.3 Tipos de Reciclaje

Existen tres tipos de reciclaje, cuyas denominaciones y características, son las siguientes:

2.6.3.3.1 Reciclaje Superficial (en el lugar)

Figura 2.37 Reciclado Superficial del pavimento



Fuente: Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmando)

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 hidroneo, 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 sólo 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; ésto limita su aplicación a la corrección de pequeñas irregularidades superficiales, a la corrección de excesos de deslizabilidad 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.

2.6.3.3.2 Reciclaje en Frio (in-situ)

Figura 2.38 Escarificado del pavimento a reciclar



Fuente: Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado)

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**

Evaluada 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.

2.6.3.3.3 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 físicoquímica 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.

2.6.4 RECONSTRUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN (OBRA NUEVA)

Figura 2.39 Construcción de nuevo pavimento



Fuente: Manual para el Mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado)

Es la renovación completa de la estructura del camino, se requiere efectuar previamente la demolición parcial o completa de la estructura existente. Las causas determinantes probables son una deficiente construcción o la ausencia de mantenimiento adecuado.

Su objetivo es restaurar los deterioros provocados por desatención o descuido prolongado de las vías, a fin de asegurar el normal funcionamiento de la vía, al menor costo posible.

Es la construcción de un camino o vías pavimentadas (flexibles y rígidos), de grava, o de tierra con trazo nuevo; incremento de nuevos carriles; construcción de calzadas adicionales, vías de servicio, vías de enlace a desnivel, etc.

Su objetivo es mejorar la comunicación y traslado de vehículos de personas, pasajeros y carga entre zonas de creciente demanda según prioridades socioeconómicas.

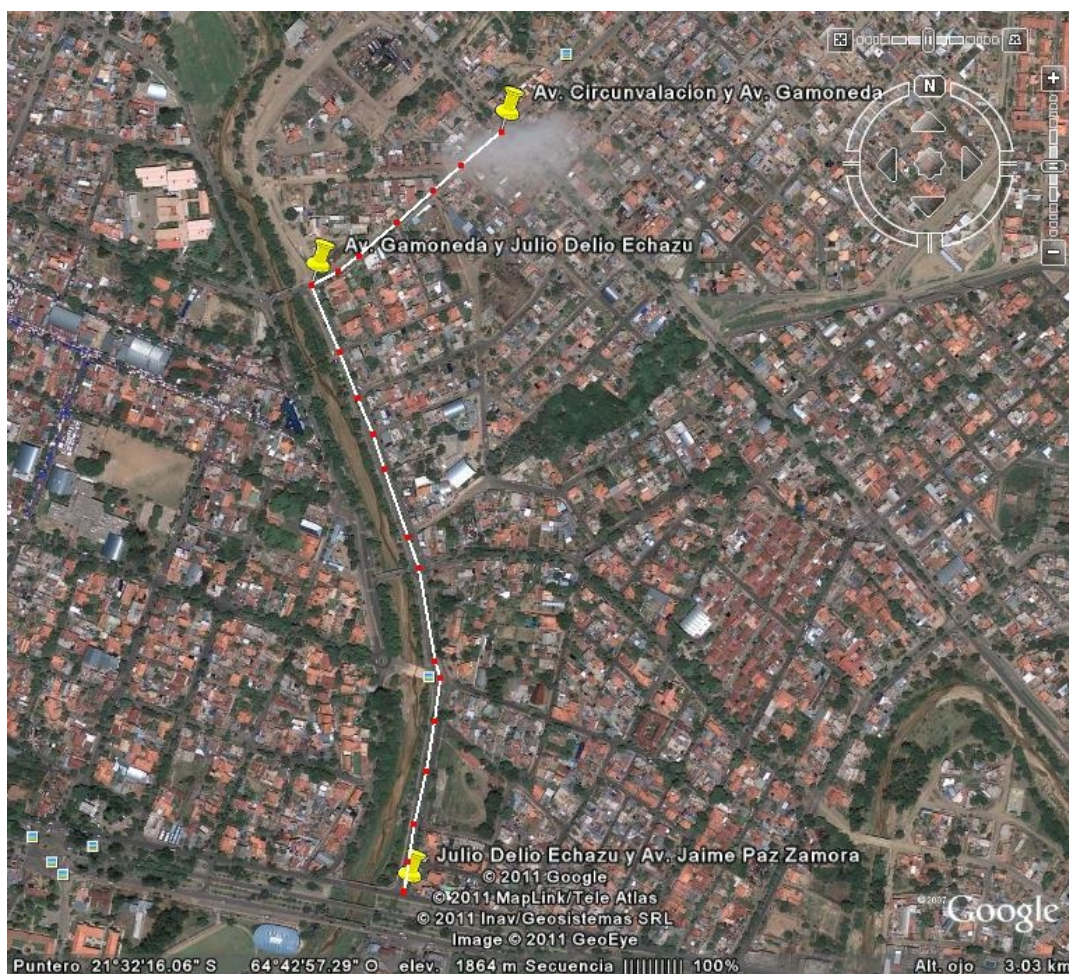
CAPÍTULO III

3.1 INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Tarija perteneciente a la Provincia Cercado, la vía urbana en estudio corresponde a tramo “Av. Circunvalación y Av. Gamoneda – Av. Julio Delio Echazú y Av. Jaime Paz Zamora”, a continuación se mostrará una imagen del satelital de estudio.

Figura 3.1 Imagen satelital del tramo en estudio



Fuente: Google Earth

3.1.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BÁSICAS DEL PAVIMENTO

El total del tramo en estudio fue construido en diferentes etapas lo cual podría incidir en la cantidad y severidad de las fallas que se puedan presentar. Para un mejor manejo de la información se presentan las especificaciones técnicas por tramos la cual fue proporcionada por el Ing. Osvaldo Antelo, Jefe de Mantenimiento y Construcción de Pavimentos, perteneciente a la Oficialía Mayor Técnica de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija.

Av. Gamoneda entre: Av. Circunvalación y Av. Julio Delio Echazú

Tipo de pavimento: Pavimento Flexible sobre Base de Empedrado

Altura de la base: 12 cm

Conformación de la base:

***Cuadro 3.1** Características Físico - Mecánicas de Material de Empedrado*

CARACTERÍSTICAS	VALOR REQUERIDO
Pérdida por abrasión en máquina de los Ángeles (500 revoluciones)	$\leq 40\%$
Pérdida de peso mediante ensayo de durabilidad luego de 5 ciclos de inmersión y lavando con sulfato de sodio	$\leq 12\%$
Densidad mínima	2.3 gr/cm ³
Diámetro mínimo para empedrado	8 cm
Diámetro máximo para empedrado	12 cm
Diámetro mínimo para cordones maestros	10 cm
Diámetro máximo para cordones maestros	15 cm

***Fuente:** Oficialía Mayor Técnica (Alcaldía Municipal de Tarija)*

***Cuadro 3.2** Características de la subrasante y del diseño geométrico*

CARACTERÍSTICAS	VALOR REQUERIDO
Tipo de suelo clasificación SUCS	ML o CL
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A4 O A6
CBR mínimo	6%
CBR recomendado	8%
% de compactación de la subrasante luego de la reconfiguración (relación Proctor Modificado)	$\geq 95\%$
Bombeo de la calzada	3 – 4 %
Gradiente longitudinal mínima	0.5 %
Gradiente longitudinal máxima	15 %
Máxima longitud de tramo con pendiente $\geq 15\%$	500 m

***Fuente:** Oficialía Mayor Técnica (Alcaldía Municipal de Tarija)*

Altura de la Carpeta Asfáltica: 6 cm

Ancho de Calzada: 10 m

Años de servicio: 11 años

Av. Julio Delio Echazú entre: Av. Gamoneda y Av. Héroes del Chaco

Tipo de pavimento: Pavimento Flexible con paquete estructural

Altura de la Subbase: 20 cm

Altura de la Base: 15 cm

Altura de la Carpeta Asfáltica: 6 cm

Ancho de Calzada: 7.5 m (cada calzada)

Jardinera Central: 3.5 m

Años de Servicio: 8 años

Av. Julio Delio Echazú entre: Av. Héroes del Chaco y Av. Belgrano

Tipo de pavimento: Pavimento Flexible sobre una base pobre

Altura de la Base: 25 cm (pobre)

Altura de la Carpeta Asfáltica: 6 cm

Ancho de Calzada: 7.5 m (cada calzada)

Jardinera Central: 2.5 m

Años de Servicio: 8 años

Av. Julio Delio Echazú entre: Av. Belgrano y Av. Jaime Paz Zamora

Tipo de pavimento: Pavimento Flexible sobre una base pobre

Altura de la Base:	25 cm (pobre)
Altura de la Carpeta Asfáltica:	6 cm
Ancho de Calzada:	7.3 m (cada calzada)
Jardinera Central:	3 m
Años de Servicio:	8 años

3.2 EVALUACIÓN DEL TRAMO (método PCI)

3.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO

El método PCI se encuentra estandarizado por medio de la norma ASTM D 6433, "Standart Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", o más conocido por sus siglas en ingles PCI (Present Condition Index).

El Índice de Condición del Pavimento (PCI), fue desarrollado entre los años 1 974 a 1 976 por el Cuerpo de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y ejecutado por los Ingenieros Srs. Mohamed Y. Shahin, Michael L. Darter y Starr D. Kohn, con el objeto de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles a través del PCI.

El método del PCI, para pavimentos de aeropuertos, carreteras y estacionamientos ha sido ampliamente aceptado y formalmente adoptado como procedimiento estandarizado, por diversas agencias como por ejemplo: la Federal Aviation Administration (FAA 1 982), el U.S. Departament of Defence (U.S. Air Force 1 981 u U.S. Army 1 982), la American Public Work Assocoation (APWA 1 984), etc.; además, el PCI para aeropuertos y caminos ha sido publicado por ASTM como método de análisis en las normas ASTM D 5340 y D 6433, respectivamente.

Esta metodología es la más recomendable para el presente trabajo, debido a la gran variedad de fallas que se presentan a lo largo del tramo. Dicho método permite realizar la

cuantificación y medida real de la totalidad de las fallas. Asimismo medir el área de afectación de cada falla y otorgarles el grado de severidad correspondiente según lo planteado en el manual PCI, para luego poder trabajar con ellas de manera individual.

El método PSI no es aplicable a nuestro tramo debido a que éste toma en cuenta un limitado número de fallas (rugosidad longitudinal, intensidad de grietas, parches y la deformación transversal) las cuales no pueden ser medidas de manera exacta, sino que se le otorga coeficientes para cada una, basada en la experiencia y punto de vista de cada evaluador, lo cual puede generar inconformidad en los resultados presentados ya que una persona puede ver una falla de una manera leve y otra persona puede ver la misma falla con más atención para determinar qué es de severidad media.

La principal diferencia entre los métodos mencionados radica en que el método PCI permite realizar las mediciones exactas (área o metro lineal según corresponda) de cada falla y clasificarlas según el grado de severidad con la que cuenta, el manual PCI indica claramente cómo otorgarles el grado de severidad a cada uno.

El método IRI no es aplicable a nuestro tramo debido a que éste se basa únicamente en la rugosidad longitudinal con la que cuenta la calzada, principalmente sobre las huellas que dejan los vehículos a lo largo del tramo. Luego de haber hecho una detenida inspección visual y haber obtenido el perfil longitudinal de 200m, se vio que dicha rugosidad sobre el ahuellamiento es muy leve.

3.2.2 TOMA DE INFORMACIÓN

Antes de proceder a la cuantificación de las fallas, se realizó una medición geométrica del tramo en estudio, tales como ancho de la vía, ancho de carril, ancho de jardinera central y estacado o demarcación cada 30 metros de todo el tramo de estudio denominado E0 (Prog. 0 + 000), E1 (Prog. 0 + 030), ...etc. empezando en cada intersección ya mencionada como título del presente proyecto.

3.2.2 MEDICIÓN DE LAS FALLAS O DETERIOROS

La medición de cada una de las fallas del pavimento flexible se realizó de forma individual y el nivel de severidad fue adoptado de acuerdo a lo mencionado anteriormente en el Capítulo II (2.4 Manual de Daños). La unidad patrón que utilizamos fue el metro.

