

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Para evitar el deterioro de los pavimentos se establecen procedimientos de administración vial, capaces de generar un completo control en cuanto a mantenimiento y rehabilitación. Con el fin de realizar dichos procesos, se establecen estrategias que permitan identificar el problema, determinar el estado de la vía y consecuentemente proponer el tipo de tratamiento requerido. Lo ideal sería que no se realizaran actividades de rehabilitación, sino que a través de actividades previas de supervisión, se ejecutara un mantenimiento preventivo que garantice el buen estado de los pavimentos.

Las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras del pavimento son de vital importancia a lo largo de su vida útil, ya que éstas se van deteriorando con el tiempo y con el tránsito. El objetivo de la administración de pavimentos es la preservación de la inversión inicial, mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la vida del pavimento.

El mantenimiento y rehabilitación cubren un rango de actividades bastante extenso, que varía desde la corrección de defectos superficiales para mejorar la calidad de la circulación vehicular, hasta las operaciones de reconstrucciones, destinadas a recuperar totalmente la capacidad estructural de la calzada. Debe considerarse que un Sistema de Administración de Pavimentos, como todo sistema de administración, está fundamentado en un ciclo que comprende las siguientes etapas:

- ☞ Planeación.
- ☞ Programación.
- ☞ Ejecución y Control.
- ☞ Evaluación de Resultados / Retroalimentación.

Administrar los Pavimentos es una disciplina que engloba todas las actividades involucradas en la planeación, diseño, construcción, evaluación y conservación de los pavimentos de una red de carreteras. Por lo anterior, esta Administración de Pavimentos constituye una de las funciones más importantes para cualquier entidad responsable del desarrollo y el mantenimiento de una infraestructura vial.

Este trabajo está dirigido a todas las personas interesadas sobre el tema, pero especialmente a los funcionarios públicos y técnicos responsables de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos e infraestructura vial, esperando que con la divulgación de lo presentado en este documento, se logre la eficiencia en la vida útil del sistema vial.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los pavimentos tienen que sostener una operación y ésta representa, si se toman en cuenta todos los costos involucrados, valores económicos muy superiores a lo que costó construir y conservar los pavimentos. Una vez construidos los pavimentos, ya enfocados en el tramo central de este trabajo, deben conservarse y estar en funcionamiento, cumpliendo así sus fines de propiciar un óptimo transporte. Conservarse, no quiere decir tenerlos siempre flamantes como el día de su estreno, conservar un pavimento, quiere decir mantenerlo durante su vida útil con la misma calidad de servicio, haciendo frente a una demanda, sin duda, cada vez más creciente.

En el País, aún no se cuenta con las herramientas que puedan ayudar a predecir con precisión el tiempo correcto de aplicación de los tratamientos adecuados de conservación. A menudo, debido a los presupuestos limitados, no tomamos ninguna acción, lo cual incrementa el deterioro del pavimento. Lo que sí conocemos es el progreso de las fallas en los pavimentos, cuáles son y cuándo es demasiado tarde para la aplicación de tratamientos de mantenimiento preventivo.

Al disponer de un programa de conservación de pavimentos bien estructurado, se ahorra dinero a largo plazo y este servicio es siempre bien recibido por los usuarios, quienes, como contribuyentes de impuestos, proveen los fondos monetarios a las entidades gubernamentales.

Además, entre los beneficios de contar con un proceso estructurado de administración de pavimentos están el uso adecuado de los recursos disponibles y una mayor habilidad para justificar y asegurar un mayor financiamiento para las actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

Dicho de otra manera, el sistema para la administración de pavimentos propone hacer un uso efectivo de los recursos económicos limitados, al identificar correctamente las fallas de los pavimentos a ser tratados; para lo cual emplea tratamientos correctos en el tiempo indicado y por la selección del pavimento adecuado. Claro está que esta consigna implica mayores investigaciones y conocimientos del desempeño de los pavimentos.

Cabe señalar que en el país no contamos con la suficiente experiencia sobre programas de conservación y mantenimiento vial. Los responsables de administrar la infraestructura del país deben mirar hacia el futuro; por lo que será de vital importancia el contar con vialidades cómodas, seguras y durables que contribuyan al progreso social.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

La infraestructura de pavimentos es básica para el desarrollo de cualquier país; por lo que debe dársele la importancia que merece, tanto a la planeación y construcción, como al mantenimiento. Sin embargo, en el departamento de Tarija, la infraestructura vial se

ha construido de acuerdo a las necesidades que el mismo crecimiento va exigiendo, con una planeación deficiente, dando soluciones que únicamente satisfacen los requerimientos a corto plazo. De esta forma, a medida que el tiempo transcurre, se vuelve insuficiente, traduciéndose en incrementos de costos tanto para los usuarios como para el gobierno departamental y municipal, al realizar trabajos de mantenimiento o reforzamiento para corregir las anomalías de los pavimentos.

Las deficiencias conciernen un poco a la parte constructiva, pero principalmente a la parte administrativa; la carencia de programas de mantenimiento y la falta de recursos económicos, no han permitido tener una infraestructura vial que satisfaga las necesidades de un departamento en vías de desarrollo.

La infraestructura vial del departamento de Tarija requiere de un mantenimiento constante, aunque actualmente tanto el gobierno departamental y municipal están más preocupados por la construcción de nuevas vialidades que ayuden a solucionar las necesidades actuales de crecimiento del departamento.

Normalmente se piensa en atender los efectos que puedan tener los procesos constructivos sobre la condición de la infraestructura vial. Sin embargo haciendo un análisis causa-efecto, se decidirá enfocarse en otras causas que originan la problemática que afectan a la infraestructura vial, como el de una mejor administración y asignación de los recursos disponibles.

1.3.2. Problema

¿Con la aplicación del sistema de administración SAP, se podrá implementar planes de conservación y mantenimiento para la infraestructura vial del Departamento de Tarija?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Plantear un Sistema de Administración de Pavimentos en base a la metodología EXPEAR para su aplicación en la evaluación de pavimentos de nuestro medio en la red Fundamental, Departamental y Municipal del Departamento de Tarija, de manera que pueda establecerse las acciones para mantener las condiciones del pavimento y los costos que estas acciones representan.

1.4.2. Objetivos específicos

- ☞ Describir los conceptos, fundamentos sobre los elementos y componentes de los pavimentos, además de sus propiedades y sus características.
- ☞ Describir los procedimientos y acciones propuestas para llevar a cabo la aplicación del sistema de administración de pavimentos.
- ☞ Realizar la evaluación superficial de las condiciones del pavimento de los tramos a ser estudiados.
- ☞ Establecer un sistema metodológico para la administración de pavimentos SAP en base al método EXPEAR que sea aplicable a nuestras condiciones.
- ☞ Establecer las acciones a corto y mediano plazo que se deben ejecutar para mantener las vías en estudio en las condiciones adecuadas.
- ☞ Realizar el análisis de los resultados de la aplicación del sistema de administración SAP.

- ☞ Establecer conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en el estudio de aplicación.

1.5. MEDIOS Y METODOLOGÍA

1.5.1. Componentes

1.5.1.1. Unidades de estudio

Los pavimentos ubicados dentro del departamento de Tarija.

1.5.1.2. Población

Pavimentos flexibles del departamento de Tarija.

1.5.1.3. Muestra

Para el desarrollo de este trabajo de aplicación, se tomarán 3 tramos de la red Fundamental, 3 tramos de la red Departamental y 3 tramos de la red Municipal.

1.5.1.4. Muestreo

Las carreteras se clasifican en: Red Fundamental, Red Departamental y Red Municipal, en función a esta clasificación se eligen 9 tramos, 3 de cada red con el siguiente criterio:

- a) Carreteras pavimentadas que tengan su inicio en la ciudad de Tarija para los tramos de la Red Fundamental.
- b) Carreteras pavimentadas de la Red Departamental que tengan mayor tráfico.
- c) Carreteras pavimentadas de la Red Municipal que tengan mayor tráfico.

1.5.2. Métodos y técnicas empleadas

1.5.2.1. Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas en función del objeto y los objetivos.

El método para la elaboración del presente trabajo es el sistema de administración SAP.

1.5.2.2. Técnicas del muestreo

Las técnicas en este trabajo de aplicación son documentales y de inspección.

- ☞ Documentales por los documentos bibliográficos a utilizar para la aplicación del sistema de administración SAP.
- ☞ Inspección porque se obtendrá un inventario del estado de los pavimentos.
- ☞ Propuesta de gestión.

1.5.2.3. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos

Los instrumentos a utilizar para la realización del inventariado de los tramos a estudiar son:

- ☞ Wincha
- ☞ Flexómetro
- ☞ Cámara fotográfica
- ☞ Mira y Nivel de ingeniero
- ☞ Planos
- ☞ GPS

1.5.2.4. Procedimientos de aplicación.

Para el desarrollo de la evaluación de pavimentos a través del sistema de administración SAP, los pasos a seguir son los siguientes:

a) Ubicar los tramos a ser estudiados.

En el departamento de Tarija existen, de acuerdo a la clasificación vigente, tres tipos de redes viales: Fundamental, Departamental y Municipal; por lo que cada carretera que pertenece a una red tiene diferente administración, como ser:

- ☞ Red Fundamental administrada por la A.B.C.
- ☞ Red Departamental administrada por el SEDECA.
- ☞ Red Municipal administrado por los MUNICIPIOS.

Por lo que, cada red cuenta con pavimentos administrados por las diferentes instituciones, de los cuales se eligen 3 tramos por red.

b) Definir sus características de los tramos en estudio.

Los tramos de estudio tienen características particulares las cuales deben identificarse en sus aspectos relacionados con el pavimento a administrarse como ser:

- ☞ Longitud del tramo que será medido por planos, odómetro o cinta.
- ☞ Ancho de calzada, carril y berma que será medido por planos o cinta.

c) Hacer un inventario del estado de los pavimentos.

Estado de evaluación superficial se obtendrá realizando estudios de indicadores de estado de IRI, PCI y PSI para catalogar cada tramo en estudio.

d) Aplicar el sistema de administración SAP para los tramos en estudio.

Para plantear una aplicación de un sistema SAP en los tramos de estudio se seguirán los siguientes pasos:

- i. Diagnóstico del tramo de estudio en base a la información obtenida de las características de cada tramo.
- ii. Sistematización del sistema de administración de pavimentos.
 - ☞ Clasificación por tipo de pavimentos
 - ☞ Clasificación por estado de pavimento
 - ☞ Componentes de administración

- Equipos
- Actividades
- ☞ Plan de acción en pavimentos
 - A corto plazo
 - A mediano plazo
- ☞ Plan de inversiones
 - A corto plazo
 - A mediano plazo

Esta sistematización se realizará en planillas excel que faciliten el manejo de base de datos para cada tramo de estudio.

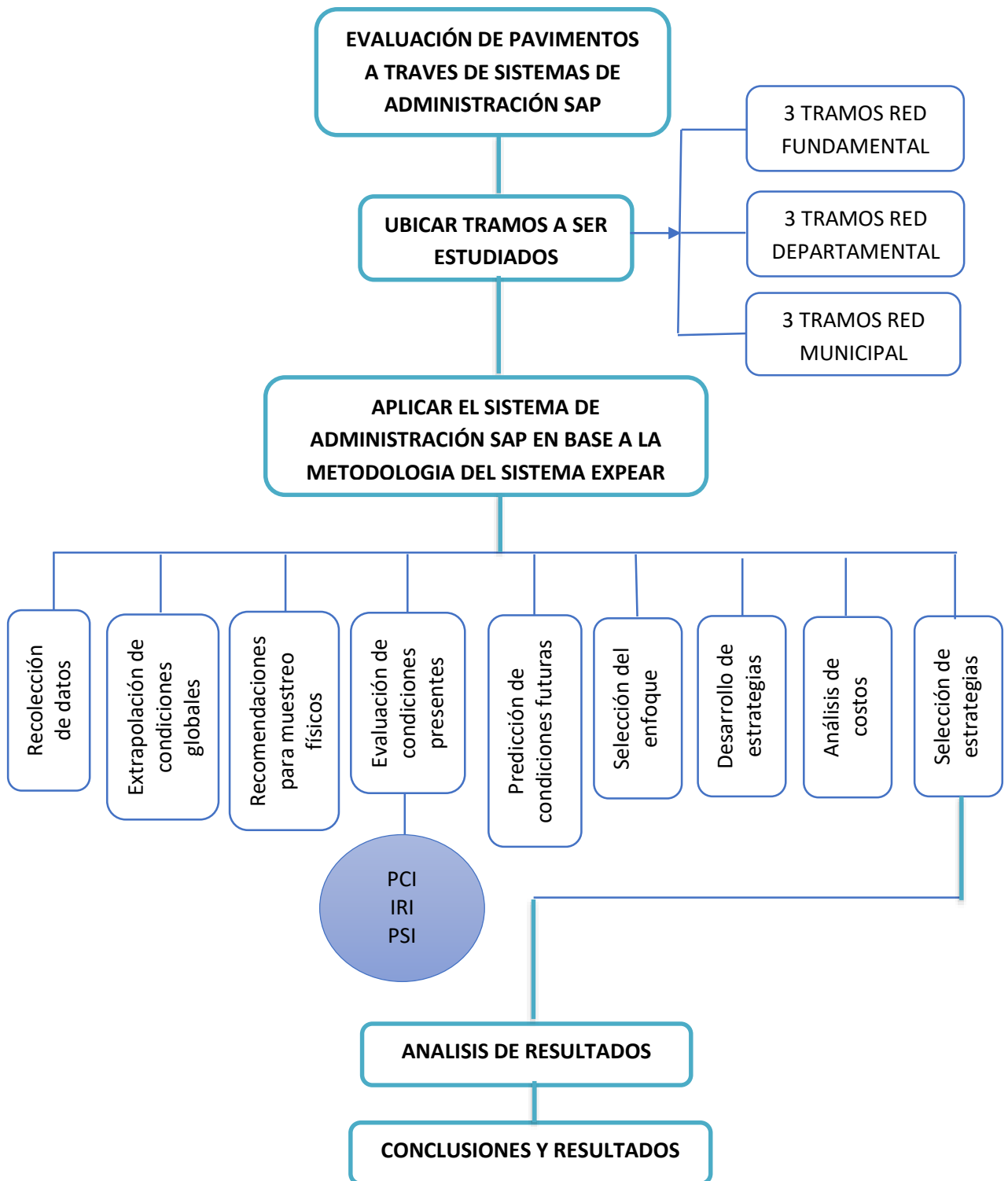
iii. Aplicación a los tramos de estudio.

- ☞ Estado de cada tramo de estudio.
- ☞ Acciones en cada tramo de estudio.
- ☞ Plan de inversiones en cada tramo de estudio.

e) Establecer los resultados que nos brinda el sistema de administración SAP.

f) Realizar un análisis de los resultados.

FLUJOGRAMA



Fuente: Elaboración propia

1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO

Este trabajo de aplicación abarca la evaluación de pavimentos aplicando el Sistema de Administración de Pavimentos en base a la metodología del sistema EXPEAR a una sección de pavimentos flexibles de la red fundamental, red departamental y red municipal dentro del departamento de Tarija. En especial, se aplica sobre tramos de pavimentos en periodo de servicio, algunos de ellos a punto de llegar al final de su vida útil, para que el sistema SAP pueda establecer las acciones de mantenimiento y rehabilitación, y así mantener en buen estado el pavimento, permitiendo operar en condiciones aceptables en beneficio de los usuarios.

El marco teórico incluye aspectos generales referentes a los pavimentos y su desarrollo a lo largo del tiempo, clasificación de los pavimentos, sus características más importantes, definición de conceptos más importantes de un sistema de administración de pavimentos, mantenimiento y conservación de los pavimentos y rehabilitación de los mismos.

Se presentarán los procedimientos y acciones a realizar para la aplicación a través un sistema de administración de pavimentos SAP. También se describirán los procedimientos para llevar a cabo periódicamente la evaluación de la condición global de los pavimentos de una manera expedita y objetiva, mediante la elaboración de un inventario general de condiciones del pavimento; todo enfocado a las necesidades de planeación de las actividades de mantenimiento/rehabilitación.

La aplicación práctica se realizó a tres tramos de la red fundamental, tres tramos de la red departamental y tres tramos de la red municipal dentro del departamento de Tarija, donde se realizará un inventario del estado del pavimento. De modo que, con este proceso se obtendrá información necesaria para la aplicación del sistema de administración SAP a través de la metodología EXPEAR, que consistirá en la planificación de las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de los tramos a ser estudiados.

Finalmente, se presentarán las conclusiones y recomendaciones, donde se buscará responder a los objetivos tanto generales como específicos y por tanto, se tratará de que esta información sirva de la mejor manera posible para llevar a cabo la aplicación del sistema de administración de pavimentos para la red vial del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS

2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento, cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas.¹

2.2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la sub-rasante, sub-base, base, capa de rodamiento; sin embargo, es necesario aclarar que no siempre se encontrarán todas las capas que se detallan. En tales casos, la ausencia de una o varias de ellas dependerá de factores como la capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material a utilizarse, el tipo de pavimento, intensidad de tránsito, carga de diseño, etc.¹



FIGURA 2.1
ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PAVIMENTO

2.2.1. Suelo soportante o sub-rasante

Es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se define como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura del pavimento; es decir, que es el terreno de cimentación del mismo. Puede ser también el suelo natural, pero si éste

es deficiente se debe seleccionar un material de buena calidad. Existen dos condiciones básicas que debe cumplir el suelo de soporte, y son:

- I. Debe mantener el mayor valor posible de soporte, ya que entre más fuerte se considere esta superficie, menor será el costo de las capas superiores.
- II. El movimiento diferencial vertical debe ser mínimo, de esta forma las ondulaciones en la superficie serán menores y el rodamiento vehicular será más suave.¹

2.2.2. Sub-base

Es una capa de materiales pétreos de buena graduación construida sobre la sub-rasante, este elemento subyace a la capa base cuando ésta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. En el caso de los pavimentos rígidos, en ocasiones resulta conveniente colocar una sub-base cuando las especificaciones son más exigentes. Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- I. Atenuar o suavizar aquellas deformaciones perjudiciales para la sub-rasante, como por ejemplo los cambios volumétricos producidos por cambios de humedad, evitando que se reflejen en la superficie del pavimento.
- II. Lograr espesores menores de la capa base para pavimentos flexibles.
- III. Servir de drenaje al pavimento, esto quiere decir que debe ser capaz de desalojar el agua que se infiltra en la capa de rodadura.
- IV. Transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante en forma adecuada.
- V. Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a esfuerzos menores y requiere de especificaciones menos rígidas.¹

2.2.3. Base

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la sub-base. Generalmente se usa en los pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Entre sus funciones tenemos:

- I. Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas.
- II. Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.
- III. Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.
- IV. Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub-base o una sub-rasante.
- V. Reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa (Función económica).¹

2.2.4. Capa de rodamiento

Formada por una o varias capas que se colocan sobre la base, dichas capas consisten en materiales granulares con o sin liga y, por lo general, son de concreto asfáltico o hidráulico. Este es el elemento del pavimento sobre el cual circulan directamente los vehículos y peatones. Las funciones que esta capa debe cumplir son:

- I. Recibir y absorber, en primera instancia, el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.
- II. Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia la terracería.
- III. Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos, aunque esa no sea su función desde el punto de vista estructural.
- IV. Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico.¹

2.3. FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS

El pavimento es el elemento primordial de la infraestructura vial, y como tal debe cumplir una serie de funciones para garantizar un servicio adecuado a los usuarios. Dichas funciones se describen a continuación:

- a) Permitir el tránsito de los vehículos que circulan sobre él, respondiendo en forma adecuada estructuralmente y según lo previsto en la etapa de diseño; esto es especialmente importante para los organismos de conservación vial, ya que de ello depende que las labores de conservación durante el período de servicio del pavimento se lleven a cabo, según una planificación elaborada con base en predicciones confiables.
- b) Mejorar la calidad de la superficie de rodadura, de tal manera, que los usuarios se desplacen de forma segura y cómoda; lo cual se logra mediante una adecuada regularidad superficial tanto transversal como longitudinal, además de proporcionar una buena textura que brinde la resistencia al deslizamiento que se requiere para las velocidades de circulación previstas. Otro factor que también debe considerarse para el confort de los usuarios es el ruido producido por la interacción de las llantas de los vehículos y la superficie del pavimento, el cual se percibe tanto en el interior de los vehículos como en el exterior.
- c) Proteger la sub-rasante de los efectos del clima, evitando así el daño que eventos naturales como la lluvia pueden provocar; lo cual a la larga puede derivar en asentamientos que provoquen incomodidad o inseguridad al tránsito, llegando incluso a producir el colapso total de la estructura.
- d) Reducir la polución por polvo que se produce ante el paso de vehículos sobre caminos de tierra, lo cual afecta la comodidad y la salud tanto de los usuarios como de las personas que habitan en las proximidades.
- e) Delimitar las áreas de circulación de los vehículos con el objetivo de ordenar el tránsito, disminuyendo así la posibilidad de accidentes y retrasos debido a congestionamientos. Para cumplir plenamente con dicha función, los pavimentos deben estar debidamente señalizados, y deben contar con una buena reflexión

luminosa que ayude a la conducción nocturna, minimizando la necesidad de obras de iluminación, esto último para efectos de economía.¹

2.4. TIPOS DE PAVIMENTOS

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse de dos formas:

- a) De acuerdo al material que compone su capa de rodadura y
- b) Según la forma en que la estructura de éstos atiende y transmite las cargas aplicadas sobre su superficie.

Según el material que compone su capa de rodadura, los pavimentos pueden ser:

- ☞ Pavimentos de Tierra.
- ☞ Pavimentos de Piedra.
- ☞ Pavimentos de Adoquines.
- ☞ Pavimentos de Concreto Hidráulico.
- ☞ Pavimentos de Concreto Asfáltico.

Por la forma en que la estructura del pavimento transmite las cargas aplicadas sobre él, éstos se dividen en:

- a) Pavimentos Flexibles.
- b) Pavimentos Rígidos.
- c) Pavimentos Semi-rígidos o Semi-flexibles.¹

2.4.1. Pavimentos flexibles

Una definición de uso común es la siguiente: “Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la sub-rasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión”. De modo que, los pavimentos flexibles comprenden, en primer lugar, a aquellos que están formados por una serie de capas granulares,

rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad y relativamente delgada, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

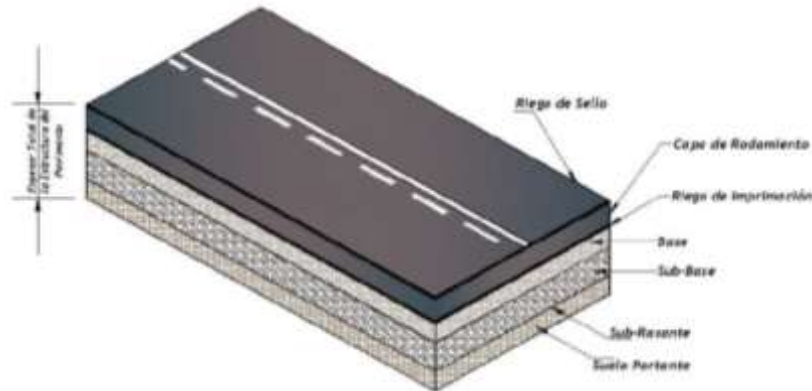


FIGURA 2.2
SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE TÍPICO

El espesor de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico varía grandemente, desde menos de una pulgada, en los tratamientos superficiales usados en caminos de tránsito liviano, hasta seis pulgadas o más de concreto asfáltico usado en caminos destinados al tránsito pesado. La carpeta de rodadura asfáltica puede ser de cuatro tipos:

- ☞ Mezcla asfáltica en caliente.
- ☞ Mezcla asfáltica en frío.
- ☞ Tratamiento superficial simple o múltiple.
- ☞ Macadam asfáltico.¹

a) Mezcla Asfáltica en Caliente.

Está compuesta por agregados gruesos y finos unidos mediante un ligante bituminoso, dichos materiales son procesados en plantas de mezclado especiales, donde son calentados, proporcionados y mezclados para lograr una adecuada homogeneidad.¹

b) Mezcla Asfáltica en Frío.

En su elaboración se emplean los mismos materiales que en las mezclas en caliente, pero en este caso pueden ser procesados a temperatura ambiente. En estas mezclas se pueden utilizar ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. Las mezclas en frío pueden, a su vez, clasificarse como:

- ☞ Mezclas Abiertas
- ☞ Mezclas Densas¹

c) Tratamiento Superficial.

Dentro de esta categoría se tiene todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados, que se hacen sobre cualquier camino de tierra o superficie de pavimento, y cuyo espesor, por lo general, es menor a una pulgada. Los tratamientos superficiales sellan y sirven para prolongar la vida de los caminos, teniendo a la vez propósitos especiales según sea su tipo. Entre los diversos tratamientos existentes podemos mencionar:

- ☞ Tratamiento superficial simple y múltiple.
- ☞ Tratamiento superficial con aplicación única de asfalto.
- ☞ Riego de imprimación.
- ☞ Riego anti polvo.
- ☞ Lechadas asfálticas.
- ☞ Micro aglomerados en frío¹

d) Macadam Asfáltico.

El macadam asfáltico por penetración consiste en una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño, y con los cuales se usa el asfalto como ligante. Se ha empleado como capa superficial en caminos de tránsito medio, ya que en los que están sometidos a tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico.¹

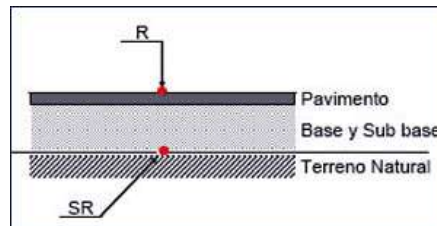
2.4.2. Pavimentos rígidos.

Comúnmente se emplea el término “pavimento rígido” para las superficies de rodamiento construidas con concreto de cemento Portland. Se supone que un pavimento construido con concreto hidráulico posee una considerable resistencia a la flexión, lo cual le permitirá trabajar como una viga tendiendo un puente sobre las pequeñas irregularidades de la sub-base o terracería sobre la cual descansa.

La capa de rodadura de éstos pavimentos la integran una serie de losas que trabajan en conjunto, distribuyendo las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores. Aunque algunas irregularidades menores en las capas de cimentación no se reflejen en la superficie, éstas no son deseables, ya que pueden inducir una falla en el pavimento al ser la causa de cuarteaduras, fracturas, u otros defectos similares.

