

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La evaluación de pavimentos proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones. Permite también realizar inventarios el estado y la condición de la red vial, así como evaluar los costos adicionales en los cuales pueden incurrir los usuarios por el uso de las vías de transporte.

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

Se reconocen dos tipos de evaluaciones, la evaluación estructural (relacionada con la capacidad que tiene el pavimento para soportar las cargas de los vehículos) y la evaluación funcional (relacionada directamente con la percepción del usuario al utilizar una determinada vía).

En este caso se entrará a detalle el caso de la evaluación funcional, la regularidad de la superficie de ruedo para la circulación de los vehículos permite ofrecer condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de los caminos urbanos. Tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, puesto que dependiendo de la magnitud de las irregularidades superficiales, la velocidad de circulación puede verse afectada negativamente, lo cual puede reflejarse por un mayor desgaste en las llantas y el consumo de combustible.

Adicionalmente, los efectos dinámicos producidos por las irregularidades de las carreteras, pueden reflejarse no sólo en los vehículos, sino también en modificaciones de estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento, lo que puede incrementar los costos en las actividades de conservación y rehabilitación.

Por estas razones, conocer la regularidad superficial del pavimento en cualquier momento desde el inicio de su periodo de servicio o de la vida útil, permitirá definir las acciones de conservación o rehabilitación necesarias en el momento pertinente.

En resumen las fallas y deterioros que se presentan en los pavimentos flexibles reducen la serviciabilidad y la vida útil del mismo ocasionando trastornos en la población que transita por dicha carretera por lo que es necesario que se haga una evaluación que en este caso es superficial para saber en qué condiciones se encuentra el pavimento, esta evaluación consiste en realizar mediciones y observaciones de las fallas para identificar tres cosas fundamentales que son: El tipo de deterioro, la severidad (leve, moderada y severa) y la extensión (porcentaje de área).

Para esto es necesario utilizar metodologías y técnicas que son planteadas y desarrolladas en los capítulos posteriores.

LA EVALUACIÓN DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL

En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems, se define el concepto de Roughness como: “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal.”

A la luz de esta definición, algunos autores prefieren utilizar el término Regularidad, puesto que este concepto se asocia más fácilmente a la definición de Roughness, que el término Rugosidad. De esta manera, puede encontrarse bibliografía que trata indistintamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad; sin embargo, para efectos del presente artículo se prefiere utilizar Regularidad, para referirse a las

irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, seguridad y costos de operación del vehículo.

En la década de los 70's, el Banco Mundial financió diferentes programas de investigación a gran escala, entre los cuales se encontraba un proyecto relacionado con la calidad de las vías y los costos a los usuarios, a través del cual se detectó que los datos de regularidad superficial de diferentes partes del mundo no podían ser comparados. Aún datos de un mismo país no eran confiables, debido a que las mediciones fueron realizadas con equipos y métodos que no eran estables en el tiempo.

Con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para determinar la regularidad superficial de las carreteras, se realizó en Brasil en 1982, el proyecto International Road Roughness Experiment (IRRE), promocionado por el Banco Mundial; en el cual participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En este proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos. A partir de dicho proyecto, se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI, International Roughness Index).

De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo de cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h”.

En términos más sencillos, el IRI es un modelo matemático, el cual calcula el movimiento acumulado en la suspensión de un vehículo de pasajero típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

- Observando que en nuestro medio existe un creciente uso del pavimento flexible convirtiéndose en el principal método de construcción de las vías, tanto rurales como de la ciudad se debe dar un estudio amplio tanto de la construcción y la conservación de las avenidas que son las que generan el desarrollo a la ciudad.
- Visualizando las calles de pavimento flexible de nuestra ciudad la gran mayoría luego de su construcción rápidamente ya presentan fallas y deterioros en la superficie de la misma, de ahí surge la necesidad de hacer un estudio o evaluación superficial, aplicando diferentes métodos de cálculo, los cuales serían el método del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del Pavimento (PCI) y el Método del Índice de Serviciabilidad presente (PSI). con los cuales se podrá determinar el grado y las causas de daños y así elaborar un sistema de mantenimiento oportuno de manera que permita que el pavimento cumpla con su vida útil.
- El Índice de Regularidad Internacional (IRI) ha sido un parámetro ampliamente utilizado para determinar las características superficiales que presentan los pavimentos. Recientemente, en varios países del mundo, han venido introduciendo la medición del IRI como parámetro de aceptación de diferentes obras viales; sin embargo, no ha sido posible lograr una adecuada implementación de este índice. Este trabajo presenta los principales detalles, cuidados y procedimientos involucrados en el cálculo del IRI, con la finalidad de que sean tomados en cuenta en la definición de especificaciones de aceptación de proyectos viales o evaluación de la red vial.
- Esta evaluación estará sujeta a metodologías específicamente aplicables a pavimentos flexibles estudiando y analizando sus propiedades y

características principales, no obstante también se tocarán aspectos importantes como ser el clima y suelo aunque con menor énfasis con la finalidad de dar mayor credibilidad y solidez a los resultados obtenidos.

- El correcto acabado de los pavimentos es de gran importancia para la comodidad, seguridad y costos de operación de los usuarios de los caminos, factor que, además de tener una gran influencia en la duración de éstos, repercute en los costos del mantenimiento vial, por eso es necesario estudiar las fallas y deterioros del pavimento flexible, por la sentida necesidad existente en nuestro país y especialmente en nuestro departamento, para que de esta manera nuestra ciudad pueda contar con Avenidas y calles principales en buenas condiciones para mejorar el tránsito vehicular y reducir los trastornos ocasionados a la población.
- También al realizar un estudio sobre las fallas superficiales de los pavimentos flexibles se podrá determinar las causas que lo producen y por lo tanto se logrará establecer las necesidades del pavimento para los requerimientos especificados.
- El conocimiento sobre las fallas y deterioros superficiales que se puedan presentar en los pavimentos flexibles coadyuvarán a tener criterios adecuados para tomar acciones que impliquen un mayor tiempo de vida útil.

1.2.1. PROBLEMA

¿Cómo realizar el diagnóstico del estado superficial del pavimento flexible de la avenida “Gamonedá”?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el estado superficial actual en el que se encuentra el pavimento flexible de la avenida “Gamonedá” realizando cuantificación de fallas y análisis de los problemas que presenta, para dar las posibles soluciones que garanticen una transitabilidad cómoda al usuario, aplicando métodos de evaluación superficial.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento topográfico de la avenida para determinar el Índice de Rugosidad Internacional IRI para poder calificar el estado del pavimento de acuerdo a las diferentes regularidades el cual presenta en todo el tramo.
- Establecer los principales detalles, cuidados y procedimiento de cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)
- Realizar el levantamiento manual de fallas superficiales de toda la Avenida, detalladamente en tramos de cada 50 metros.
- Inspeccionar minuciosamente todo el tramo en estudio, verificando sistemas de drenaje, pendientes de la calzada y todas las causas posibles que pueden influir en el estado actual del pavimento.
- Cuantificar, analizar y evaluar las fallas y deterioros superficiales que presenta el pavimento flexible bajo una serie de metodologías posibles (IRI, PCI y PSI) y determinar la relación entre ellas.
- Realizar una evaluación superficial precisa que sirva para la planificación de tareas de conservación, proyecto de mejoras, adopción de técnicas de reparación que se adecuen a las fallas y control de calidad de las mejoras realizadas.
- Clasificar las fallas del pavimento flexible de acuerdo a su nivel de severidad y su incidencia a corto y largo plazo en el comportamiento global de la superficie pavimentada.
- Analizar todas las posibles causas que produjeron las fallas superficiales en esta avenida pavimentada.
- Estudiar los efectos que hubiesen producido todas las fallas y cuál sería la manera más adecuada de subsanar estas fallas y deterioros superficiales.
- Establecer una propuesta de recomendaciones para restituir la capa de rodadura, estableciendo el costo total que representaría realizar la reparación de todas las fallas que puedan presentarse.

1.4. HIPÓTESIS

La aplicación de los métodos de evaluación superficial Índice de Rugosidad Internacional (IRI), Índice de Condición del pavimento (PCI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), permitirá establecer el estado en el cual se encuentra la vía en cuestión, calificándola en relación a su serviciabilidad.

1.5. OBJETO DE ESTUDIO

Se evaluará los daños y fallas superficiales mediante los métodos que son el IRI, PCI y PSI determinando los grados de severidad y sus posibles causas, de la Avenida Gamoneda ubicada en la zona noreste de la ciudad de Tarija.

1.6. CAMPO DE ACCIÓN.

Estudio de pavimentos flexibles.

Estudio de la tipología y patología de las fallas superficiales.

Estudio de factores externos que influyen en los pavimentos flexibles

Investigación de metodologías adecuadas de rehabilitación aplicadas en pavimentos flexibles.

1.7. ALCANCE.

Capítulo I Introducción.- En este capítulo se pretende resumir todo el trabajo que se realizará, planteando claramente el problema, la justificación y los objetivos. Los cuales indican las intenciones que tiene el autor con respecto al proyecto en estudio.

Capítulo II Marco Teórico.- Este capítulo tratará específicamente todos los conceptos relacionados sobre el pavimento flexible, las características más importantes de ellos, también se hablará sobre las características del asfalto para pavimentos flexibles. Por otra parte, se hará énfasis en los materiales y procedimientos que intervienen en la elaboración del pavimento asfáltico para los

pavimentos flexibles, y de los agregados que lo complementan (grava y arena) y algunos aditivos que quizás hayan utilizado.

Asimismo, en este capítulo se enunciarán los distintos métodos de evaluación superficial y deterioros superficiales que se presentan en el pavimento flexible, hablando acerca del tipo de falla, a qué grupo pertenece y cuales fueron o podrían ser las causas que dieron origen a las mismas.

Y finalmente esta toda la metodología a utilizar para el levantamiento de fallas, los métodos de evaluación, sus características generales y un amplio detalle de conservación vial y rehabilitación óptima para el tramo en estudio.

Capítulo III Aplicación Práctica – Levantamiento de fallas.- En este capítulo se identificará la avenida en estudio con una inspección visual y realizando un conteo general de todas las obras complementarias con las que pueda contar la avenida como ser los desagües, sumideros, alcantarillado pluvial. Para el procedimiento de la medición de las fallas los factores que el autor tomará en cuenta son la seguridad, el personal y el equipo, además del costo.

El objetivo de este capítulo es la realización de las metodologías de evaluación superficial, la determinación del índice de regularidad internacional (IRI), el (PCI) y el (PSI) y determinando la evaluación superficial del pavimento flexible cuya longitud del tramo en estudio es de aproximado 1 km realizando el trabajo de campo (medición y obtención de datos) para luego realizar el trabajo de gabinete (procesamiento de los datos de campo).

Obteniendo resultados que serán analizados a detalle con la finalidad de plantear las soluciones recomendadas para el tramo en estudio.

Capítulo IV Comentarios finales y Recomendaciones.- En este capítulo se apuntarán las conclusiones y recomendaciones luego de haber realizado un análisis completo de los resultados obtenidos del estudio, enriqueciendo también éstas con los

criterios que pueda recabar de profesionales que estén relacionados íntimamente con el tema.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Un pavimento puede definirse como una estructura o sistema estructural formado por un conjunto de capas de materiales y dimensiones apropiados, comprendidas entre el nivel superior del terreno de fundación o subrasante y la superficie de rodamiento o rodadura, cuyas funciones fundamentales son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura adecuados, resistente a la acción del tránsito (como carga o acción principal), de la intemperie y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito a las terracerías y suelo de fundación. Es decir, el pavimento es la superestructura de una vía de comunicación (carretera, calle o aeropista), que hace posible el tránsito de vehículos y aeronaves con la comodidad, seguridad y economía, previstos en la etapa de planificación y diseño del proyecto.

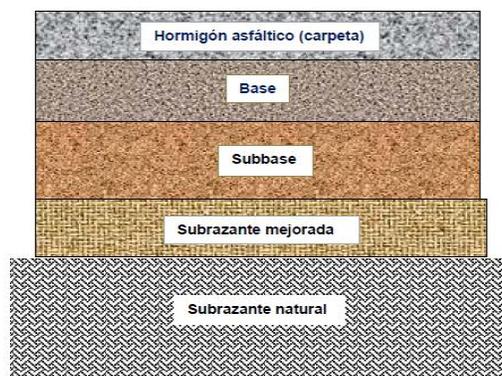
2.1.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

En general, se llama pavimento flexible al que está constituido por una carpeta o capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, habitualmente de

materiales o suelos granulares, denominadas, base y subbase; la primera, situada sobre la segunda. Sin embargo, en función de las características particulares de cada caso, es posible prescindir de cualquiera de estas dos capas.

En la figura 1 se representa la estructuración típica de un pavimento flexible y se define la nomenclatura de cada uno de sus elementos más importantes.

Figura 2.1 Sección típica de un pavimento flexible de hormigón asfáltico (carpeta).



El pavimento flexible resulta económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

2.1.2 FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Cada elemento (capa) de un pavimento flexible cumple una o más funciones.

Carpeta de hormigón asfáltico (capa superior)

- Debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color convenientes, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito.

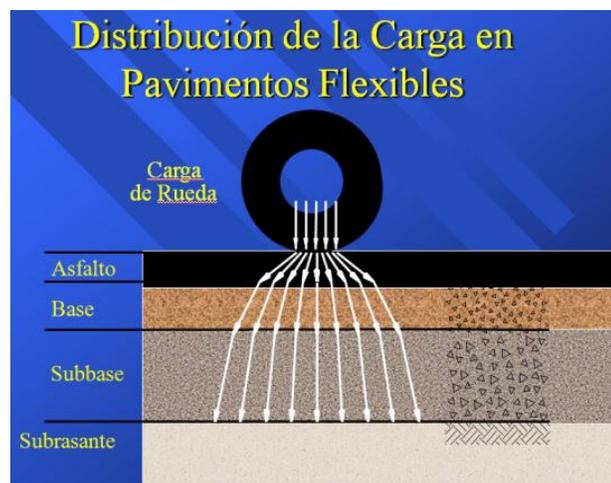
Base de material granular

- La función fundamental de este elemento es la de proporcionar resistencia y transmitir a la sub base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

Sub base de material granular

- Una sub base bien concebida y diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con la subrasante y actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen disminuyendo su calidad.
- La sub base debe soportar, también, los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores para transmitirlos a la subrasante

Figura 2.2 distribución de cargas en el pavimento flexible.



2.2 TIPOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

En la figura anterior, se representa, solamente, la sección típica más utilizada de un pavimento flexible, pero, esto no quiere decir que sea la única alternativa porque existen varias otras. Asimismo, dependiendo de la calidad del suelo de la subrasante, puede decidirse no disponer de una subrasante mejorada o, también, es posible disponer solo la capa base, etc.

La carpeta asfáltica (capa superior de la figura 2.1) está elaborada de la llamada mezcla en caliente, es el pavimento flexible más utilizado. Se trata del hormigón asfáltico, que es una mezcla en caliente de cemento asfáltico y áridos bien graduados, de alta calidad, perfectamente controlada, que se compactan adecuadamente hasta formar una masa densa y uniforme.

Como otras opciones o tipologías de los pavimentos flexibles se tiene el tratamiento superficial, el mismo que puede ser simple, doble o triple. Este tratamiento reemplaza a la carpeta de concreto asfáltico como capa superior en la estructuración del pavimento.

2.2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES SOBRE BASE DE EMPEDRADO

Este tipo de pavimento flexible, consiste en la colocación de una carpeta asfáltica, sobre una base de piedra. En nuestra ciudad se vienen ejecutando aproximadamente desde el año 1990 debido a su economía de construcción a comparación de un pavimento flexible con las bases granulares.