Para realizar el inventario de las fallas utilizamos el modelo propuesto en el Manual del PCI, que es fácil de comprender y utilizar.

Se presenta una Imagen de la planilla utilizada para el inventariado de fallas o deterioros.

Cuadro 3.3 Planilla para el inventariado de fallas

EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO					
NOMBRE DE LA VÍA:		Av. Julio Delio Echazú			
FECHA:	Mayo del 2011	UNIDAD N°:	24	Derecha	SUB TRAMO: E23 – E24
ANCHO VIA:	7.5 m	LONG. TRAMO:	30m	ÁREA DE LA MUESTRA: 225 m ²	
REALIZADO POR: Oswaldo Santos García			PROGRESIVAS: 0+692 - 0+722		
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	Huecos	Nº
4	Abultamientos y Hundimientos	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					
Daño	Severidad	Cantidades Parciales	Total	Densidad (%)	Valor deducido
3	M	3.38	3.4		
6	M	0.36	0.4		
10	L	1.2+1.1+1.7	4		
11	M	8.58	8.6		
13	M	1	1		
19	L	6.6	6.6		

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Todos los datos obtenidos de las diferentes fallas que se presentaron a lo largo del tramo se presentan en el ANEXO I, seguidamente de los ábacos utilizados para llegar a obtener el PCI de cada sección, se presentan en el ANEXO II.

3.2.4 ACCIONES A SEGUIR SEGÚN EL VALOR DE PCI

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

Cuadro 3.4 Acciones a seguir según el valor del PCI

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Los trabajos de Mantenimiento ($PCI > 70$) están referidos a la actividad de “aumentar” la vida útil de la estructura de pavimento, en términos de comodidad y seguridad. Puede constituir una práctica preventiva y/o correctiva.

Los trabajos de Rehabilitación ($70 > PCI > 30$) se refiere a la actividad necesaria para “devolver” a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó, así como su nivel de servicio en términos de seguridad y comodidad

Finalmente, los trabajos de Construcción ($PCI < 30$) se vinculan a la caracterización de una estructura de pavimento nueva sobre vías en afirmado o tierra o que por su estado de deterioro se considera deben ser reconstruídas.

3.3 VALORES DE PCI OBTENIDOS

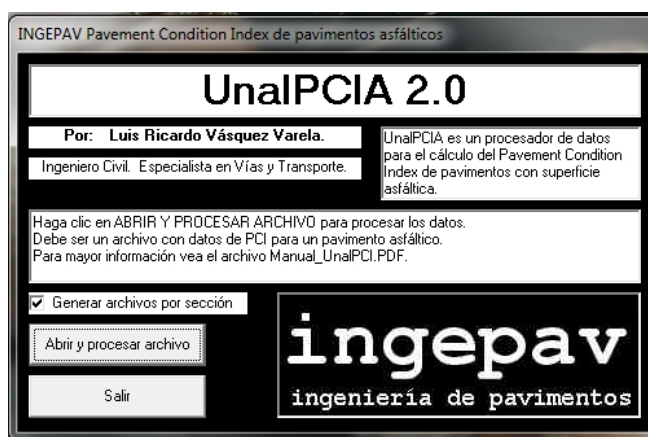
Debido a que el método PCI utiliza ábacos como un paso para llegar a la obtención del valor PCI, se optó por utilizar un software para obtener valores más precisos, antes

previamente hecha la verificación manualmente y teniendo como resultado valores muy idénticos.

Considerando las capacidades actuales de los equipos de cómputo y las características de la metodología PCI, se formularon algoritmos que permiten reducir el tiempo y personal necesarios para el procesamiento de la información sobre daños de pavimento. Dichos algoritmos corresponden al programa **UnalPCIA** para el análisis de datos de campo y cálculo del índice PCI en pavimentos asfálticos.

El programa fue escrito por *Luis Ricardo Vásquez Varela Ingeniero Civil Especialista en Vías y Transporte de la Universidad Nacional de Colombia*, en lenguaje Visual Basic® 6.0 de Microsoft®. La interfase de las aplicaciones corresponde al estándar de Windows® por lo cual no se requiere un entrenamiento especializado para su operación, salvo el conocimiento previo de la metodología PCI y fundamentos de Microsoft Windows® y Microsoft Excel®.

Figura 3.2 Imagen del software UnalPCIA 2.0



Fuente: Software UnalPCIA 2.0

A continuación se presenta todos los valores de PCI obtenidos de cada sección para luego hallar el PCI de todo el tramo.

AV. JULIO DELIO ECHAZÚ (Calzada Izquierda)

Cuadro 3.5 Valores de PCI J.D.E. izquierda

Nº Sección	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Valor PCI	Condición del Pavimento
1	0 + 000	0 + 030	73	Muy Bueno
2	0 + 030	0 + 060	73	Muy Bueno
3	0 + 060	0 + 090	76	Muy Bueno
4	0 + 090	0 + 120	64	Bueno
5	0 + 120	0 + 150	85	Muy Bueno
6	0 + 150	0 + 180	97	Excelente
7	0 + 180	0 + 210	86	Excelente
8	0 + 210	0 + 240	85	Excelente
9	0 + 240	0 + 280	24	Muy Malo
10	0 + 280	0 + 310	00	Fallado
11	0 + 310	0 + 340	06	Fallado
12	0 + 340	0 + 370	36	Malo
13	0 + 370	0 + 400	43	Regular
14	0 + 400	0 + 440	87	Excelente
15	0 + 440	0 + 470	98	Excelente
16	0 + 470	0 + 500	98	Excelente
17	0 + 500	0 + 530	59	Bueno
18	0 + 530	0 + 560	59	Bueno
19	0 + 560	0 + 590	97	Excelente
20	0 + 590	0 + 620	100	Excelente
21	0 + 620	0 + 650	96	Excelente
22	0 + 650	0 + 680	100	Excelente
23	0 + 680	0 + 710	94	Excelente
24	0 + 710	0 + 740	94	Excelente
25	0 + 740	0 + 776	82	Muy Bueno

Fuente: Elaboración Propia

AV. JULIO DELIO ECHAZÚ (Calzada Derecha)

Cuadro 3.6 Valores de PCI J.D.E. derecha

Nº Sección	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Valor PCI	Condición del Pavimento
1	0 + 000	0 + 030	82	Muy Bueno
2	0 + 030	0 + 060	67	Bueno
3	0 + 060	0 + 090	73	Muy Bueno
4	0 + 090	0 + 120	53	Regular
5	0 + 120	0 + 150	86	Excelente
6	0 + 150	0 + 180	94	Excelente
7	0 + 180	0 + 210	67	Bueno
8	0 + 210	0 + 240	17	Muy Malo
9	0 + 240	0 + 270	57	Bueno
10	0 + 270	0 + 300	22	Muy Malo
11	0 + 300	0 + 330	11	Muy Malo
12	0 + 330	0 + 360	10	Fallado
13	0 + 360	0 + 390	18	Muy Malo
14	0 + 390	0 + 422	16	Muy Malo
15	0 + 422	0 + 452	67	Bueno
16	0 + 452	0 + 482	68	Bueno
17	0 + 482	0 + 512	87	Excelente
18	0 + 512	0 + 542	61	Bueno
19	0 + 542	0 + 572	49	Regular
20	0 + 572	0 + 602	53	Regular
21	0 + 602	0 + 632	100	Excelente
22	0 + 632	0 + 662	66	Bueno
23	0 + 662	0 + 692	98	Excelente
24	0 + 692	0 + 722	68	Bueno
25	0 + 722	0 + 752	100	Excelente
26	0 + 752	0 + 783	79	Muy Bueno

Fuente: Elaboración Propia

AV. GAMONEDA (Calzada Única)

Cuadro 3.7 Valores de PCI Av. Gamoneda

Nº Sección	Progresiva Inicial	Progresiva Final	Valor PCI	Condición del Pavimento
1	0 + 000	0 + 025	12	Muy Malo
2	0 + 025	0 + 050	11	Muy Malo
3	0 + 050	0 + 075	19	Muy Malo
4	0 + 075	0 + 100	24	Muy Malo
5	0 + 100	0 + 125	33	Malo
6	0 + 125	0 + 150	22	Muy Malo
7	0 + 150	0 + 175	13	Muy Malo
8	0 + 175	0 + 200	62	Bueno
9	0 + 200	0 + 225	45	Regular
10	0 + 225	0 + 250	30	Malo
11	0 + 250	0 + 275	18	Muy Malo
12	0 + 275	0 + 300	23	Muy Malo

Fuente: Elaboración Propia

Debido a las diferentes etapas de construcción y tipos de fallas encontradas a lo largo del tramo de aplicación, se ve conveniente dividir en subtramos más pequeños con sus respectivas secciones evaluadas de cada una, con el fin de plantear soluciones que sean factibles y económicas. A continuación se ilustrará con la ayuda de una imagen del tramo total, que son los subtramos aconsejados según el estado actual del pavimento.

Figura 3.3 Imagen de la división del tramo total en subtramos



Fuente: Google Earth y Elaboración Propia

Cuadro 3.8 División del tramo total en subtramos

Subtramos	Calzada Izquierda	Calzada Derecha	Calzada Única	Intersección de Calles
Subtramo 1	E0 – E8	E0 – E8		Av. Julio Delio Echazú entre Av. Jaime Paz Zamora y Av. Gral. Manuel Belgrano
Subtramo 2	E8 - 14	E8 – E14		Av. Julio Delio Echazú entre Av. Gral. Manuel Belgrano y Av. Héroes del Chaco
Subtramo 3	E14 – E25	E14 –E26		Av. Julio Delio Echazú entre Av. Héroes del Chaco y Av. Gamoneda
Subtramo 4			E0 – E12	Av. Gamoneda entre Av. Julio Delio Echazú y Av. Circunvalación

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar el Valor de PCI de cada subtramo, sólo consiste en sacar el promedio de todas las secciones comprometidas en cada subtramo.

A continuación se presenta una tabla con los valores finales de PCI por subtramo:

Cuadro 3.9 Valores de PCI de cada subtramo

SubTramos	Secciones	Distancia en m.	Valor PCI	Condición del Pavimento
Subtramo 1 (Izquierda)	E0 – E8	240	79.9	Muy Bueno
Subtramo 1 (Derecha)	E0 – E8	240	67.4	Bueno
Subtramo 2 (Izquierda)	E8 – E14	200	32.7	Malo
Subtramo 2 (Derecha)	E8 – E14	182	22.3	Muy Malo
Subtramo 3 (Izquierda)	E14 – E25	336	88.8	Excelente
Subtramo 3 (Derecha)	E14 – E26	361	74.7	Muy Bueno
Subtramo 4 (Único)	E0 – E12	300	25.9	Muy Malo

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1 PORCENTAJE DE LAS FALLAS MÁS REPRESENTATIVAS POR SUBTRAMO

A continuación se presentarán los porcentajes de las fallas más representativas por el total de área de cada sección.