En teoría, las losas de concreto hidráulico pueden colocarse sobre la sub-rasante; sin embargo, en la práctica es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie.¹

FIGURA 2.3
SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO RÍGIDO



2.4.3. Pavimentos semirrígidos o semiflexibles.

Estos son aquellos en los cuales la rodadura está conformada por dos capas, en el caso de los semirrígidos la inferior está formada por agregados estabilizados con asfalto y la superior con concreto hidráulicos; en cambio en los semiflexibles el orden de las capas se invierte.¹

FIGURA 2.4
PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO

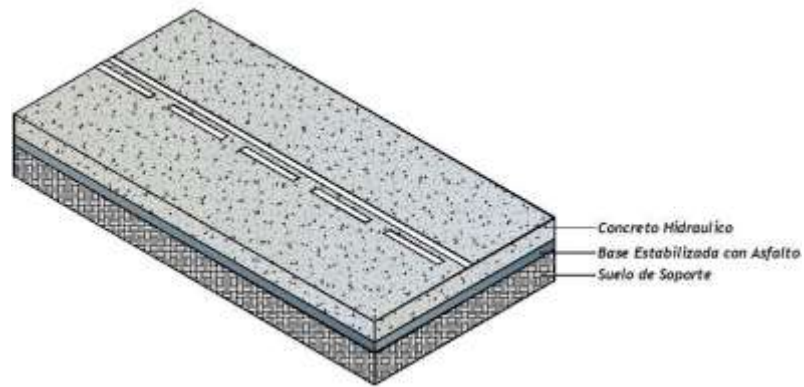
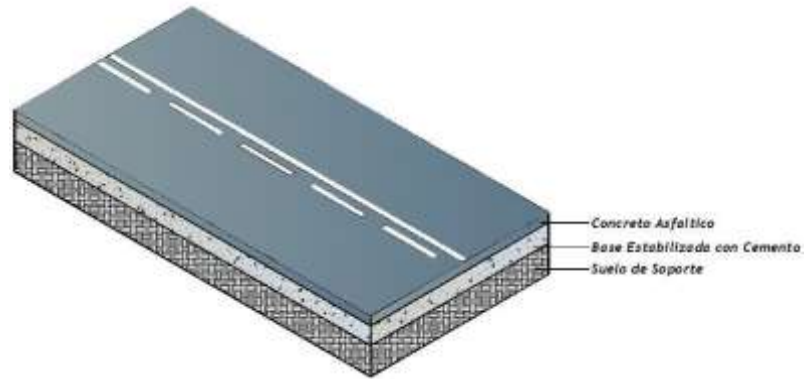


FIGURA 2.5
PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE



2.5. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

El comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil es regido, generalmente, por un ciclo, el cual ha llegado a considerarse como normal debido a la frecuencia con que se presenta. Los indicadores (deterioros del pavimento) de cada una de las etapas de este ciclo son diferentes según el tipo de pavimento; sin embargo, la tendencia en la evolución de la estructura a través del tiempo es común y puede describirse de la siguiente manera:

2.5.1. Etapa de construcción

Un pavimento puede haber tenido una buena construcción o haber presentado algunos defectos durante esta etapa, o finalmente, tanto la etapa de diseño como la de ejecución fueron claramente deficientes. De cualquier forma, cuando la estructura entra en servicio, ésta suele encontrarse en excelentes condiciones, satisfaciendo plenamente las necesidades de los usuarios.

2.5.2. Etapa de deterioro lento y poco visible

Durante algunos años, el pavimento experimenta un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodamiento y, en menor medida, en el resto de su estructura. Este desgaste es producido por los diversos tipos de vehículos que circulan sobre él, también por la influencia que ejercen otros factores como el clima, la radiación solar, el agua de lluvias, cambios de temperatura, etc.

La calidad de la construcción inicial también incide en la evolución del deterioro. A través de toda esta etapa, el pavimento se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado.

2.5.3. Etapa de deterioro acelerado y de quiebre

Luego de varios años de uso, el pavimento entra en una etapa de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito. Al inicio de esta etapa, la estructura básica del pavimento se conserva intacta y las fallas en la superficie son menores, por eso el usuario común tiene la impresión que este se mantiene aún bastante sólido. Sin embargo, no es así, ya que cada vez se pueden observar más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, la cual no es visible. Entonces, podemos asegurar que cuando en la superficie de un pavimento se detectan graves fallas a simple vista, la estructura básica del pavimento está seriamente dañada. Los daños al inicio son puntuales, pero luego se van extendiendo en la mayor parte del pavimento, cuando esto ocurre la destrucción es acelerada; si no se interviene en algún momento durante

esta etapa, el pavimento llega al punto de quiebre en el cual se produce una falla generalizada, tanto en la superficie como en la estructura básica.

A medida que se desarrolla esta etapa, los vehículos circulan experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie, tales como: grietas, baches, depresiones y deformaciones.

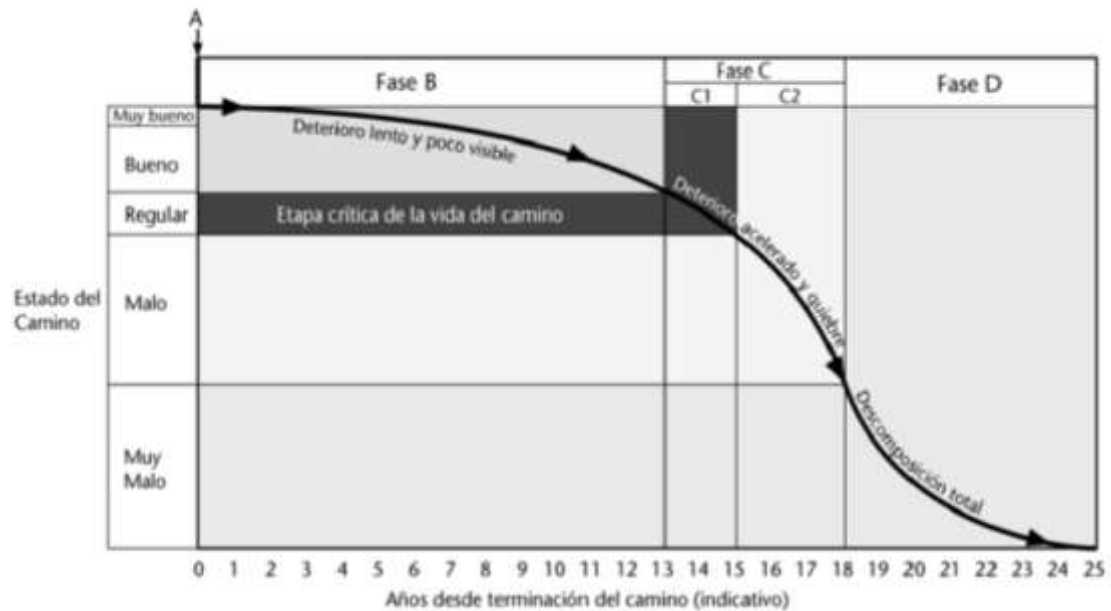
2.5.4. Etapa de descomposición total

Constituye la última etapa de la existencia de un pavimento, y puede durar varios años, lo primero que se observa es la pérdida de la capa de rodadura, ya que cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de ésta, por lo que al final la vía termina siendo un camino de grava, y a la larga, de tierra.

El paso de vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida en un gran porcentaje. Los vehículos comienzan a presentar daños en neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis; los costos de operación vehicular suben de manera considerable y se incrementa la cantidad de accidentes graves. En esta última etapa llega un momento en que ya no pueden transitar los automóviles normales, sólo algunos camiones y vehículos de todoterreno.

Como ya se dijo anteriormente, los detalles del ciclo de vida de los pavimentos varían dependiendo de su tipo, pero en general, el mensaje que debe atenderse es el mismo; y consiste en que las acciones de conservación de cualquier pavimento deben planificarse debidamente de modo que nunca se permita el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.¹

FIGURA 2.6
DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS A TRAVÉS DEL TIEMPO



Fuente: CAMINOS, CEPAL

2.6. DETERIOROS MÁS COMUNES EN LOS PAVIMENTOS

Se entenderá por deterioro de un pavimento como la serie de daños y manifestaciones superficiales de la capa de rodadura que perjudican la condición de circulación segura y confortable, y que a su vez son capaces de incrementar los costos de operación vehicular.

El deterioro de la superficie es cualquier indicación desfavorable del desempeño del pavimento o señales de falla inminente; cualquier desempeño poco satisfactorio de un pavimento se considera una falla.

En lo que se refiere a las posibles causas, únicamente se presenta una indicación del origen de la falla. Siempre será necesario hacer las investigaciones pertinentes de campo, para establecer la causa definitiva del daño. Los avances tecnológicos para realizar actividades de mantenimiento, junto con la utilización de nuevos materiales, obligan a revisar periódicamente los documentos que se relacionen con el mantenimiento vial.

Finalmente, se debe señalar que la meta principal de un programa de mantenimiento no es el de reparar las fallas, mediante mantenimiento rutinario, sino más bien evitar que las fallas ocurran mediante un mantenimiento preventivo.¹

2.6.1. Deformaciones en los pavimentos de concreto asfáltico

Falla tipo 1: Piel de cocodrilo

a) Descripción:

Las fisuras de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de fisuras interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodamiento bajo acción repetida de las cargas de tránsito.

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

FIGURA 2.7: PIEL DE COCODRILO



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Fisuras muy finas, menores de 2 mm de ancho, paralelas con escasa interconexión, dando origen a polígonos de cierta longitud; los bordes de las fisuras no están “descascaradas”, es decir, no presentan pérdida del material a lo largo de sus lados.

Nivel de severidad Medio (M):

Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden estar ligeramente “descascaradas” en correspondencia con las intersecciones.

Nivel de severidad Alto (High): (H)

Red o patrón de fisuras que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y “descascarados” los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el efecto del tránsito.

Medición:

Metros cuadrados (m²) 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.

b) Opciones de reparación:

L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.

M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción.²

Falla tipo 2: Mancha en pavimentos (exudación)

a) Descripción:

La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante y reflectiva que usualmente llega a ser pegajosa.

La exudación puede ser originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sello asfáltico, bajo contenido de vacíos de aire en la mezcla.

FIGURA 2.8: EXUDACIÓN



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): (L)

La mancha ha ocurrido solamente en un grado muy ligero, siendo apreciable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los neumáticos de los vehículos.

Nivel de severidad Medio: (M)

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

Nivel de severidad Alto (High): (H)

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

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada. Si se contabiliza la mancha no deberá contabilizarse el pulimento de agregados.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Se aplica arena / agregados y compactación. Lavado.

H: Se aplica arena / agregados y compactación (precalentando si fuera necesario).
Lavado.²

Falla tipo 3: Fisura de contracción (bloque)

a) Descripción:

Las fisuras en bloque son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares.

Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.30 m a 3.0 m x 3.0 m. Las fisuras en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios.

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.

FIGURA 2.9: FISURA DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Existe una de las siguientes condiciones:

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

Nivel de severidad Medio: M

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Fisura sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm
2. Fisura sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada de fisuras adyacentes pequeñas.
3. Fisuras rellena de cualquier ancho, rodeada de Fisuras adyacentes pequeñas.

Nivel de severidad Alto (High): H

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier fisura rellena o no, rodeada de fisuras adyacentes pequeñas de severidad media o alta.
2. Fisura sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una fisura de cualquier ancho en la cual pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada.

c) Opciones de reparación:

L: Sellado de fisuras con ancho mayor a 3.0 mm Riego de sello.

M: Sellado de fisuras, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre-carpeta.

H: Sellado de fisuras, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobre-carpeta.²

Falla tipo 4: Elevaciones y/o Hundimientos

a) Descripción:

Los **abultamientos** son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Se diferencian de los desplazamientos, pues éstos últimos son causados por pavimentos inestables.

Los abultamientos pueden ser causados por factores tales como:

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento tipo Portland 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.

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

FIGURA 2.10: ELEVACIONES Y/O HUNDIMIENTOS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Medio: M

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Alto (High): H

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

b) Medición:

Metros lineales. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobre-carpeta.²

Falla tipo 5: Corrugaciones

a) Descripción:

La corrugación (también llamada “sartenejas”) 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 combinado con una carpeta o una base inestable.

FIGURA 2.11: CORRUGACIONES



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Medio: M

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Alto (High): H

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.²

Falla tipo 6: Depresiones

a) Descripción:

Son áreas localizadas de la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor.

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.

FIGURA 2.12: DEPRESIONES



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Máxima profundidad de la depresión: 13.0 a 25.0 mm

Nivel de severidad Medio: M

Máxima profundidad de la depresión: 25.0 a 51 mm

Nivel de severidad Alto (High): H

Profundidad de la depresión: Más de 51 mm

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) del área afectada.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.²

Falla tipo 7: Fisura de borde

a) Descripción:

Las fisuras de borde son paralelas y generalmente están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m. del borde exterior del pavimento.

Éste daño puede originarse por debilitamiento debido a condiciones climáticas de la base o de la subrasante en sectores próximos al borde del pavimento, por falta de soporte lateral o por terraplenes construidos con materiales expansivos.

FIGURA 2.13: FISURA DE BORDE



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Grietas de baja severidad sin disgregación.

Nivel de severidad Medio: M

Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de los bordes.

Nivel de severidad Alto (High): H

Considerable rotura de borde y disgregación en las grietas

b) Medición:

La grieta de borde se mide en metros lineales.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Sellado de fisuras con ancho mayor a 3 mm

M: Sellado de fisuras. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.²

Falla tipo 8: Fisuras de reflexión de juntas de losas

a) Descripción:

Daño ocurrido solamente en pavimentos asfálticos contruidos sobre una losa de concreto de cemento tipo Portland. No incluye las grietas de reflexión de otros tipos de base (por ejemplo, estabilizadas con cemento o cal).

Estas fisuras son causadas principalmente por el movimiento de la losa de concreto de cemento tipo Portland, inducido por temperatura o humedad.

FIGURA 2.14: FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS DE LOSAS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Fisuras sin sellar, de ancho menor que 10.0 mm
2. Fisuras selladas de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material de sello).

Nivel de severidad Medio: M

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Fisuras sin sellar, de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm
2. Fisuras sin sellar, de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.
3. Fisuras selladas de cualquier ancho, rodeada de grietas adyacentes pequeñas.

Nivel de severidad Alto (High): H

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier fisura sellada o no, rodeada de fisuras aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Fisuras sin sellar de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una fisura de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

b) Medición:

Metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe registrarse por separado.

c) Opciones de Reparación:

L: Sellado para anchos superiores a 3.0 mm

M: Sellado de fisuras. Parcheo de profundidad parcial.

H: Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.²

Falla tipo 9: Desnivel calzada-hombrillo

a) Descripción:

El desnivel calzada-hombrillo es una diferencia de niveles entre el borde del pavimento y el hombrillo. Éste daño se debe a la erosión o asentamiento del hombrillo o a la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin elevar el nivel del hombrillo.

FIGURA 2.15: DESNIVEL CALZADA-HOMBRILLO



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 25,0 y 51,0 mm

Nivel de severidad Medio: M

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo está entre 51,0 y 102,0 mm

Nivel de severidad Alto (High): H

La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo es mayor de 102,0 mm

b) Medición:

Metros lineales.

c) Opciones de reparación:

L, M, H: Relleno del hombrillo para ajustar al nivel del canal.²

Falla tipo 10: Fisuras longitudinales y transversales

a) Descripción:

Las fisuras longitudinales son paralelas al eje del pavimento y pueden ser causadas por:

1. Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
2. Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al envejecimiento del asfalto.

Las fisuras transversales se extienden a través del pavimento en ángulos aproximadamente rectos al eje del mismo.

Usualmente, este tipo de fisuras no está asociado con carga.

FIGURA 2.16: FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Fisuras sin sellar, de ancho menor que 10.0 mm
2. Fisuras selladas de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material de sello).

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Fisuras sin sellar, de ancho mayor que 10.0 mm
2. Fisuras selladas, de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material de sello).

Nivel de severidad Alto (High): H

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier fisura, sellada o no, rodeada de fisuras adyacentes pequeñas de severidad media o alta.
2. Fisuras sin sellar de más de 76.0 mm de ancho.
3. Una fisura de cualquier ancho; el pavimento alrededor de la misma está severamente fracturado.

b) Medición:

Metros lineales. La longitud y severidad de cada fisura debe registrarse después de su identificación.

Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de la fisura con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Sellado de fisuras de ancho mayor que 3.0 mm

M: Sellado de fisuras.

H: Sellado de fisuras. Parcheo parcial.²

Falla tipo 11: Parcheo y zanjas reparadas

a) Descripción:

Un parche es un área de pavimento la cual ha sido reemplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente.

Un parche se considera un defecto, no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área bacheada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).

FIGURA 2.17: PARCHEO Y ZANJAS REPARADAS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

El parche está en buena condición y es satisfactorio. El efecto sobre la calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

Nivel de severidad Medio: M

El parche está moderadamente deteriorado o el efecto sobre la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

Nivel de severidad Alto (High): H

El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad.

Requiere pronta sustitución.

b) Medición: en metros cuadrados (m²) de área afectada, sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas deben medirse y registrarse de forma separada.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.²

Falla tipo 12: Agregados pulidos

a) 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.

Este tipo de daño se registra cuando el valor de un ensayo de resistencia al deslizamiento es bajo o ha caído significativamente desde una evaluación previa.

FIGURA 2.18: AGREGADOS PULIDOS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

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.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada. Si se contabiliza mancha del pavimento (exudación), no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

c) Opciones de reparación:

Tratamiento superficial. Sobre-carpeta.

Fresado y sobrecarpeta.²

Falla tipo 13: Baches

a) Descripción:

Los baches son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m.

El crecimiento de los baches se acelera por la acumulación de agua de lluvia dentro del mismo. Los baches se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento.

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

FIGURA 2.19: BACHES



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad:

Los niveles de severidad para los baches de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con la tabla siguiente:

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

Si el diámetro del bache es mayor que 762 mm debe medirse el área total del bache en metros cuadrados y dividirla entre (0.47 m²) para hallar el número de baches equivalentes.

Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm los baches se consideran de severidad media.

Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

b) Medición:

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

c) Opciones de reparación:

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

M: Parcheo parcial o profundo.

H: Parcheo profundo.²

Falla tipo 14: Ahuellamientos

a) Descripción:

El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. 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 debido a la carga del tránsito.

Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural considerable del pavimento.

FIGURA 2.20: AHUELLAMIENTOS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Niveles de severidad:

Dependen de la profundidad promedio del ahuellamiento:

L: 6.0 a 13.0 mm

M: >13.0 mm a 25.0 mm

H > 25.0 mm

La profundidad promedio 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 aquel para calcular su profundidad promedio.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada y su severidad está definida por la profundidad media de la huella.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.²

Falla tipo 15: Deformaciones por empuje

a) Descripción:

El desplazamiento es un corrimiento 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.

Los desplazamientos también ocurren cuando pavimentos de concreto asfáltico confinan pavimentos de concreto de cemento tipo Portland. Los defectos asociados a las deformaciones por empuje están asociadas con el grado de afectación de la calidad de rodaje.

FIGURA 2.21: DEFORMACIONES POR EMPUJE



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Medio: M

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Alto (High): H

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada. Las deformaciones que ocurren en parches se consideran para el inventario de daños como parches.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.²

Falla tipo 16: Fisuras de desplazamiento

a) Descripción:

Las fisuras parabólicas por deslizamiento son fisuras en forma de media luna creciente, con sus puntas hacia el sentido del tránsito.

Usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica -entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento de baja resistencia, o de un riego de adherencia excesivo, y en algunas oportunidades pobre.

FIGURA 2.22: FISURAS DE DESPLAZAMIENTO



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Ancho promedio de la fisura menor que 10,0 mm

Nivel de severidad Medio: M

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la fisura entre 10,0 mm y 38,0 mm
2. El área alrededor de la fisura está fracturada en pequeños pedazos ajustados.

Nivel de severidad Alta (High): H

Existe una de las siguientes condiciones:

1. Ancho promedio de la fisura es mayor de 38,0 mm
2. El área alrededor de la fisura está fracturada en pedazos fácilmente removibles.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) y se califica según el nivel de severidad más alto presente en la misma.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M; H: Parcheo parcial (localizado).²

Falla tipo 17: Hinchamientos

a) Descripción:

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento con una onda larga y gradual de longitud mayor de 3,0 m.

El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por suelos potencialmente expansivos.

FIGURA 2.23: HINCHAMIENTOS



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

Un 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 del vehículo.

Nivel de severidad Medio: M

El hinchamiento causa calidad de tránsito de severidad media.

Nivel de severidad alto (High): H

El hinchamiento causa calidad de tránsito de alta severidad.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

H: Reconstrucción.²

Falla tipo 18: Disgregación y desintegración (desprendimiento)

a) Descripción:

La disgregación y desintegración son el desgaste de la superficie del pavimento debido a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado.

Este daño indica que bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable o que la mezcla es de pobre calidad.

Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas.

FIGURA 2.24: DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN (DESPRENDIMIENTO)



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse.

Nivel de severidad medio: 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.

Nivel de severidad alto (High): 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.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

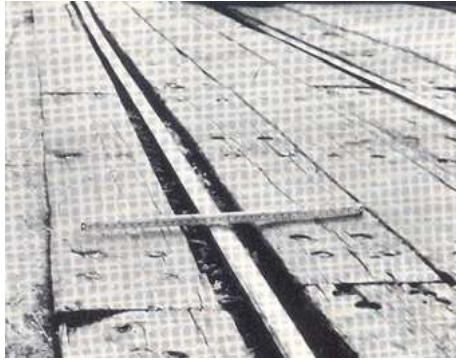
Para los niveles M y H, si el daño es localizado (por ejemplo por derramamiento de aceite) se hace parcheo parcial.²

Falla tipo 19: Cruce de sumideros de rejilla (cruce de rieles)

a) Descripción:

Los defectos asociados al cruce de sumideros de rejilla son depresiones o abultamientos en el plano de contacto entre el pavimento de la calzada y el sumidero, que afectan la calidad de rodaje.

FIGURA 2.25: CRUCE DE SUMIDEROS DE REJILLA (CRUCE DE RIELES)



Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

Nivel de severidad Bajo (Low): L

No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Medio: M

Producen un efecto medio en la calidad de rodaje.

Nivel de severidad Alto (High): H

Producen un efecto negativo muy marcado en la calidad de rodaje.

b) Medición:

Metros cuadrados (m²) de área afectada. Si el acceso no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse.

c) Opciones de reparación:

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial del cruce. Nivelación total del pavimento.

H: Parcheo superficial o parcial del cruce. Nivelación total del pavimento.²

2.7. CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

Se entiende por conservación de pavimentos al conjunto de trabajos necesarios para mantenerlos en condiciones aceptables de transitabilidad, procurando que su superficie de rodamiento mantenga la geometría adecuada, así como la rugosidad deseable y grado de impermeabilidad especificado, sin descuidar la estabilidad del conjunto de capas que forman el pavimento.

La estrategia de conservación (trabajos a realizar y momento para su realización) constituye una parte integral del diseño del pavimento, que en ningún caso puede ser olvidada.

Los trabajos de conservación o (mantenimiento) se divide en tres partes: conservación rutinaria, conservación periódica, extraordinario o rehabilitación y de emergencia

Un esquema de conservación o mantenimiento efectivo debe garantizar:

- a) Adecuada conservación a costo razonable.
- b) Programas a largo plazo para el mantenimiento de los pavimentos.
- c) Optimización de costos y beneficios del sistema.
- d) Uso adecuado de los recursos disponibles de acuerdo a prioridades.
- e) Control permanente de los efectos sobre el medio ambiente ocasionados por las actividades de preservación.
- f) Registro y análisis de los resultados obtenidos de las obras de conservación para verificar su efectividad.

2.7.1. Mantenimiento rutinario o preventivo

Se realiza periódicamente y permite mantener la utilidad del camino a lo largo de su vida de servicio.

Su ejecución es de un mínimo de dos veces cada año.

Participación exclusiva de mano de obra no calificada realizada por la comunidad.

Las actividades a realizar dentro del **mantenimiento rutinario** son las siguientes:

- ☞ Limpieza de cunetas
- ☞ Limpieza de alcantarillas
- ☞ Limpieza de derrumbes menores

- ☞ Desbroce de las cunetas y áreas laterales
- ☞ Reparación de la señalización vertical
- ☞ Limpieza de los desfuegos de los puentes
- ☞ Limpieza de los elementos derramados sobre la vía (Calzada)
- ☞ Repintado de la señalización horizontal
- ☞ Rellenado de Baches en la vía

Las actividades a ejecutar dentro del **mantenimiento preventivo**, generalmente, antes de la época de mayor precipitación pluvial, son las siguientes:

- ☞ Limpieza de cunetas
- ☞ Limpieza de alcantarillas
- ☞ Limpieza de las pilas de los puentes
- ☞ Dragado de los ríos
- ☞ Limpieza de las torrenteras

2.7.2. Mantenimiento periódico o correctivo

Son obras destinadas a impedir el deterioro de las capas inferiores del pavimento y se realiza en función del daño observado en el camino. Cuando se realiza el mantenimiento periódico no se hace el rutinario.

Es efectuado una vez al año y comprende la reposición de capa de rodadura hasta un 25 % del total del proyecto, la conformación del proyecto, y la reparación de obras de drenaje. Esta actividad se realiza durante dos años continuos y al tercer año se debe realizar una rehabilitación.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Reconformación de la plataforma
- ☞ Sellado asfáltico
- ☞ Capa de refuerzo asfáltico
- ☞ Reposición de ripio

- ☞ Perfilado y nivelado
- ☞ Construcción de drenaje longitudinal y transversal.
- ☞ Colocación de señalización vertical y horizontal.

2.7.3. Extraordinario o rehabilitación de los pavimentos

Se realiza cuando el estado del camino muestra un deterioro que excede lo programado, de acuerdo a su vida de diseño, comprende la reposición total de la capa de rodadura del proyecto, construcción y reparación de obras de drenaje. Esta actividad se realiza cada tres años y cuando se efectúa la rehabilitación no se da mantenimiento correctivo.

Corresponde a un trabajo de mayor complejidad y se utiliza maquinaria para gran parte de los trabajos, en este caso la comunidad proporciona un apoyo indirecto al trabajo de maquinaria y su participación es similar a la realizada durante la ejecución de un camino nuevo: Apoyo al abastecimiento de material, construcción de nuevas alcantarillas o su reconstrucción, construcción de cabezales y construcción de cunetas.

2.7.4. Mantenimiento de emergencia

Es aquel que se realiza durante la época de precipitaciones pluviales, ya que en este periodo pueden presentarse casos de emergencia.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Limpieza de derrumbes
- ☞ Reposición de la plataforma
- ☞ Construcción de variantes
- ☞ Estabilización de taludes

2.7.5. Técnicas de conservación en pavimentos flexibles

2.7.5.1. Sello

El objetivo fundamental de los sellos es alargar la vida útil de los pavimentos flexibles, sellar fisuras, grietas (para impermeabilizar la superficie) y aumentar la rugosidad de la superficie de rodamiento y protegerlo del intemperismo para evitar que avance el envejecimiento.

Los principales tipos de sellos son los siguientes:

a) Mortero asfáltico (Slurry seal).

El sello de lechada asfáltica o mortero asfáltico (Slurry seal), es un tratamiento superficial a base de agregados pétreos graduado, emulsión asfáltica, cal o cemento y agua que tiene por objeto alargar la vida útil de los pavimentos, sellando o taponeando grietas (capas delgadas), así como también el proporcionar superficies de desgaste y antiderrapantes (capas gruesas de 6 a 9 mm).

Este mortero asfáltico tiene la característica de ser un semifluido de baja tensión superficial que penetra en la grietas de la superficie de rodamiento sellándola y evitando el paso del agua a las capas inferiores de la misma.

El sello debe formar además una capa protectora de la carpeta asfáltica que la preserve de la oxidación y le proporcione una superficie antiderrapante. Por su composición, este tipo de tratamiento no presenta, en general, desprendimientos de agregados pétreos evitando que se levante polvo, se azolven los drenajes, etc. El mortero asfáltico como todos los tratamientos superficiales al formar capas de espesores pequeños (3 a 9 mm) prácticamente no aumenta la resistencia estructural de los pavimentos sobre los que se aplica.

Ventajas y beneficios del mortero asfáltico.

- ☞ Sistema versátil para tratamiento superficial del pavimento debido a su habilidad para depositar una mezcla bituminosa durable de acuerdo con las

demandas de distintas texturas superficiales, llenado y sellado de grietas y baches.