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

Condiciones técnicas para la ejecución de la base de piedra

El empedrado presenta como principales generalidades las siguientes:

- Ya es un pavimento flexible;
- No es monolítico;

- La fricción entre las piedras, ayuda a soportar la carga que transmiten las llantas a la rodadura (necesidad de rellenar las juntas);
- No existe un método de diseño científico;
- La experiencia de las comunidades es importante en la construcción;

Pese a que se considera al empedrado como un pavimento flexible, pues se acomoda de acuerdo a las deformaciones que presenta la subrasante, ninguno de los métodos de diseño de pavimentos flexibles se adapta o puede ser aplicado rigurosamente, ya que su comportamiento es distinto.

Requerimientos técnicos mínimos para el empedrado

Esta superficie, al estar constituida de cantos rodados o piedra partida, debe cumplir condiciones mínimas que garanticen la eficiencia del empedrado. Las principales características físico – mecánicas del canto rodado o piedra son:

Cuadro N° 2.1 – Características Físico – Mecánicas del Material de Empedrado

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

Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

Las mejores fuentes de materiales de piedra son las terrazas aluviales y conglomerados, aunque no debe descartarse la utilización de piedra obtenida de un proceso de trituración.

Debido a la necesidad de contar con subrasantes adecuadas y un diseño geométrico del camino que garanticen una adecuada funcionalidad, se establecen las siguientes características:

Cuadro N° 2.2 – Características técnicas de la Subrasante y del Diseño Geométrico

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

Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

2.2.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Los pavimentos flexibles reciben esa denominación porque entre sus características son estructuras con capacidad de deformarse sin romperse desde las capas inferiores hasta la capa de rodadura dentro de los límites de esfuerzo a lo que es sometida.

Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base granular y de la capa de sub-base. Las cuales permiten:

- Resistencia al deslizamiento
- Una regularidad superficial
- Permeabilidad
- Drenabilidad
- Resistencia a la rodadura
- Color y propiedades ópticas reflexivas
- Resistencia al ataque de aceites y combustibles
- Limpieza

Con lo cual se obtiene seguridad y comodidad.

2.2.2.1 EL CEMENTO ASFALTICO

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo.

Clasificación

Los asfaltos se agrupan en tres clases, principalmente:

Cementos asfálticos (AC)

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas

diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto.

Asfaltos líquidos

Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Se agrupan en 3 clases, dependiendo de la rapidez con que se produce la evaporación del solvente (curado del asfalto).

SC: asfaltos rebajados de curado lento

MC: asfaltos rebajados de curado medio

RC: asfaltos rebajados de curado rápido

Emulsiones asfálticas

Se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas. Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

2.2.2.2 LOS AGREGADOS PETREOS

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

Clasificación

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río). En este último caso son agregados pétreos aluviales.

Limpieza

En los agregados existen materiales indeseables que le restan propiedades y afectan desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Dentro de estos se tienen vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, materia orgánica, etc.

Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la reducción, colocación y compactación de la mezcla y las exigencias durante la vida de servicio del pavimento.

2.2.2.3 LA MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica es una combinación de cemento asfáltico y agregados pétreos en proporciones exactas y previamente especificadas.

Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades y características de la mezcla.

Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras, por lo que se enfocará el estudio hacia las mezclas asfálticas en caliente.

Existen distintos procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente. Entre ellos tenemos el procedimiento Marshall y el procedimiento Hveem, que tienen una larga trayectoria de uso a nivel mundial.

Características

Las características más importantes de la mezcla asfáltica son:

Estabilidad

Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamientos, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Durabilidad

Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.

Impermeabilidad

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

Flexibilidad

Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

Resistencia al deslizamiento

Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

Clasificación

Existen distintos tipos de mezcla asfáltica, dependiendo del tipo de asfalto, la proporción de agregados en la mezcla, la granulometría del agregado y el proceso de fabricación.

Las mezclas se pueden fabricar en caliente en central de mezcla o en frío in-situ.

Según su granulometría o gradación, se pueden usar como bases o como capas de rodadura. Cada mezcla tiene un uso específico que vendrá determinado en el diseño mismo de la mezcla.

La aeronáutica civil, utiliza sus propias gradaciones que por el uso especial requieren características especiales, como mayor resistencia al desgaste. Su guía son las normas FAAC, dentro de las cuales se tiene la mezcla para pistas P-401.

Cuadro 2.3 Pavimentos Bituminosos Mezclados en Caliente en Planta

Requisitos sobre Graduación (según FP-85)

(Porcentaje en peso, que pasa cribas con mallas cuadradas, AASHTO T-11 y T-27)

Determinación del Tamiz	GRADUACIÓN					
	A	B	C	D	E	F
2	100	-	-	-	-	-
11/2	97-100	100	-	-	-	-
1"	-	97-100	100	-	-	-
3/4	66/80 (5)	-	97-100	100	-	-
1/2	-	-	76-88 (5)	97-100	-	-
3/8	48-60	53-70 (6)	-	-	100	100
Nº 4	33-45 (5)	40-52 (6)	49-59 (7)	57-69 (6)	97-100	33-47 (6)
Nº 8	25-33 (4)	25-39 (4)	36-45 (5)	41-49 (6)	62-81 (5)	7-13 (4)
Nº 40	9-17 (3)	10-19 (3)	14-22 (3)	14-22 (3)	22-37 (3)	-
Nº 200	3-8 (2)	3-8 (2)	3-7 (2)	3-8 (2)	7-16 (2)	2-4 (2)

Fuente: (según FP-85), AASHTO T-11 y T-27

El tipo de la calidad de los materiales bituminosos para proyectos de concretos asfálticos deberán satisfacer los requisitos de AASHTO M-226.

2.3 TIPOS DE FALLAS Y DAÑOS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en cuatro categorías:

FISURACIONES O AGRIETAMIENTOS

- Grietas longitudinal y transversal.
- Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento portland).
- Grieta de Borde.
- Piel de Cocodrilo.
- Agrietamiento en bloque.
- Grieta parabólica.

DEFORMACIONES

- Abultamientos y hundimientos.
- Corrugación.
- Depresión.
- Huecos.
- Ahuellamiento.
- Hinchamiento.

DESINTEGRACIONES

- Exudación.
- Pulimiento de agregados.
- Desprendimiento de agregados.

OTROS

- Parcheo
- Desnivel carril / berma.
- Rejillas de drenaje- Tapas de alcantarillado.
- Desplazamiento.

Dentro de cada categoría existen diferentes deterioros que se originan por diversos factores, algunos de los cuales se han establecido mediante la revisión bibliográfica, y

otros mediante evaluación de campo. A continuación se presenta la definición de cada uno de estos deterioros, sus severidades (clasificadas en L: (Low: Bajo), M: (Medium: Medio), y H: (High: Alto), la forma de medir el daño y las unidades de medida, sus posibles causas y la evolución probable, todo ello acompañado de un registro fotográfico que permite al lector tener una idea más clara de los daños que se pueden encontrar durante una inspección visual típica. La abreviatura con la cual se registrará cada tipo de daño en el formato de campo aparece entre paréntesis.

2.3.1 FISURACIONES O AGRIETAMIENTOS

2.3.1.1 GRIETAS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL.

Descripción: Las Fisuras longitudinales y transversales (FL, FT). Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquellas que se encuentran en zonas sujetas a carga pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.

Figura 2.3 Fisura longitudinal (FL, Unidad de medida: m)

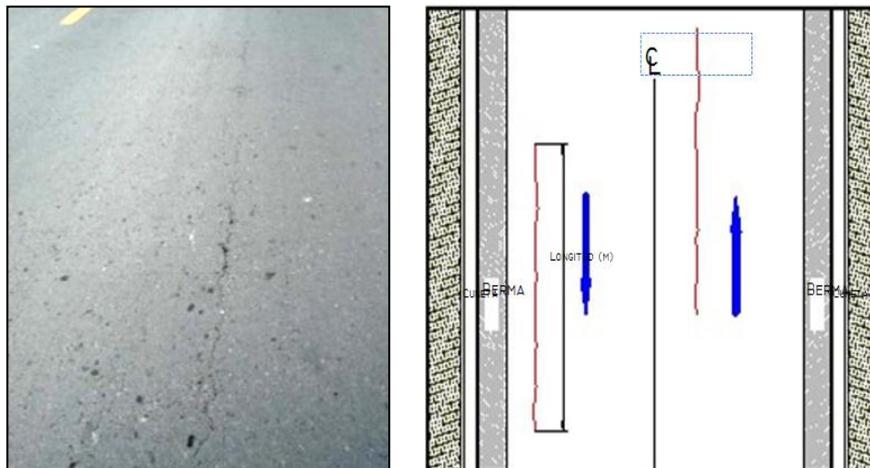
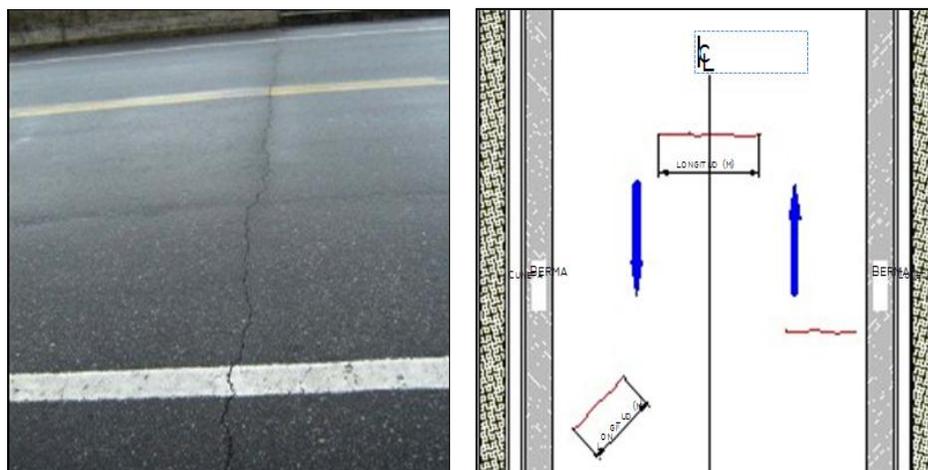


Figura 2.4 Fisura transversal (FT, Unidad de medida: m)



Causas

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras, son:

Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).

Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:

Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:

Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.

Riego de liga insuficiente o ausencia total.

Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Niveles de Severidad

L: Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.

M: Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

H: Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (ó metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación.

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

Opciones de reparación

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

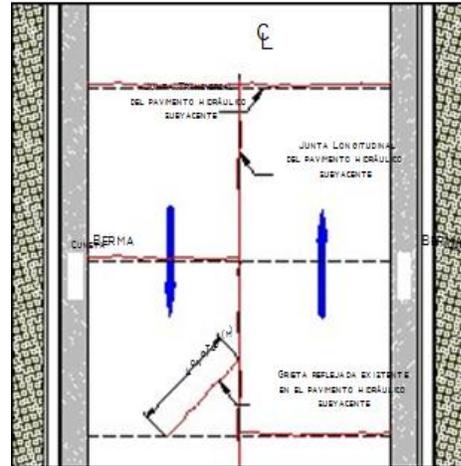
M: Sellado de grietas.

H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

2.3.1.2 GRIETA DE REFLEXIÓN DE JUNTA (DE LOSAS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND).

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

Figura 2.5 Fisuras por reflexión de juntas en placas de concreto (FJL o FJT, Unidad de medida: m)



Niveles de Severidad
L:
Grieta

sin relleno de ancho menor que 10.0 mm, o

M: Grieta sin relleno con ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.

H: Grietas sin relleno de más de 76.0 mm.

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales).

La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado.

Opciones de Reparación.

L: Sellado para anchos superiores a 3.00 mm.

M: Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

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

2.3.1.3 GRIETA DE BORDE.

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

Figura 2.6 Fisuras de borde (FBD, Unidad de medida: m)



Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

H: Parcheo parcial – profundo.

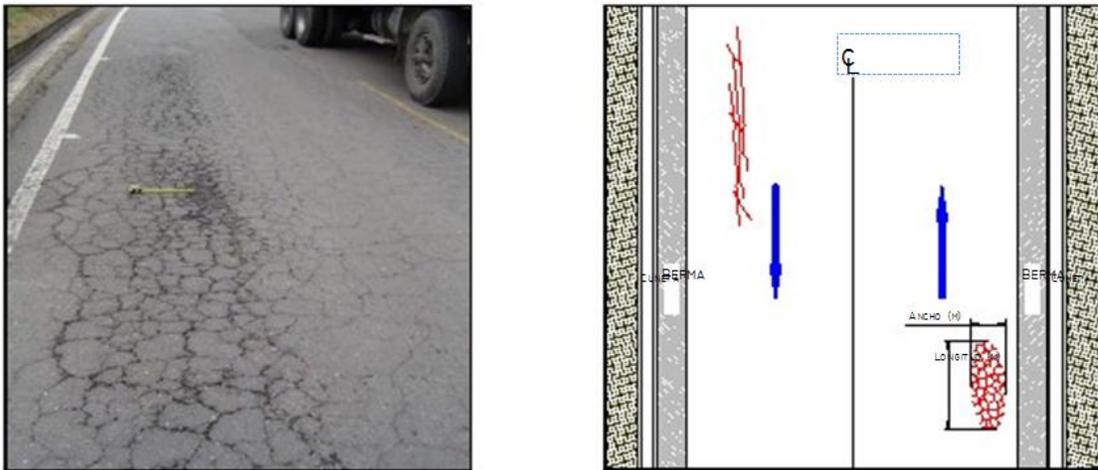
2.3.1.4 PIEL DE COCODRILO.

Descripción: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones

unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.30 m.

El agrietamiento de piel de cocodrilo ocurre únicamente en áreas sujetas a cargas repetidas de tránsito tales como las huellas de las llantas.

Figura 2.7 Piel de cocodrilo (PC, Unidad de medida: m²)



Niveles de severidad

L : Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas.

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

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

Medida

Se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. La mayor dificultad en la medida de este tipo de daño radica en que, a menudo, dos o tres niveles de severidad coexisten en un área deteriorada

Opciones de reparación

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

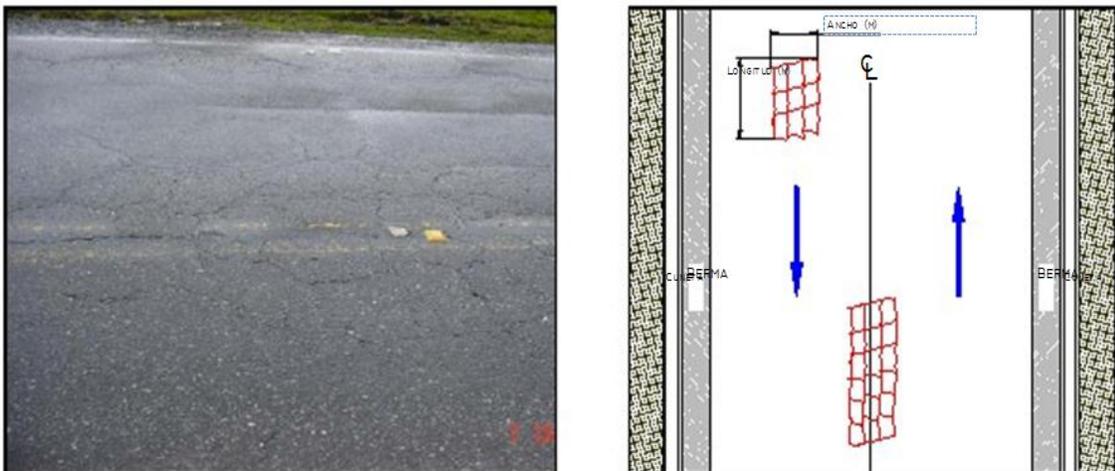
M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.

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

2.3.1.5 AGRIETAMIENTO EN BLOQUE.

Descripción: Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m.

Figura 2.8 Agrietamiento en bloque (FB, Unidad de medida: m2)



Causas

Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Niveles de severidad.