3.3.1.1 Subtramo 1

Av. Julio Delio Echazú (Izquierda)

Área total del Subtramo = 1752 m² = 100 %

Cuadro 3.10 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	2.58	0.15
Parcheo y acometidas (M)	9.2	0.53
Ahuellamiento (L)	2.6	0.15
Desprendimiento de Agregados (L)	227.6	13.0
Desprendimiento de Agregados (M)	24.1	1.38

Fuente: Elaboración Propia

Av. Julio Delio Echazú (Derecha)

Área total del Subtramo = 1752 m² = 100 %

Cuadro 3.11 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	14	0.8
Piel de cocodrilo (M)	9.3	0.53
Piel de cocodrilo (H)	4	0.23
Corrugación (L)	24.7	1.41
Depresión (M)	31.5	1.8
Parche y acometidas (M)	40.6	2.32
Parche y acometidas (H)	2.4	0.14
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (L)	2.2	0.13
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (M)	2.6	0.15
Desprendimiento de Agregados (L)	156	8.9
Desprendimiento de Agregados (M)	109.6	6.26

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.2 Subtramo 2

Av. Julio Delio Echazú (Izquierda)

Área total del Subtramo = 1500 m² = 100 %

Cuadro 3.12 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (M)	105.1	7.01
Piel de cocodrilo (H)	77.5	5.167
Agrietamiento en bloque (L)	4	0.267
Agrietamiento en bloque (M)	14.4	0.96
Depresión (M)	1.5	0.1
Parcheo y acometidas (L)	36.6	2.44
Parcheo y acometidas (M)	79.6	5.31
Parcheo y acometidas (H)	40	2.67
Desprendimiento de Agregados (L)	7.7	0.513
Desprendimiento de Agregados (M)	96.3	6.42

Fuente: Elaboración Propia

Av. Julio Delio Echazú (Derecha)

Área total del Subtramo = 1365 m² = 100 %

Cuadro 3.13 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	6.6	0.5
Piel de cocodrilo (M)	49.2	3.61
Piel de cocodrilo (H)	55.5	4.07
Corrugación (L)	38.7	2.84
Corrugación (M)	16.4	1.2
Parcheo y acometidas (L)	126	9.22
Parcheo y acometidas (M)	96.8	7.09
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (L)	1.7	0.12
Ahuellamiento (M)	8.7	0.637
Hinchamiento (L)	8.7	0.64
Desprendimiento de Agregados (M)	363.1	26.6
Desprendimiento de Agregados (H)	27.1	1.985

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.3 Subtramo 3

Av. Julio Delio Echazú (Izquierda)

Área total del Subtramo = 2520 m² = 100 %

Cuadro 3.14 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (M)	10.3	0.409
Parcheo y acometidas (L)	9	0.357
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (L)	3.7	0.147
Ahuellamiento (L)	9	0.357
Desprendimiento de Agregados (L)	187.8	7.452

Fuente: Elaboración Propia

Av. Julio Delio Echazú (Derecha)

Área total del Subtramo = 2707.5 m² = 100 %

Cuadro 3.15 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	1.6	0.1
Piel de cocodrilo (M)	22.4	0.83
Agrietamiento en bloque (M)	3.4	0.13
Corrugación (L)	13.2	0.49
Depresión (L)	4.5	0.17
Depresión (M)	6.3	0.23
Parcheo y acometidas (L)	56.4	2.08
Parcheo y acometidas (M)	21.8	0.805
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (L)	6.2	0.23
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (M)	5.8	0.214
Desprendimiento de Agregados (L)	36.7	1.36
Desprendimiento de Agregados (M)	23.1	0.853

Fuente: Elaboración Propia

3.3.1.4 Subtramo 4

Av. Gamoneda (Único)

Área total del Subtramo = 3000 m² = 100 %

Cuadro 3.16 Porcentaje de las fallas más representativas

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	15.4	0.51
Piel de cocodrilo (M)	166.8	5.56
Piel de cocodrilo (H)	318	10.6
Corrugación (L)	3.2	0.11
Depresión (L)	1.9	0.06
Depresión (M)	5.2	0.173
Parcheo y acometidas (L)	8	0.267
Parcheo y acometidas (M)	12.6	0.42
Tapas de alcantarillado - rejilla de drenaje (M)	8.8	0.293
Ahuellamiento (L)	52.9	1.763
Hinchamiento (L)	14	0.467
Hinchamiento (M)	10.7	0.357
Desprendimiento de Agregados (L)	149.9	4.997
Desprendimiento de Agregados (M)	249.7	8.323

Fuente: Elaboración Propia

3.4 SOLUCIONES A LAS FALLAS ENCONTRADAS

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 3.17 Agrupación de fallas según clasificación

GRUPO	FALLAS
AGRIETAMIENTOS	- Grieta piel de cocodrilo - Agrietamiento en bloque - Grietas de bordes - Grietas de reflexión de junta - Grietas longitudinales y transversales - Cruce de vía férrea
DISTORSIÓN	- Abultamientos y Hundimientos - Corrugación - Depresión - Parcheo y acometidas de servicios públicos - Ahuellamientos - Hinchamiento
DESINTEGRACIÓN	- Huecos - Meteorización / desprendimiento de agregados

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1 AGRIETAMIENTOS

3.4.1.1 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 ésto 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. Ésto 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 hueco 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 hueco.

- e) Si el hueco 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 3.4 Removiendo la superficie y la base

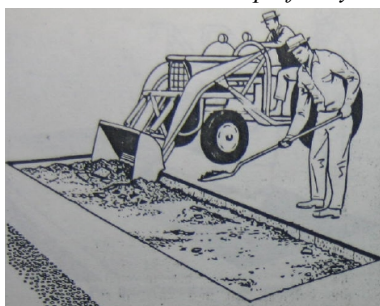


Figura 3.5 Aplicando la capa de pega a las caras verticales

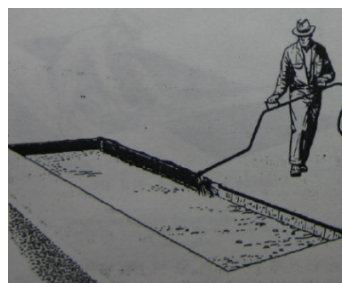


Figura 3.6 Rellenando el hueco con mezcla en planta

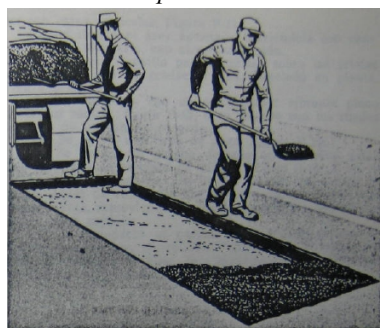
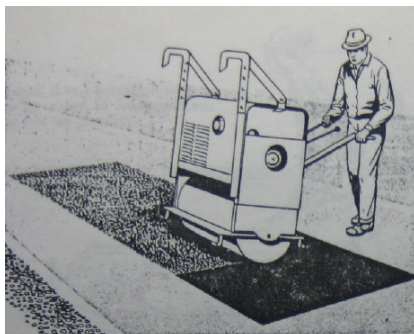


Figura 3.7 Extendiendo la mezcla



Figura 3.8 Compactando la mezcla*Figura 3.9 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:

- a) Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resulten con caras verticales.
- b) Se limpia el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- c) Se usa el cepillo para extender sobre las grietas material asfáltico de gradación fina, mezclado en planta.
- d) Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- e) Se aplica una capa de pega.
- f) 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.
- g) 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 3.10 Cortando una cara vertical alrededor del área agrietada

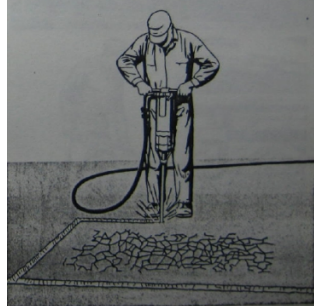


Figura 3.11 Extendiendo la mezcla en planta sobre el área afectada



Figura 3.12 Extendiendo la mezcla en planta sobre el área afectada



Figura 3.13 Compactando con un compactador vibrante-plano



Figura 3.14 Aplicando la capa de pega



Figura 3.15 Colocando el parche delgado de mezcla en planta en caliente



Figura 3.16 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:

- a) Se limpia el área agrietada con cepillo y si es necesario, con aire comprimido.
- b) 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.
- c) 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.
- d) 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.
- e) Si es necesario elevar el nivel del área reparada al de las zonas adyacentes del pavimento, puede aplicarse una segunda capa de sello.
- f) Antes de abrir la vía al tráfico se debe esperar el curado completo.

Figura 3.17 Regando asfalto sobre las grietas en piel de cocodrilo



Figura 3.18 Aplicando el agregado de cubierta

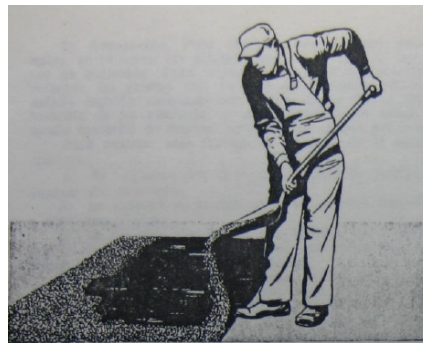
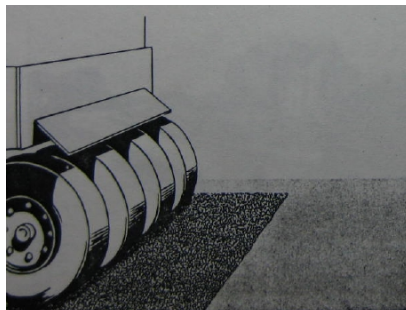


Figura 3.19 Apisonando la capa de sello con un rodillo de ruedas de goma



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.

3.4.1.2 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 3.20 Limpiando grietas de encogimiento con aire comprimido



Figura 3.21 Aplicando la capa de pega



Figura 3.22 Llenando las grietas de encogimiento con sello de lechada



Figura 3.23 Aplicando un sello de lechada a la superficie



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

3.4.1.3 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 3.24 Aplicando la capa de pega

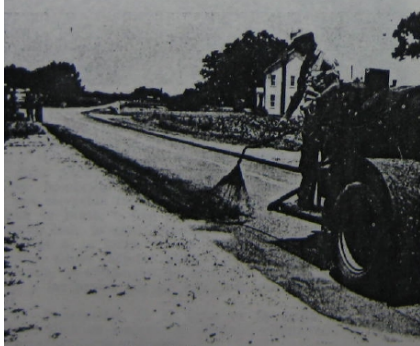
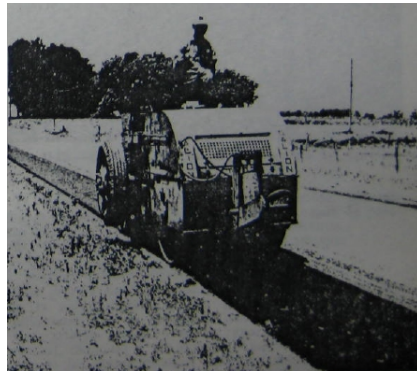


Figura 3.25 Extendiendo el material asfáltico mezclado en planta en caliente sobre un borde asentado



Figura 3.26 Compactando con una apisonadora



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

3.4.1.4 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 3.27 Limpiando la grieta con cepillo y aire comprimido



Figura 3.28 Sellando con una regadera y una maestra de mano



Figura 3.29 Recubriendo la superficie con arena seca



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

3.4.1.5 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”

3.4.1.6 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”

3.4.2 DISTORSIÓN

3.4.2.1 Abultamientos y Hundimientos

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 recompartar 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:

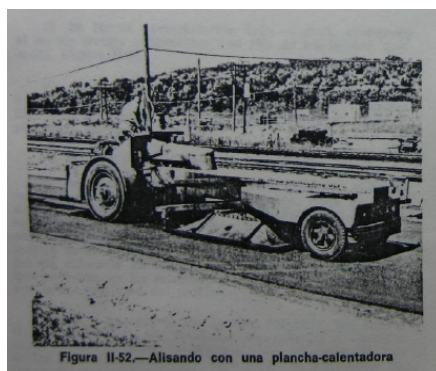
- a) Se escarifica y rompe la superficie con una cortadora rotativa.
- b) Se mezcla el material de superficie así desmenuzado con el material de base, hasta una profundidad de 10 cm.
- c) Se compacta y reconforma la base.
- d) Se imprima la base.
- e) Se aplica un tratamiento superficial nuevo.

- **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 3.30 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”.

3.4.2.2 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”.

3.4.2.3 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 acunados, 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 3.31 Demarcando y señalando un hundimiento



Figura 3.32 Lijando un borde



Figura 3.33 Limpiando la superficie



Figura 3.34 Aplicando la capa de pega

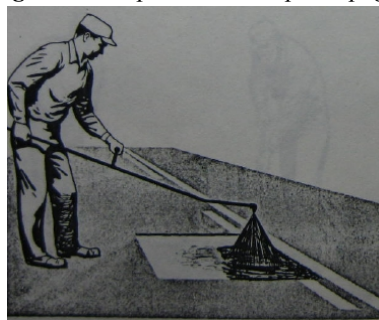


Figura 3.35 Nivelando el parche



Figura 3.36 Compactando el parche

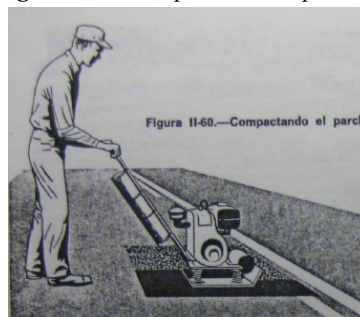


Figura 3.37 Colocando el sello de arena



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

3.4.2.4 Parcheo y Acometidas de Servicios Públicos

Causas. Estos hundimientos son causados, usualmente por la falta de adecuada compactación del relleno.