- ☞ Efectivo por su bajo costo en cuanto a la aplicación, reduciendo los tiempos de reparación y solución económica para el problema de conservación de pavimentos.
- ☞ Alarga la vida del pavimento existente al protegerlo contra la oxidación por intemperismo y deterioración por pérdida de aceites, pérdida de los agregados y envejecimiento.
- ☞ Proporciona una superficie durable, para todo clima, sin polvo y escurrimientos.
- ☞ Rápida aplicación al dejar lista la nueva superficie para usarse en pocas horas después del tratamiento.
- ☞ Corrige los problemas existentes en pavimentos envejecidos como: agrietamientos, deslizamientos, pérdidas de cuerpo, incremento en la permeabilidad, pulido de la superficie sin dejar agregados sueltos, además de ser aplicados sin necesidad de un riego de taponamiento o rodillado.
- ☞ Excelente adherencia a la superficie tratada y se trabaja en frío.

b) Carpeta de graduación abierta (Open Graded).

La carpeta de granulometría abierta (Open Graded) tiene por objeto el proporcionar superficies de desgaste o sellos, además es una capa drenante por su empleo en climas lluviosos, ya que por su textura evita que se produzcan efectos como el acuaplaneo. Por otro lado, este tipo de carpeta, altamente porosa, facilita el contacto de los neumáticos con el pavimento, ya sea en condiciones lluviosas o en presencia de agua sobre la superficie de rodamiento, además proporciona una carpeta antirruido, conservando la resistencia a la deformación plástica y al agrietamiento por fatiga.

Ventajas al emplear las carpetas de granulometría abierta.

- ☞ Mantiene elevada resistencia al deslizamiento, bajo lluvia elimina o reduce considerablemente la posibilidad de que se presente el fenómeno de hidroplaneo.

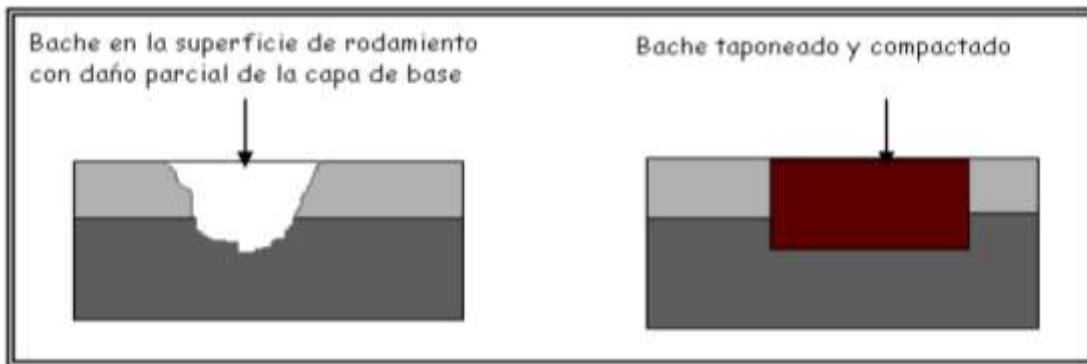
- ☞ Permite el drenaje superficial del agua de lluvia.
- ☞ Mejora la velocidad con el pavimento mojado.
- ☞ Se incrementa ligeramente el valor estructural del pavimento, por el adecuado comportamiento mecánico de la capa de rodamiento.
- ☞ Se tienen beneficios para el usuario, en cuanto a visibilidad, seguridad, comodidad durante la lluvia.
- ☞ Menor generación de ruido por el tránsito de los vehículos.

2.7.5.2. Bacheo

Este trabajo es parte del mantenimiento dentro de la conservación de los pavimentos, pudiendo dividirse en superficial y profundo; el primero corresponde a trabajos de corrección de fallas de la carpeta y el segundo corresponde a corregir áreas débiles. Para ambos casos, la forma de resolver este tipo de problema es el cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Así, se puede rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura del pavimento mediante capas debidamente compactadas.

Las paredes de la caja deben hacerse verticales y dos de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior de relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal.

FIGURA 2.26 REPARACIÓN DE BACHES (bacheo)



Fuente: Diego Flores Sánchez, “Construcción, conservación y recuperación de pavimentos en la Ciudad de México”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, México, 2001, pág. 171.

Si los baches se manifiestan en zonas de cortes, es conveniente revisar y corregir previamente las deficiencias de drenaje. Este trabajo es un requisito indispensable en la reparación de un pavimento, siendo uno de los deterioros a solucionar, para después proceder a la ejecución del siguiente trabajo, ésta es una cuestión referente a la conservación de un pavimento.

2.7.6. Técnicas de rehabilitación en pavimentos flexibles

2.7.6.1. Reciclado de pavimentos

Son las técnicas que permiten reutilizar (para su rehabilitación) los materiales existentes de pavimentos deteriorados. La finalidad técnica de un reciclado de pavimento es la de restituir las propiedades de las capas que se cortan y reutilizan o incluso mejorarlas. Estas propiedades son básicamente:

- ☞ La capacidad estructural, vinculada a la resistencia mecánica (estabilidad).
- ☞ La resistencia a la acción del agua.
- ☞ La resistencia a la fatiga, parcial o totalmente consumida en el material original.

El reciclado de pavimentos es una técnica de rehabilitación, que puede usarse en todo tipo de pavimentos, desde los pavimentos flexibles a los rígidos, aunque suele

emplearse principalmente en pavimentos flexibles. El campo de aplicación es enorme y va desde el reciclado de carpetas asfálticas con problemas de envejecimiento, hasta el reciclado de capas importantes de bases granulares y carpetas con problemas estructurales, pudiendo formar parte de un proceso de reconstrucción.

Atendiendo al objetivo de la rehabilitación podemos clasificarlos en:

Tipo I. Reciclado de carpetas asfálticas, como un proceso de renovación y regularización superficial.

Tipo II. Reciclado de la carpeta y parte de la base granular, con incorporación posterior de una capa asfáltica de poco espesor, como un proceso de refuerzo ligero.

Tipo III. Reciclado total de la carpeta y la base granular, creando una capa de base de alta calidad y posterior acabado con carpeta asfáltica, lo que constituye una gran rehabilitación y reconstrucción.

2.7.6.1.1. Renivelación de carpetas

Perfilado o fresado en frío en pavimentos, es un concepto desarrollado dentro del campo de la construcción de calles y carreteras de la infraestructura vial, ofrece alternativas económicas contra el alto costo de rehabilitación de pavimentos, este se emplea cuando la superficie de rodamiento se encuentra desgastada o dañada, teniéndose aún las condiciones en las capas inferiores.

El fresado o perfilado consiste en la remoción del pavimento existente por medio de un método controlado automáticamente a una profundidad deseada, con un equipo diseñado especialmente para este trabajo y restaurando la superficie nueva a un nivel y bombeo especificado.

Ventajas del perfilado.

- ☞ **Conveniencia para el público.** El fresado en frío puede realizarse rápidamente sin obstrucción del flujo de tráfico.
- ☞ **Seguridad y limpieza.** El fresado en frío es un sistema sano de rehabilitación de pavimentos en donde no se requiere de obstrucciones u obstáculos peligrosos dentro de la obra. El sistema es relativamente libre de contaminación, el proceso no genera humo y la cantidad pequeña de polvo se puede controlar fácilmente.
- ☞ **Eficiencia.** Este proceso se puede enfocar directamente al problema del pavimento asfáltico o concreto hidráulico, el cual puede corregirse sin tener que gastar tiempo y dinero en las capas estructurales adyacentes como base o subbases e igualmente sin interrumpir el diseño geométrico del tramo.
- ☞ **Versatilidad.** El método de fresado no está limitado a autopistas o supercarreteras. Existe una gran gama de fresadoras las cuales hacen accesible este método para fresado en frío en áreas urbanas o metropolitanas, comunidades pequeñas, igualmente para dependencias federales y dependencias estatales.

2.7.6.2. Sobrecarpetas

La sobrecarpeta es una técnica de rehabilitación recomendada para pavimentos deteriorados, la corrección de fallas funcionales, así como también para reforzar un pavimento estructuralmente con problemas en la base o carpeta, el cual debe adecuarse a un volumen de tránsito mayor. Esta técnica es conveniente para solucionar problemas de fatiga, rehabilitación de carpetas envejecidas y, en ciertos casos, dar soluciones temporales a los problemas que presenta el pavimento.

2.7.6.2.1. Sobrecarpetas de concreto asfáltico

Esta alternativa proporciona una nueva superficie de desgaste, mejorando la transitabilidad, la seguridad y la resistencia del pavimento. La nueva superficie permite la corrección de la sección transversal y los defectos de la superficie como grietas, rodaderas, etc.

La selección de los materiales para la sobrecarpeta tiene un impacto importante en el plan de rehabilitación. La calidad de los materiales afectará el espesor de la misma, que depende de la capacidad estructural necesaria y del ciclo de vida que se considere.

En el caso de que la vialidad requiera de un refuerzo estructural, se toma como alternativa realizar un bacheo puntual o parcial retirando los materiales dañados y substituyéndolos por materiales completamente sanos.

2.7.6.3. Reconstrucción

La reconstrucción involucra la adaptación de la estructura del pavimento para un tránsito más pesado, lo cual implica una sobrecarga, derivándose en el levantamiento completo de la estructura del pavimento, cuando ésta se encuentra colapsada por exceso de problemas estructurales, incluso de las capas subyacentes. En este caso, la estructura se reemplaza como si fuese la construcción de un nuevo pavimento.

Las técnicas de reconstrucción ofrecen la opción de seleccionar los materiales vírgenes, utilizar materiales estabilizados, el uso de geotextiles o bien e reciclar los materiales existentes. El uso de material reciclado puede tener un impacto grande en los costos de los pavimentos.

CAPÍTULO III: GESTIÓN EN LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

3.1. CLASIFICACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS CARRETERAS

La infraestructura vial del país, entendida como la infraestructura carretera, ha sido clasificada en tres redes viales de acuerdo a su importancia y competencia:

- 1) **Red Fundamental:** comprende las carretas de mayor importancia interregional e incluyen los principales ejes de carreteras longitudinales transversales del país. Vincula las capitales de departamentos y principales ciudades. Constituye la base principal de carreteras a partir de la cual se articulan la red vial departamental y la red municipal; y tiene como propósito integrar, de manera eficiente, las regiones y las principales ciudades del país entre sí.

La red fundamental es de competencia del Gobierno Central a través de la Administradora Boliviana de Caminos (ABC).

- 2) **Red Departamental:** comprende los ejes secundarios de carreteras de importancia departamental o regional. Vincula capitales de departamento con las provincias o a éstas entre sí.

La red Departamental es de competencia de los Gobiernos Departamentales, específicamente en Tarija depende del Servicio Departamental de Caminos SEDECA y tiene como objetivo primario integrar los espacios intra-departamentales y a estos con la red nacional. En este sentido, los caminos departamentales también son articuladores de las áreas rurales con el resto del departamento y con la red nacional.

- 3) **Red Municipal:** comprende las demás carreteras y caminos del país que vinculan capitales de distritos, centros poblados y en general todos los centros de actividad socio-económica.

La red Municipal es de competencia de los Municipios y tiene como propósito la conectividad de las poblaciones rurales con los servicios básicos (salud y educación) y con los mercados locales y regionales.

3.2. NIVELES DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

La administración de pavimentos generalmente se desarrolla a dos niveles, el nivel de red y el nivel de proyecto. Las diferencias entre el nivel de red y el de proyecto se extienden más allá del nivel en el cual se toman las decisiones e incluye diferencias en

la cantidad y el tipo de datos que se requieren. La recolección de datos es costoso y a menudo no se sabe con exactitud qué tipo, ni qué cantidad de ellos serán requeridos, hasta que parte de los datos hayan sido recolectados.

La diferencia en el nivel de decisión, generalmente, se encuentra en la cantidad de pavimentos que se considere y también en el propósito de la decisión. A nivel de red, las agencias normalmente incluyen los pavimentos de toda la red bajo su jurisdicción. La cantidad de pavimentos que se considera a nivel de proyecto, por lo general, consiste en un tramo o sección sencilla de gestionar, la cual a veces corresponde a una sección original de construcción, aunque las condiciones pueden ser combinadas o subdivididas para propósitos de análisis.

El propósito de gestión a nivel de red normalmente se relaciona con el proceso presupuestario, con el fin identificar las necesidades de trabajo de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, distinguir las secciones a repararse o mantenerse y determinar los efectos de las varias opciones sobre el comportamiento del sistema de todos los pavimentos de la red y sobre el bienestar global de la comunidad. A nivel de red se analiza toda la red considerada, con los mismos datos sobre ella para generar programas de conservación preliminares (para un horizonte de tiempo dado), utilizados principalmente para la gestión de los recursos. Generalmente, las decisiones a nivel de red pueden ser tomadas con una cantidad menor de datos que aquellos que se requieren para tomar decisiones específicas sobre una sección a nivel de proyecto. Para reducir los costos de implementar un SAP, solamente se recolecta la cantidad mínima de datos requeridos y, únicamente, cuando sean requeridos.

A nivel de proyecto, el propósito es determinar la estrategia más económica posible del diseño inicial, así como de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción durante el periodo de vida de una sección de pavimento seleccionada, dado el financiamiento disponible. Los resultados principales de la administración de pavimentos a nivel de proyecto incluyen una evaluación de las causas del deterioro, identificación de las

estrategias posibles de diseño, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción y la selección de la estrategia más económica a seguir durante el período de vida de la sección, según las restricciones impuestas. Este proceso requiere de una cantidad considerable de datos detallados para la selección considerada.

La administración a nivel de proyecto básicamente consiste en los análisis y diseños de ingeniería que se requieren para desarrollar la estrategia más efectiva (de mayor factibilidad económica) de diseño, mantenimiento o rehabilitación para una sección específica de pavimento. Algunos se refieren a este proceso como análisis de proyecto o diseño de proyecto, en vez de gestión de pavimentos a nivel de proyecto las secciones que necesitan trabajos de mantenimiento y rehabilitación (e incluso reconstrucción) que serán seleccionadas para su reparación por el SAP a nivel de red.

3.3. EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LOS PAVIMENTOS

La evaluación de los pavimentos es una de las principales etapas de un Sistema de Administración de Pavimentos, pues a través de ésta se puede verificar si el pavimento necesita mantenimiento o reconstrucción, si ha sido construido atendiendo las especificaciones para las que fue proyectado.

Las actividades de evaluación incluyen la verificación periódica de las características actuales de las secciones, en cuanto a capacidad estructural, deterioros, irregularidad y resistencia al deslizamiento.

Los datos de las evaluaciones pueden ser usados para:

- ☞ Verificar la capacidad de los pavimentos para cumplir con sus funciones.
- ☞ Determinar la condición actual de la red vial.
- ☞ Elaborar curvas de desempeño a partir del conocimiento de una serie de datos históricos.

- ☞ Establecer prioridades en la programación de inversión tomando en cuenta las restricciones presupuestarias.
- ☞ Mejorar las tecnologías de proyección, construcción y mantenimiento de los pavimentos a través de la determinación de las causas del deterioro.
- ☞ Actualizar programas de mejorías en los niveles de red.

La condición de un pavimento incluye cuatro componentes: confort, capacidad estructural, seguridad y confort visual.

Dentro de los elementos que debemos considerar como parte de la evaluación de la condición de un pavimento tenemos: a) inventario vial, b) seguridad vial, c) comportamiento estructural, d) deterioros superficiales y e) desempeño.

Un inventario se refiere directamente a los datos del pavimento, que incluyen sus características estructurales y de resistencia de los materiales constituyentes. Pueden ser obtenidos por muestreos y/o ensayos físicos que refuercen la información existente sobre los espesores de las capas y las propiedades de los materiales.

La evaluación en cuanto a las condiciones de seguridad implica la evaluación de la resistencia ante el deslizamiento, además se puede incluir la ocurrencia de roderas que pueden ocasionar hidropilado.

El comportamiento puede ser definido como una respuesta inmediata del pavimento ante la aplicación de una carga. Esta respuesta está directamente relacionada con las características de los materiales.

El deterioro se refiere a los daños presentes en el pavimento, que pueden ser monitoreados por las inspecciones periódicas de la condición superficial. También pueden ser acompañadas por la documentación de servicios de rehabilitación realizados. Los datos históricos acumulados de la condición del pavimento generan información importante para la evaluación de los pavimentos a lo largo de su vida.

El desempeño puede ser definido como el histórico servicio del pavimento. El servicio del pavimento es la habilidad de una sección de pavimento de soportar el tráfico de automóviles y camiones, en una época de observación, con volúmenes elevados y a altas velocidades. Su monitoreo es realizado a través de levantamientos periódicos, a partir de una evaluación subjetiva utilizando una escala de servicio, o una medición de irregularidades longitudinales y transversales que indique el nivel de servicio en el que se encuentra determinado pavimento.

3.3.1. Tipos de evaluación de pavimentos

La evaluación de pavimentos comprende la evaluación estructural, la evaluación de las condiciones de superficie, funcional y de seguridad. Esta información constituye un subsidio fundamental para proyectos de restauración de pavimentos, sistemas de gestión de pavimentos, planos de mantenimiento, y para el diagnóstico de fallas precoces en pavimentos.

Los diferentes tipos de evaluación de pavimentos se complementan entre sí, es decir, uno no debe sustituir a otro. Por ejemplo, si se desea evaluar el nivel de servicialidad usando un modelo que considera entre sus variables la existencia de huecos o baches, no significa que este modelo muestre una evaluación adecuada a todos los deterioros o el desempeño. Por lo cual, se tiene los siguientes tipos:

- a) Evaluación estructural
- b) Evaluación superficial

3.3.1.1. Evaluación estructural

La evaluación estructural, por otro lado sirve para la verificación de la carga del pavimento y su capacidad estructural.

La falta de capacidad estructural de un pavimento genera en éste un deterioro progresivo, que se manifiesta en niveles excesivos de agrietamientos y deformaciones, no recuperables a través de la simple aplicación de acciones de conservación preventivas.

Las razones por las cuales la capacidad estructural de un pavimento requiere ser reforzada puede deberse a una o más de las siguientes causas:

1. Pavimento cercano a cumplir su vida de diseño. Los ejes equivalentes acumulados han alcanzado los límites considerados en el diseño original.
2. Se proyectó un espesor de diseño insuficiente. Un espesor de proyecto insuficiente se puede relacionar con algunas de las siguientes causas:
 - Tránsito de diseño subestimado.
 - Emplear parámetros de diseño no representativos tales como; resistencia subrasante, resistencia de capas estructurales, condiciones de drenaje, juntas de traspaso de cargas (hormigón), estratigrafías de carga, etc.
3. Calidad de la construcción. Aun estando bien diseñado un pavimento, la mala calidad de la construcción puede minorar substancialmente la capacidad estructural de un pavimento.
4. Conservación. Al igual que el punto anterior, aun estando bien diseñado y construido un pavimento, la inadecuada conservación de la estructura y sistema de drenajes del pavimento pueden provocar el deterioro acelerado de éste.
5. Fiscalización: La inadecuada fiscalización de una red caminera trae como consecuencia un mal uso de los pavimentos y un aumento de las sobrecargas.

Dicha evaluación estructural se la realiza tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- ☞ Deflexiones Benkelman
- ☞ Evaluación de materiales
- ☞ Número estructural
- ☞ Tránsito o tráfico vehicular
- ☞ Factor regional

Entender la interrelación entre la evaluación funcional y la estructural es vital para entender un sistema de administración de pavimentos. En cuanto al nivel de servicio se indican las condiciones presentes del pavimento, por otro lado, la evaluación estructural puede ser usada para estimar la respuesta futura del pavimento al tránsito al que está sujeto. Una baja capacidad estructural, sin embargo, puede ser reflejada a través de una rápida reducción del nivel de servicio.

3.3.1.2. Evaluación superficial

Las evaluaciones de condición de deterioros o desempeño, normalmente son clasificadas como evaluaciones funcionales. La evaluación funcional tiene que ver con el confort o con la calidad de rodamiento y está relacionada con la verificación del comportamiento del pavimento: su desempeño y funcionalidad, para el tráfico de vehículos; y por lo tanto, está directamente relacionado con el punto de vista del usuario. Así, considera todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario. Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad
- Fallas superficiales
- Pérdida de fricción.

a) Rugosidad:

Se define por rugosidad a las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos y, por lo tanto, la calidad del servicio brindada al usuario. Uno de los principales esfuerzos para calificar y cuantificar esta calidad de servicio, fue desarrollado durante la prueba AASHO (1). En ella se propusieron los siguientes términos para definir la calidad con la que el pavimento sirve al usuario.

- i) PSR (Present Serviciability Rating): El juicio subjetivo de un observador respecto a la capacidad actual del pavimento para servir al usuario.
- ii) PSI (Present Serviciability Index): Corresponde a una estimación del PSR basada en correlaciones con mediciones objetivas de rugosidad y otros defectos presentes en el pavimento tales como grietas, baches y ahuellamiento.

El PSI fue correlacionado con los parámetros de deterioro del pavimento y de esta forma se originaron las fórmulas AASHO (1) de diseño estructural.

Otra medida de rugosidad corresponde al IRI (índice de Rugosidad Internacional) el cual fue desarrollado en Brasil para el Banco Mundial como el parámetro de deterioro más importante del modelo HDM III (2).

b) Fallas Superficiales:

Son aquellos defectos que se manifiestan en la superficie del pavimento, y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es fundamental, por lo tanto, efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección visual empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto. Estas fichas según la importancia del proyecto pueden ser elaboradas con diferentes grados de detalle.

Entre los defectos que son convenientes identificar y cuantificar conjuntamente con las medidas de rugosidad se cuenta:

Cuadro 3.1

Tipo de Falla	Asfalto	Hormigón
- Fisuras y grietas	X	X
- Baches	X	X
- Asentamientos	X	X
- Fallas en las juntas		X
- Desconchamiento		X
- Desgaste superficial		X
- Escalonamiento		X
- Pérdida de árido	X	
- Peladuras	X	
- Ahuellamiento	X	
- Exudación	X	

Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

c) Pérdida de Fricción:

Este es un defecto que está en relación directa con la seguridad del usuario, particularmente en segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se produce como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura y la microtextura superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado.

Debido a que la pérdida de fricción está asociada a un aumento de la lisura del pavimento, esto contribuye, además, con otros dos fenómenos asociados a pavimentos lisos:

- i) Aumento del "spray" (nebulización), asociado al paso de vehículos a alta velocidad, reduciendo considerablemente la visibilidad.
- ii) Aumento del reflejo de las luces de noche y aumento del encandilamiento.

Las soluciones típicas asociadas a la restauración de la funcionalidad de un pavimento son las acciones de conservación preventivas tales como:

Asfalto:

1. Reparación de baches abiertos.
2. Sellado de grietas mayores a 3 mm de abertura.
3. Tratamiento en base a capas sellantes:
 - Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seal)
 - Sellos de Agregado
4. Frezado superficial y reemplazo del espesor frezado.
5. Recapado funcional: Capa delgada de asfalto la cual no aporta capacidad estructural en forma significativa.

3.3.2. Métodos para evaluación de la condición superficial de pavimentos

Una evaluación superficial consiste en comparar las condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos a través de la identificación de las patologías de los defectos presentes en la superficie del pavimento.

En este tipo se aplicarán tres métodos de evaluación superficial de pavimentos flexibles, los cuales se explicarán a continuación:

- ☞ Método de evaluación PCI
- ☞ Método de evaluación PSI
- ☞ Método de evaluación IRI

3.3.2.1. Método de evaluación PCI (paviment condition index) Índice de Condición de Pavimentos

El Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas 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: el procedimiento es enteramente manual y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada. El procedimiento ofrece buena repetibilidad y confiabilidad estadística de los resultados;

el mismo fue originalmente desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos y presentado en el año 1978 por los Ingenieros M.Y. Shahin y S.D Khon en el Reporte N° M-268.

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

- ☞ Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad).
- ☞ Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar sollicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio se refiere a la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.
- ☞ Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y, de esta manera, justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

El PCI es un índice numérico, desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste. El PCI varía entre 0 para pavimentos fallados y un valor de 100 para pavimentos en excelente condición. En el siguiente cuadro se representa los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición de un pavimento.

Tabla 3.1
RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI

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

Fuente: Paviment Condition Index (PCI)

A. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende:

- ☞ Una etapa de trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de cada uno de ellos.
- ☞ Una segunda fase que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, la clase está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, entre otros, cada uno de ellos se describe en el Manual de Daños de la Evaluación de la Condición de Pavimentos.

La severidad representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, ósea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de transito:

1- Bajo, (B): se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Los abultamientos y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero no provoca incomodidad.

2- Medio, (M): las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad.

3- Alto, (A): las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; 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 del tránsito se determina recorriendo la sección de un pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad especificada por el límite legal. Las secciones del pavimento cercanas a las señales de detención deben calificarse por la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

El último factor que se debe considerar para calificar un pavimento es la extensión, que se refiere al área o longitud que se encuentra afectada por cada tipo de deterioro.

B. Unidades de Muestreo:

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

En carreteras con capa de rodadura asfáltica con ancho menor de 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 230.0 ± 93.0 m². En el siguiente cuadro se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada

Tabla 3.2
LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (máx.)	31.50

Fuente: Paviment Condition Index (PCI)

Procedimiento:

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

Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo.

Luego de culminar la inspección de campo, la información recogida se utiliza para calcular el PCI. El cálculo del PCI está basado en los “*valores deducidos*” de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad reportadas.

El cálculo del PCI, puede realizarse en forma manual o computarizada y el cálculo para cada tipo de pavimento es similar. A continuación se describe, de manera comprensible, el cálculo del PCI para cada pavimento flexible, mediante diversos pasos:

PASO 1: Determinación de los Valores Deducidos (VD):

- a. Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna de “Total” del formato. El daño puede medirse en área, longitud o por su número, según sea el tipo.

- b. Divida la “Cantidad total” de cada tipo de daño, en cada nivel de severidad, entre el “área de muestra” de la unidad de muestreo y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- c. Determine el “Valor Deducido” para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas o tablas denominadas “valor deducido del daño”, que se encuentra en el anexo II; de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

PASO 2: Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

- a. Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), obtenido en el Paso 4; de lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.
- b. Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.
- c. Determine el “Número Máximo de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación, para carreteras pavimentadas:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100.00 - HDV_i)$$

Dónde:

m_i : Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo la fracción para la unidad de muestreo i . ($m_i \leq 10$).

HDV_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

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

PASO 3: Determinación del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se lo realiza mediante un proceso iterativo que se lo describe a continuación:

- a. Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

- b. Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.
- c. Determine el CDV con q y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.
- d. Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas de la **a** hasta **c**.
- e. El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en el proceso de iteración indicado.

PASO 4: Calcule el PCI, restando el “máximo CDV” de 100

$$PCI = 100 - Máx. CDV$$

Dónde:

PCI : Índice de condición presente

$Max. CDV$: Máximo valor corregido deducido

Cálculo del PCI de la sección

Si las unidades de muestra inspeccionadas han sido escogidas al azar, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra (PCIr) utilizando la siguiente ecuación:

$$PCI_S = PCI_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

Donde:

PCI_r = PCI ponderado del area de las unidades de muestra

PCI_{ri} = PCI de la unidad de muestra aleatoria i .

A_{ri} = Area de la unidad de muestra aleatoria i :

n = Numero de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

3.3.2.2. Método de evaluación IRI (International Roughness Index) Índice de Rugosidad Internacional

“La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, a veces la única característica que percibe el usuario de la carretera, fundamentalmente, a través de la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto al perfil teórico del proyecto”.

“El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador estadístico de la regularidad superficial del pavimento, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI igual a cero) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida”.

La importancia de este concepto va directamente relacionada con el comportamiento del pavimento en su vida útil.

Cuadro 3.2
ESCALA DEL IRI SEGÚN EL BANCO MUNDIAL



Fuente: Adoptado de UMTRI Research Review, Vol. 33

Para carreteras ya en servicio, el índice internacional de rugosidad es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 camino intransitable.
- Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, pero sí los cambios de pendiente.