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

M: Bloques definidos por grietas de severidad media

H: Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

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

Nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

Opciones de reparación

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

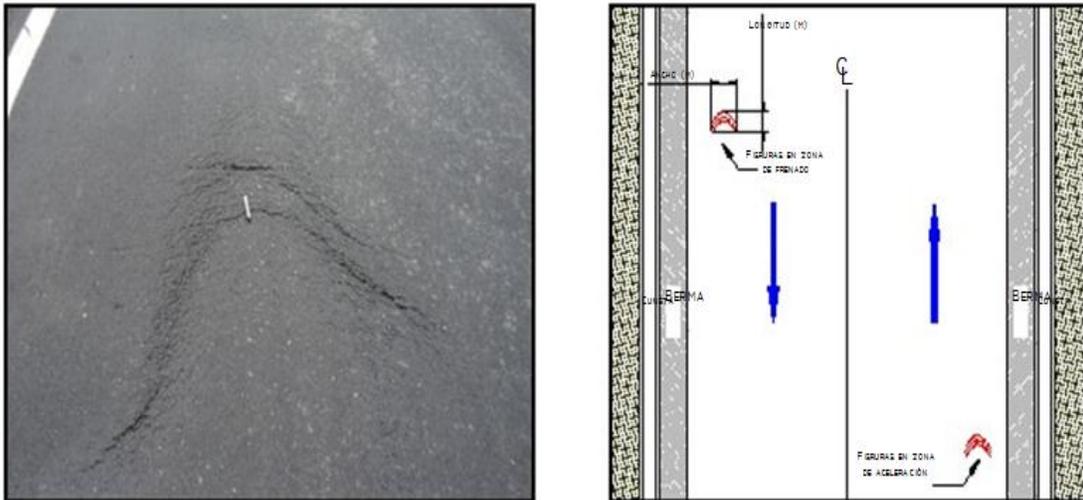
M: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

H: Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

2.3.1.6 GRIETAS DE DESLIZAMIENTO.

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

Figura 2.9. Fisuración por deslizamiento de capas (FDC, Unidad de medida: m2)



Causas.

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

Nivel de severidad

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

M: Ancho promedio de la grieta entre 10.0 mm y 38.0 mm.

H: Ancho promedio de la grieta mayor que 38.0 mm.

Medida

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

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Parcheo parcial.

M: Parcheo parcial.

H: Parcheo parcial.

2.3.2 DEFORMACIONES

2.3.2.1 ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS.

Descripción: Los Abultamiento son pequeños desplazamientos hacia arriba localizados en la superficie del pavimento. Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras.

Figura 2.10. Abultamiento (Unidad de medida: m²)

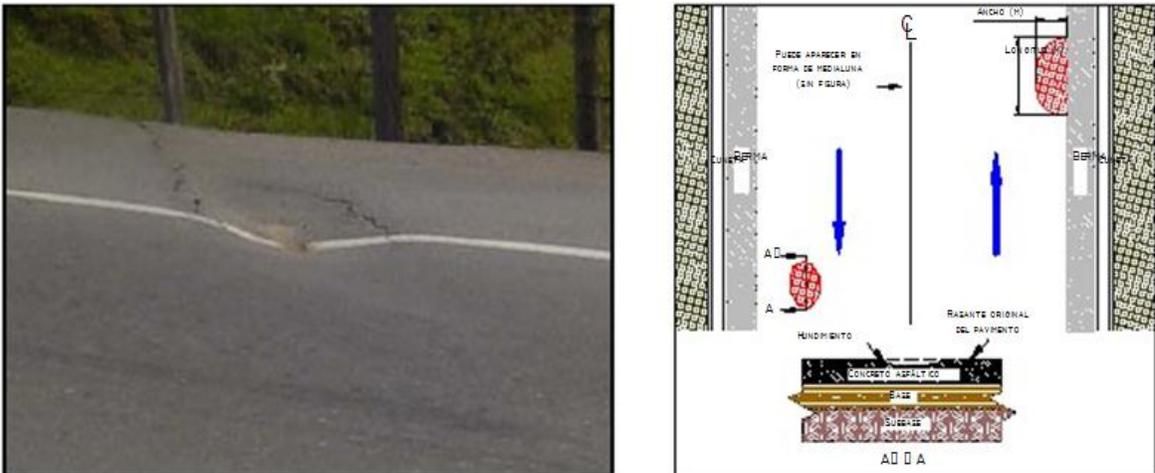


Causas

- 1.- Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo).
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).
3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Figura 2.11 Hundimiento (HUN, Unidad de medida: m2)



problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento:

- 1.- Asentamientos de la subrasante.
- 2.- Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- 3.- Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares.

4.- Diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante en los sectores de transición entre corte y terraplén.

5.- Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.

6.- Circulación de tránsito muy pesado.

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies lineales (ó metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3.0 m, el daño se llama corrugación.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

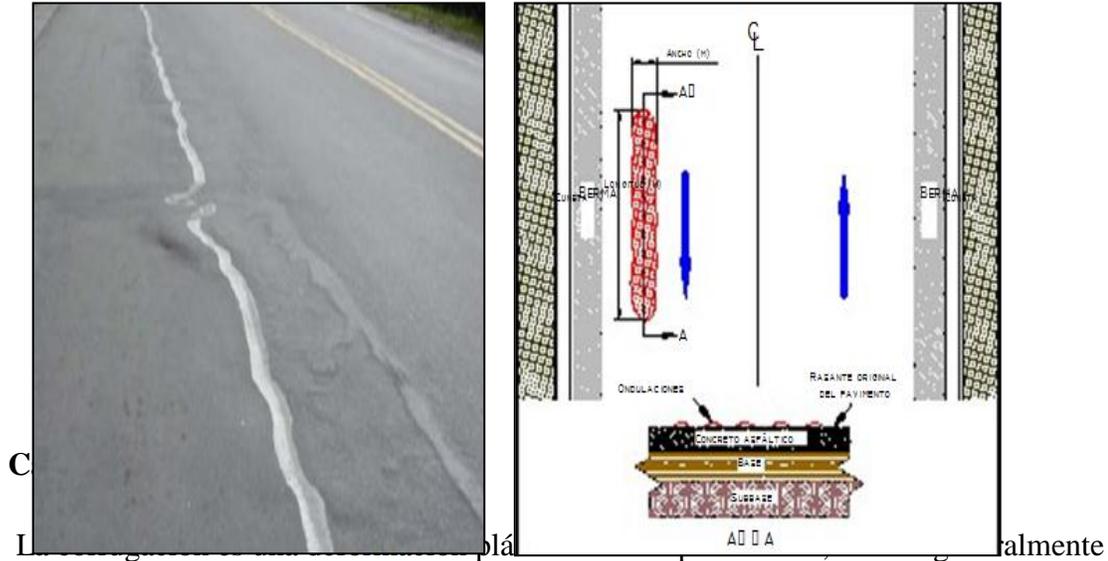
M: Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

H: Reciclado (fresado) en frío. Parcheo profundo o parcial. Sobrecarpeta.

2.3.2.2 CORRUGACIÓN.

Descripción: Corrugación también conocida como ondulación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito.

Figura 2.12. Corrugación (Unidad de medida: m2)



a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

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

Severidades:

L: Profundidad máxima menor que 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor. Producen una calidad de tránsito de baja severidad

M: Profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.

H: Profundidad máxima mayor que 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad.

Medida

La ondulación se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada.

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Reconstrucción.

H: Reconstrucción.

2.3.2.3 DEPRESIÓN.

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

Figura 2.13 Depresión (Unidad de medida: m²)



Niveles de severidad.

L: 13.0 a 25.0 mm.

M: 25.0 a 51.0 mm.

H: Más de 51.0 mm.

Medida

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

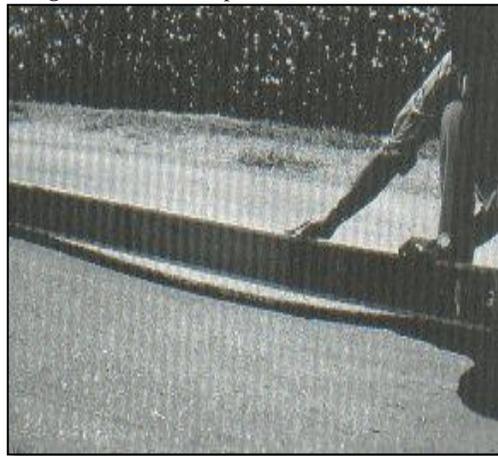
Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial, parcial o profundo.

H: Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 2.13.1 Depresión de alta severidad.

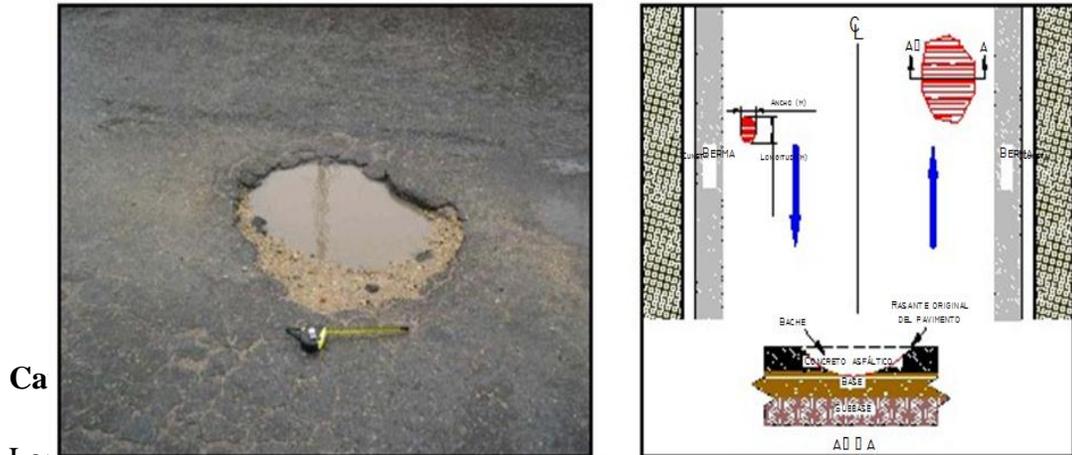


2.3.2.4 HUECOS.

Descripción: Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0.90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Es la desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los

materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito.

Figura 2.14. Huevo (Unidad de medida: m²)



Los huecos se producen cuando el tráfico genera pequeños pedruzcos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización. También este tipo de deterioro puede presentarse por la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento.

Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con el Cuadro 2.5. Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0.47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

Cuadro 2.4 Niveles de severidad para huecos.

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

Fuente: Manual PCI - Universidad Nacional de Colombia.

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Parcheo parcial o profundo.

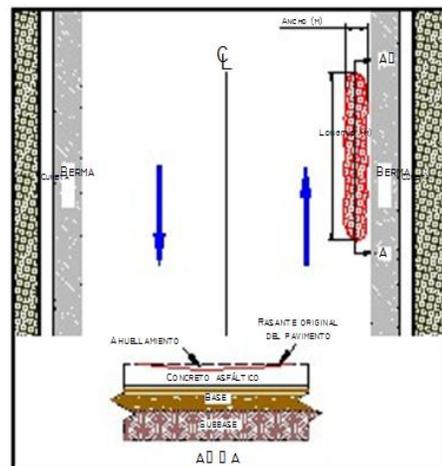
H: Parcheo profundo.

2.3.2.5 AHUELLAMIENTO.

Descripción: El ahuellamiento es una depresión en la superficie de las huellas de las ruedas. Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del huellamiento, pero, en muchos casos, éste sólo es visible después de la lluvia.

Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidropilano por almacenamiento de agua.

Figura 2.15. Ahuellamiento (AHU, Unidad de medida: m²)



Causas

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

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

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

Niveles de severidad

L: 6.0 a 13.0 mm.

M: >13.0 mm a 25.0 mm.

H: > 25.0 mm.

Medida

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

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.

2.3.2.6 HINCHAMIENTO.

Descripción: El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento – una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3.0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Figura 2.16. Hinchamiento (Unidad de medida: m²)



Nivel de severidad

L: El hinchamiento causa calidad de tránsito de baja severidad. El hinchamiento de baja severidad no es siempre fácil de ver, pero puede ser detectado conduciendo en el límite de velocidad sobre la sección de pavimento.

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: No se hace nada. Reconstrucción.

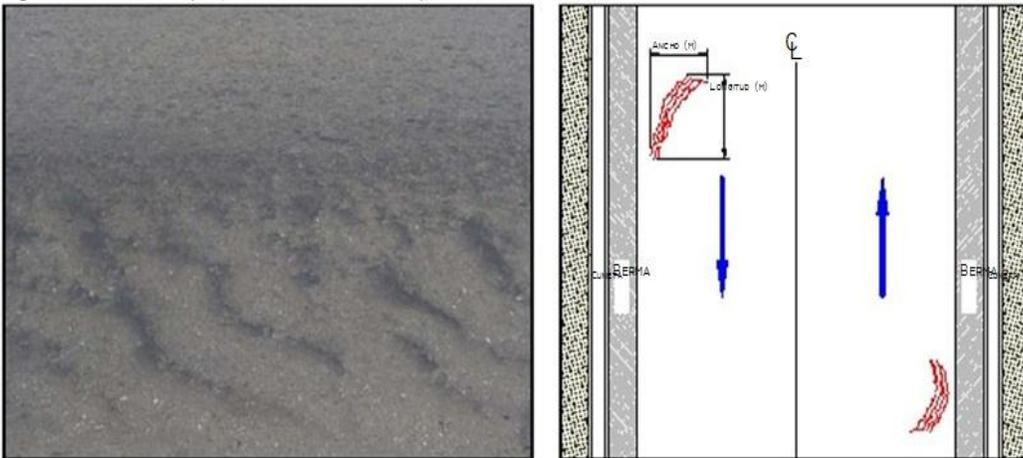
H: Reconstrucción.

2.3.3 DESINTEGRACIONES

2.3.3.1 EXUDACION.

Descripción: La exudación es una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, resbaladiza que usualmente llega a ser pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Figura 2.17. Exudación (EX, Unidad de medida: m²)



La exudación es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire. Ocurre cuando el asfalto

Causas

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

Niveles de severidad.

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

Medida

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

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

M: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Fresado y sobrecarpeta.

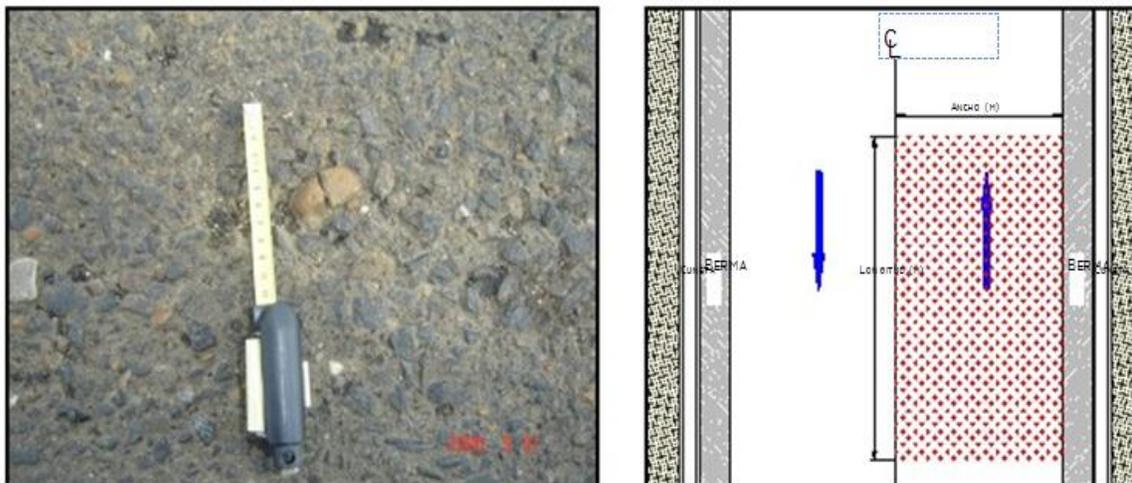
Figura 2.18.1 Nivel moderado de pulimento



2.3.3.3 DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS.

Descripción: El desprendimiento corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo para el conductor. Son la pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Este daño indica que, o bien el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad.