Reparación. Véase “Depresión”.

3.4.2.5 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 3.38 Demarcando una depresión

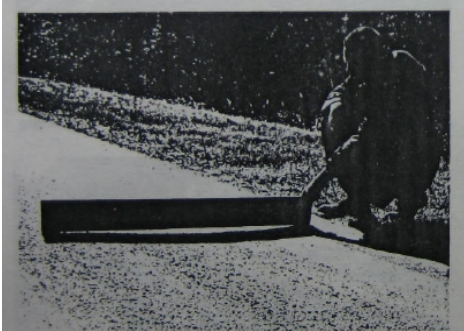


Figura 3.39 Aplicando la capa de pega

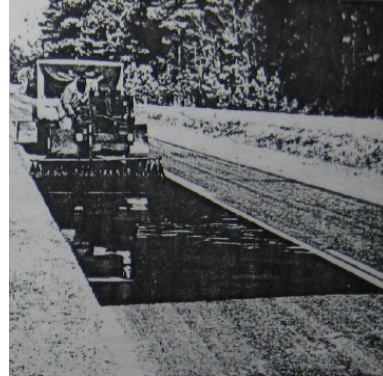


Figura 3.40 Extendiendo mezcla en planta densamente gradada



Figura 3.41 Compactando con el rodillo

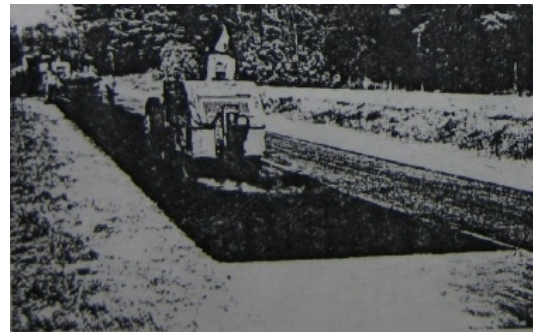
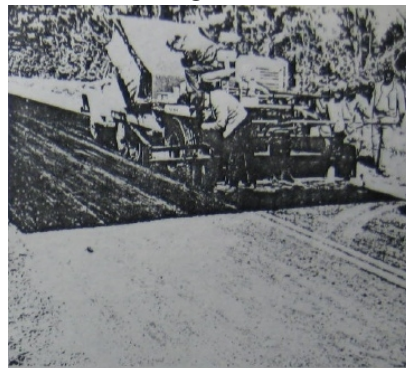


Figura 3.42 Colocando un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente



Fuente: El Asfalto en el Mantenimiento de los Pavimentos

3.4.2.6 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”

3.4.3 DESINTEGRACIÓN

3.4.3.1 Huecos

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.

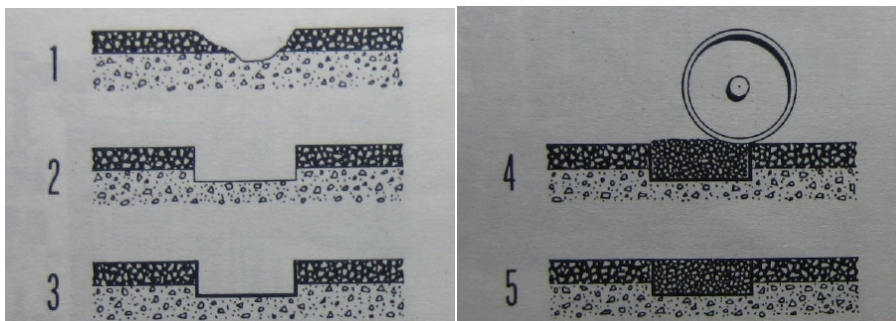
Reparación. Generalmente los baches aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces aplicar medidas de emergencia. Las reparaciones temporales consisten, usualmente, en la limpieza del hueco y su relleno con un material asfáltico de bacheo premezclado. La reparación permanente se realiza abriendo un hueco 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 3.43 Reparación permanente de un hueco



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

Reparación de Emergencia

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- Se limpia el hueco de todo el material suelto y el agua que sea posible.
- Se utiliza un calentador infrarrojo con el fin de calentar u ablandar la superficie asfáltica que rodea el hueco.
- Se rellena el hueco con una mezcla de emulsión asfáltica almacenada y se rastrilla hasta dejar la superficie lisa.
- Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo.
- Se seca el parche compactado con el calentador infrarrojo.

Figura 3.44 Limpiando el hueco del material suelto



Figura 3.45 Utilizando el calentador infrarrojo

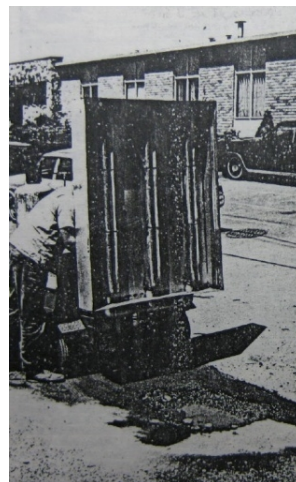


Figura 3.46 Llenando el hueco con mezcla almacenada



Figura 3.47 Usando el compactador vibrante plano



Figura 3.48 Secando el parche con el calentador infrarrojo



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

Reparación permanente: véase “Agrietamientos en Piel de Cocodrilo-Parcheo Profundo”

3.4.3.2 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. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

3.5 COSTOS DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN

El costo de las actividades de rehabilitación de los subtramos, es necesario contabilizar el total de fallas presentadas según el grado de severidad de cada una.

La información de los ítems y precios unitarios de dichas actividades fueron obtenidos gracias a la buena voluntad de los ingenieros:

- ✓ **Ing. Osvaldo Antelo**, jefe de Mantenimiento y Construcción de Pavimentos, perteneciente a la Oficialía Mayor Técnica de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija.
- ✓ **Ing. Mohammed Veramendy**, Responsable del Área de Mantenimiento perteneciente al SE.DE.CA.

Se mostrara la numeración que se le da a cada una de las fallas:

Cuadro 3.18 Numeración de todas las 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	Huecos	Nº
4	Abultamientos y Hundimientos	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: Elaboración Propia

Cuadro 3.19 Símbolos de los distintos grados de severidad de una falla

Símbolo	Severidad
L	Media
M	Baja
H	Alta

Fuente: Elaboración Propia

En primer lugar se presentan los precios unitarios con los que trabajamos, seguidamente la sumatoria de cada falla y el costo total se lo halla simplemente multiplicando el total de área afectada de cada falla por el precio unitario de la actividad a realizar.

Cuadro 3.20 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

Cuadro 3.21 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 3.22 Precio unitario del sellado de fisuras moderadas

SELLADO DE FISURAS MODERADAS					
Rendimiento : 1600.00 M/DIA		Costo Unitario Directo por: M			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 3.23 Precio unitario del sellado de fisuras severas

SELLADO DE FISURAS SEVERAS					
Rendimiento : 1000.00 M/DIA		Costo Unitario Directo por: M			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 elastomerico 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 3.24 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

Cuadro 3.25 Costos de Rehabilitación por subtramo

SUBTRAMOS	FALLAS										
	FL1	FM1	FH1	FL3	FM3	FH3	FL4	FM4	FH4	FL5	FM5
Σ Fallas Subtramo 1	16,56	9,3	4	0	0	0	3,2	0	0	24,7	0
Costo en Bs. de cada Falla	2489,3	2034,6	875,08	0	0	0	150,3	0	0	3712,4	0
Total en Bs. del Subtramo	= 26240,3712 Bs.										
Σ Fallas Subtramo 2	6,6	154,31	133	4	14,4	0	0	4,1	0	38,7	16,4
Costo en Bs. de cada Falla	992,11	33758	29096	0	119,74	0	0	0	0	5816,6	2464,9
Total en Bs. del Subtramo	= 151221,4357 Bs.										
Σ Fallas Subtramo 3	1,6	32,7	0	0	3,4	0	0	0	0	13,2	0
Costo en Bs. de cada Falla	240,51	7153,8	0	0	28,271	0	0	0	0	1984	0
Total en Bs. del Subtramo	= 27942,744 Bs.										
Σ Fallas Subtramo 4	15,4	166,8	318	0	0	0	0	20,6	0	3,2	0
Costo en Bs. de cada Falla	2314,9	36491	69569	0	0	0	0	0	0	480,96	0
Total en Bs. del Subtramo	= 128549,823 Bs.										
Σ TOTAL de FALLAS	40,16	363,11	455	4	17,8	0	3,2	24,7	0	79,8	16,4
COSTO TOTAL EN BS.	6036,9	79438	99540	0	148,01	0	150,3	0	0	11994	2464,9

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.25 Costos de Rehabilitación por subtramo

FALLAS															
FH5	FL6	FM6	FH6	FL7	FM7	FH7	FL8	FM8	FH8	FL10	FM10	FH10	FL11	FM11	FH11
0	1,8	31,5	0	6,5	0	0	0	0	0	34,1	11,7	0	3	49,8	2,4
0	206,82	3619,4	0	108,1	0	0	0	0	0	567,08	284,54	0	450,96	7484,9	525,05
0	0	1,5	0	21,9	0	0	0	35,7	0	138,8	167,5	5,4	162,4	176,4	40
0	0	172,35	0	364,2	0	0	0	868,22	0	2308,2	4073,6	131,33	24412	26513	8750,8
0	4,5	6,3	1,8	6,9	2,3	0	0	0	0	24,4	3,5	0	65,4	21,8	0
0	517,05	723,87	206,82	114,75	55,936	0	0	0	0	405,77	85,12	0	9830,9	3276,5	0
0	1,9	5,2	0	22,7	46,6	0	0	0	0	50	17,8	0	8	12,6	0
0	218,31	597,48	0	377,5	1133,3	0	0	0	0	831,5	432,9	0	1202,6	1893,8	0
0	8,2	44,5	1,8	58	48,9	0	0	35,7	0	247,3	200,5	5,4	238,8	260,6	42,4
0	942,18	5113,1	206,82	964,54	1189,2	0	0	868,22	0	4112,6	4876,2	131,33	35896	39168	9275,8

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.25 Costos de Rehabilitación por subtramo

FALLAS														
FL13	FM13	FH13	FL14	FM14	FH14	FL15	FM15	FH15	FL18	FM18	FH18	FL19	FM19	FH19
10	1	0	3,2	2,6	0	2,6	0	0	0	0	0	383,5	133,7	0
150,3	0	0	481,02	390,83	0	149,37	0	0	0	0	0	0	2560,4	0
0	0	0	1,7	0	0	0	8,7	0	8,7	0	0	7,7	459,4	27,1
0	0	0	255,54	0	0	0	499,82	0	1307,8	0	0	0	8797,5	518,97
0	1	0	9,9	5,8	0	9	0	0	0	0	0	224,5	23,1	0
0	0	0	1488,2	871,86	0	517,05	0	0	0	0	0	0	442,37	0
0	0	1	0	8,8	0	52,9	0	0	14	10,7	0	149,9	249,7	0
0	0	150,32	0	1322,8	0	3039,1	0	0	2104,5	1608,4	0	0	4781,8	0
10	2	1	14,8	17,2	0	64,5	8,7	0	22,7	10,7	0	765,6	865,9	27,1
150,3	0	150,32	2224,7	2585,5	0	3705,5	499,82	0	3412,3	1608,4	0	0	16582	518,97

Fuente: Elaboración Propia

3.6 PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN

Se realizo la programación en diagrama de barras:

Cuadro 3.26 Días de reparación de cada falla

	Fallas										
Tramo Total	FL1	FM1	FH1	FL3	FM3	FH3	FL4	FM4	FH4	FL5	FM5
Σ Fallas	40,16	363,11	455	4	17,8	0	3,2	24,7	0	79,8	16,4
	Rendimientos										
Sellado de fisuras moderadas (m/día)					1600						
Sellado de fisuras severas (m/día)											
Bacheo superficial (m2/día)	150									150	150
Parchado profundo (m2/día)		80	80								
Carpeta asfáltica (m2/día)											
Total en Días	0,2677	4,5389	5,6875		0,0056					0,532	0,1093

