

CAPITULO I

DISEÑO TEORICO METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCION

La evaluación superficial es una primera aproximación al problema que presentan los pavimentos que están deteriorados y que no ofrecen las condiciones de comodidad y confort adecuadas para el usuario, siendo un aporte a los sistemas de conservación de pavimentos, ya que generalmente no se sabe por qué se produce un estado de falla o el apareamiento de un defecto, lo que hace que la obra de mantenimiento o de conservación no sea el adecuado y vuelva aparecer el defecto sin explicación alguna.

La realización de una evaluación de un pavimento flexible sobre empedrado implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento (capa asfáltica), desde el momento que el pavimento se pone en servicio.

Desde el punto de vista de diseño los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas, en el caso de este trabajo el empedrado está haciendo la función de la capa base de un pavimento flexible convencional.

En el caso de este trabajo la carpeta asfáltica colocada directamente sobre el empedrado no tiene un diseño científico adecuado para la ejecución solo se basa en experiencias ejecutadas obviando la ejecución de la capas subbase y base empleando el empedrado como un sustituto de estas capas dejando a un lado el sistema convencional de un sistema multicapa, obviamente con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que transitan la misma esperando mejor condición de circulación obviando estudios técnicos y económicos de este tipo de ejecución lo cual en un futuro nos lleva a tener una superficie irregular.

Debido al crecimiento poblacional perceptible a incrementarse considerablemente en Bolivia se está adoptando en estos últimos años la modalidad de aplicar una carpeta asfáltica directamente sobre el empedrado para ofrecer mejor calidad a los usuarios sin tener un diseño científico adecuado para la ejecución de este tipo de trabajos solo basándose en experiencias ejecutadas obviando la ejecución de la capas subbase y base empleando el empedrado como un sustituto de estas capas dejando a un lado el sistema

convencional de un sistema multicapa, argumentando que este tipo de ejecución es para abaratar los costos de construcción y el tiempo de ejecución sin tomar en cuenta estudios de técnicos ni económicos sustentados en bases empíricas y teóricas a largo plazo que reflejen el verdadero comportamiento a lo largo de la vida útil lo que nos permitiría evaluar técnicamente y económicamente este tipo de práctica.

El autor del presente trabajo pretende realizar un estudio de las fallas, defectos en el pavimento flexible y las posibles causas que las ocasionaron indicando sus características, exigencias, propiedades, esfuerzos a las que se ven solicitadas tanto por efecto del tránsito como por el medio ambiente, despojando al usuario las características de funcionabilidad afectando de manera trascendental a la capa de rodadura como es de proporcionar el confort y seguridad con una terminación de la calzada acorde a las exigencias de un pavimento flexible convencional, ya que este tipo de práctica de colocado de una capa de rodadura sobre empedrado presenta mayor irregularidad superficial, adecuándose a las metodologías de evaluación superficial para así plantear alternativas de solución mediante un adecuado mantenimiento o corrección, ya que se trata de una obra nueva en el ya presentan defectos superficiales, esto hace que el estudio sea referido principalmente a los pavimentos flexibles elaborados con mezclas asfálticas colocados directamente sobre el empedrado.

Con esta evaluación superficial podemos determinar las causas de las fallas y deterioros para analizar si el pavimento flexible colocado directamente sobre el empedrado puede funcionar como una capa de asiento de la capa de rodadura debido a que es un procedimiento carente de estudio técnicos y económicos solo basándose en dar una mejor superficie de rodado al tramo.

Esta evaluación nos servirá como referente para tomar criterios en plantear un adecuado mantenimiento en proyectos similares en caminos vecinales que se ejecutan en la actualidad colocando una mezcla asfáltica sobre el empedrado respondiendo a la necesidad de las comunidades que se ve afectada por los problemas de incomodidad de la circulación de los vehículos por la irregularidad de la capa de rodadura ya que los caminos vecinales son importantes circuitos turísticos y productivos donde circulan vehículos con altas velocidades y por estos deterioros la vías se tornen peligrosas e inseguras por lo que es necesario un mantenimiento para brindar una mejor circulación de los vehículos para mejorar la calidad de vida de los comunarios y prolongar la vida de los vehículos.