Figura 2.19. Desprendimiento de agregados (Unidad de medida: m²)



Causas

El desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento. También por el uso de asfaltos defectuosos o endurecidos que perdieron sus propiedades ligantes, agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes), defectos de construcción y a efectos de agentes agresivos (solventes, agua, etc.)

Niveles de severidad

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

M: Se han perdido los agregados o el ligante. La textura superficial es moderadamente rugosa y ahuecada

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.

Medida

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

Opciones de reparación

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

M: Sello superficial. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta.

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

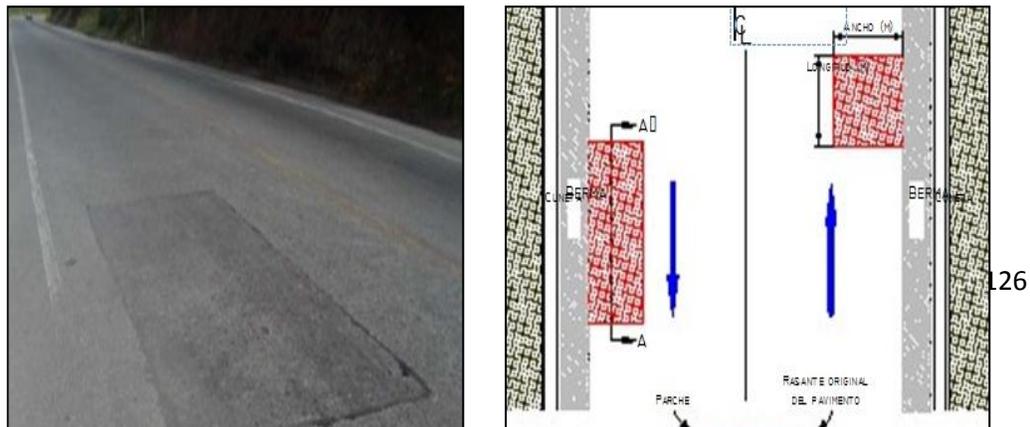
2.3.4 OTROS.

2.3.4.1 PARCHEO.

Descripción: Parche (PCH). Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, etc.).

Un parche se considera un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área parchada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento). Por lo general se encuentra alguna rugosidad está asociada con este daño.

Figura 2.20. Parche (PCH, Unidad de medida: m²)



Niveles de Severidad.

L: El parche está en buena condición buena y es satisfactorio

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

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

Medida.

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un sólo parche tiene áreas de diferente severidad, estas deben medirse y registrarse de forma separada. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aún si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento

Opciones de reparación

L: No se hace nada.

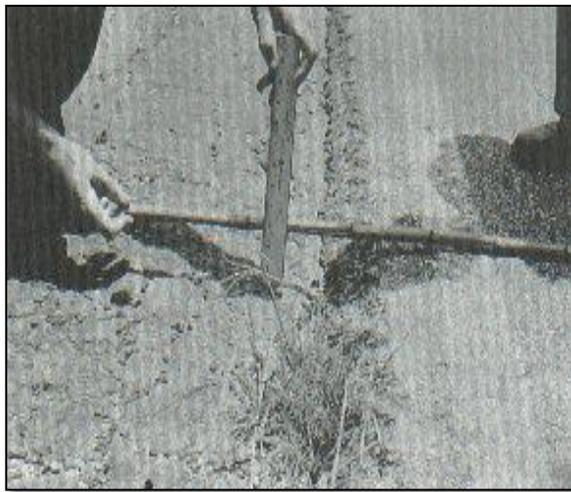
M: No se hace nada. Sustitución del parche.

H: Sustitución del parche.

2.3.4.2 DESNIVEL CARRIL / BERMA.

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

Figura 2.21. Desnivel carril / berma (Unidad de medida: m)



Niveles de severidad.

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L, M, H: Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

2.3.4.3 REJILLAS DE DRENAJE - TAPAS DE ALCANTARRILLADO

Descripción: Éstos producen depresiones y elevaciones a la rodadura.

Figura 2.22. Tapas de alcantarillado (Unidad de medida: m2)



Nivel de Severidad:

L: Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

M: Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

H: Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Medida

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

2.3.4.4 DESPLAZAMIENTO.

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

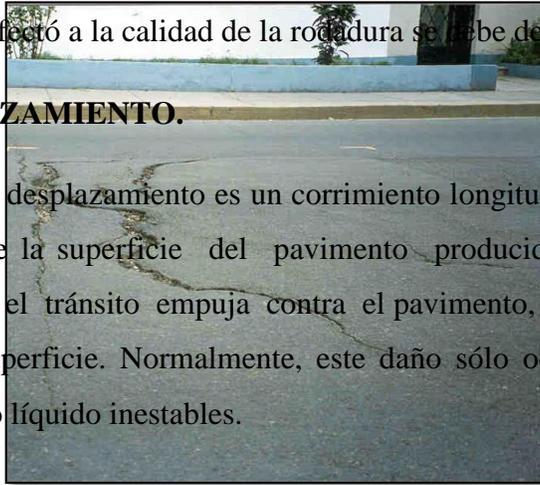


Figura 2.23. Desplazamientos (Unidad de medida: m²)

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L: No se hace nada. Fresado.

M: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H: Fresado. Parcheo parcial o profundo.

2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

En la actualidad existen varios métodos para realizar la evaluación superficial del pavimento flexible, en el presente proyecto haremos mayor énfasis en el método del Índice de Rugosidad Superficial (IRI), Índice de Condición del Pavimento PCI y al Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

2.4.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).

Las características funcionales de una vía son de gran importancia, ya que determinan las condiciones de seguridad y comodidad de los usuarios, como también repercuten en el aspecto económico, relacionados con los costos de operación de los vehículos y mantenimiento de las carreteras. Diferentes investigaciones realizadas al respecto, revelan que los costos de operación de los vehículos dependen de la magnitud de las irregularidades superficiales del pavimento, afectando las velocidades de circulación, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible.

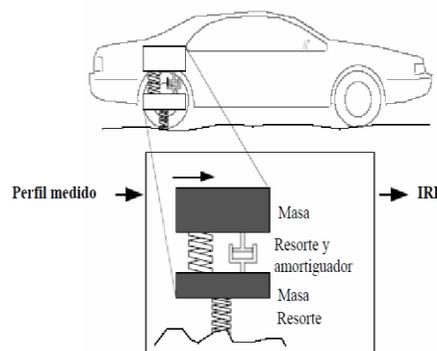
2.4.1.1 DEFINICIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como **IRI** (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura de un camino.

La definición del IRI se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de los sistemas dinámicos, todo ello, en base a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro, ver figura 2.24) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h.

Este modelo se desarrolló a través de un conjunto de masas ligadas entre sí, las cuales generan un movimiento vertical al ser desplazadas por el camino, de esta forma se permite reducir el análisis de una superficie al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal, es decir, desde un análisis bidimensional a un estudio unidimensional.

Figura 2.24 Modelo de cuarto de carro



Modelo de cuarto de carro
Fuente: Adaptado de "The Little Book of Profiling".

Dicho valor es medido en unidades de m/km, mm/m y in/mi, no existiendo límite superior en su valor; sin embargo, es importante indicar que en una carretera con

valores de IRI mayores a 8 m/km es difícil de transitar, excepto a velocidades menores.

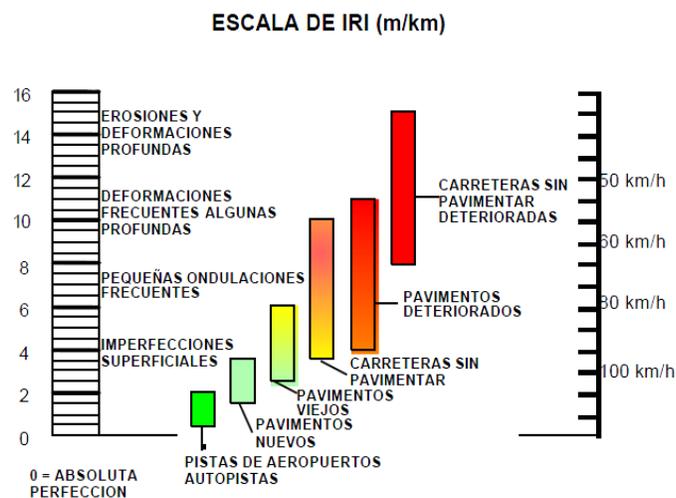
De esta manera se definió como: “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie de camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, al recorrer una superficie del camino a una velocidad de 80 km/h.

2.4.1.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

El cálculo del IRI involucra la utilización de herramientas matemáticas, estadísticas y computacionales que permiten derivar la medida de regularidad asociada al camino; lo cual contempla etapas claramente diferenciadas y ajustadas a un desarrollo sistemático.

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, y el más importante de todos, consiste en medir las cotas o elevaciones de terreno que permiten representar el perfil real del camino. Esto significa que, el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal.

Figura 2.25 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI



Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, Vol. 33.

2.4.2 TIPOS DE EQUIPO EXISTENTES PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS.

Existen diferentes equipos para determinar la regularidad superficial de los pavimentos, los cuales han venido evolucionando en el tiempo, variando unos de otros en la precisión y rapidez para la obtención de los resultados. En la siguiente tabla se presentan algunos de los equipos desarrollados para determinar la regularidad superficial de los pavimentos:

Cuadro 2.5 Equipos existentes para la medición de la rugosidad

Equipo	Grado de precisión	Implementación	Complejidad del equipo	Observaciones
Nivel y mira topográfica	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Dipstick	Muy alto	Mediciones de perfil y calibración de equipos más complejos	Muy Simple	Poco práctico y costos muy elevados para proyectos largos
Perfilógrafos	Medio	Control de calidad y recepción de obras	Simple	No son prácticos para evaluar la condición a nivel de red
Equipos tipo respuesta (RTRRMS)	Medio	Monitoreo de carreteras a nivel de red	Compleja	Los resultados no son transportables ni estables en el tiempo, pues dependen de la dinámica particular del movimiento del vehículo
Perfilómetro inercial	Muy alto	Monitoreo de carreteras a nivel de red y recepción de proyectos viales	Muy Compleja	Equipo de alta precisión, cuyos resultados son transportables y estables en el tiempo. Su principal uso es la evaluación de redes viales grandes

Fuente: Adaptado de Ventura, J. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

2.4.2.1 NIVEL Y MIRA TOPOGRÁFICA

Es la manera más conocida para la medición del perfil longitudinal. El equipo consiste en una mira de precisión, graduada con unidades convenientes de elevación (típicamente divisiones de cm o pies), y un nivel topográfico empleado para establecer el dato de la línea horizontal.

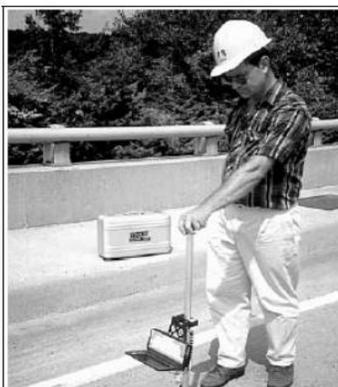
Figura 2.26. Nivel y mira topográfica



2.4.2.2 DIPSTICK

El Dipstick consiste en un inclinómetro sostenido entre dos apoyos separados por 300 mm ó 250 mm (dependiendo de las unidades de análisis, los apoyos pueden separarse 12 pulgadas), los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a la elevación del otro.

Figura 2.27 Equipo Dipstick



Fuente: Ventura, J. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

2.4.2.3 PERFILÓGRAFOS

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del perfilógrafo, se registra (automáticamente en algunos modelos) en papel según el movimiento de la rueda sensible. Se pueden encontrar en una gran variedad de formas, configuraciones y marcas.

Figura 2.28 Perfilógrafo California



2.4.2.4 EQUIPOS TIPO RESPUESTA (RTRRMS)

Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera. Miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie.

Figura 2.29 Equipo tipo respuesta (RTRRMS)



2.4.2.5 PERFILOMETRO INERCIAL

Los equipos de referencia inercial son equipos que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino. Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrada por acelerómetros colocados en el vehículo utilizados para obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (p.ej.: Láser)

Figura 2.30 Perfilómetro Inercial



2.4.2.6 EL MERLÍN

Fue desarrollado por el TRANSPORTATION ROAD RESEARCH LABORATORY (TRRL, Inglaterra), el año 1990, con la finalidad de disponer de un equipo simple y económico que pueda ser empleado en forma extensiva, para la medición de la rugosidad de la superficie de todo tipo de pavimentos: Pavimentos asfálticos,

afirmados, enripiados, tierra, hormigón, etc. Desde el año 1,992, cuando se introdujo su uso en Bolivia por iniciativa del Banco Mundial, el empleo del perfilómetro original MERLIN es el que mayor difusión ha logrado en la mayoría de países de Latinoamérica, por la sencillez, exactitud y economía de las mediciones.

Figura 2.31 El Merlín



2.4.3 DETERMINACIÓN DEL IRI.

En vista de la importancia que reviste la determinación del IRI como control receptivo en los proyectos de infraestructura vial, es necesario establecer un intervalo de longitud para la determinación del IRI, ya que intervalos de longitudes mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniendo de una manera inadecuada valores de IRI satisfactorios. Por otra parte la utilización de intervalos de longitudes menores para la determinación del IRI puede detectar niveles altos de regularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort.

La medición de la regularidad de los pavimentos, para efectos de control de calidad y recepción de los proyectos de infraestructura vial, actualmente es realizada a través del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

2.4.4 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI – Pavement Condition Index)

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

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

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

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Cuadro 2.7 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Cuadro 2.6 Rangos de calificación del PCI

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

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

2.4.4.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

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

Unidades de Muestreo:

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

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$. En el Cuadro 2.7 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Cuadro 2.7 Longitudes de unidades de muestreo

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Determinación de las Unidades de Muestreo para Evaluación:

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

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del $PCI \pm 5$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

Ecuación 2.1

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

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

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

Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección

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

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

Ecuación 2.2

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Donde:

N = Número total de unidades de muestreo disponible.

n = Número mínimo de unidades para evaluar.

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

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

Evaluación de la Condición

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

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

a) Equipo

- Odómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.
- Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

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

c) El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de

señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

Cálculo del (PCI) de las Unidades de Muestreo

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

Cálculo para Carreteras con Capa de Rodadura Asfáltica.

Etapa 1. Cálculo de los Valores Deducidos:

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

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

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

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

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

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

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

Ecuación 2.3

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Donde:

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

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

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

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

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

3. a Determine el número de valores deducidos “**q**” mayores que **2**.

3. b Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.

3. c Determine el (VDC) con “**q**” y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

3. d Reduzca a **2** el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que **2** y repita las etapas **3.a** a **3.c** hasta que “**q**” sea igual a **1**.

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

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

Cálculo del PCI de una Sección de Pavimento

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

Ecuación 2.4

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Donde:

PCI_i = PCI de cada unidad evaluada

n = Número de unidades que existen en la sección

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

2.4.4.2 CÁLCULO DEL PCI DE UNA SECCIÓN DE PAVIMENTO.

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

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

Ecuación 2.5

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

Fuente: Pavement Condition Index (PCI)

Donde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

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

PCIA = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

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

A = Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

Finalmente el valor del PCI parcial = 100 - VCD

2.4.5 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI - PRESENT SERVICE INDEX)

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

- Deformación longitudinal
- Deformación transversal
- Fisuración
- Desprendimiento.

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

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

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

Ecuación 2.6

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

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

Cuadro 2.8 Coeficientes C₁, C₂, y C₃

RUGOSIDAD LONGITUDINAL	VALOR C1
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
INTENSIDAD DE GRIETAS Y PARCHES	VALOR C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4

DEFORMACIÓN TRANSVERSAL	VALOR C3
Sin deformación ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: Manual PSI

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

Ecuación 2.7

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

PSI_i = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

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

Cuadro 2.9 Rango de calificación del PSI

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

2.5 CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.5.1 GESTIÓN DE CONSERVACIÓN DE VIAS

El objetivo fundamental de la infraestructura vial es prestar a los usuarios un servicio de calidad que satisfaga sus necesidades de movilidad, sea un adecuado soporte de las actividades económicas y contribuya a la integración territorial.