Fuente: Elaboración Propia

TOTAL EN DÍAS DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN = 17 Días Calendario

Cuadro 3.26 Días de reparación de cada falla

Fallas															
FH5	FL6	FM6	FH6	FL7	FM7	FH7	FL8	FM8	FH8	FL10	FM10	FH10	FL11	FM11	FH11
0	8,2	44,5	1,8	58	48,9	0	0	35,7	0	247,3	200,5	5,4	238,8	260,6	42,4
Rendimientos															
				1600						1600					
					1000			1000			1000	1000			
													150	150	
															80
	3364	3364	3364												
	0,0024	0,0132	0,0005	0,0363	0,0489			0,0357		0,1546	0,2005	0,0054	1,592	1,7373	0,53

*Fuente: Elaboración Propia**Cuadro 3.26 Días de reparación de cada falla*

Fallas														
FL13	FM13	FH13	FL14	FM14	FH14	FL15	FM15	FH15	FL18	FM18	FH18	FL19	FM19	FH19
10	2	1	14,8	17,2	0	64,5	8,7	0	22,7	10,7	0	765,6	865,9	27,1
Rendimientos														
			150	150					150	150				
						3364	3364						3364	3364
			0,0987	0,1147		0,0096	0,0013		0,1513	0,0713			0,1287	0,004

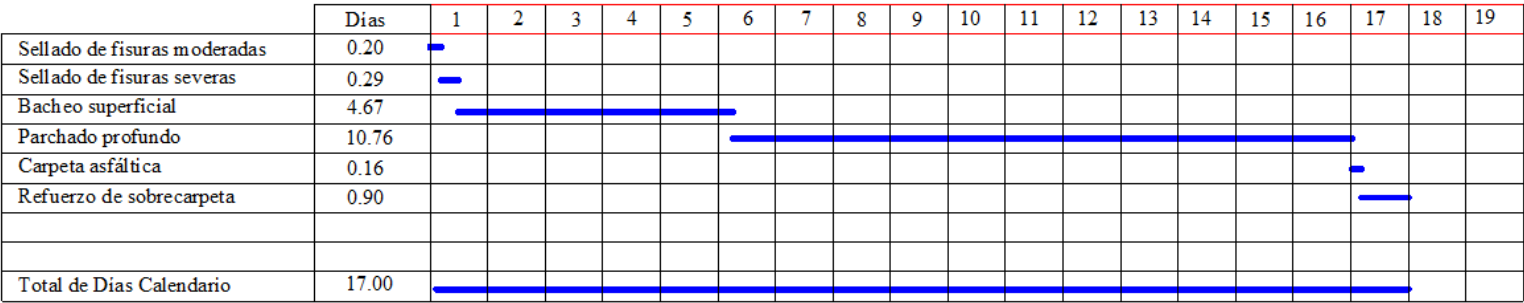
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.27 Resumen de reparación de cada falla

Actividad de Rehabilitación	Días	Horas
Sellado de fisuras moderadas	0.20	1.57
Sellado de fisuras severas	0.29	2.32
Bacheo superficial	4.67	37.40
Parchado profundo	10.76	86.05
Carpeta asfáltica	0.16	1.28
Refuerzo de sobre-carpeta	0.90	7.20
TOTALES	17	135.8

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 3.28 Cronograma de Actividades



Fuente: Elaboración Propia

3.7 RESUMEN DE COSTOS Y CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

SUBTRAMO 1

TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:

Numeral = 26,240.37 Bs.

Literal = Veintiséis mil doscientos cuarenta 37/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (Σ ambas calzadas de 7.3m)

Numeral = 480.00 m.

Literal = Cuatrocientos ochenta metros

SUBTRAMO 2

TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:

Numeral = 151,221.44 Bs.

Literal = Ciento cincuenta y un mil doscientos veinti uno 44/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (Σ ambas calzadas de 7.5m)

Numeral = 382 m.

Literal = Trescientos ochenta y dos metros

Con la orientación de varios ingenieros se llegó a la conclusión de que antes de realizar la rehabilitación en este subtramo, se puede complementar este estudio con una evaluación estructural, para determinar la acción a seguir ya que superficialmente se encuentra en muy malas condiciones las cuales pueden tener como causa defectos y fallas en la capa base o subrasante.

En el presente trabajo no se contempla la evaluación estructural.

SUBTRAMO 3**TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:**

Numeral = 27,942.74 Bs.

Literal = Veintisiete mil novecientos cuarenta y dos 74/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (Σ ambas calzadas de 7.5 m):

Numeral = 697.00 m.

Literal = Seiscientos noventa y siete metros

SUBTRAMO 4**TOTAL EN Bs. DE LAS REPARACIONES DE LAS FALLAS:**

Numeral = 128,549.82 Bs.

Literal = Ciento veintiocho mil quinientos cuarenta y nueve 82/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (calzada única de 10.0 m):

Numeral = 300.00 m.

Literal = Trescientos metros

Debido al estado del pavimento y luego de haber hecho las reparaciones de las fallas presentadas, según experiencias realizadas se ve por conveniente colocar una carpeta asfáltica de 3cm para impermeabilizar aun más la base, otorgarle mayor coeficiente de rozamiento y darle un poco más de soporte estructural al pavimento envejecido.

El refuerzo en el pavimento debe ir acompañado de otras acciones, como ser la restricción de vehículos pesados, tanto públicos como privados. La entidad encargada deberá hacer cumplir esta restricción para garantizar el buen estado de la vía, la cual requiere la inversión de importantes recursos económicos.

Presupuesto Carpeta Asfáltica:

$$\text{Área Total a Reforzar} = 300\text{m} \times 10\text{m} = 3000\text{m}^2$$

$$\text{Espesor de Refuerzo} = 3\text{cm} = 0.03\text{m}$$

$$\text{Volumen a Pavimentar} = 3000\text{m}^2 \times 0.03\text{m} = 90 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Total} + 5\% \text{ pérdidas} = 90 \text{ m}^3 \times 1.05 = 94.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Costo por m}^2 \text{ de Carpeta Asfáltica (h=3cm compactado)} = 57.5 \text{ Bs/m}^2$$

$$\text{Costo Total de Refuerzo} = 3000 \text{ m}^2 \times 57.5 \text{ Bs/m}^2 = 172350.00 \text{ Bs.}$$

TOTAL EN Bs. DE SOBRECARPETA (h=3cm):

$$\text{Numeral} = 172,350.00 \text{ Bs.}$$

$$\text{Literal} = \text{Ciento setenta y dos mil Trescientos cincuenta } 00/100 \text{ Bolivianos}$$

LONGITUD TOTAL (calzada única de 10.0 m):

$$\text{Numeral} = 300.00 \text{ m.}$$

$$\text{Literal} = \text{Trescientos metros}$$

TOTAL EN Bs. DE REHABILITACIÓN + SOBRECARPETA (h=3cm):

$$\text{Numeral} = 300,900 \text{ Bs.}$$

$$\text{Literal} = \text{Trescientos mil novecientos } 00/100 \text{ Bolivianos}$$

En este caso antes de realizar la rehabilitación del subtramo lo más recomendable es complementar este estudio con una evaluación estructural para ver la respuesta del pavimento ante la circulación de vehículos. La inconsciencia de algunos conductores que transitan vehículos pesados ocasiona el deterioro prematuro del pavimento, que al contar con una base de empedrado sabemos que inicialmente fue diseñado para un tráfico liviano con mediana circulación vehicular.

En el presente trabajo no se contempla la evaluación estructural.

COSTOS, LONGITUDES Y CRONOGRAMA TOTALES DE REHABILITACIÓN
DE TODO EL TRAMO

TRAMO TOTAL

TOTAL EN Bs. DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN:

Numeral = 506,304.55 Bs.

Literal = Quinientos seis mil trescientos cuatro 55/100 Bolivianos

LONGITUD TOTAL (Σ ambas calzadas)

Numeral = 1859 m.

Literal = Un mil ochocientos cincuenta y nueve metros

TOTAL EN DÍAS CALENDARIO (todo el tramo)

Numeral = 17.00 días

Literal = Diecisiete días

3.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PAVIMENTO

ITEM: 1

ACTIVIDAD: Construcción de la Base granulométrica estabilizada

UNIDAD: m³

• DESCRIPCIÓN

Este trabajo consistirá en la ejecución de una capa de grava natural, una mezcla de suelos o grava con agregados triturados o materiales totalmente triturados, según lo exijan los planos de estas especificaciones, colocadas y compactadas, de acuerdo con lo establecido por las presentes especificaciones y de conformidad con los alineamientos y sección transversal indicados en los planos.

• EQUIPO Y MATERIALES

Se requiere el siguiente equipo para la ejecución de la base:

Planta trituradora, dosificadora o seleccionadora, según el caso.

Equipo de extracción, carga y transporte.

Distribuidor autopulsado.

Motoniveladora pesada con escarificador.

Camión tanque distribuidor de agua.

Rodillos compactadores tipo liso-vibratorio y neumático.

Además del equipo indicado, podrá utilizarse otro tipo de equipo aceptado por el Ingeniero.

• MATERIALES

La base será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

- Deberán poseer una composición granulométrica encuadrada en una de las columnas de la siguiente tabla:

Cuadro 3.29 Porcentajes por peso del material que pasa por tamices con Malla

TAMIZ	TIPO DE GRADUACIÓN		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	75 - 95	100
$\frac{3}{8}$ "	30 - 65	40 - 75	50 - 85
Nº. 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
Nº. 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
Nº. 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30
Nº. 200	2 - 8	5 - 20	5 - 15

Fuente: AASHTO T-11 y T-27

-La fracción que pasa el tamiz No. 40 deberá tener un límite líquido inferior o igual ($\leq$) a 25% y un índice de plasticidad inferior o igual ($\leq$) a 6%. Pasando de estos límites, el equivalente de arena deberá ser mayor ($>$) que 30%.

- El porcentaje del material que pasa el tamiz No. 200 no debe exceder a 2/3 del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.

- El índice de Soporte de California no deberá ser inferior a 80% y la expansión máxima será de 0.5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180 D,
- El agregado retenido en el tamiz No. 10 debe estar constituido por partículas duras durables, exentas de fragmentos blandos, alargados o laminados y exentos de materia vegetal, terrones de arcilla u otra sustancia perjudicial, los agregados gruesos deberán tener un desgaste no superior a 50% a 500 revoluciones, según lo determine el ensayo AASHTO T-96.

- **EJECUCIÓN**

Comprende las operaciones de producción, distribución, mezclado y pulverización, humedecimiento o desecación, compactación y acabado, de los materiales transportados del banco, colocados sobre una superficie debidamente preparada y en el ancho establecido, en cantidades que permitan llegar al espesor, proyectado luego de su compactación.

Cuando hubiera necesidad de colocar capas de base con un espesor final superior a 20 cm, éstas serán subdivididas en capas parciales que no excedan de 20 cm. El espesor mínimo de cualquier capa de base será de 10 cm después de su compactación.

La densidad de la capa acabada deberá ser como mínimo 100% de la densidad máxima determinada según el ensayo AASHTO T-180 D, y el contenido de humedad deberá variar como máximo entre $\pm 2\%$ de la humedad óptima obtenida en el ensayo anterior.

La limpieza de los yacimientos deberá ser ejecutada cuidadosamente de tal manera que se evite la contaminación del material aprobado.

El material será esparcido sobre la caja inferior aprobada de modo que se evite la segregación, y en cantidad tal que permita obtener el espesor programado después de su compactación.

El material transportado hasta la plataforma deberá ser inmediatamente esparcido para evitar la concentración de tráfico sobre fajas limitadas de la capa inferior.

Los materiales de los bancos de préstamo deberán ser triturados totalmente.

Las gravas serán trituradas para encuadrarlas en la faja granulométrica especificada en el proyecto.

En la misma planta deberá ser añadida el agua necesaria para que la mezcla llegue al lugar de su aplicación con un contenido de humedad dentro de las tolerancias establecidas para la compactación.

El material será inmediatamente esparcido sobre la capa inferior mediante la utilización de un distribuidor adecuado.

El acopio de material de base sobre la plataforma sólo será permitido con autorización escrita del Ingeniero.