Cuadro 3.3

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>		<i>Malo</i>		
10 000 – 19 999					<i>Muy malo</i>		
> 20 000							

Fuente: El IRI: Un Indicador de la Regularidad Superficial (Revista de Ingeniería de Construcción N° 6, Enero - Junio 1989)

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

Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira nivel, del total o subtramos escogidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del

perfil de la superficie del pavimento, pues estas 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 seis módulos que son:

- Delta X (Dx)
- Identificación del tramo
- Entrada de información
- Cálculo IRI
- Gráfica
- Imprimir información
- Terminar

1) DELTA X (Dx)

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

- 50 mm
- 100 mm
- 152.4 mm (0.5 ft)
- 166.7 mm
- 200 mm
- 250 mm
- 304.8 mm (1 ft)
- 333.3 mm
- 500 mm
- 609.6 mm (2 ft)

2) IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO

Este módulo es el encargado de recibir las características esenciales del tramo de análisis.

Estas características son:

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

La abscisa inicial y final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 3.3

Delta (mm)	Longitud máxima (m)
50	800
100	1600
152.4	2438
166.7	2667
200	3200
250	4000
304.8	4876
333.3	5332
500	8000
609.6	9753

Fuente: Inpaco

3) ENTRADA DE INFORMACIÓN

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

4) CÁLCULO IRI

Se calculará el Índice de Rugosidad Internacional teniendo en cuenta la información digitada anteriormente.

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

- ☞ Delta X: Delta escogido
- ☞ Número total de datos: es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.
- ☞ Z1, Z2, Z3, Z4, Y, $\sum R_{si}$: Variables requeridas por el sistema.
- ☞ IRI: Valor del Índice de Rugosidad Internacional.

5) GRÁFICA

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

6) IMPRIMIR INFORMACIÓN

Se obtendrá un listado impreso de todos los datos digitados anteriormente, el IRI encontrado debe ser analizado de acuerdo al cuadro 3.4, para luego dar una conclusión del estado de rugosidad de la superficie del pavimento del tramo en estudio.

3.3.2.3. Método de evaluación PSI (present service index) Índice de Serviciabilidad Presente

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1.

El método AASHTO relaciona al índice de serviciabilidad presente con la rugosidad superficial así como en la cuantía de las fallas o desarreglos tales como surcos o baches, agrietamientos y parches.

Tabla 3.4

CALIFICACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD SEGÚN EL VALOR PSI

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Clasificación
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Paviment Structures 1993

3.3.2.4. Relaciones entre PSI e IRI

La relación entre la Serviciabilidad y la Rugosidad se establece a partir de los valores de rugosidad y los resultados de PSR. El IRI es el Índice de Rugosidad Internacional, que fue obtenido en cada tramo y que se expresa en m/km.

El PSR es el promedio para cada tramo de las calificaciones individuales de los miembros del panel evaluador. Cuando se establecen ecuaciones que predicen los valores de PSR a partir de mediciones objetivas como las de Rugosidad, entonces se habla de PSI o “Present Serviciability index” para diferenciarlo del “Present Serviciability Rating” que proviene directamente del panel de usuarios.

Correlación para el cálculo del PSI

En base a los resultados obtenidos en el cálculo del IRI se podrá relacionar en función a la fórmula propuesta para calcular el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) con el fin de ver en qué estado se encuentra el pavimento.

La fórmula empleada es la del Modelo empleado por el HDM III (Paterson 1987)

$$PSI = 5 \times e^{(-IRI/5.5)}$$

Tabla 3.5

RELACION ENTRE EL IRI, PCI, PSI

RANGOS DE RELACION IRI, PCI, PSI				
IRI m/km	PCI	CLASIFICACION	PSI	DESCRIPCION
0 – 1,6	90 - 100	MUY BUENO, EXCELENTE	3 – 5	El pavimento es completamente nuevo.
1,6 – 2,8	60 - 90	BUENO	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches.
2,8 – 5,2	40 - 60	REGULAR	1 – 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros.
2,8 – 5,2	20 - 40	MUY POBRE	1 – 2,5	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones (20 – 40mm. Cada 5m o de 10 – 20mm. Cada 3m), velocidad normal de conducción 80 km/hr.
5,2 – 8,8	0 - 20	FALLADO	0,4 - 1	El pavimento está severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20mm/3m), baches frecuentes (15 – 20 baches cada 50m o 15% de baches).

Fuente: Norma ASTHO

3.4. SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

Un Sistema de Administración de Pavimentos (SAP), es un conjunto de procedimientos sistemáticos que contemplan los trabajos de diseño, construcción, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos, así como los de guarniciones, banquetas, señalamiento, iluminación y obras de drenaje. Las actividades a desarrollar en el sistema, principalmente, son tendientes a alcanzar una mejor aplicación de los recursos tanto económicos y humanos que se pretenden aplicar.

Las prácticas de administración o gestión de pavimentos se basan en el concepto de encontrar una combinación económica de medidas a aplicar en cualquier momento para poder obtener un nivel de servicio deseado. Los SAP, que pueden evaluar varias estrategias, usan los efectos esperados de las medidas de mantenimiento y rehabilitación sobre el comportamiento futuro de la superficie de los caminos para identificar aquellas secciones que necesiten un tratamiento, así como la combinación de medidas preventivas que proporcionen una condición global deseada, considerando las restricciones impuestas.

El término gestión de pavimentos se usa para describir la administración de redes de supercarreteras, carreteras y calles con superficies pavimentadas, mientras que el término gestión de superficies de carreteras y calles, o solamente gestión de superficies, se utiliza para describir la gestión de redes de carreteras y calles con superficies pavimentadas y no pavimentadas.

Desde este punto de vista amplio, la administración de pavimentos cubre todas las fases de la planeación, programación, análisis, diseño, construcción e investigación de los pavimentos. Puede llegar a considerar tanto las necesidades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos existentes, como las necesidades de áreas adicionales de pavimentos para aumentar la capacidad vial; no incluye generalmente el mantenimiento rutinario (limpieza y reparación de taludes, señales,

etc.), el cual suele enfrentarse a través de un presupuesto anual fijo reducido, que no requiere de un sistema o estrategia de gestión. Trata también sobre los requerimientos de los trabajos seleccionados y las normas a seguir en ellos. La planificación de actividades programadas de mantenimiento, normalmente, se desarrolla dentro de un sistema de administración de pavimentos o de uno de superficie de caminos.

Finalmente, debe mencionarse la gran importancia que en la implementación, calibración y desarrollo de un SAP tiene la aplicación de técnicas de evaluación y seguimiento del comportamiento de los pavimentos, así como la influencia de los procesos constructivos, materiales, clima, etc. Mediante la medición sistematizada de los parámetros que definen dicho comportamiento y del procesamiento y análisis de dicha información, ha sido posible establecer los modelos de comportamiento a futuro y predecir el tipo de falla que puede ocurrir y el tiempo en el que esto puede suceder, lo cual es de gran importancia para definir las políticas de conservación y rehabilitación que deban aplicarse y su oportuna programación.³

3.4.1. Beneficios de la administración de pavimentos

Existen diversos beneficios derivados de tener un proceso estructurado de administración de los pavimentos, los cuales son muy obvios; sin embargo, pocos beneficios monetarios han sido documentados. Los beneficios que han sido identificados incluyen:

- ☞ Uso más eficiente de los recursos disponibles.
- ☞ Una mayor habilidad para justificar y asegurar un mayor financiamiento para las actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

Algunos otros beneficios están relacionados con los siguientes aspectos:

- ☞ Información más exacta y accesible sobre el estado de un sistema de vialidades.
- ☞ Habilidad de evaluar el comportamiento de los tratamientos seleccionados.
- ☞ Determinación de necesidades que pueden ser apoyadas.

- ☞ Habilidad de mostrar el impacto de distintas estrategias de financiamiento.
- ☞ Selección de estrategias más efectivas de mantenimiento y rehabilitación.
- ☞ Mejoras de comunicación entre los distintos grupos que trabajan con los pavimentos dentro de la organización y con el público.
- ☞ Habilidad de responder preguntas sobre los pavimentos hechas por administradores, políticos y por el público.
- ☞ Una mejor coordinación de los trabajos con las agencias de servicios públicos.
- ☞ Una mayor credibilidad con los políticos y el público, en lo relacionado con la administración.
- ☞ El desarrollo de un sentimiento de satisfacción a partir del convencimiento, de que el gobierno está realizando el mejor trabajo con el financiamiento disponible.³

3.4.2. Características de un Sistema de Administración de Pavimentos

Un Sistema de Administración de Pavimentos (SAP) es un proceso para organizar, coordinar y controlar todas las actividades que afectan el costo y la vida de los pavimentos.

Es un procedimiento sistemático y constante para programar el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos, basado en un enfoque que maximice los beneficios y minimice los costos. Su misión básica es proporcionar al público un sistema carretero seguro y eficiente, incluyendo la construcción y la conservación perpetua de dicho sistema, para obtener la mayor calidad al menor costo.

El reto del SAP radica en cuantificar y acumular la información necesaria para establecer recomendaciones específicas, que traducidas en acciones, permitan mantener una red en condiciones de servicios aceptables, dentro de las posibilidades presupuestales.

La solución a este desafío no solo, depende de la preparación y experiencia de los ingenieros de pavimentos, sino también del concurso de expertos en estadística, teoría de probabilidades, modelación e investigación de operaciones.

Un inventario de datos que resuma el estado del pavimento de los diversos caminos no es en sí un SAP. Este representa un concepto innovador que supera los procedimientos vaciados, en los cuales se toman decisiones para conservar y rehabilitar el pavimento en base a su aspecto y evaluaciones de carácter subjetivo. Recientemente las decisiones se han apoyado, más en evaluaciones de carácter estructural para determinar los requerimientos de sobrecarpetas y/o reconstrucciones, ajustadas a las limitaciones presupuestales; sin embargo, estos procedimientos tienen limitaciones severas, como las siguientes:

- ☞ Tienden a considerar las necesidades de proyectos individuales y no de la red total.
- ☞ Son altamente susceptibles a las preferencias del personal y a experiencias limitadas de quienes toman las decisiones.
- ☞ El número de alternativas consideradas es limitado.
- ☞ Los diseños se limitan generalmente a un periodo fijo.
- ☞ El costo de la operación no se considera.
- ☞ Debido a su inconsistencia, las políticas se pueden afectar con el cambio de personal.
- ☞ El mantenimiento preventivo es de evaluación difícil.
- ☞ Las incertidumbres de comportamiento son ignoradas.

Por lo tanto, un SAP debe tener capacidad para responder a interrogantes como ¿qué medidas de conservación deben realizarse?, ¿Cuándo? y ¿Dónde?, considerando la disposición de un determinado presupuesto. Deberá contarse para ello con una relación de soluciones de conservación y rehabilitación, que permita obtener mayores beneficios para toda una red y definir su aplicación en base a la mejor información

disponible sobre las condiciones actuales de la red. De esta manera, el SAP deberá proporcionar información sobre el nivel de servicio futuro que prestarán los pavimentos de la red, dependiendo del presupuesto disponible y definiendo qué estrategias de conservación y rehabilitación producirán las mayores tasas de retorno a las inversiones aplicadas en la preservación de la red.

De esta forma, un SAP será capaz de ayudar a la toma de decisiones, constituyendo una valiosa herramienta en todos los niveles, desde el ingeniero responsable de la conservación, hasta el responsable de la asignación de recursos económicos para las actividades de conservación; lo cual es muy importante cuando existen severas restricciones presupuestales para conservar y rehabilitar los pavimentos y, además, existe una red extensa con un porcentaje importante de carreteras antiguas y con fuerte demanda de servicio.

Los componentes básicos de un SAP son los siguientes:

- ☞ Planeación
- ☞ Diseño
- ☞ Construcción
- ☞ Conservación
- ☞ Evaluación
- ☞ Investigación

Todas las actividades o subsistemas que se definen a continuación están directamente relacionadas entre sí y cualquiera de ellas puede en un momento dado, adquirir una importancia relevante.

a) PLANEACIÓN

Comprende la apreciación de las deficiencias o mejoras requeridas por una red, el establecimiento de prioridades para eliminar o reducir estas deficiencias y el desarrollo de presupuestos y programas para realizar los trabajos necesarios.

b) DISEÑO

Consiste en la adquisición o suministro de una variada información, la generación de diferentes estrategias de alternativas de diseño, los análisis de estas alternativas, su evaluación económica y la optimización para seleccionar la mejor.

c) CONSTRUCCIÓN

La construcción convierte una recomendación de diseño en una realidad física; su principal componente incluye el detalle de las especificaciones y documentos contractuales, programas, operaciones de construcción y sus respectivos costos, control de calidad y la adquisición y procesamiento de datos para canalizarlos al banco de datos.

d) CONSERVACIÓN

Esta fase incluye el establecimiento de un programa y el listado de las acciones de reparación, como las operaciones de sellado de grietas, bacheo, corrección de irregularidades en las características superficiales, etc., así como la adquisición y procesamiento de datos para alimentar el respectivo banco de notas.

e) EVALUACIÓN

Corresponde a una de las fases que últimamente ha recibido considerable atención e incluye el establecimiento de secciones de control, mediciones periódicas del comportamiento real en cuanto a deterioros, capacidad estructural, calidad de rodamiento y resistencia al derrapamiento, así como la transmisión de dicha información al banco de notas.

La información adquirida tiene aplicación en:

- la verificación de la eficiencia con la que el pavimento cumple su función;
- la planeación y programación de las futuras rehabilitaciones requeridas; y
- la introducción de mejoras tecnológicas de diseño, construcción y conservación.

La evaluación proporciona información tanto al nivel de planeación, para estimar deficiencias de la red en su conjunto, como a nivel de diseño en el desarrollo de los análisis detallados.

Todas las áreas del SAP deben estar interesadas en los parámetros deducidos de la evaluación de un pavimento, a efecto de:

- ☞ obtener datos que permitan verificar las predicciones del diseño y ser ajustadas en caso de ser necesario;
- ☞ programar las medidas de conservación y rehabilitación previstas a nivel diseño;
- ☞ proporcionar información para mejorar los modelos de diseño y de comportamiento;
- ☞ proporcionar información para mejorar las técnicas de construcción y conservación; y
- ☞ proporcionar información para actualizar los programas a nivel de la red.

Por consiguiente, se convierte en una de las partes clave del SAP.

f) INVESTIGACIÓN

Surge de las propias necesidades y usualmente utiliza en forma extensiva la información derivada de la evaluación.

El banco de datos es una parte fundamental del SAP; supone básicamente la recolección de la siguiente información:

Ficha de diseño y construcción	Resume y pone al día la información pertinente concerniente a los parámetros originales de diseño, tales como tránsito, condiciones superficiales, materiales, espesores y costo de construcción.
Ficha de construcción	Proporciona la historia de conservación y de la rehabilitación, incluyendo los costos de cada actividad; se deben considerar además los costos del usuario y del valor de rescate.

<p>Ficha de las condiciones del pavimento</p>	<p>Capacidad estructural, usualmente a partir de mediciones no destructivas. Calidad de rodamiento, subjetiva o con medidas con equipos de alto rendimiento. Resistencia al derrapamiento.</p>
---	--

Conducir y poner al día este acervo suele ser lo más costoso del sistema y para el manejo y procesamiento de la información deben utilizarse procedimientos computarizados.

En general un SAP consta de varios módulos operativos, siendo el primero de ellos el encargado de la recolección de información sobre el estado de los pavimentos en cuanto a los deterioros que manifiesta, la rugosidad y la resistencia al derrapamiento y la capacidad estructural. Esta esta información es preferentemente obtenida por medio de equipos automatizados de alto rendimiento, para representar la información en forma tabular y gráfica. Otro concepto importante que debe considerarse es el relativo al tránsito, principalmente en cuanto a su composición y tendencias a futuro.

Otro módulo que es el que maneja los aspectos relativos a la predicción del comportamiento del pavimento, para diferentes estrategias de conservación o rehabilitación, incluye la ejecución de obras de conservación rutinaria (estrategia cero). En este módulo es de gran importancia contar con información histórica confiable del banco de datos, puesto que deberá permitir establecer el ciclo de vida de cada una de las acciones propuestas (vida residual o remanente). Para cada una de las estrategias planteadas se estimará la condición futura del pavimento utilizando algún método de tipo mecanístico-empírico.

El módulo económico permitirá definir la combinación óptima de las medidas de conservación y de rehabilitación propuestas, mediante un análisis de beneficio-costos de cada una de ellas, considerando generalmente los beneficios como la reducción de los costos de los usuarios correspondiente a cada una de las estrategias planteadas y

comparándolas con una estrategia base, que puede ser la estrategia cero. Por lo tanto, es muy importante conocer los costos y vida útil de cada estrategia, principalmente los de operación y su variación con el tiempo, a medida que se degradan las condiciones del pavimento.³

3.4.3. Requerimiento para la Implantación de un Sistema de Administración de Pavimentos

Para establecer un Sistema de Administración de Pavimentos es necesario proceder a la aplicación de varias etapas, en las cuales debe imperar fundamentalmente la firme decisión del organismo de contar con un sistema operante, dinámico y de hecho perpetuo.

Las principales etapas son las siguientes:

- 1) Decisión de implantar un sistema, apoyando las medidas conducentes para ello, entre las cuales debe considerarse la creación de una organización técnica y administrativa adecuada.
- 2) Construir un grupo de trabajo, encargado de revisar la situación existente, en cuanto a organización y funcionamiento, que identifique necesidades y formule recomendaciones para su mejoramiento.
- 3) Efectuar un inventario de prácticas aplicadas a la conservación de los pavimentos.
- 4) Identificar las deficiencias específicas de las practicas existentes, principalmente en términos de procedimientos administrativos (coordinación de las diferentes áreas como proyecto, conservación, etc.; toma de decisiones, etc.).
- 5) Formular recomendaciones detalladas relativas a la implantación del sistema, en cuanto a la organización técnica y administrativa necesaria para la creación del banco de datos, capacitación del personal, adquisición del equipo necesario, definición de los temas de investigación, etc.

- 6) Aplicación del sistema acorde con un programa específico, establecimiento de las prácticas de evaluación periódica y sistematizada, determinación de los costos de conservación, evaluación del tránsito, etc., así como la introducción de medidas de mejoramiento del sistema. Así mismo, se establecerán los programas de capacitación y actualización personal y de investigación, como en el caso de nuevas técnicas de conservación, conocimiento del compartimiento de materiales y nuevos productos, nuevas técnicas de investigación, aspectos económicos, etc.

Finalmente, debe tenerse muy en cuenta que el éxito en la aplicación del sistema dependerá de la forma en que se realicen las acciones de coordinación, comunicación, cooperación, información y retroalimentación.³

3.4.4. Operación de un Sistema de Administración de Pavimentos

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo del sistema es identificar, a partir de la información disponible, la acción de conservación que permita al pavimento funcionar por encima de un valor de índice de servicio especificado, durante un periodo de diseño definido, con un presupuesto establecido y con la máxima relación beneficio/costo.

Para obtener lo anterior se recomienda definir con claridad el tipo de información que debe alimentar al sistema para evitar capturar información innecesaria, distinguiendo claramente si se trata del manejo de toda una red o de un tramo en particular y formar un banco de datos con dicha información.

La información necesaria para el manejo de la red, normalmente, comprende parámetros como el tipo de pavimento, estructuras, características del tránsito, listado de posibles alternativas de conservación o rehabilitación, etc., así como los parámetros de tipo económico, como magnitud del presupuesto disponible, el costo de las

alternativas de conservación o rehabilitación, los costos de operaciones para los diferentes tipos de vehículos, tasa de actualización, etc.

Es necesario además considerar la información relativa a las condiciones del pavimento, como los datos relativos a la respuesta estructural obtenida mediante pruebas de tipo no destructivo (NDT), utilizando un deflectómetro de caída libre (FWD), así como información relativa a los aspectos funcionales, como las irregularidades superficiales (rugosidad), deterioros observados y resistencia al derrapamiento, información que puede ser obtenida mediante equipos automáticos y de alto rendimiento.

La información anterior es transferida y almacenada en un equipo electrónico para los procesos de análisis y de optimización. Mediante el proceso de análisis de la información será posible zonificar la red, dividiéndola en tramos homogéneos, según sus condiciones estructurales y funcionales.

A continuación el sistema considerará las diferentes estrategias posibles de conservación y rehabilitación, las cuales serán sometidas a un análisis económico a través de un cálculo de los beneficios y costos para cada tramo homogéneo. Los costos corresponderán a los necesarios para implantar cada estrategia considerada, además de los que se generen por concepto de conservación rutinaria en el periodo de análisis.

Los beneficios se definen en función de la reducción del costo de operación de los usuarios, como consecuencia de la aplicación de cada estrategia. Estos costos pueden ser producto de la experiencia propia o los sugeridos por instituciones como el Banco Mundial, por ejemplo.

En el proceso de optimización, los programas del sistema pueden encontrar la estrategia que, dentro del presupuesto considerado, ofrezca la relación beneficio-costos más elevada.

La información del sistema se obtiene en forma gráfica y tabular, presentando un listado ordenado de las estrategias propuestas, según la magnitud de la relación beneficio/costo, para cada uno de los tramos homogéneos considerados. Es importante que estos resultados sean evaluados por los ingenieros del organismo, para asegurarse que no estén en desacuerdo con las limitantes impuestas ni con la experiencia local; de lo contrario deberán efectuarse los ajustes necesarios.

Los sistemas generalmente están capacitados para proporcionar información de tipo estadístico de diferentes tipos y en forma gráfica, para ayudar en el proceso de toma de decisiones.

A continuación el sistema entrara en una fase interesante de evaluación del comportamiento futuro de la red estructural y funcionalmente, calculando la relación beneficio/costo a través del tiempo, lo cual permite al usuario evaluar las consecuencias de aplicar diferentes niveles de presupuesto o de diferentes estrategias de conservación y considerar su efecto en la totalidad de la red. Así mismo, podrá definirse el monto del presupuesto necesario para preservar la inversión realizada en la red. La relación beneficio/costo de la red puede ser utilizada para determinar la política optima de conservación.³

3.4.5. Sistemas de Administración para Pavimentos flexibles

3.4.5.1.Sistema EXPEAR

Fue desarrollado por la Universidad de Illinois para la Administración de Carreteras Federales de los Estados Unidos (FHWA). Este sistema trabaja como un sistema experto donde se simula una consultoría entre un ingeniero y un experto en pavimentos.

Un sistema de gestión de Pavimentos requiere una metodología sistemática que haya sido utilizada y validada; en nuestro país no se han desarrollado sistemas específicos para gestión de pavimentos, el más avanzado y utilizado temporalmente en carreteras ha sido el sistema SAM (Sistema de Administración del Mantenimiento) del Servicio Nacional de Caminos que ya no existe actualmente. Por ello, al realizar una investigación bibliográfica, se encontró que el sistema EXPEAR es utilizado en México y Colombia como base de su sistema de gestión de Pavimentos; al ser este un sistema metodológico establecido y dada su aplicación en los tramos de estudio demuestra que es factible su utilización y, por lo tanto, asumimos que esta metodología será la base del Sistema de Administración de Pavimentos propuesto.

El sistema EXPEAR establece una secuencia lógica para llegar a establecer las acciones de gestión en el mantenimiento de los pavimentos, a pesar de que la secuencia puede establecer más datos de los necesarios; es importante seguir una secuencia para determinar la condición de los pavimentos en el momento de evaluación y en proyección a los años de servicio del pavimento, los valores que se obtengan serán la base para la toma de decisiones sobre las acciones que deben realizarse en lo inmediato y mediano en el pavimento.

El sistema EXPEAR con el fin de desarrollar alternativas factibles de rehabilitación se aplica de acuerdo a la siguiente secuencia metodológica:

- Recolección de datos del proyecto
- Extrapolación de condiciones globales del proyecto
- Recomendaciones para muestreos físicos
- Evaluación de condiciones presentes
- Predicción de las condiciones futuras sin rehabilitación
- Selección del enfoque principal de rehabilitación
- Desarrollo de estrategias detalladas de rehabilitación
- Predicción del desempeño de estrategias de rehabilitación

- Análisis de costos
- Selección de la estrategia de rehabilitación conveniente³

CAPÍTULO IV. APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende los tramos de Pavimentos Flexibles ejecutados en las diferentes zonas del Departamento de Tarija, de los cuales para la aplicación se tomaron 5 km de cada tramo.

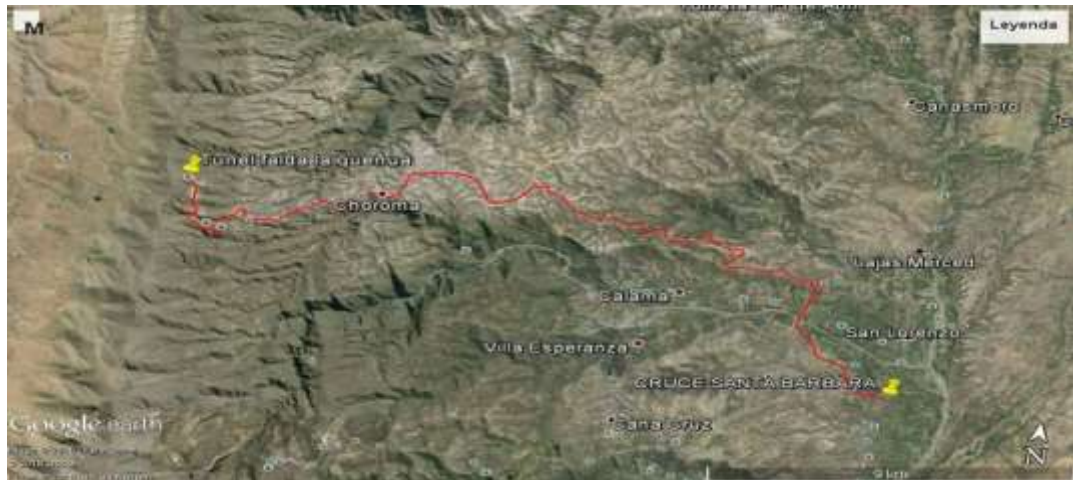
Los tramos fueron seleccionados de acuerdo a la clasificación de carreteras vigente, que son los siguientes tres tipos de redes viales Fundamental, Departamental y Municipal por lo que cada carretera de pertinencia a una red tiene diferente administración como ser:

- ✓ Red Fundamental que administra la A.B.C.
- ✓ Red Departamental que administra el SEDECA
- ✓ Red Municipal que administran los MUNICIPIOS.

A. Tramos Red Fundamental que administra la A.B.C.

- ✓ **Tarija – Túnel falda la Queñua**

Con inicio cruce en la intersección con la carretera a San Lorenzo denominando este punto Prog. 0+000 terminando en la Prog. 5+000 hacia el Túnel falda la Queñua.



✓ **Tarija – Padcaya**

Con inicio en la tranca El Portillo en la progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia Padcaya.



✓ **Tarija – Puerta del Chaco**

Con inicio en la tranca El Portillo en la progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia Puerta del chaco.



B. Tramos Red Departamental que administra el SEDECA.

✓ **Tarija – San Lorenzo**

Con inicio en Tomatitas en la progresiva 1+450 hasta la progresiva 6+450 hacia San Lorenzo.



✓ **Itaú – Choere**

Con inicio en la comunidad de Itaú en la progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia la comunidad de Choere.



✓ **Cruce - El Valle de la Concepción**

Con inicio en el Cruce de entrada hacia el Valle de Concepción en la intersección con la carretera a Bermejo progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia el Valle de Concepción.