Para ello, una vez ejecutada la infraestructura hay que gestionarla, desarrollando una serie de actividades de explotación y conservación.

Desde un punto de vista general las actividades de conservación y de explotación cubren dos grupos de objetivos generales.

El primero de ellos se relaciona con el servicio a prestar a los usuarios. En ese sentido las actuaciones se dirigirán a asegurar una circulación segura, fluida y cómoda por la red existente, de manera que los costos globales del transporte sean los menores posibles.

En el segundo grupo de objetivos hay que incluir fundamentalmente la preservación del valor patrimonial de las carreteras, que forma parte de la riqueza (capital fijo) de una nación.

Las características iniciales de una carretera se van degradando con el transcurso del tiempo debido al paso de los vehículos y a las acciones climáticas.

Todas las operaciones tendientes a restituir en lo posible esas características pueden ser consideradas como parte de la conservación de la carretera.

Las intervenciones de conservación deben estar dirigidas al logro de tres objetivos particulares:

- ❖ Adecuada resistencia al deslizamiento de la superficie, de manera que el pavimento permita un tránsito seguro a los vehículos

- ❖ Regularidad superficial acorde con el trazado de la vía y las velocidades normales de recorrido, de manera que la circulación sea cómoda para el usuario, sin olvidar que la falta de comodidad puede redundar también en inseguridad.

ORGANIZACIÓN.

Actividades Generales de Conservación.

Para el logro de los objetivos indicados en el apartado anterior, es necesario desarrollar una serie de actividades que se pueden agrupar como se indica:

- a) **Vialidad e información.** Son actividades destinadas a hacer posible el mantenimiento del servicio incluso, dentro de determinados límites, en circunstancias adversas: situaciones de congestión del tránsito, obras en la calzada, climatología desfavorable (niebla, nieve o hielo), etc.
- b) **Actividades de uso y defensa.** Comprende todo lo relacionado con la vigilancia de la carretera y la regulación de sus zonas de influencia, en aplicación a lo establecido en la legislación. Se trata de una labor de policía de carretera, propia de la administración vial, que no debe confundirse con la labor de policía de tránsito encomendada a las fuerzas de seguridad.
- c) **Conservación de rutina.** Incluye actuaciones con carácter fundamentalmente preventivo, destinadas a retrasar lo más posible el proceso de degradación, de manera que la infraestructura no baje de un determinado umbral de aceptabilidad.
- d) **Rehabilitación.** Refiere a actuaciones con un cierto carácter extraordinario, cuyo objetivo es recuperar los niveles de calidad que se han ido perdiendo con el tiempo, a pesar incluso de que se haya realizado una conservación preventiva.

GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN.

Se suele definir el sistema de gestión de la conservación como “el procedimiento consistente en coordinar y controlar todas las actividades encaminadas a conservar los firmes de carreteras, asegurando la mejor utilización posible de los recursos disponibles, es decir haciendo máximo el beneficio para la sociedad”.

Dentro del objetivo global señalado se pueden definir objetivos específicos de diverso tipo: técnicos, económicos y administrativos.

Desde el punto de vista técnico un sistema de gestión de la conservación debe dirigirse al establecimiento de estrategias de conservación y a la definición de prioridades en las actuaciones implícitas en esas estrategias.

Bases de Datos.

En relación a los firmes, las fuentes de una base de datos son por un lado la inspección visual y la auscultación con aparatos, y por otro el propio proyecto de construcción y los informes de control de calidad, así como los de todas las actuaciones de conservación llevadas a cabo durante la vida del pavimento.

La información mínima disponible en una base de datos ha de estar constituida por:

- Datos de tránsito.
- Secciones estructurales del pavimento.
- Deterioros superficiales.

Estrategias y evaluación económica.

La estrategia de conservación de una carretera o de un tramo con características homogéneas, se puede definir como el conjunto de actuaciones a desarrollar durante la vida de la carretera o del tramo, para que los parámetros e índices de comportamiento no bajen de los mínimos admisibles.

El objetivo de la estrategia de conservación debe ser: **lograr la mayor vida útil del pavimento al menor costo.**

Esto lleva lógicamente a que no todas las estrategias que pudieran plantearse técnicamente, sean económicamente adecuadas.

Identificación y catálogos de deterioros

a) Inspección visual.

Como ya se ha indicado, entre la información que como mínimo debe tener una base de datos de un sistema de gestión de carreteras, está la relativa a los deterioros superficiales, es decir, los que pueden ser detectados mediante una inspección visual directa o con sistemas automáticos de detección visual.

b) Auscultación con aparatos.

Otra manera de realizar la inspección de los deterioros consiste en filmar el tramo en cuestión en toda su longitud.

Actualmente se emplean sistemas basados en tecnología láser, que permiten el análisis, identificación y cuantificación de los deterioros en tiempo real, gracia a los equipos informáticos que llevan a bordo los vehículos de inspección.

c) Auscultación del estado estructural.

Pero debe destacarse que una adecuada gestión de conservación, requiere también de un cabal conocimiento de la condición estructural del firme.

Para ello es usual recurrir a métodos no destructivos, que miden la respuesta del pavimento a las sollicitaciones de determinados equipos.

El método más simple y antiguo es el de la regla Benkelman, que consiste en medir la deflexión o deformación recuperada del pavimento luego de la aplicación de una

carga estática de 8,2 toneladas (80 N o 18 kips), producida por un camión con eje trasero simple

Las mediciones realizadas con Benkelman son lentas y producen interferencias al tránsito.

Figura 2.32 viga Benkelman



2.5.2 ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN.

Dentro de las tareas de conservación se puede distinguir entre las que constituyen la conservación ordinaria o de rutina y las actuaciones extraordinarias.

El primer grupo refiere a actuaciones llevadas a cabo de manera rutinaria y con regularidad: semanal o mensualmente, antes o después de la temporada de lluvias, etc.

Las actuaciones extraordinarias responden a la aparición de deterioros importantes o generalizados.

Por otra parte, considerada la conservación en su sentido más amplio pueden distinguirse diferentes niveles.

En primer lugar se sitúa la conservación propiamente dicha, en donde las actuaciones no conducen a modificaciones sustanciales de los elementos de la carretera y que está muy ligada a la explotación.

Se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando esos deterioros han aparecido (conservación curativa).

En un segundo nivel de la conservación se sitúan las rehabilitaciones. En general se recurre a ellas cuando el paso del tránsito y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o se requiere hacer frente a nuevas solicitudes no contempladas con anterioridad.

Dentro de este segundo nivel y como actuación extrema se ubica la reconstrucción.

La reconstrucción puede ser total o parcial. Este último caso se presenta cuando afecta a un pequeño tramo o a parte de la sección transversal.

Finalmente hay que señalar que el alcance de la conservación de carreteras es muy amplio y en ella hay que incluir la zona de camino y los sistemas de drenaje, los puentes y estructuras, el paquete estructural de la calzada y banquetas, la señalización, el alumbrado, la forestación y vegetación de la zona de camino y taludes, la lucha contra la nieve y el hielo, etc.

Actuaciones ordinarias o de rutina en el pavimento

- Bacheos.
- Eliminación de exudaciones.
- Sellado de fisuras.
- Sellado de juntas.
- Texturizados (fresados superficiales).

- Limpieza de calzadas drenantes.

Rehabilitación de pavimentos

Pueden referirse a defectos funcionales que requerirán sólo la rehabilitación o renovación superficial del pavimento, o a causas estructurales que lógicamente requerirán de una actuación más importante.

En el caso de las rehabilitaciones funcionales pueden mencionarse las lechadas asfálticas, los sistemas retardadores de fisuras y el texturizado del pavimento.

Dentro de las rehabilitaciones estructurales, la más común es el refuerzo o recapado mediante la colocación del espesor necesario de una mezcla asfáltica elaborada en caliente.

2.5.3 REHABILITACIÓN FUNCIONAL.

a) SELLO CON LECHADA ASFÁLTICA

Según algunas especificaciones, se define como tratamiento superficial con **lechada bituminosa** “la aplicación sobre una superficie, de una o varias capas de un mortero bituminoso fabricado en frío con áridos, emulsión bituminosa, agua y eventualmente polvo mineral de aportación y adiciones, cuya consistencia a temperatura ambiente es adecuada para su puesta en obra”.

Usos.

- Es una técnica de mantenimiento preventivo y/o correctivo.
- Corrige irregularidades superficiales menores. Sella fisuras superficiales.
- Evita el desprendimiento de agregados..
- Impermeabiliza la superficie del pavimento.

b) TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE

Un tratamiento superficial simple implica el riego de un ligante asfáltico, el cual puede ser cemento asfáltico, asfalto rebajado o emulsión asfáltica, seguido de un inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado.

Usos.

- Como medida provisoria, previo a la aplicación de una mezcla asfáltica
- Para corregir desprendimientos en la superficie y oxidación de pavimentos.
- Para proveer una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.

c) TRATAMIENTO SUPERFICIAL MÚLTIPLE (Doble, Triple, Cuádruple)

Un tratamiento superficial múltiple consiste en una aplicación alterna de capas de ligante asfáltico y agregados, considerando que el tamaño del agregado en la primera aplicación es mayor y disminuyen en cada una de las aplicaciones sucesivas, pudiéndose alcanzar espesores hasta de 25 mm.

Usos.

- Provee nivelación a la superficie tratada.
- Provee una superficie impermeable, resistente al deslizamiento, sobre una estructura de pavimento existente.
- Proporciona una superficie de sellado muy resistente al desgaste.

d) MICRO-AGLOMERADO

Consiste en una mezcla de asfalto emulsificado modificado con polímeros, agregados bien graduados, material de relleno (filler), aditivos y agua, utilizando camiones autopropulsados con compartimientos para su colocación, los cuales son diseñados específicamente para esta actividad.

Usos.

- Ofrece protección al pavimento subyacente.
- Mejora los valores de fricción superficial.
- El Micro-Aglomerado puede ser empleado para el recapado general de calles y carreteras de tráfico medio y pesado.

e) TEXTURIZADO DEL PAVIMENTO

Fresado Consiste en el molido en frío, controlado automáticamente, de la superficie del pavimento para restaurar las rasantes especificadas y remover ondulaciones y otras imperfecciones, dejando una superficie texturizada, resistente al deslizamiento y al hidropelaje, que sirve como buena superficie en pavimentos en los que el ruido de rodadura no sea el condicionante básico. Las máquinas que ejecutan esta labor se denominan fresadoras y ejercen su acción mediante una especie de uñas acopladas a un eje giro horizontal.

Retiro de capas asfálticas (Espesor máximo en cada pasada: ~ 10 cm).

Texturizado: Corrección de defectos superficiales (Ahuellamientos, exudaciones de asfalto, etc.).

2.5.4 REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL.

2.5.4.1 REFUERZO DE PAVIMENTOS.

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

Tipos de Sobrecarpetas

- **Sobrecarpetas funcionales**

- Usadas típicamente para restaurar deterioros superficiales o mejorar la calidad de rodado
- Generalmente no se diseñan y se basan en experiencias pasadas

- **Sobrecarpetas estructurales**

- Se corrigen deficiencias estructurales y son diseñadas con diferentes métodos

Rehabilitación de pavimentos con refuerzos

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

Existen distintos tipos de refuerzos los cuales son los siguientes:

Cuadro 2.10 Distintos tipos de refuerzos

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

Fuente: Gestión del Mantenimiento de Carreteras

Posibilidad de aplicabilidad de tipo de refuerzo

Esta depende de las siguientes condiciones:

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

- Condiciones climáticas.
 - Problemas constructivos.
- 3) Vida útil a adoptar para el refuerzo. Esta depende de:
- Cargas de tránsito futuras.
 - Condiciones de drenaje.

2.5.5 RECICLADO DE PAVIMENTOS

La conservación y rehabilitación de las rutas pavimentadas suelen presentar variados problemas, como ser:

- ❖ Disminución de los recursos financieros disponibles.
- ❖ Escasez de materiales naturales, derivada del progresivo agotamiento de las fuentes de provisión, fundamentalmente en zonas de construcción intensiva de rutas.
- ❖ Elevado costo de la energía, que impulsa la reducción de su consumo.
- ❖ Escasez de recursos humanos con suficiente preparación específica.

A raíz de ellos las autoridades viales se ven obligadas a optimizar los a veces escasos recursos disponibles, ya que aparte del mantenimiento de las calzadas naturales y puentes, una importante porción de los fondos deben dirigirse a la conservación ordinaria, renovación superficial y rehabilitación estructural de los pavimentos existentes.

El reciclado de materiales viales consiste esencialmente en la reutilización de las capas de un pavimento, en caso que presenten deficiencias superficiales o fallas estructurales, motivadas, entre otras causas, por envejecimiento del ligante asfáltico, mala dosificación de las mezclas, materiales inadecuados y defectos constructivos.

2.5.4.1 OBJETIVOS DEL RECICLADO.

La finalidad del reciclado en frío in situ es la de restituir las propiedades originales del material que se trata de corregir, e incluso mejorarlas.

Estas propiedades básicamente son:

- 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.

2.5.4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DEL RECICLADO.

El proceso de reciclar un pavimento, en frío e in situ, consta básicamente de tres operaciones, análogas a las que se realizan independientemente en el caso de construcción convencional de un firme con materiales de aportación.

- La explotación del yacimiento granular que representa el firme existente, fresándolo hasta una cierta profundidad para recuperar el material utilizado en su construcción.
- La mezcla en frío del material disgregado, que se puede realizar conjuntamente con el fresado o como una operación independiente después de éste, pero sin desplazar el material de su sitio. A tal mezcla se le añaden, separada o conjuntamente:
 - Agua para permitir el fraguado de los conglomerantes hidráulicos o la envuelta de las emulsiones bituminosas y para facilitar la compactación.
 - Ligantes o conglomerantes: Emulsiones bituminosas o cemento (en polvo o en forma de lechada), en ocasiones con la incorporación de cal o de otros aditivos.

- La extensión y compactación del material mezclado de manera de obtener una nueva capa de pavimento. Estas operaciones se realizan en forma similar a una obra convencional.

El proceso de reciclado en frío se completa, en forma casi generalizada, con la colocación de un revestimiento bituminoso, que puede realizar un aporte estructural adicional o sólo actuar como capa resistente a la acción abrasiva del tránsito.