- **CONTROL POR EL INGENIERO**

CONTROL TECNOLÓGICO

Serán ejecutados los siguientes ensayos:

-Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima por el método AASHTO T-180 D, con un espaciamiento máximo de 100 metros lineales, con las muestras recogidas en puntos que obedezcan siempre el orden: borde derecho, eje, borde izquierdo, eje, borde derecho, etc., a 60 cm del borde.

El número de ensayos de compactación podrá ser reducido siempre que se verifique una homogeneidad del material a criterio del Ingeniero.

- Determinación de la densidad en sitio cada 100 metros lineales en los puntos donde fueran obtenidas las muestras para los ensayos de compactación.

- Determinación del contenido de humedad cada 100 metros lineales inmediatamente antes de la compactación.

- Ensayos de granulometría, de límite líquido y límite plástico, según los métodos AASHTO T-27, AASHTO T-89 y AASHTO T-90, respectivamente, con espaciamiento máximo de 150 metros lineales y un mínimo de dos grupos de ensayos por día.

- Un ensayo del Índice de Soporte de California (CBR) determinado con la energía de compactación AASHTO T-180 D, con un espaciamiento máximo de 300 metros lineales

y un mínimo de un ensayo cada dos días. Para la aceptación, serán considerados los valores absolutos de los resultados de los ensayos.

CONTROL GEOMÉTRICO

Después de la ejecución de la capa de base, se procederá al control de niveles del eje y los bordes, permitiéndose las siguientes tolerancias:

- Variación máxima en el ancho de más (+) 10 cm, no admitiéndose variación en menos (-).
- Variación máxima en el bombeo establecido de más (+) 0.5%, no admitiéndose variación en menos (-)
- Variación máxima de cotas para el eje y para los bordes de más, menos ($\pm$) 2 cm con relación a las cotas de proyecto.
- Variación máxima de menos (-) 2 cm en el espesor de la capa con relación al espesor indicado en los planos y/u Órdenes de Trabajo, medido como mínimo en un punto cada 100 metros.

• MEDICIÓN

El volumen de la base será medido en **metros cúbicos** de material transportado, compactado y aceptado de acuerdo a la sección transversal del proyecto.

En el cálculo de los volúmenes, con ejecución a las tolerancias especificadas, se considerará el espesor medio (e_m) calculado como la media aritmética de los espesores medidos; si e_m fuera inferior al espesor del proyecto, se considerará el valor de e_m ; si e_m fuera superior al espesor del proyecto se considerará este último valor.

ITEM: 2**ACTIVIDAD: Imprimación Bituminosa****UNIDAD:** m²**• DESCRIPCIÓN**

La imprimación consiste en la aplicación de una capa de material bituminoso sobre la superficie de una base concluída, antes de la ejecución de cualquier revestimiento bituminoso, con el objeto de:

- Aumentar la cohesión de la superficie de la capa sobre la cual es aplicada, por la penetración del material bituminoso.
- Promover la adherencia entre la base y el revestimiento.
- Impermeabilizar la superficie de la capa sobre la cual es aplicada.

Se incluye también en este ítem la ejecución del riego de liga, que consiste en la aplicación de una capa de material bituminoso sobre la superficie de una base ya imprimada, con edad mayor a 7 días o sometida a la acción del tránsito, y con la finalidad de promover la adherencia entre la base y el revestimiento de concreto asfáltico mezclado en planta y en caliente. El riego de liga es también aplicable a un pavimento existente antes de recibir una capa de sello o un refuerzo de pavimento.

• EQUIPO Y MATERIALES

Todo el equipo será examinado por el Ingeniero, antes de iniciarse la ejecución de la obra, debiendo estar de acuerdo con esta Especificación para que sea dada la orden de iniciación de los servicios.

Para el barrido de la superficie a imprimir, se usará de preferencia barredoras mecánicas rotativas, pudiendo ocasionalmente realizarse a mano esta operación, previa autorización del Ingeniero. También podrá utilizarse un soplador de aire comprimido.

La distribución del ligante deberá realizarse mediante carros distribuidores equipados con bomba reguladora de presión y un sistema completo de calentamiento, que permitan la aplicación del material bituminoso en cantidades uniformes.

Las barras de distribución deben ser del tipo de circulación total, con dispositivos que permitan ajustes verticales y anchos variables de esparcimiento del ligante.

Los carros distribuidores deben disponer de tacómetro, calibradores y termómetros en lugares de fácil observación y además de un esparcidor manual, para el tratamiento de pequeñas superficies y correcciones localizadas.

El depósito de material bituminoso debe estar equipado de un dispositivo que permita el calentamiento adecuado y uniforme del ligante.

- **MATERIALES**

MATERIALES BITUMINOSOS

Todos los materiales bituminosos deben satisfacer las exigencias de las especificaciones, a continuación detalladas:

Cuadro 3.30 Especificaciones de Materiales Bituminosos

Cemento Asfáltico:	AASHTO M-20
Asfalto diluido de curado lento:	AASHTO M-141
Asfalto diluido de curado medio:	AASHTO M-82
Asfalto diluido de curado rápido:	AASHTO M-81

Fuente: Normas AASHTO

Cuadro 3.31 Tipo de Materiales

Asfalto diluido de curado lento:	SC-70, SC-250
Asfalto diluido de curado mediano:	MC-30, MC-70
Asfalto diluido de curado rápido:	RC-250

Fuente: Oficialía Mayor Técnica (Alcaldía Municipal de Tarija)

El régimen de aplicación será aquel que permita la absorción del material bituminoso por la base en 24 horas, debiendo ser determinado experimentalmente en la obra. La cantidad del material aplicado varía de 0.8 a 1.6 l/m², conforme al tipo y textura de la base y del material bituminoso elegido.

Los materiales bituminosos para sus distintas aplicaciones deberán ser empleados dentro de los límites de temperatura que se indican a continuación:

Cuadro 3.32 Temperatura de Aplicación

Tipo y calidad del material	Límites de Temperatura	
	Mín. (° C)	Máx. (° C)
MC-30		
RC- MC – SC - 70	21.11	62.78
RC- MC – SC - 250	40.56	85.00
RC- MC – SC - 800	60.00	105.50
RC- MC – SC - 3,000	79.44	130.00
Todas las emulsiones	101.11	154.40
Todas las calidades de cemento asfáltico	10.00	60.00
RT – 1 – 2 – 3	15.56	176.70
RT – 4 – 5 – 6	29.44	54.44
RT – 7 – 8 – 9	65.56	65.56
RT – 10 – 11 – 12	79.44	107.00
RTCB – 5 – 6	15.56	120.00
		48.89

Fuente: Oficialía Mayor Técnica (Alcaldía Municipal de Tarija)

MATERIAL DE SECADO

Estos materiales consistirán de arena limpia que no deberá contener más del 2% de humedad. Además deberá pasar el 100% por el tamiz N° 4 y por el tamiz N° 200 pasará de 0 a 2%.

• EJECUCIÓN

La imprimación sólo podrá ser ejecutada cuando la parte inferior de la capa a imprimir estuviese con humedad no mayor que la humedad óptima + 2%.

Después de la perfecta conformación geométrica de la superficie a imprimir, se procederá al barrido de la misma, con objeto de eliminar el polvo y el material suelto existente.

Luego se aplicará el material bituminoso adecuado, a la temperatura compatible con el tipo a utilizarse, en las cantidades ordenadas y de la manera más uniforme. El material bituminoso no deberá aplicarse cuando la temperatura ambiental estuviera por debajo de 10° C, salvo una autorización por escrito del Ingeniero, o en temperatura de aplicación del material bituminoso debe ser fijada para cada tipo de ligante, en función de la relación temperatura – viscosidad. Debe elegirse una temperatura que proporcione una mejor viscosidad para el riego.

En lo posible, la capa de imprimación deberá aplicarse a todo el ancho o en fajas de la mitad del ancho especificado en los planos, o indicado por el Ingeniero. Cuando se aplique en dos o más fajas, deberá haber una ligera superposición del material bituminoso a lo largo de los bordes adyacentes de las fajas.

No se permitirá el libre tránsito sobre la superficie imprimada a no ser con autorización por escrito del Ingeniero y sólo cuando el material bituminoso haya penetrado, estuviese seco y no haya riesgo de desprenderse por la acción del tránsito. Si fuera necesario se podrá autorizar el tránsito antes del tiempo indicado, pero en ningún caso sin haber transcurrido por lo menos 8 (ocho) horas después del riego. En este caso se aplicará el material de secado según lo ordene el Ingeniero y entonces el tránsito podrá autorizarse en las fajas así tratadas. El material de secado se distribuirá desde camiones en tal forma que ninguna de las ruedas de éstos pase sobre el material bituminoso húmedo, no cubierto aún por el material secante. Cuando se coloque el material de secado sobre una faja del camino, adyacente a otra parte del mismo (que todavía debe ser tratada), se deberá dejar sin cubrir una franja de un ancho de por lo menos 20 cm a lo largo de la parte no tratada y en caso de que esta disposición no haya sido cumplida, se deberá eliminar ese material de secado cuando se prepare la segunda faja para el riego correspondiente, con el fin de obtener una superposición del material bituminoso en las uniones de las distintas fajas sometidas al tratamiento.

A fin de evitar una superposición o exceso en los puntos inicial y final de las aplicaciones, se deberá colocar papel de edificación, transversalmente al camino, de modo que el principio y el final de cada aplicación del material bituminoso se sitúen sobre dichas cubiertas, las cuales serán retiradas seguidamente. Cualquier falla en la aplicación del material bituminoso debe ser inmediatamente corregida.

En el momento de la aplicación del material bituminoso, la superficie debe encontrarse ligeramente húmeda.

El Contratista deberá mantener la superficie imprimada durante un plazo no menor a 3 (tres) días y no mayor a 7 (siete) días antes de cubrirla con el revestimiento.

No se permitirá el tráfico sobre una base imprimada durante un plazo mayor a 30 (treinta) días.

En el caso de que el tráfico sea permitido en un plazo no mayor de 30 (treinta) días y cuando el revestimiento previsto fuese concreto asfáltico, se procederá a la ejecución de un riego de liga, atendiendo a todos los requisitos especificados para la ejecución de la imprimación y con la cantidad de asfalto definida por el Ingeniero durante la construcción.

Idénticamente será ejecutado un riego de liga antes de la ejecución del revestimiento de concreto asfáltico, cuando la imprimación de la base tenga más de 7 (siete) días de edad.

- **CONTROL POR EL INGENIERO**

CONTROL DE CALIDAD

El material bituminoso deberá examinarse en laboratorio, obedeciendo la metodología y las Especificaciones pertinentes.

El control constará de:

Cuadro 3.33 Control de Calidad para Asfaltos Diluidos

	Un ensayo cada	Norma
Contenido de agua	50 toneladas	AASHTO T-55
Penetración	50 toneladas	AASHTO T-49
Destilación	50 toneladas	AASHTO T-78
Viscosidad Saybolt - Furol	50 toneladas	AASHTO T-72
Ductibilidad	50 toneladas	AASHTO T-51
Punto de inflamación	50 toneladas	AASHTO T-79

Fuente: Normas AASHTO

Cuadro 3.34 Control de Calidad para Cemento Asfáltico

	Un ensayo cada	Norma
Contenido de agua	50 toneladas	AASHTO T-55
Penetración	50 toneladas	AASHTO T-49
Viscosidad Saybolt - Furol	50 toneladas	AASHTO T-72
Ductibilidad	50 toneladas	AASHTO T-48
Punto de inflamación	50 toneladas	AASHTO T-79
Ensayo al horno de Película delgada	50 toneladas	AASHTO T-179

Fuente: Normas AASHTO

A requerimiento del Ingeniero, el Contratista estará obligado a presentar certificados de un laboratorio independiente acreditando la calidad de los productos bituminosos a emplearse en la imprimación, sin perjuicio del control antes mencionado.

CONTROL DE TEMPERATURA

La temperatura de aplicación será establecida por el Ingeniero para el tipo de material bituminoso en uso.