C. Tramos Red Municipal que administran los MUNICIPIOS.

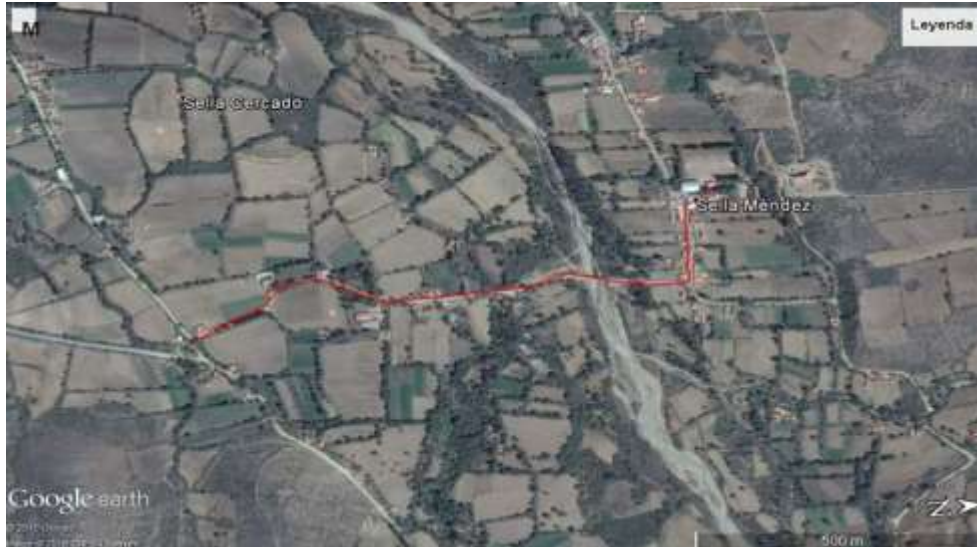
✓ **Tomatitas - La Victoria**

Con inicio en el puente de Tomatitas progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia la comunidad La Victoria.



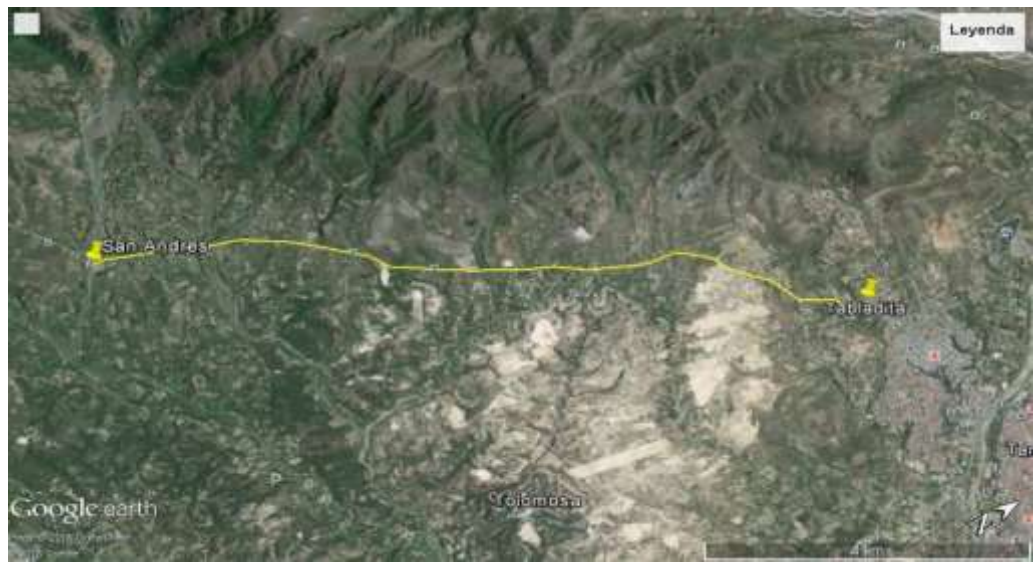
✓ **Sella Cercado – Sella Méndez**

Con inicio en el puente de la comunidad de Sella Cercado progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia Sella Méndez.

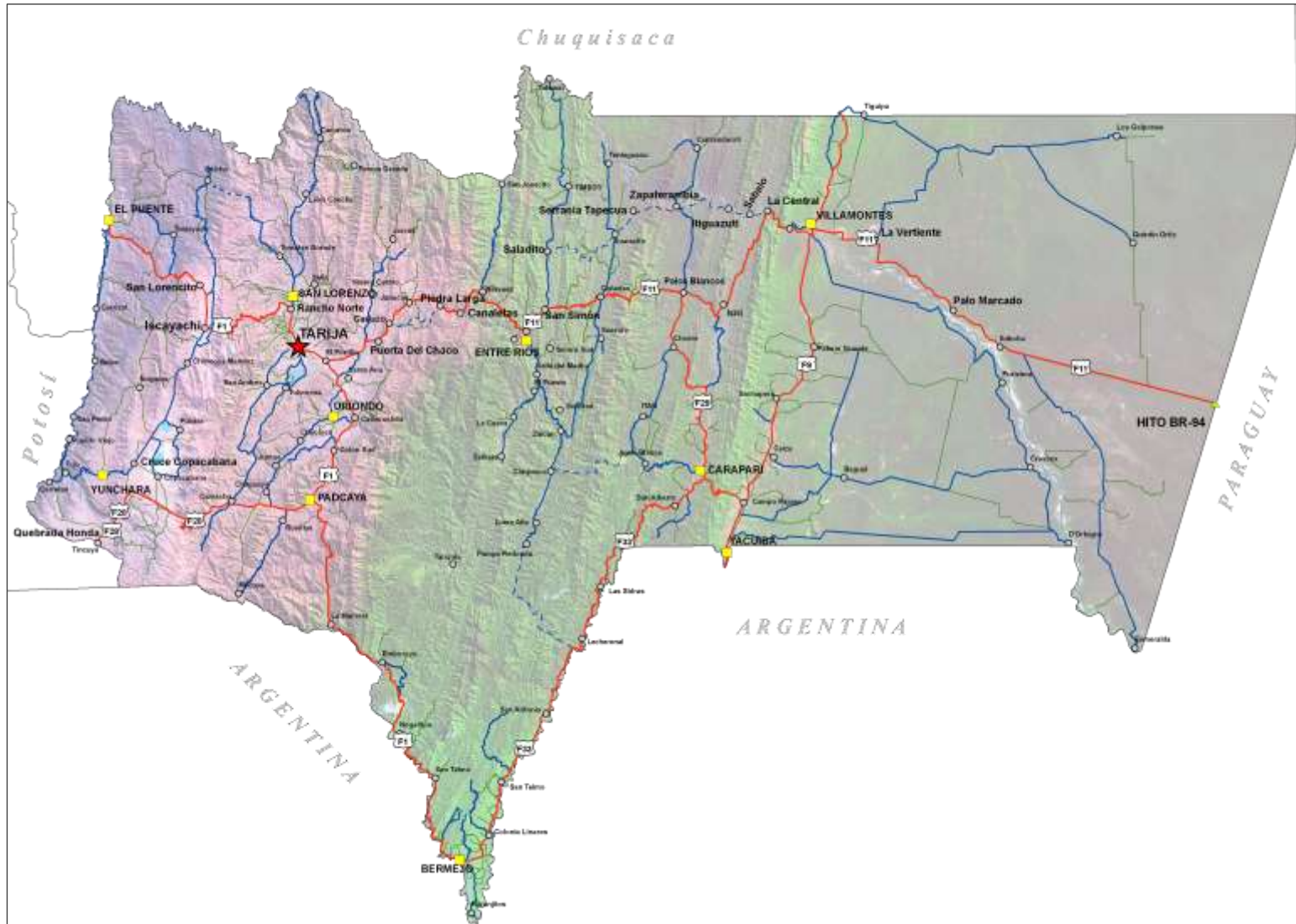


✓ **Tabladita – San Andrés**

Con inicio en la rotonda del barrio Alto Senac zona Tabladita en la progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000 hacia San Andrés.



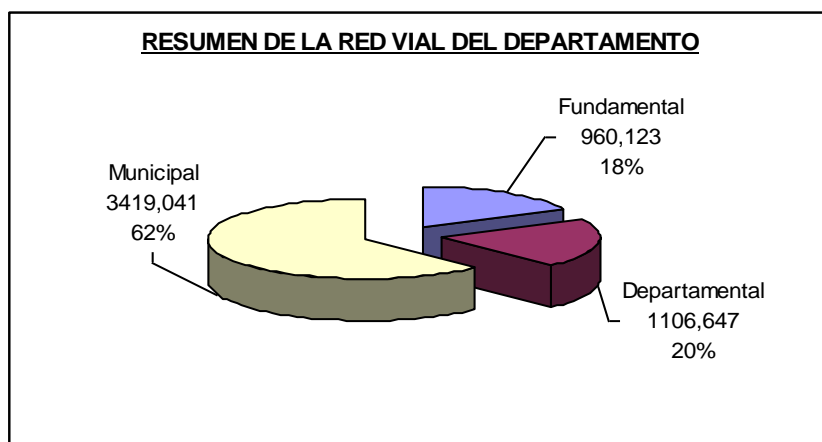
RED VIAL DE TARIJA



4.2. INVENTARIO DEL PAVIMENTO

En el Departamento de Tarija la estructura vial se encuentra conformada por tres redes, las cuales están constituidas por:

- **Red Fundamental** que cuenta de una longitud de **960,123 Km**,
- **Red Departamental** que cuenta de una longitud de **1106,647 Km**.
- **Red Municipal** que cuenta con una longitud de **3419,041 Km**.



Estas redes se encuentran distribuidas dentro del departamento de la siguiente forma:

DISTRIBUCION DE LONGITUD POR TIPO DE RED EN CADA PROVINCIA

Provincia	Fundamental		Departamental		Municipal		Total general (Km)
	Km	%	Km	%	Km	%	
Arce	186,41	19%	113,74	10%	412,25	12%	712,40
Avilés	42,29	4%	103,91	9%	485,84	14%	632,05
Méndez	101,40	11%	131,17	12%	688,04	20%	920,61
Cercado	80,33	8%	72,16	7%	241,83	7%	394,33
O'Connor	155,07	16%	248,60	22%	434,31	13%	837,99
Gran Chaco	394,6	41%	437,04	39%	1156,74	34%	1988,39
Total general	960,12	100%	1106,64	100%	3419,04	100%	5485,81

Fuente: Plan Vial – SEDECA

4.2.1. Inventario de tramos de la red Fundamental

TARIJA – PADCAYA

Ruta : **F1** De : **TAIJA**
 Long. (km) : **48.58** Hasta: **PADCAYA**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Concreto asfáltico	0	48.58	0	0	0	48.58
	Total (km)	0	48.58	0	0	0	48.58

Fuente: Plan Vial – SEDECA

TARIJA – PUERTA DEL CHACO

Ruta : **F11** De : **TARIJA**
 Long. (km) : **16.91** Hasta: **PURTA DEL CHACO**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	16.91	0	0	0	16.91
	Total (km)	0	16.91	0	0	0	16.91

Fuente: Plan Vial – SEDECA

TARIJA – FALDA LA QUEÑUA

Ruta : **F1** De : **CRUCE SANTA BARBARA**
 Long. (km) : **28.5** Hasta: **TUNEL DE FALDA LA QUEÑUA**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	28.5	0	0	0	28.5
	Total (km)	0	28.5	0	0	0	28.5

Fuente: ABC

4.2.2. Inventario de tramos de la red Departamental

TARIJA-SAN LORENZO

Ruta : De : **TOMATITAS**
 Long. (km) : **9,36** Hasta: **SAN LORENZO**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	9.36	0	0	0	9.36
	Total (km)	0	9.36	0	0	0	9.36

Fuente: Plan Vial – SEDECA

CRUCE – EL VALLE DE LA CONCEPCION

Ruta : **604** De : **CR. RT. F1 (ENTRADA A CONCEPCIÓN)**
 Long. (km) : **42,952** Hasta: **CR. CHAGUAYA (ABRA SAN MIGUEL)**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Adoquín	0	0,625	0	0	0	0,625
	Empedrado	0	0,139	0	0	0	0,139
	Grava	0	28,914	0	0	0	28,914
	Trat. Superficial	0	4,083	9,191	0	0	13,274
	Total (km)	0	33,761	9,191	0	0	42,952
Alcantarillas	Cajón de H°	0	3	0	0	0	3
	Cajón de Piedra	0	1	0	0	0	1
	Tubo de Hormigón	0	7	3	3	0	13
	Tubo Metálico	0	34	5	3	0	42
	Total (N°)	0	45	8	6	0	59
Badenes	Revestido	0	1	0	0	0	1
	Total (N°)	0	1	0	0	0	1
Cunetas	Cuneta revestida (der)	0	0,539	0	0	0	0,539
	Cuneta revestida (izq)	0	0,204	0	0	0	0,204
	Cuneta tierra (der)	0	0	0,815	0,963	24,476	26,254
	Cuneta tierra (izq)	0	0	3,44	0,26	4,564	8,264
	Total (km)	0	0,743	4,255	1,223	29,04	35,261
Muros	Muro de Mamp. de Piedra (Izq)	0	23	0	0	0	23
	Total (m)	0	23	0	0	0	23
Puentes	PTE VIGA PRETENSADO	96	0	0	0	0	96
	PTE VIGA SIMPLE	0	46	0	0	0	46
	Total (ml)	96	46	0	0	0	142

Fuente: Plan Vial – SEDECA

ITAU - CHOERE

Ruta : **63201** De : **ITAU**
 Long. (km) : **23,2** Hasta: **CR RT F029 CHOERE**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	23,2	0	0	0	23,2
	Total (km)	0	23,2	0	0	0	23,2
Cunetas	Cuneta revestida	0	0	4	0	0	4
	Total (km)	0	0	4	0	0	4
Alcantarillas	Tubo de Hormigón	0	5	0	0	0	5
	Total (N°)	0	5	0	0	0	5
Badenes	Revestido	0	1	0	0	0	1
	Total (N°)	0	1	0	0	0	1
Puentes	Puente Losa de H°	0	140	0	0	0	140
	Total (ml)	0	140	0	0	0	140

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Inventario de tramos de la red Municipal

TOMATITAS – RINCÓN LA VICTORIA

Ruta : **65101** De : **TOMATITAS**
 Long. (km) : **10,015** Hasta: **RINCÓN DE LA VICTORIA**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	9,58	0	0	0	9,58
	Grava	0	0,032	0	0,403	0	0,435
	Total (km)	0	9,612	0	0,403	0	10,015
Cunetas	Cuneta revestida (izq)	0	0,574	0	0	0	0,574
	Cuneta tierra (der)	0	0	0	0	0,811	0,811
	Cuneta tierra (izq)	0	0	0	0	1,351	1,351
	Total (km)	0	0,574	0	0	2,162	2,736
Alcantarillas	Tubo Metalico	0	0	0	0	1	1
	Total (N°)	0	0	0	0	1	1
Badenes	Revestido	0	0	1	0	0	1
	Total (N°)	0	0	1	0	0	1
Puentes	Puente Viga Simple	0	66	0	0	0	66
	Total (ml)	0	66	0	0	0	66

Fuente: Plan Vial – SEDECA

SELLA CERCADO – SELLA MENDEZ

Ruta : **65104**
Long. (km) : **12.97**

De : **LIM PROV CERCADO-MENDEZ**
Hasta: **LIM PROV MENDEZ-CERCADO**

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	0	12.97	0	0	12.97
	Total (km)	0	0	12.97	0	0	12.97
Alcantarillas	Cajón de H°	0	2	2	0	0	4
	Tubo de Hormigón	0	1	0	0	0	1
	Tubo Metálico	0	3	1	0	1	5
	Total (N°)	0	6	3	0	1	10
Badenes	Revestido	0	2	1	0	0	3
	Total (N°)	0	2	1	0	0	3
Muros	Muro de Gaviones (izq)	0	0	0	0	26	26
	Muro de Mamp. de Piedra (der)	0	0	8	0	0	8
	Seco Mamp. de Piedra (der)	0	0	0	25	289	314
	Seco Mamp. de Piedra (izq)	0	0	0	14	1218	1232
	Total (m)	0	0	8	39	1533	1580

Fuente: Plan Vial – SEDECA

TABLADITA – SAN ANDRES

Ruta : 605
Long. (km) : 12.02

De : TABLADA CHICA
Hasta: SAN ANDRES (CR. RT. 61106)

Elemento	Tipo	Condición					Total
		Muy Bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy Malo	
Superficie	Trat. Superficial	0	0	12,02	0	0	12,02
	Total (km)	0	0	12,02	0	0	12,02
Cunetas	Cuneta revestida (der)	0	2,096	0,521	0	0,388	3,005
	Cuneta revestida (izq)	0	1,149	0,443	0	0	1,592
	Total (km)	0	3,245	0,964	0	0,388	4,597
Alcantarillas	Cajón de H°	0	0	9	0	0	9
	Tubo de Hormigón	0	0	2	1	0	3
	Tubo Metálico	0	0	1	1	0	2
	Total (N°)	0	0	12	2	0	14
Badenes	Revestido	0	0	1	0	0	1
	Piedra	0	0	1	0	0	1
	Total (N°)	0	0	2	0	0	2
Puentes	Puente Viga Pretensado	0	60	0	0	0	60
	Puente Viga Simple	0	0	65	0	0	65
	Total (ml)	0	60	65	0	0	125

Fuente: Plan Vial – SEDECA

4.3.APLICACIÓN DEL SISTEMA SAP (Sistema EXPEAR)

Objetivo

Desarrollar alternativas factibles de mantenimiento y/o rehabilitación desarrolladas con suficiente detalle para estimar confiablemente su comportamiento y sus costos e incluir la selección de tratamientos apropiados destinados a las fallas correctamente identificadas.

4.3.1. Aplicación del Sistema SAP a tramos de red Fundamental

TRAMO TARIJA-PADCAYA

1. Recolección de datos del proyecto

El tramo citado fue construido aproximadamente entre los años 1974 – 1977

Ubicación

Proyecto localizado en la región de los valles de Bolivia en el departamento de Tarija entre los 21 y 22° de latitud Sur a 65 y 64° de longitud Oeste, es parte constitutiva de la ruta F0001 (Panamericana) que une las ciudades de La Paz, Oruro y Potosí con Tarija y Bermejo (Frontera con la Republica Argentina).

Tipo de carretera	Fundamental
Tipo de pavimento	Flexible
Longitud	48.580 Km.
Número de carriles	2
Ancho de calzada	7.30 m
Berma con tratamiento simple	1.80 m

El paquete estructural difiere en espesor, según los siguientes datos

Tramo Portillo – Cr Colon Norte

Sub Base	0.20 m
Capa Base	0.20 m
Carpeta asfáltica	0.07 m

Tramo Cruce Colon Norte – Cruce Acc. Padcaya

Sub Base	0.20 m
Capa Base	0.20 m
Carpeta asfáltica	0.05 m

Normas adoptadas en el segundo programa de mantenimiento periódico (1995-1996) con un recapamiento de 0.04 m.

2. Extrapolación de condiciones globales del proyecto

2.1. Evaluación de la estructura

Estado actual.- El pavimento existente presenta, varios tipos de deterioros ubicados en sectores puntuales.

En la evaluación realizada se identificó las diferentes fallas puntuales las cuales han sido medidas para determinar el estado actual del pavimento.

☞ **Fisura de borde** con grado de **severidad Baja** (Grietas de baja severidad sin disgregación), se presentan en la mayoría de las secciones entre las progresivas 0+600 - 4+770, y **severidad Media** (Grietas de media severidad con algo de disgregación y rotura de los bordes), se presentan en las secciones entre las progresivas 2+600 - 4+770.





☞ **Fisuras longitudinales y transversales** con grados de **severidad Baja** (Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm), se presentan en todas las secciones a lo largo de todo el tramo (0+000 – 5+000), **severidad Media** (Grieta sin relleno de ancho mayor que 10.0 mm), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+600 – 4+770 y **severidad Alta** (Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas adyacentes pequeñas de severidad media o alta), se presentan en las secciones a partir de la progresiva 0+000 hasta la progresiva 2+420.

☞ **Parcheo** con grado de **severidad Baja** (El parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro) se presentan en la mayoría de las secciones entre las progresivas 0+000 – 4+770 con un área total de 26,66 m².



☞ **Agregado pulido** (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) se presenta en las secciones a partir de la progresiva 2+600 hasta la progresiva 5+000 con un área total 358 m².

☞ **Ahuellamiento** con grado de **severidad Baja** (La profundidad promedio es menor de 13 mm), se presenta a lo largo de todo el tramo (0+000 – 5+000) y **severidad Media** (La profundidad promedio es entre 13 y 25 mm) se presenta en la secciones entre las progresivas 0+400 – 0+820.



☞ **Peladuras** con grado de severidad Baja (Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+000 – 3+620 con un área total 73,50 m².

2.2.Verificación de las bermas

Las bermas en general se encuentran en regular estado existiendo sectores donde solo es necesario ejecutar la limpieza, imprimación o riego de liga y colocación del material asfáltico y otras zonas donde desapareció el tratamiento simple de bermas y debe ejecutarse el ítem correspondiente a escarificado y reconformado de bermas.

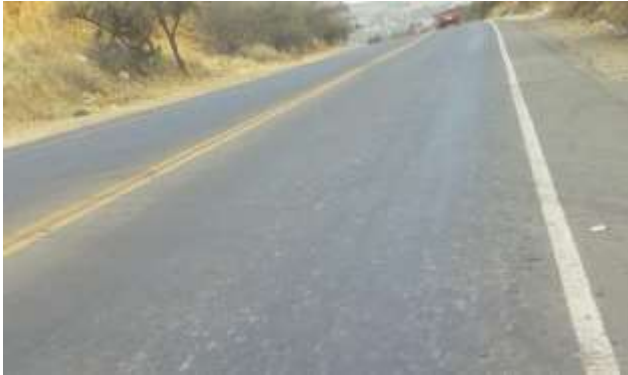
Existen zonas donde producto del tráfico de vehículos desde bocacalles, accesos a



caminos vecinales e industrias, se produjo la destrucción y desaparición de la berma. Por lo tanto se hace necesario ejecutar todo el trabajo para la reconfiguración de las mismas y el colocado del recubrimiento asfáltico respectivo a lo largo del tramo (0+000 – 5+000).

2.3.Verificación de la señalización

La señalización por lo general se encuentra en buen estado tanto la señalización vertical como horizontal no siendo necesario ningún tipo de mantenimiento.



2.4.Características de las obras de drenaje

En este estudio se abordara de forma general el tema de las obras de arte puesto que su estudio es muy extenso, solo se verá las más importantes y se explicara de qué manera están pueden afectar a la carretera.

En cuanto al funcionamiento de las obras de drenaje se pudo observar que el comportamiento es aceptable en cada uno de los mismos.



Es necesario encarar obras de protección como muros retardadores en el cauce de cunetas a fin de evitar daños en la plataforma y sectores aledaños a las alcantarillas.

Así mismo se debe ejecutar la limpieza y rehabilitación de las zanjas de coronamiento y cunetas reponiendo o construyendo el revestimiento de las mismas, a fin de evitar daños a la plataforma y bermas, a lo largo de todo el tramo (0+000 – 5+000).

Durante el desarrollo de la tesis el tema de drenaje no se lo tocara muy a profundidad solo se explicara muy superficialmente puesto que es un tema bastante extenso para desarrollar en forma completa.

3. Recomendaciones para muestreos físicos

- Realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, tanto en magnitud como en severidad.
- Contar el equipo mínimo necesario, tales como odómetros, equipo de medición de rugosidad, equipos de auscultación estructural, etc., con el fin de llevar a cabo la recolección de información de deterioros, rugosidades y capacidades estructurales en los pavimentos, las cuales servirán para darle seguimiento al Sistema de Administración de Pavimentos propuesto.
- Elaborar un “Relevamiento de Deterioros” de los pavimentos, por lo menos una vez cada año, para llevar un registro cronológico de los daños, con el fin de utilizar esta información para el posterior modelaje del comportamiento de los pavimentos.
- La metodología empleada en cada uno de los métodos de evaluación superficial de pavimentos, deberá ser correlativa, tomando en cuenta sus características y condiciones que requiera el método, pues de esta forma se logrará la obtención de resultados favorables.

4. Evaluación de condiciones presentes del pavimento

4.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para evaluar la condición superficial de cada uno de los segmentos del proyecto, se utilizó la metodología “Pavement Condition Index” (PCI).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en muy mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la **tabla 4.1** se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 4.1. Rangos del PCI

PCI	
0 - 25	ROJO
26 – 55	NARANJA
56 – 85	AMARILLO
86 - 100	VERDE

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Una vez definida la clasificación de la condición de pavimento, de acuerdo a cada color se establecen las actividades de conservación que se requieren de la siguiente manera, las cuales se realizarán en toda la calzada.

Tabla 4.2. Clasificación de las actividades por color

VERDE	MANTENIMIENTO RUTINARIO
AMARILLO	MANTENIMIENTO PERIÓDICO
NARANJA	REHABILITACIÓN
ROJO	RECONSTRUCCIÓN

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Las intervenciones propuestas para segmentos clasificados como rojos y naranjas deben corresponder a la determinación de un refuerzo o mejoramiento de la estructura existente, bien sea mejorando capas superiores o reemplazando y reconstruyendo completamente.

Una información más detallada se muestra en el ANEXO II, donde se muestra una planilla con los datos y resultados obtenidos para cada progresiva evaluada.

Para obtener el índice de condición del pavimento representativo de todo el tramo en estudio se promedió los PCI de cada sección.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	PCI=61.6	BUENO

Como se obtuvo un PCI de 61.6 se puede concluir que el estado superficial del pavimento flexible del tramo Tarija-Padcaya según la tabla 3.1 adjuntada al capítulo III es de un pavimento flexible BUENO.

4.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

El cuadro que se presenta a continuación muestra el resultado del IRI obtenido, este se lo obtuvo sacando el promedio de todos los IRI.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	IRI = 4.88	El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros.

El IRI calculado para todo el tramo en estudio es de 4.88 m/km, según la tabla 3.5 adjuntada al capítulo III de este proyecto, el pavimento “El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros”.

4.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

Con los resultados obtenidos en el cálculo del IRI podremos relacionar y así poder en base a la fórmula propuesta anteriormente calcular el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) y así ver en qué estado se encuentra el pavimento.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	PSI = 2.06	REGULAR

Según la tabla 3.4 adjuntada al capítulo III de este proyecto, los rangos del PSI del tramo total en estudio de pavimento flexible, tiene un estado superficial REGULAR.

5. Predicción de las condiciones futuras sin rehabilitación

5.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para determinar las predicciones futuras se utilizó el *método geométrico* dado por la siguiente fórmula:

$$PCI_{FUTURO} = PCI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PCI_{INICIO} - PCI_{ACTUAL}}{PCI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{100 - 61.6}{100} * 100$$

$$id = 38.4 \%$$

$$id = \frac{38.4}{19} = 2.02 \%$$

$$PCI_{FUTURO} = 61.6 * \left(1 - \frac{2.02}{100}\right)^1$$

$$PCI_{FUTURO} = 60.36$$

TIEMPO (Años)	PCI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	60.36	BUENO
3	57.94	BUENO
5	55.62	BUENO
7	53.40	REGULAR
10	50.23	REGULAR

5.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

$$IRI_{FUTURO} = IRI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{IRI_{INICIO} - IRI_{ACTUAL}}{IRI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{2 - 4.88}{2} * 100$$

$$id = 144 \% \rightarrow id = \frac{144}{19} = 7.58 \%$$

$$IRI_{FUTURO} = 4.88 * \left(1 + \frac{7.58}{100}\right)^1$$

$$IRI_{FUTURO} = 5.25$$

TIEMPO (Años)	IRI_{FUTURO}
1	5.25

3	6.08
5	7.03
7	8.14
10	10.13

El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 camino intransitable.