2.5.6 RECONSTRUCCIÓN

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

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

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

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

Figura 2.33 Construcción de nuevo pavimento



CAPÍTULO III

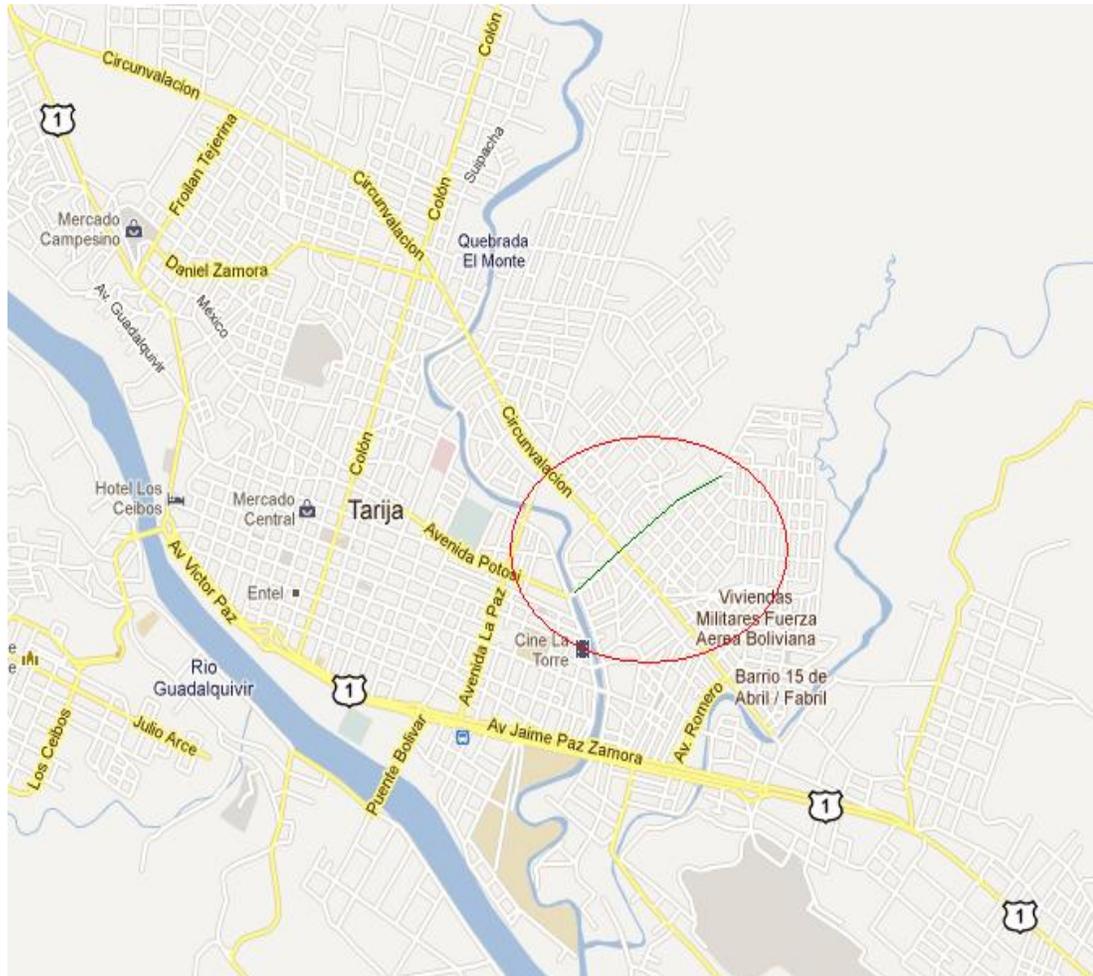
APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1 INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija perteneciente a la Provincia Cercado, esta Avenida pertenece al distrito 9 formando parte de los barrios Palmarcito y Narciso Campero, que inicia finalizando la Avenida Potosí, pasando la Quebrada del Monte.

Figura 3.1 Imagen satelital del tramo en estudio



3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO EN ESTUDIO

La Avenida Gamoneda es una vía de tráfico alto, siendo una ruta principal para el traslado de la población del centro de la ciudad hacia los barrios alejados que están orientados hacia el noreste de la ciudad.

Descripción de la sección

La avenida tiene un ancho de vía de 10 metros, la cual es de dos sentidos con un ancho de 5 metros.

Geometría

Tiene una longitud pavimentada de 913 metros.

Figura 3.2 Inicio del tramo en estudio



Estructura del pavimento

La capa de rodadura es de asfalto con espesor promedio de 5 centímetros la cual se encuentra asentada sobre una capa base de empedrado de espesor de 0.12 metros y bajo esta se tiene una subrasante de arcilla inorgánica

Medio ambiente y drenaje

A lo largo de la avenida se puede encontrar edificaciones de baja a media altura y en la acera predomina la existencia de árboles.

Para el drenaje superficial un 80 % es mediante escurrimiento por superficial por la vía, solo al inicio del tramo existen sumideros laterales.

3.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE FALLAS SUPERFICIALES

El procedimiento que se describe a continuación es el que se seguirá durante la práctica de este proyecto, y éste es el recomendado por varios sistemas de conservación y mantenimiento de vías urbanas.

Primeramente los factores más importantes que debemos tomar en cuenta para la medición de fallas superficiales es el siguiente:

1. Seguridad.
2. Personal.
3. Equipo y material de trabajo.
4. Costos.

3.2.1 SEGURIDAD

Este factor se refiere a la seguridad de la integridad de la persona tanto del autor del proyecto como del personal que ayudara al mismo en la práctica, por lo tanto al tratarse de una evaluación superficial de una calle urbana pavimentada se deberá realizar el trabajo sobre la misma cortando el tráfico vehicular en un sentido de la misma, en la cual para evitar accidentes se deberá poner en conocimiento a las autoridades pertinentes para que estas informen a los conductores, también se deberá implementar conos y señalización vertical preventiva de manera que esta prevenga a los conductores.

3.2.2 PERSONAL

Para realizar un sistema de evaluación mínimamente una persona debe tener un pleno conocimiento sobre la cuantificación de fallas, en este caso en particular corresponde esta función al autor de este trabajo, y que para tramos largos el personal de apoyo debe ser por lo menos tres personas, los mismos que se encargarán de colaborar con la señalización, la medición de fallas de los tramos y con el equipo topográfico para la determinación del IRI.

Figura 3.3 Personal de apoyo



3.2.3 EQUIPO Y MATERIAL DE TRABAJO

En este proyecto el equipo que se va a utilizar es una Estación Total para la determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI, este equipo cuenta con dos prismas con sus respectivos jalones, un trípode y accesorios pequeños. En cuanto al material de trabajo se necesita una huincha de 50 metros, un cuaderno de anotaciones, planillas para la anotación de las diferentes fallas, bolígrafos, reglas graduadas en cm y mm, flexómetro, cámara fotográfica, tiza y pintura para marcar los tramos en donde se realizará el estudio.

Todo este material debe ser alistado con cierto tiempo de anticipación para que el día de la práctica no se presenten inconvenientes ni contratiempos.

Figura 3.4 Equipo topográfico y material de trabajo.



3.2.4 COSTO

El costo que se debe contemplar es el de la práctica del proyecto, y puede ser cuantificado por día, ya que influirá bastante por el hecho de que se está utilizando un equipo topográfico de mucha precisión que es alto su costo de alquiler, como también el hecho de pagar los hornales al personal de apoyo, pero no se tiene inconvenientes porque este tema ha sido analizado en el momento de elaborar el perfil del proyecto.

3.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

La evaluación de el pavimento flexible de la avenida Gamoneda se lo está haciendo desde el punto de vista del estado superficial por lo tanto los parámetros de medición y metodologías empleadas están dirigidas a reflejar el estado superficial de este tramo en estudio, los parámetros de medición están en función del tipo de falla y las metodologías para la determinación del estado superficial del pavimento son: la metodología del PCI (Índice de Condición del Pavimento), el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) y el IRI (Índice de Rugosidad Internacional).

Medición de fallas superficiales

Para comenzar a medir las fallas y daños superficiales del pavimento flexible se deben seguir los siguientes pasos:

- Preparar y alistar todo el material y equipo necesario y personal de apoyo, coordinar con las autoridades competentes y planificar la metodología de trabajo.
- Inspeccionar la Avenida y determinar el punto de inicio para el levantamiento de las fallas.
- Asegurar el tramo de estudio utilizando la señalización de seguridad vial

- Empezar a medir las fallas y daños superficiales de acuerdo a su característica, tipo de falla y en las unidades que corresponda a cada falla, utilizar el material adecuado y en buenas condiciones, y anotar los mismos en una planilla.
- Prever inconvenientes en el transcurso de la medición como ser altas temperaturas, vientos fuertes, lluvia y horario de mayor circulación de vehículos, y dar solución a estos inconvenientes buscando horas de trabajo tranquilas de manera que no perjudiquen el trabajo y alteren e influyan en precisión de la medición.
- Al finalizar la medición se debe ordenar las planillas con los datos medidos para su posterior procesamiento (trabajo de gabinete).

Figura 3.5 Procedimiento de medición de fallas superficiales



Medición de datos para la determinación del IRI

Los pasos a seguir son similares a los pasos mencionados en la medición de fallas con la adición de los siguientes:

- Una vez asegurado el tramo donde se realizará la medición se procede a medir los puntos para la determinación del IRI.
- Se debe instalar y armar el equipo topográfico en un lugar donde se tenga mayor visibilidad hacia el tramo que se desea medir y hacia los posteriores tramos, con la ayuda de una huincha se extiende la misma sobre una de las huellas del pavimento una longitud de 50m. y de acuerdo a parámetros

estándares se lectura a cada 50 cm. El mismo procedimiento se lo realiza en el otro carril de sentido contrario.

- Para este tipo de medición también es importante tomar en cuenta la prevención de inconvenientes que se pueden presentar.
- Los datos lecturados para la determinación del IRI quedan grabados en la memoria de la estación total pero siempre se debe anotar los puntos de inicio, fin de los tramos y otros que sean relevantes para el procesamiento de los datos.

3.4 METODOLOGÍAS PLANTEADAS

Procedimiento de campo

La metodología de medición de fallas es la que se menciona anteriormente (Procedimiento de medición de fallas superficiales), donde primeramente se realiza procedimiento de campo con la medición de fallas utilizando planillas de anotaciones para facilitar en la ordenación de datos, los parámetros de medición son las unidades en las que serán medidas las fallas; es decir en unidades de longitud (m), en unidades de área (m²).

La longitud total del tramo en estudio es de aproximadamente 913 metros, toda la avenida pavimentada fue evaluada, y se la dividió en tramos más pequeños para tener una mayor exactitud en el detalles de las fallas del pavimento, los tramos de muestreo fueron de una longitud de 50 metros, los cuales fueron mismos marcados y evaluados respectivamente.

Esta metodología que se realiza en el procedimiento de campo indicará el nivel de severidad de las fallas superficiales y cuantificará la cantidad de la misma. En la figura 3.6 se muestra la metodología de medición que se planteó y se la realizó en el campo.

Figura 3.6 Metodología de medición de fallas (m2)

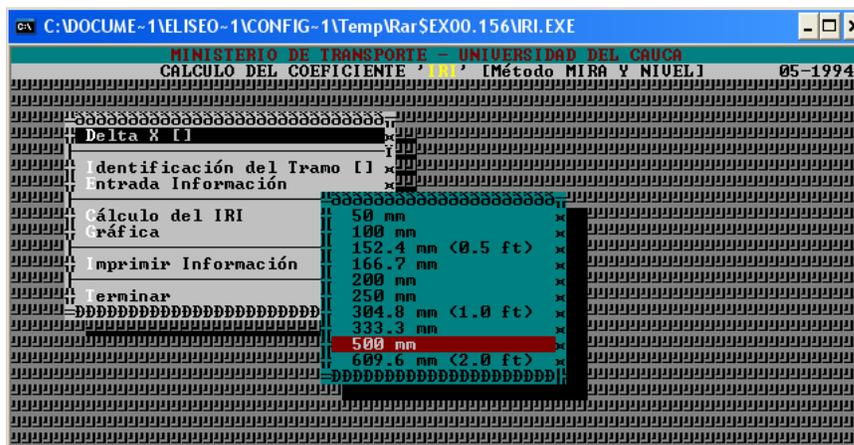


3.4.1 METODOLOGÍA DEL IRI.

Análisis para la determinación del IRI

El Índice Internacional de Rugosidad es la acumulación de deformaciones con respecto a un eje, este índice nos indica la irregularidad superficial es decir la diferencia entre lo real de lo ideal, se lo conoce como rugosidad del pavimento pero una rugosidad desde el punto de vista de las deformaciones y no así de la aspereza del pavimento. Debido a que para el procesamiento de los datos de campo para realizarlo manualmente sería demasiado moroso y tedioso ya que son bastantes los puntos que se deben procesar, para ello se recurrió a la ayuda de un programa computacional para el procesamiento de los datos y así calcular este índice.

Figura 3.7 Imagen del software INPACO



El programa computacional se llama INPACO, este software fue creado en el instituto de vías de la Universidad del Cauca de Colombia. Este programa tiene la característica de procesar los datos en 6 pasos los cuales se menciona a continuación:

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

Delta X (DX) Esta es la primera parte para hacer correr el programa donde nos permite escoger el incremento de la abscisa de los datos del levantamiento, en el mismo se presentan las siguientes alternativas:

Cuadro 3.1 Deltas según longitud máxima

DELTA X	LONGITUD MÁXIMA
50,0	800
100,0	1600
152,4	2438
166,7	2667
200,0	3200
250,0	4000
304,8	4876
333,3	5332
500,0	8000

Fuente: Software INPACO

Identificación del tramo.

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

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

Las abscisas delimitan el inicio y fin de la longitud del tramo en estudio del IRI que para este proyecto es de 50 m.

Entrada de información

En esta opción se ingresan los datos del levantamiento (cotas de los puntos lecturados)

Calculo del (IRI)

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

Gráfica

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

Imprimir Información

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

3.4.1.1 PROCESO DE CAMPO

Los puntos lecturados en campo con el equipo topográfico para la determinación del IRI son almacenados en la memoria de la estación total, y otros datos de relevancia anotados en un cuaderno de anotaciones.

Primero aseguramos el tramo de la vía que esté completamente despejada del tráfico para luego realizar el levantamiento el mismo que se lo hace en una de las huellas de la vía tanto del carril de ida como el de vuelta, los puntos son lecturados de acuerdo al delta X escogido el cual es de 500 mm, esto quiere decir que se deberán lecturar los puntos a cada 50 cm. En forma longitudinal para ello se extiende una cinta métrica sobre la huella con la longitud del tramo de muestreo (50 m.) y se procede con la medición con la estación.

3.4.1.2 PROCESO DE GABINETE

Como los datos que se registraron en campo fueron con una estación total, ésta ya procesa la información y arroja directamente las cotas del tramo por lo que en gabinete con estos datos tan sólo se procede a ingresarlos al programa computacional INPACO para el cálculo del IRI. Los datos registrados en el proceso de campo y los resultados con la gráfica de su perfil longitudinal se presentan en el ANEXO N°2

Los resultados del IRI promedio por carril de la vía se los presentan en el cuadro N° 3.2

Cuadro 3.2 Valores finales del IRI

PROGRESIVA	TRAMO N°	LONGITUD m	IRI (m/Km)	
			carril de ida	carril de vuelta
0+000 - 0+050	A	50	5,11	4,83
0+050 - 0+100	B	50	4,41	4,74
0+100 - 0+150	C	50	4,98	5,15
0+150 - 0+200	D	50	5,81	4,69
0+200 - 0+250	E	50	6,2	6,5
0+250 - 0+300	F	50	5,6	6,16
0+300 - 0+350	G	50	6,1	5,77
0+350 - 0+400	H	50	4,6	4,62
0+400 - 0+450	I	50	5,3	5,4
0+450 - 0+500	J	50	4,63	4,92
0+500 - 0+550	K	50	4,78	5,74
0+550 - 0+600	L	50	5,64	6,68
0+600 - 0+650	M	50	4,66	4,88
0+650 - 0+700	N	50	5,45	5,43
0+700 - 0+750	O	50	4,74	4,85
0+750 - 0+800	P	50	4,25	4,56
0+800 - 0+850	Q	50	5,01	4,08
0+850 - 0+900	R	50	3,98	4,49
IRI TOTAL (m/km)			5,07	5,19

El resultado final del IRI promedio de la avenida Gamoneda para cada carril es de:

Carril de Ida. IRI= 5.07 m/km Pavimento moderadamente deteriorado

Carril de Vuelta. IRI= 5.19 m/km Pavimento moderadamente deteriorado.