CONTROL DE CANTIDAD

Se realizará mediante el pesaje del carro distribuidor antes y después de la aplicación del material bituminoso. No siendo posible la realización del control por este método, se admitirán los dos procedimientos siguientes:

- Se colocará en la faja de riego una bandeja de peso y área conocidos. Por una simple pesada luego del riego del distribuidor, se tendrá la cantidad de material bituminoso usado por metro cuadrado.
- Utilización de una regla de madera, pintada y graduada que pueda dar, por la diferencia de altura del material bituminoso en el tanque del carro distribuidor antes y después de la operación, la cantidad de material consumido.

CONTROL DE UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN

La uniformidad depende del equipo empleado en la distribución. Antes de iniciarse el trabajo debe realizarse una descarga de 15 a 30 segundos, para que se pueda controlar la uniformidad de distribución. Esta descarga puede efectuarse fuera de la plataforma o en la misma si el carro distribuidor estuviera dotado de una caja debajo de la barra de riego para recoger el ligante bituminoso.

• MEDICIÓN

La ejecución de la imprimación será medida en **metros cuadrados** de acuerdo a la sección transversal del proyecto.

El suministro de material bituminoso aplicado en la imprimación será medido en litros utilizando los sistemas de control descritos.

No será medido para efecto de pago la ejecución ni el asfalto de riego de liga cuando éste sea ejecutado por haberse excedido los 7 (siete) días de edad de la imprimación, ni en los casos de correcciones ordenadas por el Ingeniero en la capa imprimada.

ITEM: 3

ACTIVIDAD: Colocación de carpeta asfáltica

UNIDAD: m³

DESCRIPCIÓN

Este trabajo consistirá en la construcción de un pavimento compuesto por concreto asfáltico densamente graduado en caliente en una planta procesadora, construida sobre una base preparada de acuerdo con los alineamientos, pendientes y perfil tipo indicados en planos.

• **MATERIALES**

Los materiales bituminosos serán de tipo y clase indicados en el pliego de la licitación o cláusulas especiales y deberán estar de acuerdo con las exigencias fijadas en las especificaciones que se detallan a continuación.

Asfalto diluido de curado rápido AASHTO M-81

Los tipos a emplear y temperaturas de aplicación indicadas en °C, serán los siguientes:

Asfalto diluido de curado rápido: RC-70 y RC-250

Esta mezcla estará compuesta por agregados triturados de granulometría gruesa, fina y relleno con añadido de material bituminoso.

La porción de los agregados retenidos en el tamiz N° 8 se digna como agregado grueso y se dispondrá de piedra o grava triturada. Solo se podrá emplear un tipo de agregado grueso, excepto caso de que el ingeniero autorice de otra forma por escrito.

El material triturado se compondrá de material limpio, compacto y durable, carente de polvo, suciedad u otras materias inconvenientes y deberá tener un porcentaje de desgaste no mayor de 40% revoluciones al ser ensayado en la prueba Los Ángeles método AASHTO T-96.

No se utilice grava triturada, no menos de un 50% en peso de las partículas retenidas por el N°4, deberá tener por lo menos una cara fracturada.

La porción de agregados que pasan el tamiz N°8 se designará agregado fino y se compondrá en natural o cerniduras de piedra triturada o a la combinación de las mismas. Los agregados finos se compondrán de agregados limpios, compactos de superficie rugosa, angulares, carentes de terrones de arcilla o arcilla arenosa u otras sustancias inconvenientes.

Cemento asfáltico deberá cumplir las exigencias siguientes:

El régimen de los grados de penetración será el de 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300 según sea definido en el formulario de licitación.

El asfalto de petróleo se preparará por refracción del petróleo crudo.

El cemento asfáltico será homogéneo, carecerá de agua y no formará espuma cuando sea calentado a 176,7 °C.

Los distintos tipos de cemento asfáltico deberán estar de acuerdo con las exigencias establecidas en la siguiente tabla.

Cuadro 3.35 Tipos de Cemento Asfáltico

GRADO PENETRACION	DE	40 - 50		60 - 70		85 - 100		120 - 150		200 - 300	
		min	max.	min	max.	min	max.	min	max.	min	max.
Penetración a 25°C 100 g 5 seg. Punto de inflamación vaso de claveland, °C solubilidad de tetra cloruro de carbono(%) Ensayo de película delgada en horno, pérdida por calentamiento, 163°C 5 hr. penetración de los residuos porcentaje de los originales Ductibilidad de los residuos a 25 °C, 5 cm/min, cm. Ensayo de la mancha (cuando y como sea especificado): ver nota 1: Solvente normal de nafta Solvente nafta xileno por ciento de xileno Solvente heptano xileno por ciento de xileno		40		60		85		120		200	
			50		70		100		150		300
		232		232		232		218		177	
		99		99		99		99		99	
		0,8		0,8		1		1,3			1,5
		55		52		47		42			37
			50		75		100		100	100	
		Negativo para todos los tipos									
		Negativo para todos los tipos									
		Negativo para todos los tipos									

Fuente: Oficialía Mayor Técnica (Alcaldía Municipal de Tarija)

El equipo suficiente en número, potencia y capacidad deberá ser verificado por el ingeniero, por entrarse en deficientes condiciones de servicio, deberá ser retirado de la obra y sustituido por otro en buenas condiciones de operación.

Equipo mínimo recomendado para esta fase de colocación de carpeta de cemento asfáltico es:

- Equipo de extracción, carga y transporte.
- Compactadores de rodillo liso, tándem y neumáticos
- Planta de trituradora primaria y secundaria
- Planta clasificadora
- Planta procesadora de concreto asfáltico
- Terminadora de concreto asfáltico
- Sopladora

El contratista podrá utilizar otro equipo aprobado por escrito por el ingeniero supervisor.

• EJECUCIÓN

No se prevé el empleo de riego de liga a menos que éste sea requerido por orden del ingeniero, como emergencia de responsabilidad del contratista por ejecutar trabajo muy desfasado entre la acción y el tendido de la carpeta de concreto asfáltico y que por tanto no será motivo de pago.

En superficies en contacto con cordones, cunetas, bocas de inspección y otras estructuras, deberán ser pintadas con una capa delgada, uniforme, de material bituminoso sea aplicada contra aquellas, de acuerdo con lo que fuese ordenado por el ingeniero supervisor.

Los agregados para la mezcla del concreto asfáltico, deberán ser secados y calentados a la temperatura que se requiera. Las llamas que se utilicen para el secado y calentamiento deberán ser ajustados debidamente para evitar daños al agregado y la información de una capa de hollín sobre material bituminoso deberá ser calentado hasta la temperatura especificada, en una forma que pueda el recalentamiento local y proporcionar un

abastecimiento continuo del material bituminoso a la mezcladora, a temperatura uniforme en momento.

Temperatura máxima del cemento asfáltico que se entregue la mezcladora no deberá ser mayor a 19 °C sobre la temperatura permitida para los agregados. El cemento asfáltico no deberá ser usado mientras esté informe, ni deberá ser calentado a una temperatura mayor de 159 °C en ninguna ocasión, después de haber sido entregado en la obra.

A no ser que fuese especificado en otra forma, después de que las cantidades de agregados y material bituminosos necesarias hayan sido en mezcladora, los materiales deberán ser mezclados hasta que se hayan sido introducidas en la mezcladora, los materiales deberán ser mezclados hasta que se hayan obtenido una capa de partículas completa y uniforme, y una distribución cabal del material bituminoso en todas partes del agregado, el ingeniero fijará el tiempo para el mezclado húmedo para cada planta y para cada tipo de agregado que se ha empleado.

Para la mezcla en caliente de pavimento bituminoso, el mezclado deberá ser producido lo más aproximadamente que fuese factible, a la más baja temperatura que pueda producir un mezclado manuable, dentro del límite de temperatura especificado.

El material mezclado en planta será aceptado después del mezclado en la planta o antes de su incorporación final a la obra.

Cuadro 3.36 Requisitos de granulometría para el agregado del concreto asfáltico en caliente

TAMIZ	% de agregados que pasan por los tamices de abertura cuadrada método AASHTO T-11 y T-27
1"	100
3/4"	70 - 100
Nº4	35 - 65
Nº40	10 - 30
Nº200	5 - 15

Fuente: Normas AASHTO

Los camiones utilizados para el acarreo de las mezclas bituminosas deberán tener fondos de metal, herméticos, limpios y lisos, que estén ligeramente pintados con una capa de material aprobado para evitar que la mezcla se adhiera a dichos fondos.

La mezcla deberá ser acarreada desde la planta de mezclado hasta el lugar de su uso en vehículos. No se deberá enviar ninguna carga en horas tardías en el curso del día que impidan la terminación del esparcido y la consolidación de la mezcla durante las horas de la luz natural, excepto cuando se disponga iluminación artificial satisfactoria.

La mezcla deberá ser colocada sobre una superficie previamente aprobada, esparcida y enrasada de acuerdo con la pendiente y elevación establecidas. Las terminadoras bituminosas deberán ser asociadas para distribuir la mezcla, ya sea sobre todo el ancho o la parte del mismo que pueda ser factible.

En los lugares en que las irregularidades o los obstáculos inevitables hiciesen impracticable el empleo del equipo mecánico espaciador y el acabado, la mezcla deberá ser extendida, rastrillada y enrasada por medio de herramientas manuales. Para tales lugares la mezcla deberá ser vaciada, esparcida y emparejada de manera que tenga el espesor necesario al ser apisonada.

Espesor de la mezcla no apisonada deberá ser aquel que se ajuste a los espesores nominales especificados en los planos. Por lo tanto, el material sin apisonar inmediatamente detrás de la pavimentadora deberá ser medidos en intervalos frecuentes para efectuar las correcciones necesarias aseguren la conformidad con los espesores nominales.

Después de haber sido esparcida las mezclas bituminosas, enrasadas y aisladas las irregularidades de la superficie, deberán ser compactadas en forma intensa y uniforme por medio de la aplanadora. El peso específico de la mezcla consolidada, según se determina por AASHTO T-166, no deberá ser inferior al 95 % del peso específico de las muestras del laboratorio compactadas, compuestas de los mismos materiales y en iguales proporciones.

La superficie deberá ser compactada cuando la mezcla esté en la condición adecuada y cuando la compactación no ocasione desplazamientos indebidos, agrietamiento o daños similares.

Salvo en orden en contrario, la compactación deberá comenzarse por las orillas y proceder longitudinalmente en sentido paralelo con la línea de media calzada, trasladando en cada recorrido una mitad del ancho del rodillo aplanador y avanzando gradualmente hacia el lomo de la calzada. Cuando se esté pavimentando en forma escalonada o confinada, con un carril colocado previamente, la junta longitudinal debe ser compactan primero y después se

continuará con el proceso usual del rodillo aplanador. En la curva con peralte (sobreelevación), la compactación deberá comenzar por la parte baja y progresar hacia el lado alto, por medio de traslapos de pasadas longitudinales paralelas a la línea media.

Las aplanadoras deberán desplazarse a velocidad lenta pero uniforme, con el rodillo impulsor o ruedas más cerca a la pavimentadora. La compactación deberá continuarse hasta que todas las huellas de los rodillos queden eliminadas y se haya alcanzado cuando menos la densidad mínima indicada anteriormente.

Para evitar la adherencia de la mezcla a los rodillos, las ruedas se deben conservar debidamente húmedas con agua o agua mezclada con muy pequeñas cantidades de detergente u otro material aprobado. No será permitido el exceso de líquido.

La colocación del pavimento bituminoso deberá ser tan continua como sea posible. Las aplanadoras no deberán pasar por encima del extremo no protegido de una mezcla recién colocada, excepto cuando fuese autorizado por el ingeniero supervisor.

El contratista deberá obtener de la carpeta terminada, muestra de todo el espesor según se le ordene, para ensayos que hará el ingeniero supervisor. Las muestras deberán ser cortadas esmeradamente por medio de la sierra, taladro tubular o algún otro equipo aprobado. El contratista deberá proporcionar y colocar el nuevo material, para rellenar los huecos dejados por ese muestreo.

Se medirá el espesor en el momento de la extracción de las muestras de prueba en la plataforma o por nivelación del eje y los bordes antes y después de extendido y compactación de la mezcla.

Se procederá al ensayo de granulometría de la mezcla de los agregados resultantes, la curva granulométrica debe mantenerse continua encuadrándose de dentro de las tolerancias definidas.