5.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

$$PSI_{FUTURO} = PSI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PSI_{INICIO} - PSI_{ACTUAL}}{PSI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{5 - 2.06}{5} * 100$$

$$id = 58.8 \%$$

$$id = \frac{58.8}{19} = 3.09 \%$$

$$PSI_{FUTURO} = 2.06 * \left(1 - \frac{3.09}{100}\right)^1$$

$$PSI_{FUTURO} = 1.97$$

TIEMPO (Años)	PSI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	1.97	MALO
3	1.87	MALO

5	1.76	MALO
7	1.65	MALO
10	1.51	MALO

6. Selección del enfoque principal de rehabilitación

El enfoque principal de rehabilitación está basada en alternativas de actuación, desarrolladas con suficiente detalle para estimar confiablemente su comportamiento y sus costos e incluir la selección de tratamientos apropiados destinados a las fallas correctamente identificadas. Desafortunadamente, aún no contamos con las herramientas que nos ayuden a predecir con precisión el tiempo correcto de aplicación de los tratamientos adecuados.

7. Desarrollo de estrategias detalladas de rehabilitación

Las estrategias de rehabilitación son combinaciones de tratamientos individuales de rehabilitación de un pavimento.

Con los valores del PCI calculado en la evaluación de condición de pavimentos de acuerdo al estado y con la ayuda de las tablas 4.1 y 4.2 se determina las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de la carretera tramo Tarija – Padcaya.

TIEMPO (Años)	PCI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACION
1	60.36	BUENO	Mantenimiento periódico
2	59.14	BUENO	Mantenimiento periódico
3	57.94	BUENO	Mantenimiento periódico
4	57.77	BUENO	Mantenimiento periódico
5	55.62	BUENO	Mantenimiento periódico
6	54.50	REGULAR	Rehabilitación
7	53.40	REGULAR	Rehabilitación
8	52.32	REGULAR	Rehabilitación
9	51.26	REGULAR	Rehabilitación

10	50.23	REGULAR	Rehabilitación
----	-------	---------	----------------

a) Mantenimiento periódico o correctivo

Son obras destinadas a impedir el deterioro de las capas inferiores del pavimento y se realiza en función del daño observado en el camino.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Sellado asfáltico
- ☞ Bacheo profundo
- ☞ Colocación de señalización vertical y horizontal.

b) Mantenimiento rutinario o preventivo

Se realiza periódicamente y permite mantener la utilidad del camino a lo largo de su vida de diseño.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Limpieza de cunetas
- ☞ Limpieza de alcantarillas
- ☞ Reparación de la señalización vertical
- ☞ Repintado de la señalización horizontal
- ☞ Rellenado de Baches en la vía
- ☞ Sello de grietas a mano

c) Rehabilitación de los pavimentos

Se realiza cuando el estado del camino muestra un deterioro que excede lo programado, de acuerdo a su vida de diseño, comprende la reposición total de la capa de rodadura del proyecto, construcción y reparación de obras de drenaje.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Bacheo profundo
- ☞ Riego de liga

- ☞ Refuerzo con carpeta asfáltica $e=4$ cm
- ☞ Pintado de señalización horizontal

Es así que con este resultado se comienza a formular alternativas para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento.

ALTERNATIVAS PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

TRAMO TARIJA - PADCAYA

PROBLEMA	CAUSA POSIBLE				MANTENIMIENTO				REHABILITACIÓN			RECONSTRUCCIÓN			
	Falla	Composición	Cambios de Humedad y Fallas de		Mantenimiento Normal y	Riego de	Tratamiento Superficial	Suny	Reciclado	Sobrecarpeta	Superficie de Granulometría	Sobrecarpeta	Recuperación de	Reciclado	Nuevos
Fisuras de Borde	x		x	x	X										
Fisuras trans. y long.		x	x				x	x	x			x			
Ahuellamiento	x	x		x					x	x		x	x	x	x
Desprendimientos		x		x		x	x	x	x	x	x				
Agregados Pulidos		x					x	x	x	x	x				
Peladuras		x		x			x			x	x				

Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

En función a los valores obtenidos del PCI para cada uno de los 10 años de análisis, la condición del pavimento y las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación que se requieren para dichos valores es que se describe a continuación las siguientes alternativas.

La ALTERNATIVA I que se desarrollara de manera inmediata hasta el año 5 (año 2020 del plan de actuaciones de las alternativas) que de acuerdo con los valores calculados del PCI futuro nos arrojan una condición del pavimento BUENA y el pavimento requiere solo un Mantenimiento Periódico.

La ALTERNATIVA II que se desarrollara a partir del año 6 (año 2021 del plan de actuaciones de las alternativas) donde según los cálculos del PCI futuro el pavimento requiere una rehabilitación.

I. ALTERNATIVA 1: Mantenimiento Rutinario anual de la carretera actual.

Es la Situación Base Optimizada que consiste en el mantenimiento rutinario de la carretera, que mejorarán las condiciones de operación del camino actual, realizando los trabajos básicos y necesarios, con un costo de conservación mínimo o sea donde se determina la ejecución de la obra con inversión menor y rentable.

1.-Mantenimiento Rutinario, con los siguientes trabajos:

- ☞ Mantenimiento rutinario de limpiezas, con intervención programada de Limpieza y desbroce de derecho de vía, limpieza de derrumbes, mantenimiento de bermas, etc.
- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, con intervención programada cada año.
- ☞ Bacheo con intervención correctiva cuando baches es $\geq 5n^{\circ}/km$ y la rugosidad el ≥ 8 IRI y sello de grietas. Durante todo el año.

2.-Mantenimiento periódico de obras de drenaje y señalización, con los siguientes trabajos:

- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, con intervención programada cada 2 años.
- ☞ Mantenimiento de señalización vial, al igual que el mantenimiento de drenajes la intervención será programada cada 2 años de mantenimiento (sin reposición) de señalización vertical, horizontal, etc.
- ☞ Bacheo profundo y superficial, de acuerdo a los resultados obtenidos del deterioro de la carretera y sellado asfáltico.

Plan de actuaciones de Alternativa N°1

Año	Descripción
2016	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento periódico N°1
2017	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)
2018	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)
2019	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)
2020	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)

Fuente: Elaboración propia

II. ALTERNATIVA 2: Recapamiento espesor de 4 cm. + Mantenimiento rutinario

Consiste en el recapamiento de espesor de 4cm. y la implementación de un plan de mantenimiento y conservación del camino necesario para el camino.

1.- Reparación de Carpeta Asfáltica con 4cm de espesor de recapamiento, con intervención programada de duración de 1 año.

2.- Mantenimiento rutinario, con los siguientes trabajos:

- ☞ Bacheo profundo y superficial, que consiste en los trabajos previos y necesarios para realizar un recapamiento y bacheo durante el periodo de análisis de acuerdo a los resultados obtenidos del deterioro de la carretera.
- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, mantenimiento de puentes, con intervención programada cada año.
- ☞ Mantenimiento de señalización vial, al igual que el mantenimiento de drenajes la intervención será programada cada año de mantenimiento (con reposición) de señalización vertical, horizontal, etc.

Plan de actuaciones de Alternativa N°2

Año	Descripción
2021	Recapamiento CA e=4cm
	Bacheo profundo y superficial
	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2022	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2023	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)
2024	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2025	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para identificar, cuantificar y evaluar la condición de todos aquellos elementos de la carretera que requieren mantenimiento y/o rehabilitación, se muestra el siguiente detalle.

A continuación se detalla las fallas, su nivel de severidad, cantidad de área afectada y opciones de reparación en el tramo en estudio.

FALLA	SEVERIDAD	UNID	TOTAL	OPCIONES DE REPARACION
Fisura de borde	L	m	55,76	Sellado de fisuras
Fisura de borde	M	m	83,70	Sellado de fisuras. Parcheo parcial - profundo.
Fisuras long y transversales	L	m	194,70	Sellado de fisuras
Fisuras long y transversales	M	m	86,06	Sellado de fisuras
Fisuras long y transversales	H	m	96,26	Sellado de fisuras. Parcheo parcial.
Parcheo	L	m2	26,66	No se hace nada.
Agregado pulido		m2	358.00	Tratamiento superficial. Sobre-carpeta. Fresado y sobrecarpeta.
Ahuellamiento	L	m2	460.00	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.
Ahuellamiento	M	m2	40.00	Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.
Peladuras	L	m2	73,50	No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

Fuente: Elaboración propia

8. Predicción del desempeño de estrategias de rehabilitación

El deterioro del pavimento y su desempeño se aprecia con relación a las diferentes categorías de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción. La efectividad del programa de conservación de pavimentos, depende de los escrutinios de las fallas y los tratamientos de estas.

Cuando se realiza un mantenimiento y/o rehabilitación el valor del PCI vuelve aproximadamente al valor inicial a un 90% del valor ideal.

$$PCI = PCI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PCI = 95 * 0.90$$

$$PCI = 85.5$$

Lo mismo sucede con los valores del IRI y PSI.

$$IRI = IRI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$IRI = 2.44 * 0.90$$

$$IRI = 2.20$$

$$PSI = PSI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PSI = 3.21 * 0.90$$

$$PSI = 2.89$$

9. Análisis de costos

Se analizó cada una de las Alternativas y considerando el análisis económico, los aspectos técnicos y de acuerdo a las necesidades de la zona. Se determinó que en lo inmediato se desarrolle la alternativa I hasta el año 5 y que a partir del año 6 desarrollar la alternativa II.

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-Padcaya
2016 – 2020	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y un mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija - Padcaya
2021 – 2025	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm

	Mantenimiento rutinario	
--	-------------------------	--

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Costo de Alternativa I Bs.	Costo de Alternativa II Bs.
2016	935.438,89	
2017	34.829,63	
2018	35.116,66	
2019	173.170,32	
2020	38.694,33	
2021		4.207.617,84
2022		34.198,58
2023		35.873,52
2024		174.065,97
2025		39.742,65
Totales	1.217.249,83	4.491.498,56
TOTAL	5.708.748,39 Bs	

En el ANEXO IV se encuentra la planilla detallada con los costos por año de ambas alternativas.

Por estas razones los períodos de análisis deben tener una duración suficiente para incluir una reconstrucción representativa del pavimento.

10. Selección de la estrategia de rehabilitación conveniente

Según lo indicado en los anteriores puntos no hay dudas sobre la conveniencia de una conservación del camino mediante un Mantenimiento Periódico hasta el año 5 (2020) y un recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implica un mantenimiento a partir del año 6 (2021).

Por tanto se elige en lo inmediato la ALTERNATIVA I hasta el año 5 (2020).

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija - Padcaya
2016 – 2020	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

Y en lo mediato la ALTERNATIVA II a partir del año 6 (2021).

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y un mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija-Padcaya
2021	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2022 – 2025	Mantenimiento	

Los beneficios directos que están relacionados con la construcción de estos tramos son:

- ☞ Reducir los costos de operación vehicular y costos de producción.
- ☞ Garantizar la Transitabilidad segura y confortable de los usuarios ofreciendo una superficie de rodadura acorde al tipo de vehículos.

Los beneficios a mediano y corto plazo están íntimamente ligados al mejoramiento productivo de la zona de influencia de este Proyecto; estos beneficios son:

- ☞ Progreso social y económico de las comunidades situadas en la zona de influencia del Proyecto.
- ☞ Mantener las condiciones óptimas de vinculación Nacional.

Los otros dos tramos de la red Fundamental se encuentran en el ANEXO III.

4.3.2. Aplicación del Sistema SAP a tramos de red Departamental

TRAMO CRUCE-EL VALLE DE LA CONCEPCION

1. Recolección de datos del proyecto

El tramo citado fue construido aproximadamente en el año 1997

Ubicación

El Proyecto está ubicado en el Municipio de Uriondo – Provincia Avilés del Departamento de Tarija.

Geográficamente está ubicado entre los paralelos: 21°37'59,69" Latitud; 64°37'51,97" Longitud y 21°41'37,85" Latitud; 64°39'15,46" Longitud.

El tramo Cr.Rt-1_Concepción, atraviesa por una topografía llana en casi toda su longitud, teniendo sin embargo en algunos sectores una topografía ondulada, es parte constitutiva de la ruta 604 CR. RT. F1 (Entrada a Concepción) – CR. Chaguaya (Abra San Miguel)

Tipo de carretera	Departamental
Tipo de pavimento	Flexible
Longitud	9.00 Km.
Número de carriles	2
Ancho de calzada	7.00 m
Berma con tratamiento simple	0.50 m

Normas adoptadas en el segundo programa de mantenimiento periódico (2011) con un recapamiento de 0.04 m.

2. Extrapolación de condiciones globales del proyecto

2.1. Evaluación de la estructura

Estado actual.- El pavimento existente presenta, varios tipos de deterioros ubicados en sectores puntuales.

En la evaluación realizada se identificó las diferentes fallas puntuales las cuales han sido medidas para determinar el estado actual del pavimento.

☞ **Abultamiento – hundimientos** con grado de **severidad Baja** (No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+400 - 0+620.



☞ **Fisuras longitudinales y transversales** con grados de **severidad Baja** (Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+800 – 3+620, **severidad Media** (Grieta sin relleno de ancho mayor que 10.0 mm), se presentan en las secciones en las progresivas 0+800 – 1+020.

☞ **Agregado pulido** (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) se presenta en las secciones a lo largo del tramo progresiva 0+000 hasta la progresiva 5+000.



☞ **Ahuellamiento** con grado de **severidad Baja** (La profundidad promedio es menor de 13 mm), se presenta a lo largo de todo el tramo 0+000 – 5+000.

☞ **Peladuras** con grado de **severidad Baja** (Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+400 – 4+420.



2.2.Verificación de las bermas

Las bermas en general se encuentran en buen estado existiendo sectores donde solo es necesario ejecutar la limpieza.



También existen zonas donde producto del tráfico de vehículos desde bocacalles, accesos a caminos vecinales e industrias, se produjo la destrucción y desaparición de la berma. Por lo tanto se hace necesario ejecutar todo el trabajo para la reconfiguración de las mismas y el colocado del recubrimiento asfáltico respectivo a lo largo del tramo (0+000 – 5+000).



2.3.Verificación de la señalización

La señalización por lo general se encuentra en buen estado tanto la señalización vertical como horizontal no siendo necesario ningún tipo de mantenimiento en este momento.



2.4. Características de las obras de drenaje

En este estudio se abordara de forma general el tema de las obras de arte puesto que su estudio es muy extenso, solo se verá las más importantes y se explicara de qué manera están pueden afectar a la carretera.

En cuanto al funcionamiento de las obras de drenaje se pudo observar que el comportamiento es aceptable en cada uno de los mismos.

Así mismo se debe ejecutar la limpieza y rehabilitación de las zanjas de coronamiento y cunetas reponiendo o construyendo el revestimiento de las mismas, a fin de evitar daños a la plataforma y bermas, a lo largo de todo el tramo (0+000 – 5+000).

Durante el desarrollo de la tesis el tema de drenaje no se lo tocara muy a profundidad solo se explicara muy superficialmente puesto que es un tema bastante extenso para desarrollar en forma completa.



3. Recomendaciones para muestreos físicos

- Realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, tanto en magnitud como en severidad.
- Contar el equipo mínimo necesario, tales como odómetros, equipo de medición de rugosidad, equipos de auscultación estructural, etc., con el fin de llevar a cabo la recolección de información de deterioros, rugosidades y capacidades estructurales en los pavimentos, las cuales servirán para darle seguimiento al Sistema de Administración de Pavimentos propuesto.
- Elaborar un “Relevamiento de Deterioros” de los pavimentos, por lo menos una vez cada año, para llevar un registro cronológico de los daños, con el fin de utilizar esta información para el posterior modelaje del comportamiento de los pavimentos.
- La metodología empleada en cada uno de los métodos de evaluación superficial de pavimentos, deberá ser correlativa, tomando en cuenta sus características y condiciones que requiera el método, pues de esta forma se logrará la obtención de resultados favorables.

4. Evaluación de condiciones presentes del pavimento

4.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para evaluar la condición superficial de cada uno de los segmentos del proyecto, se utilizó la metodología “Pavement Condition Index” (PCI).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en muy mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la **tabla 4.1**

se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 4.1. Rangos del PCI

PCI	
0 - 25	ROJO
26 – 55	NARANJA
56 – 85	AMARILLO
86 - 100	VERDE

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Una vez definida la clasificación de la condición de pavimento, de acuerdo a cada color se establecen las actividades de conservación que se requieren de la siguiente manera, las cuales se realizarán en toda la calzada.

Tabla 4.2. Clasificación de las actividades por color

VERDE	MANTENIMIENTO RUTINARIO
AMARILLO	MANTENIMIENTO PERIÓDICO
NARANJA	REHABILITACIÓN
ROJO	RECONSTRUCCIÓN

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Las intervenciones propuestas para segmentos clasificados como rojos y naranjas deben corresponder a la determinación de un refuerzo o mejoramiento de la estructura existente, bien sea mejorando capas superiores o reemplazando y reconstruyendo completamente.

Una información más detallada se muestra en el ANEXO II, donde se muestra una planilla con los datos y resultados obtenidos para cada progresiva evaluada.

Para obtener el índice de condición del pavimento representativo de todo el tramo en estudio se promedió los PCI de cada sección.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	PCI=71.7	MUY BUENO

Como se obtuvo un PCI de 71.7 se puede concluir que el estado superficial del pavimento flexible del tramo Cruce-El Valle de la Concepción según la tabla 3.1 adjuntada al capítulo III es de un pavimento flexible MUY BUENO.

4.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

El cuadro que se presenta a continuación muestra el resultado del IRI obtenido, este se lo obtuvo sacando el promedio de todos los IRI.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	IRI= 4.26	El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros.

El IRI calculado para todo el tramo en estudio es de 4.26 m/km, según la tabla 3.5 adjuntada al capítulo III de este proyecto, el pavimento “El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros”.

4.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

Con los resultados obtenidos en el cálculo del IRI podremos relacionar y así poder en base a la fórmula propuesta anteriormente calcular el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) y así ver en qué estado se encuentra el pavimento.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
-------------------	--------------	--------------------------------

0+000 – 5+000	PSI = 2.30	REGULAR
---------------	------------	---------

Según la tabla 3.4 adjuntada al capítulo III de este proyecto, los rangos del PSI del tramo total en estudio de pavimento flexible, tiene un estado superficial REGULAR.

5. Predicción de las condiciones futuras sin rehabilitación

5.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para determinar las predicciones futuras se utilizó el *método geométrico* dado por la siguiente fórmula:

$$PCI_{FUTURO} = PCI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PCI_{INICIO} - PCI_{ACTUAL}}{PCI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{100 - 71.7}{100} * 100$$

$$id = 28.3 \%$$

$$id = \frac{28.3}{4} = 7.08 \%$$

$$PCI_{FUTURO} = 71.7 * \left(1 - \frac{7.08}{100}\right)^1$$

$$PCI_{FUTURO} = 66.62$$

TIEMPO (Años)	PCI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	66.62	BUENO

3	57.62	BUENO
5	49.67	REGULAR
7	42.88	REGULAR
10	34.40	MALO

5.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

$$IRI_{FUTURO} = IRI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{IRI_{INICIO} - IRI_{ACTUAL}}{IRI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{2 - 4.26}{2} * 100$$

$$id = 113 \% \rightarrow id = \frac{113}{4} = 28.25 \%$$

$$IRI_{FUTURO} = 4.26 * \left(1 + \frac{28.25}{100}\right)^1$$

$$IRI_{FUTURO} = 5.46$$

TIEMPO (Años)	IRI_{FUTURO}
1	5.46
3	8.97
5	14.78
7	24.31
10	51.28

El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 camino intransitable. Por lo que los 3 últimos valores calculados para las predicciones futuras de los años 5, 7 y 10 se encuentran fuera del rango.

5.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

$$PSI_{FUTURO} = PSI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PSI_{INICIO} - PSI_{ACTUAL}}{PSI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{5 - 2.30}{5} * 100$$

$$id = 54 \%$$

$$id = \frac{54}{4} = 13.50 \%$$

$$PSI_{FUTURO} = 2.30 * \left(1 - \frac{13.50}{100}\right)^1$$

$$PSI_{FUTURO} = 1.99$$

TIEMPO (Años)	PSI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	1.99	MALA
3	1.49	MALA
5	1.11	MALA
7	0.83	MUY MALA
10	0.54	MUY MALA

6. Selección del enfoque principal de rehabilitación

El enfoque principal de rehabilitación está basada en alternativas de actuación, desarrolladas con suficiente detalle para estimar confiablemente su comportamiento y

sus costos e incluir la selección de tratamientos apropiados destinados a las fallas correctamente identificadas. Desafortunadamente, aún no contamos con las herramientas que nos ayuden a predecir con precisión el tiempo correcto de aplicación de los tratamientos adecuados.

7. Desarrollo de estrategias detalladas de rehabilitación

Las estrategias de rehabilitación son combinaciones de tratamientos individuales de rehabilitación de un pavimento.

Con los valores del PCI calculado en la evaluación de condición de pavimentos de acuerdo al estado y con la ayuda de las tablas 4.1 y 4.2 se determina las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de la carretera tramo Cruce – El Valle de la Concepción.

TIEMPO (Años)	PCI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACION
1	66.62	BUENO	Mantenimiento Periódico
2	61.91	BUENO	Mantenimiento Periódico
3	57.52	BUENO	Mantenimiento Periódico
4	53.45	REGULAR	Rehabilitación
5	49.67	REGULAR	Rehabilitación
6	46.15	REGULAR	Rehabilitación
7	42.88	REGULAR	Rehabilitación
8	39.85	MALO	Rehabilitación
9	37.03	MALO	Rehabilitación
10	34.40	MALO	Rehabilitación

a) Mantenimiento periódico o correctivo

Son obras destinadas a impedir el deterioro de las capas inferiores del pavimento y se realiza en función del daño observado en el camino.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Sellado asfáltico
- ☞ Bacheo profundo
- ☞ Colocación de señalización vertical y horizontal.

b) Mantenimiento rutinario o preventivo

Se realiza periódicamente y permite mantener la utilidad del camino a lo largo de su vida de diseño.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Limpieza de cunetas
- ☞ Limpieza de alcantarillas
- ☞ Reparación de la señalización vertical
- ☞ Repintado de la señalización horizontal
- ☞ Rellenado de Baches en la vía
- ☞ Sello de grietas a mano

c) Rehabilitación de los pavimentos

Se realiza cuando el estado del camino muestra un deterioro que excede lo programado, de acuerdo a su vida de diseño, comprende la reposición total de la capa de rodadura del proyecto, construcción y reparación de obras de drenaje.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Bacheo profundo
- ☞ Riego de liga
- ☞ Refuerzo con carpeta asfáltica $e=4$ cm
- ☞ Pintado de señalización horizontal

Es así que con este resultado se comienza a formular alternativas para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento.

**ALTERNATIVAS PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS
TRAMO CRUCE - EL VALLE DE LA CONCEPCION**

PROBLEMA	CAUSA POSIBLE				MANTENIMIENTO				REHABILITACIÓN				RECONSTRUCCIÓN			
	Falla	Composición	Cambios de Humedad y	Fallas de	Mantenimiento Normal y	Riego de	Tratamiento Superficial	Suny	Reciclado	Sobrecarpeta	Superficie de Granulometría	Sobrecarpeta	Recuperación de	Reciclado	Nuevos	
Fisuras long y trans	x		x		x	x	x	x				x				
Ahuellamiento	x	x		x					x	x		x	x	x	x	
Abultamiento hundimientos	-		x		x								x	x	x	
Agregados Pulidos		x					x	x	x	x	x					
Peladuras		x		x			x			x	x					

Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

En función a los valores obtenidos del PCI para cada uno de los 10 años de análisis, la condición del pavimento y las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación que se requieren para dichos valores es que se describe a continuación las siguientes alternativas.

La ALTERNATIVA I que se desarrollara de manera inmediata hasta el año 3 (año 2018 del plan de actuaciones de las alternativas) que de acuerdo con los valores calculados del PCI futuro nos arrojan una condición del pavimento BUENA y el pavimento requiere solo un Mantenimiento Periódico.

La ALTERNATIVA II que se desarrollara a partir del año 4 (año 2019 del plan de actuaciones de las alternativas) donde según los cálculos del PCI futuro el pavimento requiere una rehabilitación.

I. ALTERNATIVA 1: Mantenimiento Rutinario anual de la carretera actual.

Es la Situación Base Optimizada que consiste en el mantenimiento rutinario de la carretera, que mejorarán las condiciones de operación del camino actual, realizando los trabajos básicos y necesarios, con un costo de conservación mínimo o sea donde se determina la ejecución de la obra con inversión menor y rentable.

1.- Mantenimiento Rutinario para tratamiento Doble, con los siguientes trabajos:

- ☞ Mantenimiento rutinario de limpiezas, con intervención programada de Limpieza y desbroce de derecho de vía, limpieza de derrumbes, mantenimiento de bermas, etc.
- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, con intervención programada cada año.
- ☞ Bacheo con intervención correctiva cuando baches es $\geq 5n^{\circ}/km$ y la rugosidad el ≥ 8 IRI y sello de grietas. Durante todo el año.

2.- Mantenimiento periódico de obras de drenaje y señalización, con los siguientes trabajos:

- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, con intervención programada cada 2 años.
- ☞ Mantenimiento de señalización vial, al igual que el mantenimiento de drenajes la intervención será programada cada 2 años de mantenimiento (sin reposición) de señalización vertical, horizontal, etc.
- ☞ Bacheo profundo y superficial, de acuerdo a los resultados obtenidos del deterioro de la carretera y sellado asfáltico.

Plan de actuaciones de Alternativa N°1

Año	Descripción
2016	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento periódico
2017	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)
2018	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento rutinario (pavimento)

Fuente: Elaboración propia

II. ALTERNATIVA 2: Recapamiento espesor de 4 cm. + Mantenimiento rutinario

Consiste en el recapamiento de espesor de 4cm. con una vida útil de 10 años y la implementación de un plan de mantenimiento y conservación del camino necesario para el camino.

1.- **Reparación de Carpeta Asfáltica** con 4cm de espesor de recapamiento, con intervención programada de duración de 1 año.

2.- **Mantenimiento rutinario**, con los siguientes trabajos:

- ☞ Bacheo profundo y superficial, que consiste en los trabajos previos y necesarios para realizar un recapamiento y bacheo durante el periodo de análisis de acuerdo a los resultados obtenidos del deterioro de la carretera.
- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, mantenimiento de puentes, con intervención programada cada año.
- ☞ Mantenimiento de señalización vial, al igual que el mantenimiento de drenajes la intervención será programada cada año de mantenimiento (con reposición) de señalización vertical, horizontal, etc.

Plan de actuaciones de Alternativa N°2

Año	Descripción
2019	Recapamiento CA e=4cm
	Bacheo profundo y superficial
	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2020	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2021	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2022	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2023	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2024	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2025	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para identificar, cuantificar y evaluar la condición de todos aquellos elementos de la carretera que requieren mantenimiento y/o rehabilitación, se muestra el siguiente detalle.

A continuación se detalla las fallas, su nivel de severidad, cantidad de área afectada y opciones de reparación en el tramo en estudio.

FALLA	SEVERIDAD	UNID	TOTAL	OPCIONES DE REPARACION
Hundimientos	L	m	0.78	No se hace nada.
Fisuras long y transversales	L	m	129.70	Sellado de fisuras
Fisuras long y transversales	M	m	12.00	Sellado de fisuras
Agregado pulido		m2	851.75	Tratamiento superficial. Sobre-carpeta. Fresado y sobrecarpeta.
Ahuellamiento	L	m2	400.00	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.
Peladuras	L	m2	187.60	No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.