3.4.2 METODOLOGÍA DEL PCI

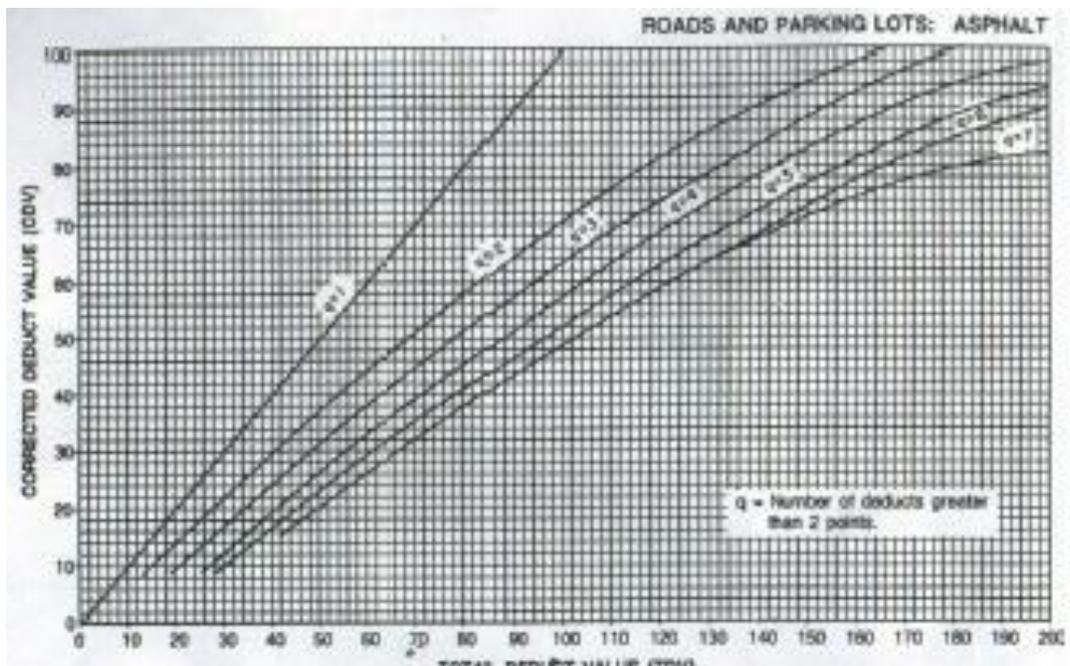
Análisis para la determinación del PCI

Con los datos medidos de las fallas superficiales del pavimento en campo se procede a realizar la cuantificación de las mismas tomando en cuenta los niveles de severidad, esta cuantificación se la presenta en el ANEXO N° 3 y es con estos datos que se determinará el Índice de Condición del Pavimento.

Calculo del PCI

- Primeramente con el formato que se encuentra en el ANEXO 3 se procede a anotar en columna las fallas que se hayan presentado con su respectivo nivel de severidad.
- En el siguiente paso se debe calcular el Valor de Deducción (VD), este valor se lo calcula para cada falla que se presente, se lo obtiene ingresando con el valor de la densidad y el nivel de severidad de cada falla en unas gráficas estandarizadas para los diferentes tipos de fallas, estas gráficas se encuentran en el ANEXO N° 1.
- Con los valores de deducción se calcula el Valor de Deducción Total (VDT) que viene a ser nada más que la sumatoria de los Valores de Deducción de todas las fallas.
- Luego se debe calcular el Valor de Deducción Corregido (VDC), para el cual se debe contar todos los valores mayores a 5 de igual nivel de severidad para encontrar “q” (curva de deducción) que se ilustran en la figura 3.8 para encontrar el Valor de Deducción Corregido en esta gráfica se debe ingresa con el Valor de Deducción Total en las abscisas y proyectar en línea recta hacia arriba hasta chocar con la curva que corresponda y con otra línea recta horizontal se debe proyectar hacia las ordenadas y ese será nuestro Valor de Deducción Corregido.

Figura 3.8 Curvas de Deducción para pavimento flexibles.



➤ Finalmente el valor del PCI parcial = 100 – VDC

Con el valor del PCI se clasifica el estado del pavimento utilizando la escala del cuadro 2.6 que clasifica de acuerdo al valor final del Índice de Condición del Pavimento, esta tabla de clasificación fue obtenida del manual INGEPAV (Ingeniería de pavimentos), de la Universidad Nacional de Colombia.

En el cuadro 2.6 del anterior capítulo se tiene los rangos de la clasificación del PCI

El valor encontrado del PCI y la clasificación del estado del pavimento corresponde a cada tramo, y el valor final del PCI de todo el tramo es el promedio de los PCI de todos los tramos de muestreo.

Los cálculos y resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI), se encuentran en el ANEXO N° 3 y por lo tanto el resultado final es el siguiente:

<i>Cuadro 3.3</i>	PROGRESIVA	TRAMO	LONGITUD	PCI		condicion del pavimento
		N°	m	carril de ida	carril de vuelta	
<i>Valor</i>	0+000 - 0+050	A	50	34	26	Malo
<i>es</i>	0+050 - 0+100	B	50	51	46	Regular
<i>del</i>	0+100 - 0+150	C	50	68	52	Regular
<i>PCI</i>	0+150 - 0+200	D	50	49	38	Malo
	0+200 - 0+250	E	50	40	34	Malo
	0+250 - 0+300	F	50	27	20	Muy Malo
	0+300 - 0+350	G	50	24	19	Muy Malo
	0+350 - 0+400	H	50	35	28	Malo
	0+400 - 0+450	I	50	47	45	Regular
	0+450 - 0+500	J	50	42	39	Malo
	0+500 - 0+550	K	50	47	47	Regular
	0+550 - 0+600	L	50	49	49	Regular
	0+600 - 0+650	M	50	42	44	Regular
	0+650 - 0+700	N	50	54	56	Bueno
	0+700 - 0+750	O	50	56	57	Bueno
	0+750 - 0+800	P	50	65	62	Bueno
	0+800 - 0+850	Q	50	67	65	Bueno
	0+850 - 0+900	R	50	68	69	Bueno
		PCI TOTAL (m/km)		48,06	44,22	

El valor final del PCI promedio de la avenida Gamoneda para cada carril es de:

Carril de Ida. PCI= 48.06 Clasificación estado del pavimento regular.

Carril de Vuelta. PCI= 44.22 Clasificación estado del pavimento regular

3.4.3 METODOLOGÍA DEL PSI

Análisis para la determinación del PSI

El Índice de serviciabilidad Presente refleja el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se toma una escala que nos propone el Road Test de AASHO la más utilizada en muchos países cuya escala varia de 0 a 5 donde el valor de 0 representa una carretera con un nivel de estado muy malo y el valor de 5 indica un estado muy bueno.

El procedimiento para la determinación del PSI se encuentra en el capítulo anterior y los coeficientes de cálculo determina basándose al cuadro 2.9

Los cálculos del Índice de Serviciabilidad Presente se presentan en el ANEXO N° 4 por lo que a continuación se presenta el resultado final del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI):

El valor final del PSI promedio de la avenida Gamoneda para cada carril es de:

Carril de Ida. **PSI= 2.69** Estado del pavimento regular.

Carril de Vuelta. **PSI= 2.65** Estado del pavimento regular.

3.5 ANÁLISIS DE LA RELACIÓN IRI, PCI y PSI

Después de haber realizado los cálculos y llegar a los resultados de los índices que indicarán el estado del pavimento, los mismos están relacionados de acuerdo a sus valores, en el cuadro siguiente mostramos los rangos de comparación de los tres índices planteados al inicio de este trabajo. Este cuadro es planteado por las normas ASHTO, para poder comparar los resultados obtenidos.

Los rangos que relacionan estos índices van desde un pavimento muy bueno hasta uno que está fallado.

Cuadro 3.4 Rango de relación IRI, PCI, PSI

IRI m/Km	PCI	CLASIFICACION	PSI	DESCRIPCION
0 - 1,6	90 - 100	Muy Bueno, Excelente	3,0 - 5,0	El pavimento es nuevo.
1,6 - 2,8	60 - 90	Bueno	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfaltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones
2,8 - 5,2	40 - 60	Regular	1,0 - 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.
2,8 - 5,2	20 - 40	Muy pobre	1 - 2,5	Bache ocasionales (1-3 baches cada 50 m, 2 % de baches), depresiones 20-40 mm cada 5 m 10-20 mm cada 3 m), velocidad normal de conduccion 80 Km/h.
5,2 - 8,8	0 - 20	Fallado	0,4 - 1	El pavimento eta severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (>= 20 mm/3m) baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 m. 15 % de baches).

Fuente: Norma ASTHO

Con la ayuda de este cuadro que relaciona los tres índices se observa que los tres métodos (IRI,PCI y el PSI), se encuentran en la misma clasificación del estado del pavimento, donde con los rangos de estos valores el estado del pavimento esta en REGULAR, situación que si se la puede observar en una simple inspección visual de campo, prueba de ello en el ANEXO N° 5 se presenta un reporte fotográfico con los daños y fallas superficiales que existen a lo largo de todo el tramo.

3.6 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

3.6.1 DETERMINACIÓN DEL IRI

La metodología y análisis para la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), nos dio como resultado final:

$$\mathbf{IRI = 5.13}$$

Este valor encontrado, según la escala que se muestra en el cuadro 3.5 nos indica “que en este tramo el pavimento presenta los primeros vestigios de deterioro y que el pavimento esta en un estado regular”.

3.6.2 DETERMINACIÓN DEL PCI

Este método de evaluación nos dio como resultado un Índice de Condición del Pavimento de:

$$\mathbf{PCI = 46.1}$$

Este valor encontrado según la escala que se muestra en el cuadro 3.5 con este rango la clasificación del estado del pavimento corresponde a un tramo de pavimento de condición **REGULAR** reflejando un estado real del pavimento, este resultado tiene mayor precisión por el hecho de que para su obtención se debe realizar un inventario minucioso de todas las fallas del tramo en estudio, utilizando los tramos de muestreo,

en este estudio se cuantifica cada falla existente y se clasifican de acuerdo a su nivel de severidad.

3.6.3 DETERMINACIÓN DEL PSI

Este método de evaluación dio como resultado un Índice de Serviciabilidad Presente de:

$$\text{PSI} = 2.67$$

Pese a ser un método impreciso el valor de su resultado está relacionado con el estado del pavimento, el cual de acuerdo al cuadro 2.10 el valor de este índice está en el rango de 2 – 2.75, clasificando el estado del pavimento en **REGULAR**.

La importancia de esta metodología es que evalúa el estado del pavimento desde el punto de vista de la serviciabilidad y confort para los usuarios, por lo tanto el resultado al que se llega es correcto porque en el tramo evaluado existen fallas de severidad alta las cuales influyen quizá no altamente pero afectan la comodidad de la circulación vehicular ocasionando trastornos en la población que transitan por esta vía.

3.7 DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DEL PAVIMENTO.

Luego de haber analizado los resultados de las metodologías planteadas y haber clasificado el estado del pavimento para cada metodología, a continuación se presenta un cuadro resumen con los mismos y se dará el estado final en general para todo el tramo que se hizo el estudio.

Cuadro 3.5 Diagnóstico general del tramo

TRAMO (900 m)	IRI (m/Km)	PCI	PSI	ESTADO DEL PAVIMENTO
Av. Gamoneda	5,13	46,1	2,67	REGULAR

La relación que existe entre el IRI el PSI y el PSI apunta a que los resultados encontrados en este proyecto son correctos y que demuestran ser confiables.

Porcentaje de fallas más representativas

A continuación se presentarán los porcentajes de las fallas más representativas por el total de área de cada sección. (Área total del tramo= 9000 m²= 100 %)

Cuadro 3.6 Porcentaje de fallas.

Tipo y Severidad de la Falla	Área Total en m ²	Porcentaje del Total en %
Piel de cocodrilo (L)	474.1	7.71
Piel de cocodrilo (M)	225.5	4.72
Corrugación (M)	53.9	0.49
Corrugación (L)	125.5	1.39
Fisuras long. y transv. (M)	508.7	7.10
Fisuras long. y transv. (L)	234.5	2.80
Parqueo y acometidas (M)	98.5	1.10
Grietas de borde (L)	234.5	2.60
Grietas de borde (M)	482.6	7.58
Hinchamiento (M)	5.4	0.07
Ahuellamiento (L)	112.4	1.26
Ahuellamiento (M)	99.6	1.65
Abultamientos y Hundimientos (M)	53.5	0.93
Desprendimiento de Agregados (L)	427.6	6.75
Desprendimiento de Agregados (M)	746.5	10.52

3.8 SOLUCIONES RECOMENDADAS PARA EL TRAMO EVALUADO

3.8.1 AGRIETAMIENTO EN FORMA DE PIEL DE COCODRILLO

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

probablemente es debido a la acción de cargas repetidas que exceden la cantidad de carga del pavimento.

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

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

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

➤ **Bacheo profundo (Reparación Permanente)**

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

- a) Se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme, extendiéndose al menos 30cm en el pavimento sano, fuera del área agrietada. Esto puede significar que parte del material de la subrasante también tendrá que ser removido. Hágase el corte cuadrado o rectangular, con caras rectas y verticales. Un par de las caras debe formar un ángulo recto con la dirección del tráfico. Una sierra de pavimento puede hacer un corte rápido y limpio de pavimento.
- b) Si el agua es la causa de la falla, se instalan drenajes.

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

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

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

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

3.8.2 GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

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

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

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

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

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

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

3.8.3 GRIETAS EN LOS BORDES

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

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

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

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

3.8.4 ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS

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

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

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

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

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

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

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

- **Reparación de Elevaciones y Hundimientos de Severidad Alta.** Véase “Grietas en piel de cocodrilo, bacheo profundo”.

3.8.5 CORRUGACIÓN

Causas. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. También falta de estabilidad puede ser debida a que la mezcla sea demasiado rica en asfalto, tenga una alta proporción de agregados finos, o tenga agregados finos o gruesos demasiados redondos o de textura demasiado lisa, o que el cemento asfáltico sea demasiado blando. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3.0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Reparación. Véase “Abultamientos y Hundimientos”.

3.8.6 HUECOS

Causas. Los baches son causados, generalmente, por debilidad del pavimento, resultante de la escasez de asfalto, superficie de asfalto demasiado delgada, demasiados finos, pocos finos, o drenaje deficiente.

Reparación. Generalmente los baches aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces aplicar medidas de emergencia. Las reparaciones temporales consisten, usualmente, en la limpieza del hueco y su relleno con un material asfáltico de bacheo premezclado. La reparación permanente se realiza abriendo un hueco hasta alcanzar el material firme por lados y por el fondo, y rellenándolo con un nuevo material de base y de superficie.

Reparación Permanente

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

- (1) Bache sin tratar.
- (2) La superficie y la base han sido removidas hasta alcanzar un apoyo firme.
- (3) Aplicando la capa de pega.
- (4) Compactación de la mezcla después de rellenar todo el hueco con mezcla asfáltica.
- (5) El parche terminado se compacta hasta emparejarlo con la superficie circundante.

Reparación de Emergencia

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- a) Se limpia el hueco de todo el material suelto y el agua que sea posible.

- b) Se utiliza un calentador infrarrojo con el fin de calentar u ablandar la superficie asfáltica que rodea el hueco.
- c) Se rellena el hueco con una mezcla de emulsión asfáltica almacenada y se rastrilla hasta dejar la superficie lisa.
- d) Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo.
- e) Se seca el parche compactado con el calentador infrarrojo.

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

3.8.7 AHUELLAMIENTO

Causas. Los ahuellamientos pueden producirse por la consolidación o por el movimiento lateral, bajo el tráfico de una o más de las capas inferiores, o por desplazamientos, en la propia capa asfáltica superficial. Pueden desarrollarse, bajo la acción del tráfico, en los pavimentos asfálticos nuevos que han tenido poca compactación durante su construcción o, también por movimientos plásticos en las mezclas que no tengan suficiente estabilidad para soportar el tráfico.

Reparación. Se enrasa el pavimento rellenando las depresiones con mezclas asfálticas producida en planta en caliente y luego se coloca un recubrimiento asfáltico delgado de mezcla en planta.

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

- a) Se determinan los límites de las depresiones con una regla o con un cable, demarcando con un lápiz las aéreas a rellenar.
- b) Se aplica una capa de pega ligera (0.25 a 0.75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-1h diluida en partes iguales de agua)

- c) En las depresiones se extiende concreto asfáltico densamente gradado (mezcla tipo IVa o IVb del Instituto del Asfalto) con una pavimentadora, debiendo quedar el material rebajado en los bordes.
- d) Se compacta con un rodillo de ruedas de goma. Si no se dispone de él, se utiliza un rodillo de ruedas metálica.
- e) Se aplica un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente.
- f) Si el pavimento no se va a recubrir con una carpeta, se aplica un sello de arena sobre el área bacheada a fin de evitar la entrada de agua teniendo cuidado de no regar asfalto en exceso.