• MEDICIÓN

El trabajo realizado de acuerdo a las presentes especificaciones será medido en metros cúbicos de carpeta asfáltica.

3.9 ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VIAL

a) Actividades Comunes

- Recojo de escombros en la pista
- Limpieza de pistas y bermas
- Limpieza de muros y otras estructuras
- Eliminación de acumulación de desperdicios
- Eliminación de desmonte
- Perfilado de áreas libres en Derecho de Vías

b) Pavimentos Asfálticos

- Parchado superficial con Tratamiento Superficial Asfáltico
- Parchado superficial con mezcla en frío
- Parchado superficial con mezcla con emulsión
- Parchado superficial con mezcla en caliente
- Parchado profundo de pavimento flexible con mezcla fría
- Parchado profundo de pavimento flexible con mezcla en caliente + base granular
- Parchado profundo de pavimento flexible con fría + material base
- Parchado profundo de pavimento flexible con mezcla en caliente
- Material adicional para capa de base granular
- Sellado de grietas con asfalto líquido
- Sellado de grietas con mortero asfáltico
- Sellado de superficie asfáltica con riego bituminoso
- Sellado de superficie con lechada asfáltica
- Parchado y recapado superficial asfáltico

c) Bermas

- Bacheo de bermas asfaltadas
- Bacheo de bermas con tratamiento superficial asfáltico
- Bacheo de bermas afirmadas
- Bacheo de bermas de tierra
- Reperfilado y compactación mecanizada de bermas afirmadas
- Reperfilado y compactación mecanizada de bermas de tierra
- Reperfilado y compactación manual de bermas afirmadas
- Reperfilado y compactación manual de bermas de tierra

d) Sardineles

- Resane de sardineles de concreto
- Reconstrucción de sardineles de concreto
- Realineamiento de sardineles de piedra o bloques
- Reconstrucción de sardineles de piedra o bloques
- Resane de sardineles de mezcla asfáltica
- Reconstrucción de sardineles de mezcla asfáltica

e) Veredas y Separadores

- Resane de veredas de concreto
- Resane de veredas de mezcla asfáltica
- Resane de veredas afirmadas
- Reconstrucción de veredas de concreto
- Reconstrucción de veredas de mezcla asfáltica
- Reconstrucción de veredas afirmadas

f) Jardines

- Desbroce y eliminación de malezas
- Corte de césped
- Poda de arbustos
- Poda de arboles
- Resembrado de césped
- Resembrado de arbustos
- Riego con aguas corrientes
- Riego con camión cisterna
- Riego por instalaciones permanentes

g) Señalización y Semaforización

- Limpieza de señales verticales de un poste
- Limpieza de señales verticales de dos postes
- Limpieza de señales verticales colgantes
- Reposición de señales verticales de un poste
- Reposición de señales verticales de dos postes
- Reposición de señales verticales colgantes
- Repintado de sardineles
- Repintado de línea de tránsito
- Repintado de señalización de muros y guardarrieles
- Reposición de balizadores verticales
- Reposición de ojos de gato
- Reposición de barretas e hitos
- Limpieza de semáforos

- Reposición de focos de semáforos
- Repintado de semáforos
- Reposición de casetas de tránsito
- Reparación y pintado de casetas de tránsito

h) Drenajes

- Limpieza de cauces abiertos
- Limpieza de alcantarillas
- Limpieza de drenes y sumideros
- Resane de revestimiento de acequias
- Reparación de rejillas de sumideros
- Eliminación de aguas empozadas

i) Estructuras y Puentes

- Limpieza de muros
- Limpieza de juntas en puentes
- Limpieza de mecanismos de asiento en puentes
- Limpieza de elementos estructurales
- Limpieza de elementos de iluminación
- Resane de muros de concreto
- Reconstrucción de muros de piedra
- Reparaciones superficiales de losas de puentes
- Reparaciones de barandas metálicas
- Pintura de superficies de concreto y albañilería
- Pintura de superficies metálicas

j) Otros

- Reparación de guardavías
- Reparación de mallas de seguridad
- Nivelación de buzones
- Colocación provisional de tapas de buzones
- Nivelación de adoquines o bloques de concreto

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El método PCI que nos permite realizar una cuantificación precisa de las diferentes fallas que puedan presentarse permitiendo obtener valores más precisos. Es ampliamente recomendado y utilizado en varios países del mundo.
- ✓ El método PSI tiene como desventaja el no tomar la totalidad de fallas que pueden presentarse en un pavimento flexible, dependiendo así de la experiencia del evaluador, ya que las fallas no pueden ser medidas o cuantificadas.
- ✓ El método IRI tiene como desventaja el basarse sólo en un ahuellamiento y rugosidad notable, necesitando de equipos modernos para tener un avance aceptable durante un tiempo determinado.
- ✓ Se utilizó el método PCI para nuestro estudio ya que esta estandarizado en las normas ASTM y toma en cuenta la variedad de fallas que se presentaron.
- ✓ El uso del software informático *UnalPCIA 2.0* acorta el tiempo de cálculo para hallar los valores PCI, aprovechando de esta manera el avance tecnológico presente en nuestros días.
- ✓ La recopilación de información necesaria del tramo en estudio ayudó a determinar las posibles causas a las que se debe cada una de las fallas presentadas.
- ✓ La consulta de experiencias a ingenieros idóneos en este tema, hizo que planteemos soluciones viables y perdurables en el tiempo.
- ✓ La gran facilidad y bajo costo de los cantos rodados el Gobierno Municipal opta por la realización de pavimentos flexibles con base de empedrado, pero dicho pavimento no cumple con las expectativas para condiciones de tráfico variado y alto, como es nuestro caso.
- ✓ Las vías urbanas que cuentan con jardineras centrales, si no son ejecutadas debidamente, causan la infiltración de agua hacia la estructura del pavimento, que luego se refleja en su superficie.
- ✓ Se consideró conveniente dividir el total del tramo de aplicación, en subtramos más pequeños, ya que el paquete estructural fue construido con diferente calidad de materiales a lo largo del tramo.

- ✓ La entidad encargada debe analizar si es conveniente realizar la rehabilitación por subtramos o para el tramo total. El costo económico se presenta de manera individual para cada subtramo, debido a que los subtramos 1 y 3 están en buenas condiciones, el subtramo 2 y 4 se encuentra en muy malas condiciones.
- ✓ El mantenimiento adecuado y programado de las vías urbanas significa garantizar el periodo de vida útil con seguridad, confort y una buena inversión de recursos económicos.
- ✓ La refacción oportuna a las fallas que se presentan en el pavimento hace que se destinen menores recursos económicos, sucede lo contrario si dejamos que las fallas aumenten de severidad, llegando a comprometer al paquete estructural, lo cual significa destinar mayores recursos económicos para su rehabilitación.
- ✓ Se plantean actividades de mantenimiento que se deben seguir de manera programada para garantizar el normal tránsito de vehículos
- ✓ Se presentan los resultados más importantes, obtenidos en el presente trabajo:

Figura 4.1 Resumen de las actividades realizadas

Actividad	Subtramo 1	Subtramo 2	Subtramo 3	Subtramo 4
Valor PCI	73.65	27.50	81.75	25.90
Condición del Pavimento	Muy Bueno	Malo	Muy Bueno	Malo
Fallas más Frecuentes	1) Desprendimiento de agregados (L, M). 2) Parche y acometidas (M). 3) Piel de cocodrilo (L) 4) Depresión (M)	1) Desprendimiento de agregados (M). 2) Parche y acometidas (L, M, H). 3) Piel de cocodrilo (M, H). 4) Corrugación (L, M).	1) Desprendimiento de agregados (L). 2) Parche y acometidas (L). 3) Piel de cocodrilo (L)	1) Desprendimiento de agregados (L, M). 3) Piel de cocodrilo (M, H). 4) Ahuellamiento (L)
Actividad de Rehabilitación	Mantenimiento	Construcción	Mantenimiento	Construcción
Costo de Rehabilitación	26,240.37 Bs.	151,221.44 Bs.	27,942.74 Bs.	300,900.00 Bs.
Ancho de Calzada	7.30 m	7.50 m	7.50 m	10.00 m
Distancia Total (Σ calzadas)	480.00 m.	382.00 m.	697.00 m.	300.00 m.
Costo Total	506,304.55 Bs.			
Longitud Total	1859.00 m.			
Tiempo de Rehabilitación	17.00 días calendario			

Fuente: Elaboración propia

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Analizar y estudiar las principales características de los diferentes métodos que existen para la evaluación de pavimentos flexibles, para que después de una detenida inspección del tramo podamos seleccionar satisfactoriamente cuál es el método que responde mejor a nuestra situación.
- ✓ Apoyándonos en la variedad de bibliografía existente el método PCI es el más recomendable para nuestro caso ya que fue desarrollado por el Cuerpo de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, habiendo sido estandarizada y publicada por la norma ASTM 6433, teniendo como una de sus principales ventajas el poder ver, cuantificar y medir la totalidad de fallas que se pueden presentar en un pavimento flexible.
- ✓ Para realizar la cuantificación de fallas, es recomendable hacerlo preferentemente alrededor del medio día y fines de semana, para poder realizar las mediciones con calma, ya que en estos tiempos el flujo de tránsito de vehículos disminuye considerablemente.
- ✓ Al momento de ir a realizar las mediciones se deben llevar artículos de seguridad, mínimamente casco y chaleco vistoso fluorescente. En el caso de no contar con éstos, se debe vestir ropa vistosa para evitar accidentes de tránsito.
- ✓ Se debe aprovechar al máximo los artículos de tecnología existentes, que para nuestro caso fue un software desarrollado por el Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad Nacional de Colombia, el cual estandariza y acorta el tiempo para hallar los valores del PCI.
- ✓ Cualquier software antes de ser utilizado debe ser verificado con la realización Manual del Problema y comparando entre si los resultados arrojados de cada uno, para nuestro caso se hizo la verificación con los datos recopilados de otro tramo de la ciudad.
- ✓ Debida a nuestra poca experiencia laboral, es necesario apoyar nuestras bibliografías con experiencias de ingenieros dedicados a este tema, para poder presentar soluciones reales y perdurables en el tiempo.

- ✓ Debido la constante variación de los productos destinados a la rehabilitación de pavimentos es recomendable tener los precios o costos, lo más actualizado posible, para poder presentar costos más cercano a la realidad actual.
- ✓ No siempre el uso de canto rodado como base para un pavimento flexible es recomendado, ya que al principio puede resultar más económico por la gran disponibilidad de los materiales y mano de obra, pero con el transcurrir del tiempo, se va deteriorando más rápido por el aumento de circulación de vehículos por la vía.
- ✓ Al momento de ejecutar las jardineras centrales de las vías, es necesario que antes se realicen algunos tratamientos especiales o la colocación de subdrenes, para que el exceso de agua no se infiltre y vayan a dañar el paquete estructural de la calzada adyacente a ella.
- ✓ Para futuras ejecuciones de vías urbanas, se recomienda que estas cuenten con todo un paquete estructural bien elaborado para garantizar que éste cumpla con su periodo de vida útil para el que fue diseñado. Al principio puede parecer caro en comparación de otro con base de empedrado, pero al transcurrir del tiempo el pavimento flexible con todo su paquete estructural responde mejor al creciente aumento del parque automotor.
- ✓ 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.
- ✓ Utilizar buena calidad de agregados en la conformación de las diferentes capas del pavimento, así como un buen control y ejecución de la obra, garantiza un trabajo eficiente que cumpla con todas las especificaciones para la que fue diseñado.
- ✓ Es muy importante que la entidad ejecutora de las vías urbanas (en este caso la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija), cuente con un banco de datos serio y organizado que puedan estar a la disposición de personas o estudiantes universitarios, que quieran analizar la situación y estado de la vía para poder plantear soluciones que pueden ser adoptadas por la institución.
- ✓ La entidad ejecutora debe implementar proyectos de gestión y mantenimiento del estado de conservación de sus pavimentos para lograr obtener vías urbanas confortables para los usuarios.

- ✓ Los costos de mantenimiento rutinario y periódico deben ser presupuestados e incorporados dentro del presupuesto inicial de los proyectos destinados a la construcción de vías para, así llegado el momento, se cuenten con todos los recursos económicos necesarios para realizar las diferentes actividades programadas.