1.2. DISEÑO TEORICO.

1.2.1 JUSTIFICACION: SITUACION PROBLEMICA

Los caminos vecinales tiene un papel importante en el desarrollo de las poblaciones, debido a que éstos han permitido la comunicación entre núcleos sociales separados geográficamente y facilitado el acercamiento de beneficios económicos, culturales, sociales y turísticos.

Lo antes mencionado, ha motivado al hombre a trabajar siempre en pro de la evolución y la conservación de las vías terrestres deduciendo que éstas al permitir el acceso a las comunidades más distantes y promover en ellas el desarrollo, las integran al conjunto de núcleos y contribuyen así al desarrollo integral del país.

Al desarrollar el aspecto económico y social, proliferan paralelamente los medios de transporte, exigiendo cada vez, más y mejores vías. De manera que las carreteras se transforman en uno de los parámetros para determinar el nivel de desarrollo de las regiones. En nuestro medio se viene ejecutando la construcción de una capa de rodadura sobre un empedrado con el fin de minimizar los costos de construcción y tiempo de ejecución por lo que no existe un diseño científico para su ejecución si no la experiencia de otros trabajos similares y existe la necesidad de conocer el resultado de este procedimiento mediante una evaluación superficial ya que esta nos indicara el estado de la superficie del pavimento.

El tramo desde el Puente de Tomatitas-Coimata es un importante centro de turismo natural que aglutina a muchos turistas en especial los fines de semana por lo que se vio la obligación de realizar el asfaltado para mejorar el flujo vehicular de esta zona además de beneficiar directamente a otras comunidades aledañas, tales como Cadillar, Erquis Ceibal, Erquis Norte, Erquis Oropeza y Erquis Sud.

Tratándose de un importante circuito turístico para el municipio de San Lorenzo en el que transitan vehículos con altas velocidades, el lugar se torna en una vía peligrosa e insegura para la circulación de los vehículos, puesto que los defectos y fallas que presenta la vía, disminuye la comodidad de los usuarios que transitan por esta ya que es un tramo de doble sentido lo cual expone a los conductores a sufrir accidentes automovilísticos que pueden ser reducidos si el estado de este tramo se encontrara en mejores condiciones ya que es un tramo recientemente construido en el que ya presentan fallas superficiales en la capa de

rodadura lo cual en el presente trabajo se pretende cuantificar y deducir las posibles causas de estas fallas

Los deterioros producto del aumento en la circulación de vehículos, aunados a los daños ocasionados por las lluvias y demás factores influyentes, disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura en algunos casos corresponden a defectos constructivos y difícilmente pueden clasificarse como deterioros pero hacen indispensables los trabajos de mantenimiento vial preventivos y correctivos para dar solución con un planteamiento adecuado en las operaciones de mantenimiento para prevenir su futuro deterioro ya que es una construcción nueva y hay que garantizar la inversión inicial de la construcción de esta forma garantizar o superar la vida útil de diseño de las carreteras.

1.2.2. DETERMINACION DEL PROBLEMA; OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCION

Problema

Deterioro superficial de la capa de rodadura del tramo Puente de Tomatitas-Coimata asfaltado directamente sobre el empedrado existente que ocasiona malestar en los usuarios que se trasladan a la zona de Coimata que es un importante centro de turismo natural que aglutinan a muchos turistas en especial los fines de semana.

Objeto de estudio

Investigar los daños y fallas superficiales, su grado de severidad y posibles causas del deterioro de la capa de rodadura del tramo Puente de Tomatitas-Coimata.

Campo de Acción

Estudio de la tipología y patología de las fallas superficiales existentes de la capa de rodadura la búsqueda de medidas optimas alternas para prolongar el buen funcionamiento de la misma en el tramo desde el Puente de Tomatitas hasta Coimata.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

- Realizar la evaluación superficial del asfaltado sobre el empedrado aplicado al tramo “Puente de Tomatitas-Coimata”, con el fin de caracterizar los tipos de fallas

y sus posibles causas, de tal manera plantear alternativas de solución mediante un adecuado mantenimiento.