3.8.8 DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS

Causas. La pérdida de la superficie del pavimento debida a la pérdida del ligante asfáltico y de las partículas sueltas de agregado. Éste daño indica que el ligante asfáltico se ha endurecido de forma apreciable, o que la mezcla presente es de pobre calidad. Además, el desprendimiento puede ser causado por ciertos tipos de tránsito, por ejemplo, vehículos de orugas. El ablandamiento de la superficie y la pérdida de los agregados debidos al derramamiento de aceites también se consideran como desprendimiento.

Reparación.

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

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

H: Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Reciclaje. Reconstrucción.

Tratamiento superficial

3.9 COSTOS DE LAS ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN

Para conocer el costo total de las actividades para la rehabilitación de la avenida La Gamoneda, es necesario contabilizar el total de fallas presentadas según el grado de severidad de cada una.

La información de los ítems y precios unitarios de dichas actividades fueron obtenidos gracias a personal de la Honorable Alcaldía Municipal. (Ing. Osvaldo Antelo, jefe de Mantenimiento y Construcción de Pavimentos, perteneciente a la Oficialía Mayor Técnica de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija.)

Total de fallas que se presentan en los pavimentos flexibles:

Cuadro 3.7 Fallas que presentan los pavimentos flexibles.

TIPOS DE FALLAS					
1	Piel de cocodrilo	m ²	11	Parqueo y Acometidas	m ²
2	Exudación	m ²	12	Agregados pulidos	m ²
3	Agrietamiento en Bloque	m ²	13	Huecos	Nº
4	Abultamientos y Hundimientos	m	14	Tapas de Alcantarilla-Rejilla Drenaje	m ²
5	Corrugación	m ²	15	Ahuellamiento	m ²
6	Depresión	m ²	16	Desplazamiento	m ²
7	Grietas de borde	m	17	Grietas de deslizamiento	m ²
8	Grietas de reflexión de juntas	m	18	Hinchamiento	m ²
9	Desnivel carril / berma	m	19	Desprendimiento de Agregados	m ²
10	Grietas long. y trans.	m			

Fuente: Fuente: Manual PCI -Universidad Nacional de Colombia

Cuadro 3.8 Grados de severidad de las fallas

Símbolo	Severidad
L	Media
M	Baja
H	Alta

Fuente: Manual PCI -Universidad Nacional de Colombia

PRECIO UNITARIO – BACHEO SUPERFICIAL

Cuadro 3.9 Precio unitario del bacheo superficial

BACHEO SUPERFICIAL					
Rendimiento : 150.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			150.32
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					150.32

Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

PRECIO UNITARIO – PARCHADO PROFUNDO

Cuadro 3.10 Precio unitario del parchado profundo

PARCHADO PROFUNDO					
Rendimiento : 80.00 M2/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			218.77
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Insumos Partida					
Trans. Agregado obra	M3		0.3600	62.049	22.34
Material chancado de cantera (dmax=2")	M3		0.3000	81.168	24.35
Prepar. Mezc. Para parches (inc. Insumos)	M3		0.1200	702.252	84.27
Remoción de carpeta	M2		1.0000	9.857	9.86
Excavación en zona de parches	M3		0.3000	21.453	6.44
Perfilado y compactación manual	M2		1.0000	11.310	11.31
Conformación de base gran. (zona de parches)	M3		0.3000	51.096	15.33
Imprimación de parche	M2		1.0000	20.477	20.48
Transporte de mezcla asfáltica para parchados	M3		0.1200	155.146	18.62
Extendido y compactación de mezcla a mano	M2		1.0000	5.786	5.79
					218.77

Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

PRECIO UNITARIO – SELLADO DE FISURAS MODERADAS

Cuadro 3.11 Precio unitario del sellado de fisuras moderadas

SELLADO DE FISURAS MODERADAS					
Rendimiento : 1600.00 M/DIA		Costo Unitario Directo por: M			16.63
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operario	HH	5.00	0.0250	63.926	1.60
Oficial	HH	4.00	0.0200	57.200	1.14
Peón	HH	10.00	0.0500	51.658	2.58
Capataz "A"	HH	1.00	0.0050	83.083	0.42
					5.74
Materiales					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62
					6.62
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	2.548	0.13
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0050	179.504	0.90
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0050	365.245	1.83
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0050	150.170	0.75
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0050	133.622	0.67
					4.27

Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

PRECIO UNITARIO – SELLADO DE FISURAS SEVERAS

Cuadro 3.12 Precio unitario del sellado de fisuras severas

SELLADO DE FISURAS SEVERAS					
Rendimiento : 1000.00 M/DIA	Costo Unitario Directo por: M				24.32
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operario	HH	5.00	0.0400	63.926	2.56
Oficial	HH	4.00	0.0320	57.200	1.83
Peón	HH	10.00	0.0800	51.658	4.13
Capataz "A"	HH	1.00	0.0080	83.083	0.66
					9.18
Materiales					
Sellador elastomérico para fisuras	KG		0.2500	26.477	6.62
					6.62
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.0000	4.072	0.20
Compresora neumática 250-330PCM, 87HP	HM	1.00	0.0080	179.504	1.44
Ruteador	HM	1.00	0.0080	210.719	1.69
Sellador de fisuras	HM	1.00	0.0080	365.245	2.92
Tractor de tiro de 80 HP	HM	1.00	0.0080	150.170	1.20
Camioneta pick-up 4x2 107HP 1 TON	HM	1.00	0.0080	133.622	1.07
					8.52

Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

PRECIO UNITARIO – CARPETA ASFALTICA

Cuadro 3.13 Precio unitario del sellado de carpeta asfaltica.

CARPETA ASFÁLTICA					
Rendimiento : 200.00 M3/DIA		Costo Unitario Directo por: M2			114.90
Descripción Insumo	Unidad	Rendimiento	Cantidad	Precio Bs	Parcial
Mano de Obra					
Operador planta asfáltica	hr	0.008	0.01	12.00	0.10
Ayudante oper. Planta asfáltica	hr	0.006	0.01	6.00	0.04
Personal de Limpieza	hr	0.083	0.08	5.80	0.48
Peón riego	hr	0.090	0.09	5.80	0.52
Operador de terminadora de asfalto	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
Operador de Rodillo Neumático	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
operador de Rodillo Liso	hr	0.0160	0.02	12.00	0.19
Maestro de asfaltos	hr	0.008	0.01	12.00	0.10
					1.81
Materiales					
Gradación "B" 25%	m3	0.019	0.02	105.00	2.00
Gradación "D" 35%	m3	0.027	0.03	110.00	3.30
Arena 40%	m3	0.035	0.04	75.00	3.00
Gas natural	mill	0.005	0.01	16.00	0.08
Asfalto CA 85-100	KG	9.000	9.00	8.50	76.50
Diesel	litros	0.120	0.12	3.72	0.45
Gasolina especial	litros	0.005	0.01	3.74	0.02
Kerosene	litros	0.250	0.25	2.80	0.70
					86.04
Equipos					
Planta asfáltica	hr	0.0160	0.02	500.00	8.00
Distribuidor de asfalto	hr	0.0020	0.00	70.00	0.14
Terminadora de asfalto	hr	0.0160	0.02	250.00	4.00
Rodillo neumático	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
Rodillo Liso	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
Cargador frontal	hr	0.0160	0.02	212.00	3.39

Volquetas	hr	0.0480	0.05	120.00	5.76
Rodillo liso	hr	0.0160	0.02	120.00	1.92
					27.05

Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

CAPÍTULO IV

COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- Se finalizó exitosamente el estudio superficial de la avenida Gamoneda, llegando a la conclusión de que ésta se encuentra en condiciones aceptables de transitabilidad. En la clasificación que relaciona las tres metodologías empleadas en el estudio, lo ubica como un tramo pavimentado en estado REGULAR, y hay que resaltar que la avenida en estudio ya cumplió su vida útil de diseño.
- Estudiar superficialmente un pavimento flexible es de mucha importancia puesto que se puede conocer con una buena precisión las condiciones funcionales en las cuales se encuentra un pavimento terminado.
- Es importante saber identificar cada una de las fallas que se presentan en un pavimento asfáltico para poder darle una solución efectiva en cuanto al diseño de su reparación.
- Al realizar la práctica de campo se pudo observar que la avenida prácticamente no cuenta con un sistema de drenaje pluvial, lo cual hace que se produzcan daños superficiales con elevada severidad.
- Hay que hacer notar la gran importancia que tienen los sistemas de evaluación y mantenimiento rutinario en las vías urbanas, ya que éstos ayudan a prevenir y mantener nuestras calles en buen estado y lograr que éstas cumplan su ciclo de vida útil ofreciendo al usuario comodidad, confort y seguridad en su desplazamiento por las mismas evitando elevados gastos en la rehabilitación o llegando al extremo a la reconstrucción.
- Para la evaluación superficial en general existen varios métodos y metodologías pero entre las más destacadas están la metodología del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que mide las deformaciones

longitudinales del pavimento, la otra metodología sería el Índice de Condición del Pavimento (PCI) que se encarga de indicar el estado la condición actual del pavimento en función al tipo, cantidad y severidad de las fallas y finalmente se tiene el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) que está orientado mundialmente a medir el confort que brinda el camino al usuario, en función de las fallas y daños del pavimento; todas estas metodologías fueron planteadas para el desarrollo de este proyecto y que dieron resultados relacionados con la realidad del estado en que se encuentra la avenida evaluada.

- El método IRI tiene como desventaja el basarse sólo en un ahuellamiento y rugosidad notable, necesitando de equipos modernos para tener un avance aceptable durante un tiempo determinado.

- En conclusión con el resultado obtenido con la metodología del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se puede decir que éste, con un valor de:

$$\text{IRI} = 5.13 \text{ (requiere mantenimiento de rutina permanente)}$$

Se encuentra en el rango (2.8 - 5.2) del cuadro N° 3.4 que clasifica el estado del pavimento en regular con primeros vestigios de deterioros, baches y depresiones ocasionales.

- Se puede decir también que los índices de Condición y Serviciabilidad (PCI y PSI) ambos fundamentados en las fallas y daños superficiales, al haber dado como resultado los valores:

$$\text{PCI} = 46.1 \text{ (requiere mantenimiento de rutina permanente)}$$

$$\text{PSI} = 2.67 \text{ (requiere mantenimiento de rutina permanente)}$$

Permiten relacionarlos de acuerdo al cuadro N° 3.4 dentro de los rangos

PCI (35 – 65) y PSI (1 – 2.5) clasificando el estado del pavimento en REGULAR,

también indican la realidad del estado actual de la avenida en estudio.

- Es importante hacer notar que para tener resultados lo más precisos posibles y confiables del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) se debe analizar minuciosamente las fallas medidas de cada tramo, tener experiencia con un conocimiento amplio de esta metodología.
- También para la obtención de datos y mediciones precisas es muy importante contar con el equipo adecuado en buenas condiciones, el material necesario y el personal requerido, el cual debe ser al menos orientado acerca de las metodologías que se utilizarán en la medición de datos.
- La refacción oportuna a las fallas que se presentan en el pavimento hace que se invierta menores recursos económicos, dejar engrandecer la severidad de las fallas significa mayor costo, lo cual haría aun más difícil la rehabilitación.
- Es necesario que la avenida cuente con sistemas de drenaje pluvial, puesto que el agua es una de las causas que produjo las fallas en el pavimento.
- La solución más adecuada para corregir los problemas del pavimento, es de realizar el recapado en los tramo con fallas de mayor severidad, los cuales son el tramo de la progresiva 00+00 hasta la progresiva 00+400.
- Para realizar el mantenimiento y rehabilitación de la avenida del proyecto se necesitará un inversión de Cuatrocientos seis mil doscientos doce 30/100 Bolivianos, la cual es necesaria porque si no se toma esas medidas de rehabilitación, con el considerable aumento de tráfico diario que se está dando, la avenida requerirá de una reconstrucción lo cual requerirá un costo mucho mayor.
- Finalmente se concluye el trabajo afirmando que los métodos aplicados tienen gran similitud entre ellos demostrando el estado real en el cual se encuentra la avenida del proyecto, pero vale la pena mencionar que finalizando el trabajo se puede recomendar que el procedimiento de evaluación más efectivo y el cual presenta ventajas sobre los otros métodos es el método del (PCI), puesto que con este sistema nos muestra detalladamente toda la superficie de la vía en estudio y fácilmente con las

características de falla que nos ofrece se puede determinar alternativas de solución más precisas .

4.2 RECOMENDACIONES.

- Para realizar un estudio superficial existe la necesidad de interiorizarse y enriquecer los conocimientos acerca del tema en estudio para llevar adelante la realización del mismo, sin inconvenientes ni contratiempos que vayan a demorar la finalización del trabajo.
- Al momento de ir a realizar las mediciones se deben llevar artículos de seguridad, mínimamente casco y chaleco vistoso fluorescente. En el caso de no contar con éstos, se debe vestir ropa vistosa para evitar accidentes de tránsito.
- Siempre hay que asegurarse de contar con todo el equipo, material de trabajo y personal antes de ir a realizar la práctica con el fin de evitar contratiempos que puedan influir en el aspecto económico y en la seguridad del personal.
- De los tres métodos que se utilizaron para el estudio de los tramos, se recomienda el PCI como método de base para el estudio superficial, porque éste involucra la medición de fallas existentes en el tramo identificándolas individualmente de acuerdo al nivel de severidad que presenten.
- Para efectos de mantenimiento y/o reparación es necesario tener en cuenta claramente el estado en que se encuentra el pavimento a fin de recomendar lo más conveniente.
- Es prioritario aceptar la importancia que reviste el mantenimiento vial existente, antes que continuar invirtiendo en nuevas obras.
- Siempre se debe realizar la reparación de las fallas más severas de manera profunda, para así garantizar un buen trabajo, dando de esta manera seguridad y confort al usuario.
- El recapado es una solución económicamente factible, se debe evitar llegar a la reconstrucción puesto que económicamente es difícil de poder realizar,

por eso con una evaluación superficial oportuna se obtienen soluciones factibles.

- Se debe construir sistemas de drenaje pluvial que protejan de daños superficiales y estructurales al pavimento, manteniéndolo en condiciones óptimas de transitabilidad para el usuario.
- Utilizar buena calidad de agregados en la conformación del pavimento, así como un buen control y ejecución de la obra, garantiza un trabajo eficiente que cumpla con todas las especificaciones para la que fue diseñado.
- Para futuras ejecuciones de vías urbanas, se recomienda que estas cuenten con todo un paquete estructural bien elaborado para garantizar que éste cumpla con su periodo de vida útil para el que fue diseñado. Al principio puede parecer caro en comparación de otro con base de empedrado, pero al transcurrir del tiempo el pavimento flexible con todo su paquete estructural responde mejor al creciente aumento del tráfico.
- Se debe concientizar a la población en general a cuidar las vías urbanas, principalmente las calles de sus casas, evitar la acumulación de escombros en la calzada puesto que esto permite la acumulación de agua y el daño del pavimento.
- A fin de evitar reparaciones prematuras es necesario introducir Normas y Reglamentos con los últimos adelantos a nivel mundial. Generalmente siempre se repiten los mismos tipos de problemas en obras de pavimentación.
- El estado debe incrementar los presupuestos de prevención y mantenimiento de los caminos, implementando una política agresiva en éste aspecto.
- Se debe establecer un control de tránsito de tal manera que la utilización de los cambios corresponda al diseño para el cual fueron proyectados, ya que muchos de los pavimentos fallan por exceso de carga u otros aspectos externos que no fueron tomados en cuenta en su oportunidad.
- Es recomendable que las universidades a través de sus facultades de Ingeniería Civil incrementen en sus materias temas relacionados con el

diseño y conservación de pavimentos, lo que permitirá la formación de técnicos especialistas en la materia.