Fuente: Elaboración propia

8. Predicción del desempeño de estrategias de rehabilitación

El deterioro del pavimento y su desempeño se aprecia con relación a las diferentes categorías de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción. La efectividad del programa de conservación de pavimentos, depende de los escrutinios de las fallas y los tratamientos de estas.

Cuando se realiza un mantenimiento y/o rehabilitación el valor del PCI vuelve aproximadamente al valor inicial a un 90% del valor ideal.

$$PCI = PCI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PCI = 71.7 * 0.90$$

$$PCI = 64.53$$

Lo mismo sucede con los valores del IRI y PSI.

$$IRI = IRI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$IRI = 4.26 * 0.90$$

$$IRI = 3.83$$

$$PSI = PSI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PSI = 2.30 * 0.90$$

$$PSI = 2.07$$

9. Análisis de costos

Se analizó cada una de las Alternativas y considerando el análisis económico, los aspectos técnicos y de acuerdo a las necesidades de la zona. Se determinó que en lo inmediato se desarrolle la alternativa I hasta el año 3 y que a partir del año 4 desarrollar la alternativa II.

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1- Concepción
2016 – 2018	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y un mantenimiento.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1- Concepción
2019	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2020 – 2025	Mantenimiento	

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Costo de Alternativa I Bs.	Costo de Alternativa II Bs.
2016	902.385,67	
2017	32.297,07	
2018	33.184,32	
2019		4.040.750,67
2020		33.184,32
2021		34.790,44
2022		172.907,16
2023		38.500,56

2024		40.638,30
2025		42.989,81
Totales	967.867,06	4.403.761,26
TOTAL	5.371.628,32 Bs	

En el ANEXO IV se encuentra la planilla detallada con los costos por año de ambas alternativas.

Por estas razones los períodos de análisis deben tener una duración suficiente para incluir una reconstrucción representativa del pavimento.

10. Selección de la estrategia de rehabilitación conveniente

Según lo indicado en los anteriores puntos no hay dudas sobre la conveniencia de una conservación del camino mediante un Mantenimiento Periódico hasta el año 3 (2018) y un recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implica un mantenimiento a partir del año 4 (2019).

Por tanto se elige en lo inmediato la ALTERNATIVA I hasta el año 3 (2018).

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1-Concepción
2016 – 2018	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

Y en lo mediano la ALTERNATIVA II a partir del año 4 (2019).

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y un mantenimiento.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1-Concepción
2019– 2025	Recapamiento Carpeta asfáltica Mantenimiento rutinario	4.0 cm

Los otros dos tramos de la red Departamental están en el ANEXO III.

4.3.3. Aplicación del Sistema SAP a tramos de red Municipal

TRAMO TABLADITA -SAN ANDRES

1. Recolección de datos del proyecto

El tramo citado fue construido aproximadamente en el año 2009.

Ubicación

Proyecto localizado en la región de los valles de Bolivia en el departamento de Tarija entre los 21 y 22° de latitud Sur a 65 y 64° de longitud Oeste, es parte constitutiva de la ruta 605 que une Tablada Chica con San Andrés (CR. RT. 61106).

Tipo de carretera	Municipal
Tipo de pavimento	Flexible (Tratamiento Superficial)
Longitud	12.02 Km.
Número de carriles	2
Ancho de calzada	6.90 m
Berma con tratamiento simple	1.00 m

2. Extrapolación de condiciones globales del proyecto

2.1. Evaluación de la estructura

Estado actual.- El pavimento existente presenta, varios tipos de deterioros ubicados en sectores puntuales.

En la evaluación realizada se identificó las diferentes fallas puntuales las cuales han sido medidas para determinar el estado actual del pavimento.

☞ **Piel de cocodrilo** con grado de **severidad Media** (Fisuras finas a moderadas, de ancho menor a 5 mm, interconectadas formando polígonos pequeños y angulosos, que pueden estar ligeramente “descascaradas” en correspondencia con las intersecciones), se presentan en las secciones entre las progresivas (1+200 - 1+220), (4+200 - 4+220) y **severidad Alta** (Red o patrón de fisuras que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y “descascarados” los bordes), se presentan en algunas de las secciones entre las progresivas 0+200 - 4+770.



☞ **Abultamiento - hundimientos** con grado de **severidad Baja** (No tienen una consecuencia importante en la calidad de rodaje), se presentan en la mayoría de las secciones entre las progresivas 2+000 - 2+020 y **severidad Media** (Producen un efecto medio en la calidad de rodaje), se

presentan en algunas de las secciones entre las progresivas 0+800 - 3+420.



☞ **Fisura de borde** con grado de **severidad Alta** (Grietas de baja severidad sin disgregación), se presentan en algunas de las secciones entre las progresivas 2+200 - 3+020.

☞ **Fisuras longitudinales y transversales** con grados de **severidad Baja** (Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm), se presentan en las secciones entre las progresivas 2+200 – 3+020, **severidad Media** (Grieta sin relleno de ancho mayor que 10.0 mm), se presentan en las secciones entre las progresivas 1+200 – 4+220 y **severidad Alta** (Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas adyacentes pequeñas de severidad media o alta), se presentan en las secciones a partir de la progresiva 1+400 hasta la progresiva 4+770.



☞ **Parcheo** con grado de **severidad Baja** (El parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco o ningún deterioro) se presentan en las secciones entre las progresivas 0+000 – 3+020. y **severidad Media** (El parcheo está moderadamente deteriorado o el efecto sobre la calidad del tránsito) se presentan en las secciones a partir de la progresiva 1+200 hasta la progresiva 4+770.

☞ **Baches** con grado de **severidad Baja**

se presenta en algunas de las secciones a partir de la progresiva 0+000 hasta la progresiva 3+020, **severidad Media** (Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm los baches se consideran de severidad



media) se presentan en algunas secciones entre las progresivas 0+400- 0+420 y **severidad Alta** (Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta) se presenta en algunas de las secciones entre las progresivas 0+400 – 4+770.

☞ **Ahuellamiento** con grado de **severidad**

Baja (La profundidad promedio es menor de 13 mm), se presentan en la mayoría de las secciones a lo largo de todo el tramo (0+000 – 5+000), **severidad Media** (La profundidad promedio es entre 13 y 25 mm) se presenta en la secciones entre las progresivas 0+600 – 4+220 y **severidad Alta** (La profundidad promedio es mayor de 25 mm) se presenta en la seccion entre las progresivas 2+000 – 2+020.





☞ **Peladuras** con grado de **severidad Baja**

(Han comenzado a perderse los agregados o el ligante. En algunas áreas la superficie ha comenzado a deprimirse), se presentan en la mayoría de las secciones entre las progresivas 0+000-4+770, **severidad Media** (Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y “ahuecada”), se presentan en las secciones entre las progresivas 0+000 – 4+020 y **severidad Alta** (Se han perdido de forma considerable los agregados o el ligante. La textura superficial es

muy rugosa y severamente “ahuecada”), se presentan en algunas de las secciones entre las progresivas 0+400 – 3+820.

2.2.Verificación de las bermas

Las bermas en general se encuentran en regular estado existiendo sectores donde solo es necesario ejecutar la limpieza, imprimación o riego de liga y colocación del material asfáltico y otras zonas donde desapareció el tratamiento simple de bermas y debe ejecutarse el ítem correspondiente a escarificado y reconformado de bermas.

Por lo tanto se hace necesario ejecutar todo el trabajo para la reconformación de las mismas y el colocado del recubrimiento asfáltico respectivo.



2.3.Verificación de la señalización

La señalización se encuentra en mal estado debido al mal estado de la carretera, tanto la señalización vertical como horizontal siendo necesario el mantenimiento y/o rehabilitación de las mismas.



2.4.Características de las obras de drenaje

En este estudio se abordara de forma general el tema de las obras de arte puesto que su estudio es muy extenso, solo se verá las más importantes y se explicara de qué manera están pueden afectar a la carretera.

En cuanto al funcionamiento de las obras de drenaje se pudo observar que el comportamiento es aceptable en cada uno de los mismos.

Así mismo se debe ejecutar la limpieza y rehabilitación de las zanjas de coronamiento y cunetas reponiendo o construyendo el revestimiento de las mismas, a fin de evitar daños a la plataforma y bermas.

Durante el desarrollo de la tesis el tema de drenaje no se lo tocara muy a profundidad solo se explicara muy superficialmente puesto que es un tema bastante extenso para desarrollar en forma completa.



3. Recomendaciones para muestreos físicos

- Realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, tanto en magnitud como en severidad.
- Contar el equipo mínimo necesario, tales como odómetros, equipo de medición de rugosidad, equipos de auscultación estructural, etc., con el fin de llevar a cabo la recolección de información de deterioros, rugosidades y capacidades estructurales en los pavimentos, las cuales servirán para darle seguimiento al Sistema de Administración de Pavimentos propuesto.

- Elaborar un “Relevamiento de Deterioros” de los pavimentos, por lo menos una vez cada año, para llevar un registro cronológico de los daños, con el fin de utilizar esta información para el posterior modelaje del comportamiento de los pavimentos.
- La metodología empleada en cada uno de los métodos de evaluación superficial de pavimentos, deberá ser correlativa, tomando en cuenta sus características y condiciones que requiera el método, pues de esta forma se logrará la obtención de resultados favorables.

4. Evaluación de condiciones presentes del pavimento

4.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para evaluar la condición superficial de cada uno de los segmentos del proyecto, se utilizó la metodología “Pavement Condition Index” (PCI).

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en muy mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la **tabla 4.1** se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Tabla 4.1. Rangos del PCI

PCI	
0 - 25	ROJO
26 - 55	NARANJA
56 - 85	AMARILLO
86 - 100	VERDE

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Una vez definida la clasificación de la condición de pavimento, de acuerdo a cada color se establecen las actividades de conservación que se requieren de la siguiente manera, las cuales se realizarán en toda la calzada.

Tabla 4.2. Clasificación de las actividades por color

VERDE	MANTENIMIENTO RUTINARIO
AMARILLO	MANTENIMIENTO PERIÓDICO
NARANJA	REHABILITACIÓN
ROJO	RECONSTRUCCIÓN

Fuente. Pavement Management for Airports, Roads And Parking Lots: Shahin M.Y.

Las intervenciones propuestas para segmentos clasificados como rojos y naranjas deben corresponder a la determinación de un refuerzo o mejoramiento de la estructura existente, bien sea mejorando capas superiores o reemplazando y reconstruyendo completamente.

Una información más detallada se muestra en el ANEXO II, donde se muestra una planilla con los datos y resultados obtenidos para cada progresiva evaluada.

Para obtener el índice de condición del pavimento representativo de todo el tramo en estudio se promedió los PCI de cada sección.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	PCI= 40.57	REGULAR

Como se obtuvo un PCI de 40.57 se puede concluir que el estado superficial del pavimento flexible del tramo Tabladita-San Andes según la tabla 3.1 adjuntada al capítulo III es de un pavimento flexible BUENO.

4.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

El cuadro que se presenta a continuación muestra el resultado del IRI obtenido, este se lo obtuvo sacando el promedio de todos los IRI.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	IRI= 5.82	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones (20 – 40mm. Cada 5m o de 10 – 20mm. Cada 3m), velocidad normal de conducción 80 km/hr.

El IRI calculado para todo el tramo en estudio es de 5.82 m/km, según la tabla 3.5 adjuntada al capítulo III de este proyecto, el pavimento “Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones (20 – 40mm. Cada 5m o de 10 – 20mm. Cada 3m), velocidad normal de conducción 80 km/hr”.

4.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

Con los resultados obtenidos en el cálculo del IRI podremos relacionar y así poder en base a la fórmula propuesta anteriormente calcular el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) y así ver en qué estado se encuentra el pavimento.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 5+000	PSI=1.74	MALO

Según la tabla 3.4 adjuntada al capítulo III de este proyecto, los rangos del PSI del tramo total en estudio de pavimento flexible, tiene un estado superficial MALO.

5. Predicción de las condiciones futuras sin rehabilitación

5.1. PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Para determinar las predicciones futuras se utilizó el *método geométrico* dado por la siguiente fórmula:

$$PCI_{FUTURO} = PCI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PCI_{INICIO} - PCI_{ACTUAL}}{PCI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{100 - 40.57}{100} * 100$$

$$id = 59.43 \%$$

$$id = \frac{59.43}{6} = 9.91\%$$

$$PCI_{FUTURO} = 40.57 * \left(1 - \frac{9.91}{100}\right)^1$$

$$PCI_{FUTURO} = 36.55$$

TIEMPO (Años)	PCI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	36.55	MALO
3	29.66	MALO
5	24.08	MUY MALO
7	19.54	MUY MALO
10	14.29	MUY MALO

5.2. IRI (índice de Rugosidad Internacional)

$$IRI_{FUTURO} = IRI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{IRI_{INICIO} - IRI_{ACTUAL}}{IRI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{2 - 5.82}{2} * 100$$

$$id = 191 \% \rightarrow id = \frac{191}{6} = 31.83 \%$$

$$IRI_{FUTURO} = 5.82 * \left(1 + \frac{31.83}{100}\right)^1$$

$$IRI_{FUTURO} = 7.67$$

TIEMPO (Años)	<i>IRI_{FUTURO}</i>
1	7.67
3	13.33
5	23.17
7	40.27
10	92.27

El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 camino intransitable. Por lo que los últimos valores calculados para las predicciones futuras de los años 3, 5, 7 y 10 se encuentran fuera del rango.

5.3. PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)

$$PSI_{FUTURO} = PSI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

$$id = \frac{PSI_{INICIO} - PSI_{ACTUAL}}{PSI_{INICIO}} * 100$$

$$id = \frac{5 - 1.74}{5} * 100$$

$$id = 65.20 \%$$

$$id = \frac{65.20}{6} = 10.87 \%$$

$$PSI_{FUTURO} = 1.74 * \left(1 - \frac{10.87}{100}\right)^1$$

$$PSI_{FUTURO} = 1.55$$

TIEMPO (Años)	PSI_{FUTURO}	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	1.55	MALA
3	1.23	MALA
5	0.98	MUY MALA
7	0.78	MUY MALA
10	0.55	MUY MALA

6. Selección del enfoque principal de rehabilitación

El enfoque principal de rehabilitación está basada en alternativas de actuación, desarrolladas con suficiente detalle para estimar confiablemente su comportamiento y sus costos e incluir la selección de tratamientos apropiados destinados a las fallas correctamente identificadas. Desafortunadamente, aún no contamos con las

herramientas que nos ayuden a predecir con precisión el tiempo correcto de aplicación de los tratamientos adecuados.

7. Desarrollo de estrategias detalladas de rehabilitación

Las estrategias de rehabilitación son combinaciones de tratamientos individuales de rehabilitación de un pavimento.

Con los valores del PCI calculado en la evaluación de condición de pavimentos de acuerdo al estado y con la ayuda de las tablas 4.1 y 4.2 se determina las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación de la carretera del tramo Tabladita – San Andrés.

TIEMPO (Años)	<i>PCI_{FUTURO}</i>	CONDICION DEL PAVIMENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y/O REHABILITACION
1	36.55	MALO	Rehabilitación
2	32.93	MALO	Rehabilitación
3	29.66	MALO	Rehabilitación
4	26.72	MALO	Rehabilitación
5	24.08	MUY MALO	Reconstrucción
6	21.69	MUY MALO	Reconstrucción
7	19.54	MUY MALO	Reconstrucción
8	17.60	MUY MALO	Reconstrucción
9	15.86	MUY MALO	Reconstrucción
10	14.29	MUY MALO	Reconstrucción

a) Rehabilitación de los pavimentos

Se realiza cuando el estado del camino muestra un deterioro que excede lo programado, de acuerdo a su vida de diseño, comprende la reposición total de la capa de rodadura del proyecto, construcción y reparación de obras de drenaje.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Bacheo profundo
- ☞ Riego de liga
- ☞ Refuerzo con carpeta asfáltica $e=4$ cm

b) Mantenimiento rutinario o preventivo

Se realiza periódicamente y permite mantener la utilidad del camino a lo largo de su vida de diseño.

Las actividades a realizar son las siguientes:

- ☞ Limpieza de cunetas
- ☞ Limpieza de alcantarillas
- ☞ Reparación de la señalización vertical
- ☞ Repintado de la señalización horizontal
- ☞ Rellenado de Baches en la vía
- ☞ Sello de grietas a mano
- ☞ Pintado de señalización horizontal

Es así que con este resultado se comienza a formular alternativas para el mantenimiento y rehabilitación del pavimento.

ALTERNATIVAS PARA EL MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

TRAMO TABLADITA – SAN ANDRES

PROBLEMA	CAUSA POSIBLE				MANTENIMIENTO				REHABILITACIÓN			RECONSTRUCCIÓN			
	Falla	Composición	Cambios de Humedad y Fallas de		Mantenimiento Normal y	Riego de	Tratamiento Superficial	Suny	Reciclado	Sobrecarpeta	Superficie de Granulometría	Sobrecarpeta	Recuperación de	Reciclado	Nuevos
Piel de Cocodrilo	x				x		x	x				x	x	x	x
Fisura de borde	x		x	x	x										
Fisuras long y trans	x		x		x	x	x	x				x			
Ahuellamiento	x	x		x					x	x		x	x	x	x
Abultamiento hundimientos			x		x								x	x	x
Baches	x	x	x	x	x							x			
Peladuras		x		x			x			x	x				

Fuente: Manual de Evaluación de Pavimentos

DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS

En función a los valores obtenidos del PCI para cada uno de los 10 años de análisis, la condición del pavimento y las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación que se requieren para dichos valores es que se describe a continuación las siguientes alternativas.

La ALTERNATIVA I que se desarrollara en los 10 años de análisis que de acuerdo con los valores calculados del PCI futuro nos arroja una condición del pavimento REGULAR en el primer año, MALO en los siguientes 6 años y MUY MALO los 3 posteriores años y el cual según tabla 4.2 pavimento requiere una rehabilitación.

I. ALTERNATIVA 1: Recapamiento espesor de 4 cm. + Mantenimiento rutinario

Consiste en el recapamiento de espesor de 4cm. con una vida útil de 10 años y la implementación de un plan de mantenimiento y conservación del camino necesario para el camino.

1.- Reparación de Carpeta Asfáltica con 4cm de espesor de recapamiento, con intervención programada de duración de 1 año.

2.- Mantenimiento rutinario, con los siguientes trabajos:

- ☞ Bacheo profundo y superficial, que consiste en los trabajos previos y necesarios para realizar un recapamiento y bacheo durante el periodo de análisis de acuerdo a los resultados obtenidos del deterioro de la carretera.
- ☞ Mantenimiento de obras de drenaje, que consiste en la Limpieza de alcantarillas y cunetas, mantenimiento de puentes, con intervención programada cada año.
- ☞ Mantenimiento de señalización vial, al igual que el mantenimiento de drenajes la intervención será programada cada año de mantenimiento (con reposición) de señalización vertical, horizontal, etc.

Plan de actuaciones de Alternativa N°1

Año	Descripción
2016	Recapamiento CA e=4cm
	Bacheo profundo y superficial
	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2017	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2018	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2019	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2020	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2021	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2022	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2023	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2024	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)
2025	Mantenimiento rutinario (obras de drenaje)
	Mantenimiento periódico (señalización vial)

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento para identificar, cuantificar y evaluar la condición de todos aquellos elementos de la carretera que requieren mantenimiento y/o rehabilitación, se muestra el siguiente detalle.

A continuación se detalla las fallas, su nivel de severidad, cantidad de área afectada y opciones de reparación en el tramo en estudio.

FALLA	SEVERIDAD	UNID	TOTAL	OPCIONES DE REPARACION
Piel de Cocodrilo	M	m2	14.30	No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta

Piel de Cocodrilo	H	m2	30.64	Parqueo parcial o en toda la profundidad. Sobrecarpeta. Reconstrucción.
Hundimiento	L	m	10.00	No se hace nada
Hundimiento	M	m	3.40	Reciclado en frío. Parqueo profundo o parcial.
Fisura de borde	H	m	27.00	Parqueo parcial - profundo.
Fisuras long y transversales	L	m	9.40	Sellado de fisuras
Fisuras long y transversales	M	m	56.10	Sellado de fisuras
Fisuras long y transversales	H	m	113.60	Sellado de fisuras. Parqueo parcial.
Parqueo	L	m2	42.71	No se hace nada.
Parqueo	M	m2	4.80	No se hace nada. Sustitución del parche.
Baches	L	Nº	13.00	No se hace nada. Parqueo parcial o profundo.
Baches	M	Nº	2.00	Parqueo parcial o profundo.
Baches	H	Nº	7.00	Parqueo profundo.
Ahuellamiento	L	m2	260.00	No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.
Ahuellamiento	M	m2	160.00	Parqueo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.
Ahuellamiento	H	m2	20.00	Parqueo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.
Peladuras	L	m2	131.78	No se hace nada. Sello superficial. Tratamiento superficial.
Peladuras	M	m2	278.95	Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.
Peladuras	H	m2	42.92	Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Fuente: Elaboración propia

8. Predicción del desempeño de estrategias de rehabilitación

El deterioro del pavimento y su desempeño se aprecia con relación a las diferentes categorías de mantenimiento preventivo, rehabilitación y reconstrucción.

La efectividad del programa de conservación de pavimentos, depende de los escrutinios de las fallas y los tratamientos de estas.

Cuando se realiza un mantenimiento y/o rehabilitación el valor del PCI vuelve aproximadamente al valor inicial a un 90% del valor ideal.

$$PCI = PCI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PCI = 95 * 0.90$$

$$PCI = 85.5$$

Lo mismo sucede con los valores del IRI y PSI.

$$IRI = IRI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$IRI = 2.44 * 0.90$$

$$IRI = 2.20$$

$$PSI = PSI_{INICIAL} * 90\% \text{ de eficiencia}$$

$$PSI = 3.21 * 0.90$$

$$PSI = 2.89$$

9. Análisis de costos

Se analizó la Alternativa I y considerando el análisis económico, los aspectos técnicos y de acuerdo a las necesidades de la zona. Se determinó que en lo inmediato se desarrolle una rehabilitación.

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-San Andrés
2016	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2017 – 2025	Mantenimiento	

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.
2016	3.985.479,62
2017	32.323,00
2018	34.343,46
2019	172.391,22
2020	37.908,75
2021	39.963,04
2022	178.572,76
2023	44.708,45
2024	47.442,71
2025	186.800,39
TOTAL	4.759.933,41

En el ANEXO IV se encuentra la planilla detallada con los costos por año de la alternativa.

Por estas razones los períodos de análisis deben tener una duración suficiente para incluir una reconstrucción representativa del pavimento.

10. Selección de la estrategia de rehabilitación conveniente

Según lo indicado en los anteriores puntos no hay dudas sobre la conveniencia de una conservación del camino mediante un recapado y trabajos que implica un mantenimiento esto debido al estado en que se encuentra la carretera lo más conveniente es la alternativa I.

Desde el punto de vista económico la alternativa I es la más económica con mayor inversión para la primera etapa y un menor costo de la vida útil.

Por tanto se elige la ALTERNATIVA I para todo el periodo de análisis.

- Alternativa I.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y un mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija-San Andrés
2016 – 2025	Recapamiento Carpeta asfáltica Mantenimiento rutinario	4.0 cm

Los otros tramos de la red Municipal están en el ANEXO III

4.4.ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.4.1. Datos de entrada

Según el procedimiento de campo seguido para evaluar el estado superficial de los tramos seleccionados para la aplicación del proyecto, se pudo observar que existen tramos donde las fallas son de severidad alta, media y baja, los cuales se detallan a continuación:

➤ Tarija-Padcaya

- ☞ Fisuras de borde de severidad baja y media, donde la mayor cantidad son de severidad media que se presentan en las secciones entre las progresivas 2+600 – 4+770.
- ☞ Fisuras longitudinales y transversales de severidad baja, media y alta, con mayor cantidad de severidad baja que se presenta en todas las secciones a lo largo del tramo 0+000 – 5+000.
- ☞ Parcheo con grado de severidad baja en algunas secciones entre las progresivas 0+000 – 4+770.
- ☞ Agregado pulido que se presentan en las secciones entre las progresivas 2+600 – 5+000.
- ☞ Ahuellamiento con grado de severidad baja y media, donde la mayor cantidad corresponde a severidad baja que se presentan en las secciones a lo largo de todo el tramo 0+000 – 5+000.
- ☞ Peladuras con grado de severidad baja que se presentan en secciones entre las progresivas 0+000 – 3+620.

➤ **Tarija – Falda la Queñua**

- ☞ Exudación con grado de severidad baja con pequeñas áreas casi insignificante en parte del tramo 0+000 – 5+000.
- ☞ Ahuellamiento con grado de severidad baja de igual manera en parte del tramo 0+000 – 5+000.

➤ **Tarija – Puerta del Chaco**

- ☞ Fisuras en bloque con grado de severidad baja se presentan en la mayoría de las secciones entre las progresivas 0+600 – 0+800.
- ☞ Hundimientos con grado de severidad baja se presentan en las secciones entre las progresivas 0+120 – 4+600.
- ☞ Fisuras de borde con grado de severidad baja, media y alta donde la mayor cantidad corresponde a la severidad media en las secciones entre las progresivas 0+000 – 3+200.