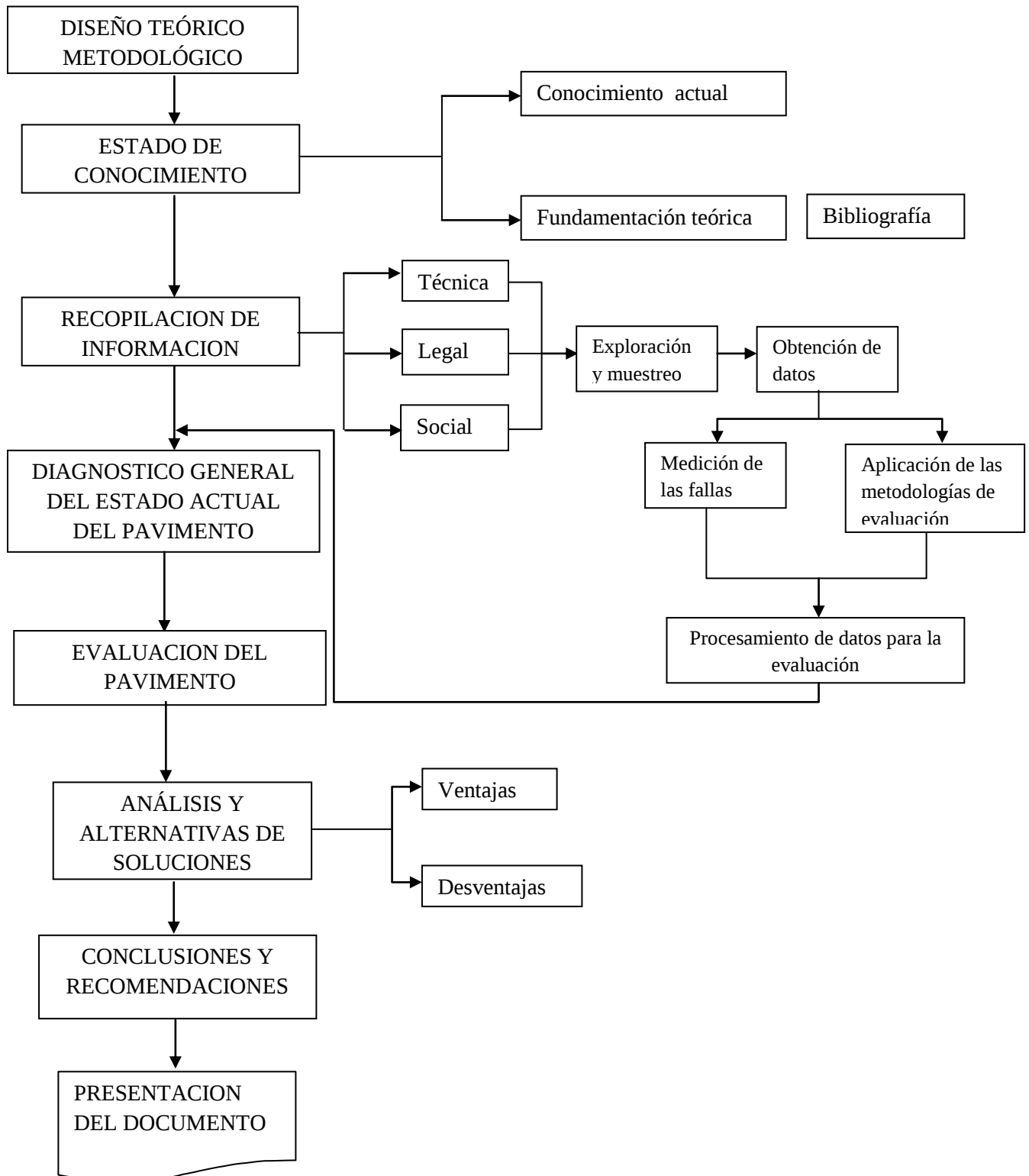
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Estudiar las características y métodos de construcción de caminos empedrados.
- Estudiar las características de los pavimentos flexibles sobre empedrados.
- Determinar los deterioros físicos del pavimento sobre empedrado que presentan en la zona de estudio.
- Analizar, evaluar y cuantificar los tipos de fallas que se presentan en los pavimentos flexible sobre el empedrado, aplicando las metodologías del PCI, IRI y PSI en el tramo “Puente de Tomatitas-Coimata”.
- Determinar las causas que hacen que se presenten fallas en el pavimento flexible sobre empedrado en la zona estudio.
- Estudiar los efectos que pueden producir estas fallas y dar criterios de cuál sería la manera más adecuada de subsanar estas fallas y deterioros superficiales.
- Determinar el mantenimiento más adecuado a realizar de la capa de rodadura del pavimento sobre empedrado en base al estado actual en que se encuentra el tramo, Tomatitas-Coimata como solución a los problemas de incomodidad, que causan malestar a los usuarios.

1.4. DISEÑO METODOLOGICO.

1.4.1. ESQUEMA LÓGICO ESTRUCTURAL.

“EVALUACION SUPERFICIAL DEL ASFALTADO SOBRE EMPEDRADO APLICADO AL TRAMO PUENTE DE TOMATITAS – COIMATA”



1.5. ALCANCE.

Capítulo I

Diseño Teórico Metodológico.

En este primer capítulo se pretende resumir todo el trabajo que se realizará, planteando claramente el problema, la justificación y los objetivos. Indicando las intenciones que se quiere llegar con respecto a la evaluación en estudio.

Capítulo II

Marco Teórico.

Este capítulo tratará específicamente todos los conceptos relacionados sobre los caminos empedrados y los conceptos del pavimento flexible, las características más importantes de ellos, también se hablará sobre las características del pavimento sobre empedrados. También se hará énfasis en los materiales que intervienen en la elaboración de la carpeta de rodadura sobre empedrado, También en este capítulo se enunciarán los distintos tipos de fallas y deterioros superficiales que se presentan en el pavimento flexible y cuales son o podrían ser las causas que dieron origen a las mismas, métodos que se utilizan en la determinación de la condición actual del pavimento, conceptos de análisis de suelos de la subrasante como también el análisis del tráfico vehicular que influye en las fallas del pavimento, en este capítulo trataremos las características de la Gestión del Mantenimiento de Caminos finalmente se hará referencia a los parámetros que se deben considerar en una estructura de empedrado y pavimento flexible.

Capítulo III

Aplicación Práctica

En este capítulo se identificará y ubicará el tramo en estudio con una inspección visual y cuantificar el área de estudio, realizando el trabajo de campo que comprende la medición y obtención de datos, aplicando las metodologías de medición ser el IRI, el PSI y el PCI para luego realizar el análisis correspondiente para la determinación de cada una de las fallas por medio de el trabajo de gabinete consistente en el procesamiento de los datos de campo, para cuantificar y evaluar las fallas existentes obteniendo un análisis del estado superficial del pavimento flexible sobre empedrado, también se realizara extracción de muestras de suelo de la subrasante del empedrado para realizar su granulometría y límites de Atterberg para determinar el tipo de suelo con el que está construido, la densidad, el grado de

compactación y resistencia al corte CBR para determinar si esta capa cumple con las especificaciones de acuerdo a la norma de caminos empedrados para realizar un diagnóstico de todas las posibles causas que hayan influenciado en el deterioro del pavimento flexible sobre empedrado en el tramo “Puente de Tomatitas-Coimata”, las cuales nos ayudarán a determinar las posibles soluciones a recomendar.

También realizar un estudio de tráfico en la vía de estudio para determinar la carga de ejes de los vehículos que circulan por este tramo para determinar si el espesor de capa de rodadura cumple con la condición de tráfico existente y en un futuro.

También en este capítulo se realizará lo más importante de este estudio que es el planteamiento de soluciones mediante niveles de intervención en la conservación vial adecuadas en un sistema de gestión de mantenimiento de los resultados de la evaluación superficial del pavimento flexible sobre el empedrado los cuales serán analizados a detalle con la finalidad de plantear dichas las soluciones recomendadas para el tramo en estudio como sugerir alternativas o técnicas de reparación de los tipos de fallas existentes en el pavimento y realizar un análisis de ventajas y desventajas del asfaltado de caminos con carpetas asfálticas sobre empedrado; con toda la información recopilada en ese estudio plantear el costo de reparación de las fallas encontradas.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se apuntarán las conclusiones y recomendaciones luego de haber realizado un análisis completo de los resultados obtenidos del estudio, por los métodos ya mencionados para poder establecer un diagnóstico de la condición en que se encuentra el pavimento sobre empedrado en el tramo “Puente de Tomatitas-Coimata”, para proponer alternativas de soluciones para la conservación del pavimento.

1.6. METODOLOGIA Y TECNICAS

Para la realización de trabajo consistente en la cuantificación de las fallas que presenta el pavimento flexible sobre el empedrado del tramo “Puente Tomatitas-Coimata” se utilizara los siguientes métodos:

Análisis de antecedentes

- Expediente Técnico.