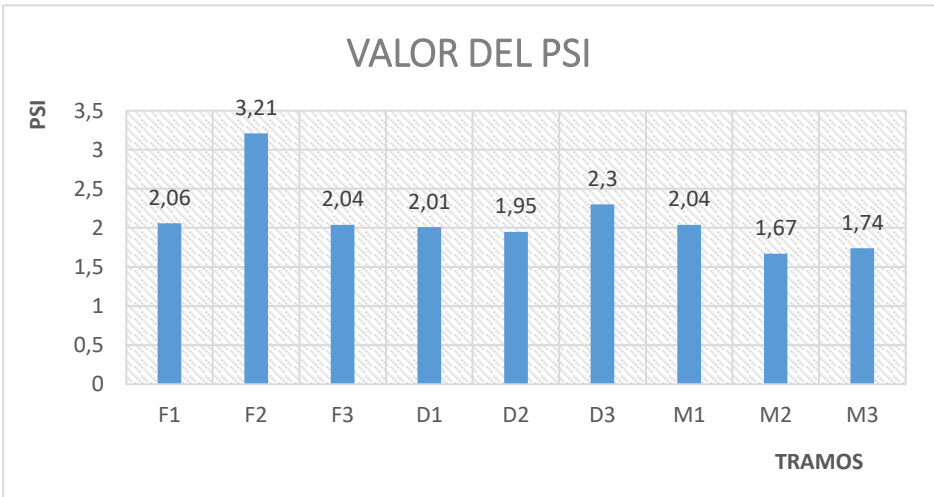
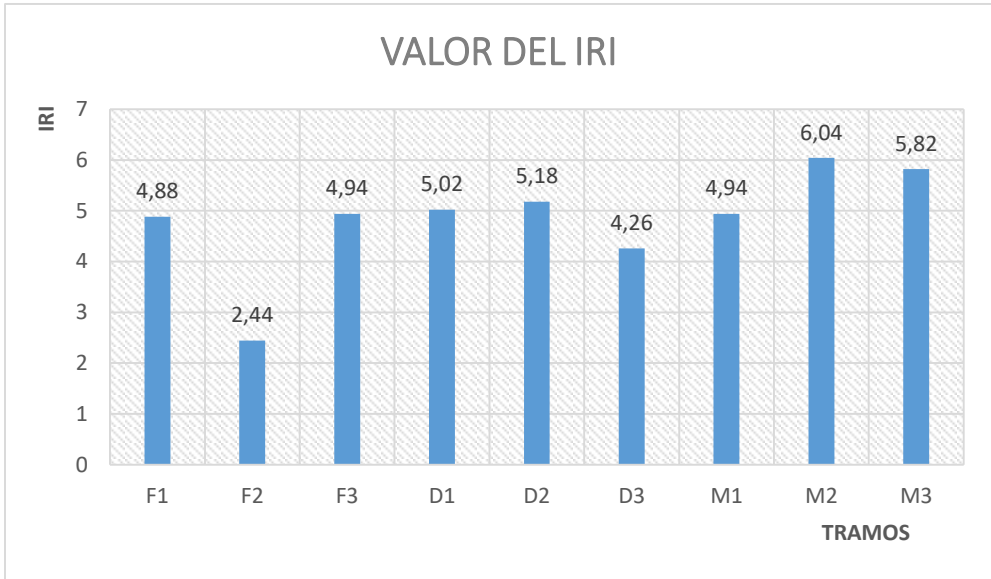
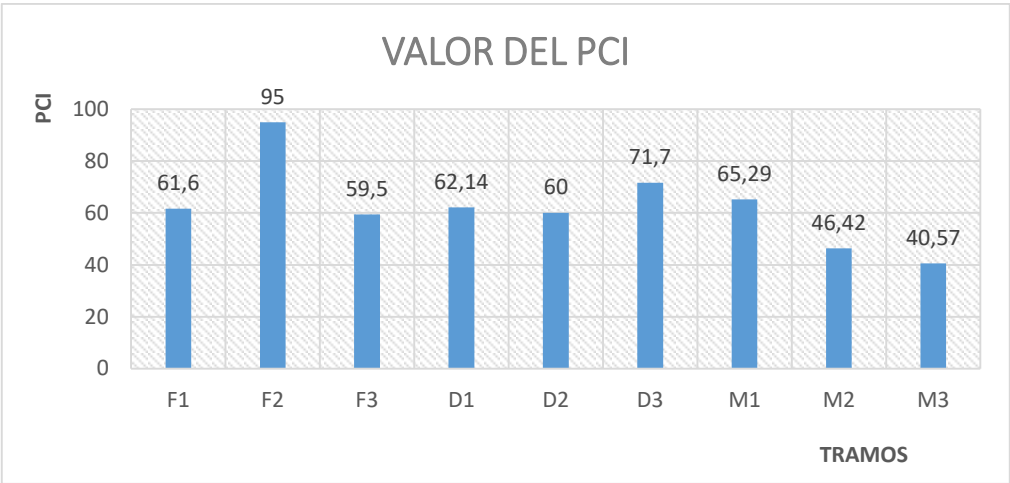
- ☞ Fisuras longitudinales y transversales con grados de severidad baja y media siendo la de severidad baja la que tiene mayor cantidad ubicado a lo largo del tramo 0+000 -5+000.
- ☞ Parcheo con severidad baja se presenta en la sección entre las progresivas 3+620-3+640.
- ☞ Agregado pulido se presenta al inicio del tramo entre las progresivas 0+000-0+800.
- ☞ Baches de severidad baja en la progresiva 4+220-4+240.
- ☞ Ahuellamiento con grado de severidad baja y media siendo la de severidad baja la que cuenta con mayor cantidad y se presenta a lo largo del tramo en estudio 0+000-5+000.
- ☞ Peladuras con grado de severidad baja entre las progresivas 0+200-1+220.

Por lo general, todos los tramos poseen fallas similares tanto los de la red Fundamental, Departamental y Municipal.

Los valores promedios de PCI, IRI y PSI obtenidos en cada tramo son los siguientes:

TRAMOS

- F1= TARIJA - PADCAYA
- F2= TARIJA - FALDA LA QUEÑUA
- F3= TARIJA – PURTA DEL CHACO
- D1= TARIJA - SAN LORENZO
- D2= ITAÚ-CHOERE
- D3= CRUCE-VALLE DE LA CONCEPCIÓN
- M1= SELLA CERCADO-SELLA MÉNDEZ
- M2= TOMATITAS - LA VICTORIA
- M3= TABLADITA - SAN ANDRÉS



4.4.2. Metodología de gestión (pasos del método)

En cuanto a los pasos de la metodología utilizada para la aplicación del sistema de administración SAP, a continuación se detalla los datos más relevantes.

a) Recolección de datos del proyecto

En este punto no hubo inconveniente ya que se obtuvo información de los tramos de las instituciones encargadas de su administración como la ABC, el SEDECA e información obtenida de los PDM de Cercado y San Lorenzo.

b) Extrapolación de condiciones globales del proyecto

Se verificó las condiciones actuales de los pavimentos, las bermas, la señalización así como también las características del drenaje de cada uno de los tramos.

c) Recomendaciones para muestreos físicos

Se dieron algunas recomendaciones para realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, como contar con el equipo necesario para la recolección de información y la metodología a ser empleada.

d) Evaluación de condiciones presentes del pavimento

Luego de haber analizado los resultados de las metodologías planteadas PCI, IRI, PSI y haber clasificado el estado del pavimento para cada metodología, a continuación se presenta un cuadro resumen y se dará el estado final en general para cada uno de los tramos en estudio.

TRAMO (5 Km)	PROG	IRI (m/Km)	PCI	PSI	ESTADO DEL PAVIMENTO
Tarija - Padcaya	0+000-5+000	4.88	61.60	2.06	BUENO
Tarija – Puerta del Chaco	0+000-5+000	4.94	59.50	2.04	REGULAR
Tarija – Falda la Queñua	0+000-5+000	2.44	95.00	3.21	MUY BUENO
Tarija – San Lorenzo	1+450-6+450	5.02	62.14	2.01	BUENO
Itau - Choere	0+000-5+000	5.18	60.00	1.95	REGULAR
Cruce–Valle de la Concepción	0+000-5+000	4.26	71.70	2.30	BUENO
Sella Cercado – Sella Méndez	0+000-5+000	4.94	65.29	2.04	BUENO
Tomatitas - La victoria	0+000-5+000	6.04	46.42	1.67	REGULAR
Tabladita – San Andrés	0+000-5+000	5.82	40.57	1.74	MUY POBRE

e) Predicción de las condiciones futuras sin rehabilitación

Se determinaron las predicciones futuras de las condiciones del pavimento para 1, 3, 5, 7 y 10 años tanto para el PCI, IRI y PSI utilizando el método geométrico con la siguiente expresión:

$$PCI_{FUTURO} = PCI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

$$IRI_{FUTURO} = IRI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

$$PSI_{FUTURO} = PSI_{ACTUAL} * \left(1 - \frac{id}{100}\right)^t$$

Dónde:

t = Tiempo en años.

id = Índice de crecimiento Anual.

f) Selección del enfoque principal de rehabilitación

El enfoque principal de rehabilitación está basada en alternativas de actuación, desarrolladas con suficiente detalle para estimar confiablemente su comportamiento y sus costos e incluir la selección de tratamientos apropiados

destinados a las fallas correctamente identificadas. Desafortunadamente, aún no contamos con las herramientas que nos ayuden a predecir con precisión el tiempo correcto de aplicación de los tratamientos adecuados.

4.4.3. Intervenciones al tramo

En función a los valores obtenidos del PCI para cada uno de los 10 años de análisis, la condición del pavimento y las actividades de mantenimiento y/o rehabilitación que se requieren para dichos valores, es que se describe a continuación las siguientes alternativas para cada tramo en estudio.

➤ Tarija-Padcaya

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-Padcaya
2016 – 2020	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija-Padcaya
2021	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2022 – 2025	Mantenimiento	

Según lo indicado anteriormente, es necesaria la intervención en lo inmediato con la ALTERNATIVA I hasta el año 5 (2020), y en lo mediano con la ALTERNATIVA II a partir del año 6 (2021).

➤ Tarija- Falda la Queñua

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija – Falda la Queñua
2016 – 2020	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

Por las condiciones excelentes en las que se encuentra el pavimento del tramo sólo es necesario la intervención con la ALTERNATIVA I para todo el periodo de análisis. Por tanto, en lo inmediato se aplicará un Mantenimiento Rutinario a lo largo del periodo de análisis, y en lo mediano un Mantenimiento Periódico en el año 6 (2021).

➤ **Tarija – Puerta del Chaco**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-Canaletas
2016 – 2018	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija-Canaletas
2019	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2020 – 2025	Mantenimiento	

Según lo señalado anteriormente, es necesaria la intervención en lo inmediato con la ALTERNATIVA I hasta el año 3 (2018), y en lo mediano con la ALTERNATIVA II a partir del año 4 (2019).

➤ **Tarija-San Lorenzo**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-San Lorenzo
2016 – 2021	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Tarija-San Lorenzo
2022	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2023 – 2025	Mantenimiento	

Según lo indicado anteriormente, se requiere la intervención en lo inmediato con la ALTERNATIVA I hasta el año 6 (2021), y en lo mediano con la ALTERNATIVA II a partir del año 7 (2022).

➤ **Itaú-Choere**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Itaú-Choere
2016 – 2025	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Itaú-Choere
2016	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2017 – 2025	Mantenimiento	

Debido a las condiciones en que se encuentra el pavimento del tramo solo es necesario la intervención con la ALTERNATIVA II para todo el periodo de análisis.

Por tanto, en lo inmediato se aplicará un Recapamiento de Carpeta asfáltica a lo largo del periodo de análisis, y en lo mediano un Mantenimiento Rutinario.

➤ **Cruce-El Valle de la Concepción**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1-Concepción
2016 – 2018	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Cruce ruta N1-Concepción
2019	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2020 – 2025	Mantenimiento	

Según lo señalado anteriormente, es necesaria la intervención en lo inmediato con la ALTERNATIVA I hasta el año 3 (2018), y en lo mediano con la ALTERNATIVA II a partir del año 4 (2019).

➤ **Sella Cercado – Sella Méndez**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Sella Cercado-Sella Méndez
2016 – 2018	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Sella Cercado-Sella Méndez
2019	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2020 – 2025	Mantenimiento	

Según lo indicado anteriormente, se requiere la intervención en lo inmediato con la ALTERNATIVA I hasta el año 3 (2018), y en lo mediano con la ALTERNATIVA II a partir del año 4 (2019).

➤ **Tomatitas - La Victoria**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tomatitas-La Victoria
2016 – 2025	Mantenimiento rutinario + Mantenimiento Periódico	-

- Alternativa II.- Recapamiento con espesor de 4 cm. y mantenimiento.

Periodo	Capa	Tomatitas-La Victoria
2016	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm

2017 – 2025	Mantenimiento	
-------------	---------------	--

Por las condiciones en que se encuentra el pavimento del tramo, sólo es necesaria la intervención con la ALTERNATIVA II para todo el periodo de análisis.

Por tanto, en lo inmediato se aplicará un Recapamiento de Carpeta asfáltica a lo largo del periodo de análisis, y en lo mediano un Mantenimiento Rutinario.

➤ **Tabladita-San Andrés**

- Alternativa I.- Alternativa base optimizada, Mantenimiento Rutinario.

Periodo	Capa	Tarija-San Andrés
2016	Recapamiento Carpeta asfáltica	4.0 cm
2017 – 2025	Mantenimiento	

Debido a las condiciones en que se encuentra el pavimento del tramo sólo se requiere la intervención con la ALTERNATIVA I para todo el periodo de análisis.

Así, en lo inmediato se aplicará un Recapamiento de Carpeta asfáltica a lo largo del periodo de análisis, y en lo mediano un Mantenimiento Rutinario.

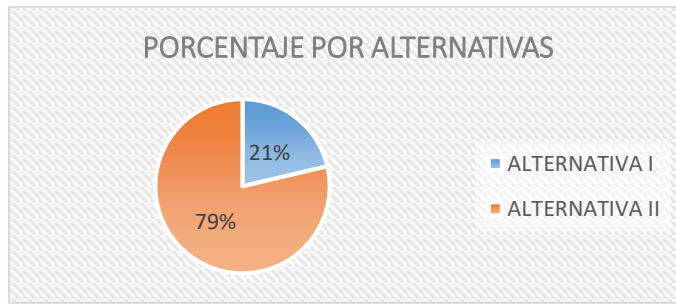
4.4.4. Costos que implica la intervención a una carretera en lo inmediato y mediano

Se analizó el costo de las alternativas planteadas en el anterior punto de análisis, determinando los costos por año para cada una de ellas, además se consideraron los aspectos técnicos, de acuerdo a las necesidades de la zona y el grado de intervención o actividad que requiere el tramo para dar una transitabilidad confortable a los vehículos.

➤ **Tarija-Padcaya**

Presupuesto por alternativas en 10 años de análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
Totales	1.217.249,83	4.491.498,56
TOTAL	5.708.748,39 Bs	



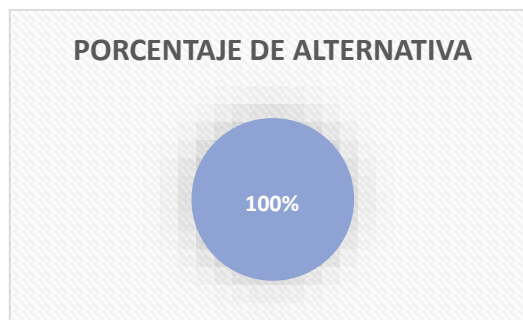
Por tanto, el presupuesto en lo inmediato de la ALTERNATIVA I (Mantenimiento periódico + Mantenimiento Rutinario) hasta el año 5 (2020) tiene un costo de 1.217.249,83 Bs que equivale al 21% del costo total.

Y en lo mediato la ALTERNATIVA II (Recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implican un mantenimiento) a partir del año 6 (2021) con un monto de 4.491.498,56 Bs que es el 79% del costo total.

➤ **Tarija-Falda la Queñua**

Presupuesto de alternativa en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.
TOTAL	1.544.851,86

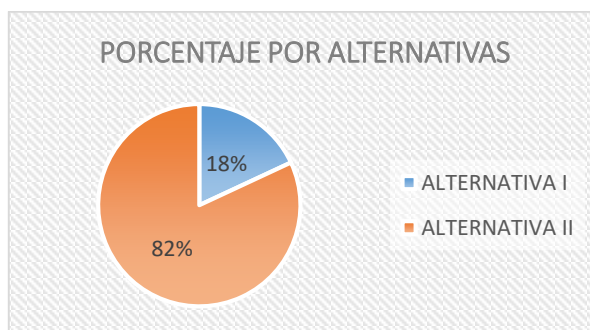


Al ser un tramo que se encuentra en un excelente estado, sólo se evaluó una alternativa. Así, que al tramo se aplicara un Mantenimiento Periódico más Mantenimiento Rutinario a lo largo del periodo de análisis con un costo de 1.544.851,86 Bs.

➤ **Tarija – Puerta del Chaco**

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
Totales	1.005.295,91	4.579.035,59
TOTAL	5.584.331,50 Bs	



Por consiguiente, el presupuesto en lo inmediato de la ALTERNATIVA I (Mantenimiento periódico + Mantenimiento Rutinario) hasta el año 3 (2018) tiene un costo de 1.005.295,91 Bs que corresponde al 18% del costo total.

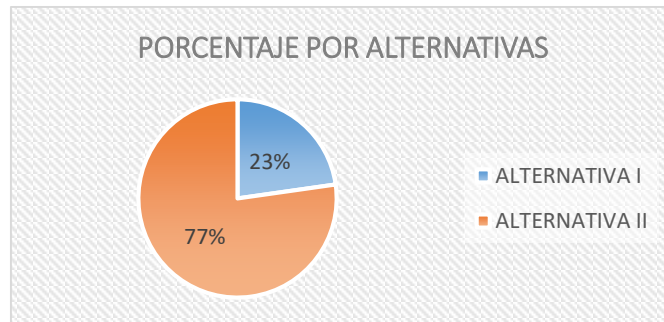
Por otro lado, en lo mediano la ALTERNATIVA II (Recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implican un mantenimiento) a partir del año 4 (2019) cuesta 4.579.035,59 Bs, lo cual representa un porcentaje del 82%.

➤ **Tarija – San Lorenzo**

Presupuesto por alternativas en 10 años de análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
-----	----------------------	-----------------------

Totales	1.221.089,93	4.146.368,99
TOTAL	5.367.458,92 Bs	



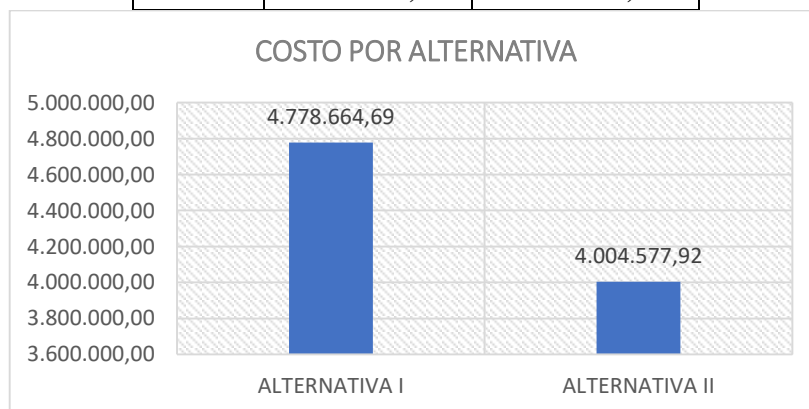
Por tanto, el presupuesto en lo inmediato de la ALTERNATIVA I (Mantenimiento periódico + Mantenimiento Rutinario) hasta el año 6 (2021) tiene un costo de 1.221.089,93 Bs, que corresponde a un 23% del costo total.

Y en lo mediato la ALTERNATIVA II (Recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implican un mantenimiento) a partir del año 7 (2022) cuesta 4.146.368,99 Bs, que representa el 77% del costo total.

➤ **Itaú – Choere**

Presupuesto en Bs por alternativas en 10 años de análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
TOTAL	4.778.664,69	4.004.577,92

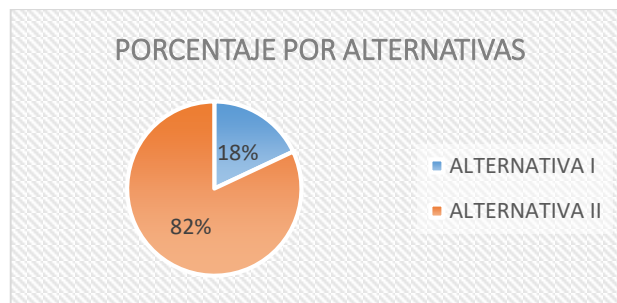


El tramo se encuentra en un estado que requiere una Rehabilitación en lo inmediato es así que desde el punto de vista económico la alternativa II es la más económica con mayor inversión para la primera etapa y un menor costo de la vida útil, con un presupuesto de 4.004.577,92 Bs.

➤ **Cruce – El Valle de la Concepción**

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
Totales	967.867,06	4.403.761,26
TOTAL	5.371.628,32 Bs	



Por lo tanto, el presupuesto en lo inmediato de la ALTERNATIVA I (Mantenimiento periódico + Mantenimiento Rutinario) hasta el año 3 (2018) tiene un costo de 967.867,06 Bs con un porcentaje del 18% del total.

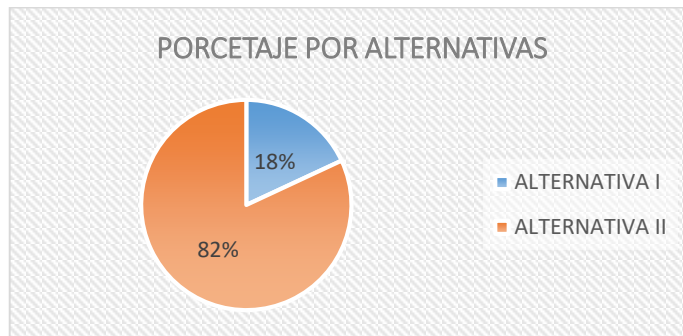
Por otra parte, en lo mediano la ALTERNATIVA II (Recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implica un mantenimiento) a partir del año 4 (2019) cuesta 4.403.761,26 Bs, lo cual equivale 82% del total.

➤ **Sella Cercado – Sella Méndez**

Presupuesto por alternativas en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
Totales	971.314,39	4.405.987,17

TOTAL	5.377.301,56 Bs
--------------	------------------------



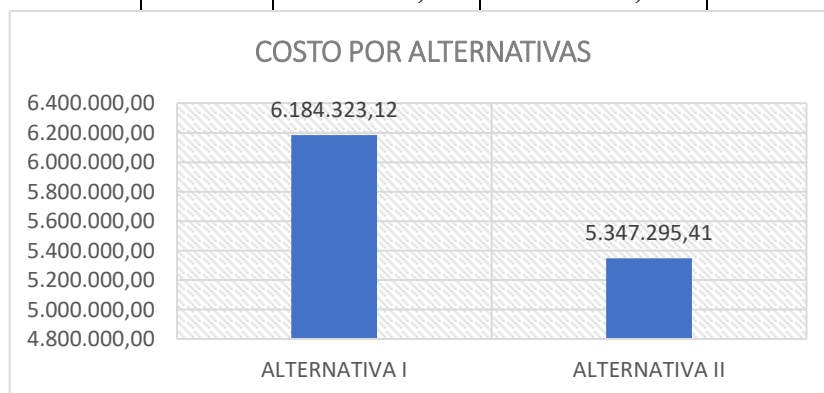
Por tanto, el presupuesto en lo inmediato de la ALTERNATIVA I (Mantenimiento periódico + Mantenimiento Rutinario) hasta el año 3 (2018) tiene un costo de 971.314,39 Bs que corresponde al 18% del costo total.

Y en lo mediano la ALTERNATIVA II (Recapado con un espesor de 4 cm y trabajos que implican un mantenimiento) a partir del año 4 (2019) con un valor de 4.405.987,17 Bs, equivalente a un 82% del costo total.

➤ **Tomatitas – La Victoria**

Presupuesto en Bs por alternativas en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.	Alternativa II Bs.
TOTAL	6.184.323,12	5.347.295,41

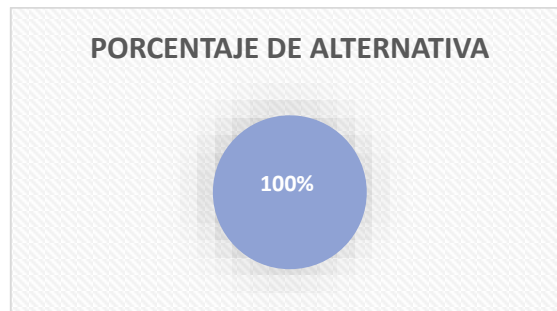


El estado del tramo requiere, en lo inmediato, una Rehabilitación es así que desde el punto de vista económico la alternativa II es la más viable con mayor inversión para la primera etapa y un menor costo de la vida útil, con un presupuesto de 5.347.295,41 Bs.

➤ **Tabladita – San Andrés**

Presupuesto de alternativa en 10 años análisis

Año	Alternativa I Bs.
TOTAL	4.759.933,41



Debido al estado del tramo se requiere en lo inmediato una Rehabilitación, sólo se evaluó la ALTERNATIVA I para todo el periodo de análisis; es así que desde el punto de vista económico la alternativa I es la más viable con mayor inversión en la primera etapa y un menor costo de la vida útil con un presupuesto de 4.759.933,41 Bs.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El procedimiento de campo seguido para evaluar el estado superficial de los tramos en estudio se ha basado en normas establecidas; de manera que se han tomado 5 secciones por kilómetro teniendo así un total de 25 unidades de muestreo por tramo, seleccionadas por el estado de una auscultación personal buscando las áreas más representativas.

- Para la evaluación superficial se usó la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI) que se encarga de indicar el estado o la condición actual del pavimento en función al tipo, cantidad y severidad de las fallas, el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que mide las deformaciones longitudinales del pavimento y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) que está orientado a medir el confort que brinda el camino al usuario. Luego de haber analizado los resultados de las metodologías planteadas PCI, IRI, PSI y haber clasificado el estado del pavimento para cada metodología, a continuación se presenta un cuadro resumen que se detalla el estado final en general de cada uno de los tramos en estudio.

TRAMO (5 Km)	IRI (m/Km)	PCI	PSI	ESTADO DEL PAVIMENTO
Tarija - Padcaya	4.88	61.60	2.06	BUENO
Tarija – Puerta del Chaco	4.94	59.50	2.04	REGULAR
Tarija – Falda la Queñua	2.44	95.00	3.21	MUY BUENO
Tarija – San Lorenzo	5.02	62.14	2.01	BUENO
Itaú - Choere	5.18	60.00	1.95	REGULAR
Cruce –Valle de la Concepción	4.26	71.70	2.30	BUENO
Sella Cercado – Sella Méndez	4.94	65.29	2.04	BUENO
Tomatitas - La victoria	6.04	46.42	1.67	REGULAR
Tabladita – San Andrés	5.82	40.57	1.74	MUY POBRE

- Se adoptó la metodología del sistema EXPEAR para planificar y desarrollar estrategias de acción sobre el pavimento en su periodo de servicio; además es importante seguir una secuencia para establecer la condición del pavimentos en el momento de evaluación y en proyección a los años de servicio del pavimento, los

valores que se obtienen son la base para la toma de decisiones sobre las acciones que deben realizarse en lo inmediato y mediano en el pavimento.

- En base a esta condición, puede estimarse el tipo de acción de mantenimiento o rehabilitación requerido a corto o mediano plazo. Dicho procedimiento debe incluir, como ya se desarrolló a lo largo de este capítulo, un inventario general de la condición que comprenda las siguientes etapas:
 - Recolección de datos en el campo.
 - Procesamiento de la información de campo.
 - Archivo y presentación de la información.
 - Utilización de la información.

- Las acciones de conservación rutinaria y periódica deben realizarse todos los años a todos los tramos en estudio, estas tareas son fundamentales para evitar el deterioro acelerado del pavimento.

- En cuanto a las rehabilitaciones, es necesaria la aplicación de un recapado a mediano plazo a todos los tramos, porque de acuerdo a los valores de las predicciones calculadas, esa acción es importante para mantener en un buen estado el pavimento.

- Para realizar los mantenimientos y/o rehabilitaciones de los tramos en los 10 años de estudio, se necesitará una gran inversión. Dichas medidas de rehabilitación son urgentes, ya que debido al considerable aumento de tráfico en los tramos, estos van requerir una reconstrucción lo cual significa un costo mucho mayor.

A continuación se muestra un cuadro con las acciones y costos que requieren cada uno de los tramos.

TRAMO	ACTIVIDADES			COSTO (Bs)
	Mant/Periódico + Mant/Rutinario	Rehabilitación (Recapado)	Mantenimiento Rutinario	
	(Periodo)	(Periodo)	(Periodo)	
Tarija - Padcaya	2016-2020	2021	2022-2025	5.708.748,39
Tarija – Puerta del Chaco	2016-2018	2019	2020-2025	5.584.331,50
Tarija – Falda la Queñua	2016-2025			1.544.851,86
Tarija – San Lorenzo	2016-2021	2022	2023-2025	5.367.458,92
Itau - Choere		2016	2017-2025	4.004.577,92
Cruce –Valle de la Concepción	2016-2018	2019	2020-2025	5.371.628,32
Sella Cercado – Sella Méndez	2016-2018	2019	2020-2025	5.377.301,56
Tomatitas - La victoria		2016	2017-2025	5.347.295,41
Tabladita – San Andrés		2016	2017-2025	4.759.933,41

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, tanto en magnitud como en severidad.
- Contar con el equipo mínimo necesario, tales como odómetros, equipo de medición de rugosidad, equipos de auscultación estructural, etc., con el fin de llevar a cabo la recolección de información de deterioros, rugosidades y capacidades estructurales en los pavimentos, las cuales servirán para darle seguimiento al Sistema de Administración de Pavimentos propuesto.
- Elaborar un “Relevamiento de Deterioros” de los pavimentos, por lo menos una vez cada año, para llevar un registro cronológico de los daños, con el fin de utilizar esta información para el posterior modelaje del comportamiento de los pavimentos.