- Proceso Constructivo.

Reconocimiento preliminar

- Permite establecer correspondencia entre lo ejecutado y lo proyectado, también resulta vital determinar de manera inicial el tipo de falla existente.

Condición funcional

Relevamiento de fallas

- Reconocimiento detallado de la vía, anotándose la existencia de fallas.
- Catalogo de Fallas.
- Establecido mediante la ejecución de Relevamiento de Fallas, Medición de Rugosidad y determinación de la Serviciabilidad.

Condición estructural

- Toma de muestra de suelo de la subrasante
- Análisis de suelos
- Análisis de tráfico
- Diseño estructural del pavimento como parámetro de comparación a la estructura actual.

Métodos de evaluación de pavimentos

Método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento)

El método determina el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en base a información obtenida de una inspección visual. Este índice ayuda al en procesos de evaluación en la determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.

Método de evaluación IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

Los objetivos principales de la superficie de rodamiento en pavimentos para carreteras son proporcionar al usuario características de comodidad, seguridad y durabilidad.

Método de evaluación PSI. (Índice de Serviciabilidad del Pavimento).

El índice de serviciabilidad presente es un índice que está orientado mundialmente a medir el confort que brinda el camino al usuario. Se han desarrollado originalmente para su determinación, fórmulas matemáticas que combinan distintos parámetros de deterioro, basadas en condiciones geométricas de la sección del pavimento.

Estos métodos son adecuados para la evaluación superficial del pavimento sobre el empedrado porque se va a evaluar la parte superficial de la vía, evidentemente en pavimento ejecutado sobre empedrado no es un procedimiento adecuado porque obvia estudios técnicos y económicos de un sistema convencional multicapa que sería lo ideal a realizar, ya que el empedrado no brinda las características de un asiento uniforme de capa de rodadura siendo una superficie heterogénea en su terminación por lo que existen unidades contiguas vacías en distintas direcciones por lo cual no permitirá una transmisión de esfuerzos homogéneos existiendo vacíos entre piedras que estarán sometidas a solicitaciones de mayor magnitud y estas se manifestará en la subrasante por lo que las deformaciones no serán homogéneas dando una superficie con irregularidades una vez puesta en servicio, esto mas diferentes efectos ocasionan que la capa de rodadura de la vía se deteriore prematuramente y estos métodos a utilizar son los precisos porque mediremos la rugosidad, condición y la serviciabilidad actual del la vía.

1.7. MEDIOS

Los medios que se utilizaran para la realización de este trabajo está basada principalmente en la inspección visual para la identificación de las fallas usando el manual de fallas de pavimentos flexibles, cuantificando el área de las fallas.

Para determinar la rugosidad se procederá a realizar una nivelación topográfica de las huellas de vehículos datos que requiere el programa IRI-Método de Mira y Nivel del software IMPACO.

Para determinar las características del suelo de la capa sub base se realizara extracciones de muestras de suelo y realizar en trabajo de gabinete en el laboratorio de suelos para la determinación de las características del tipo de suelo utilizado, la densidad, el grado compactación y el CBR de esta capa.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. EMPEDRADOS

Un empedrado es el “Recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de cantos rodados o de piedra partida para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectuará sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos”.

2.2. ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS EMPEDRADOS

Desde tiempos ancestrales, los habitantes de la región andina buscaron técnicas constructivas que permitan a los usuarios tener una transitabilidad permanente por los caminos que con gran esfuerzo se construían en muchos casos sobre suelos que al humedecerse imposibilita la transitabilidad.

Historiadores en varios documentos, hacen referencia a caminos nivelados con bloques de piedra pulida que proporcionaba gran durabilidad, especialmente en la época invernal, permitiendo de esta manera el ingreso a las principales ciudades del imperio Incaico, tanto por parte de los Incas como por los conquistadores españoles.

Durante la conquista española, las principales calles de las ciudades que se fundaban, se las recubría con bloques tallados de piedra, facilitando la circulación de las personas y de carretas, caballos y bestias de carga.

Algunas de las principales plazas de las ciudades españolas en América del Sur, eran totalmente empedradas, proveyendo de un sitio adecuado para las más diversas actividades de la época.

Con el mejoramiento de las tecnologías constructivas, el aparecimiento del hormigón de cemento portland, y el empleo masivo del asfalto, la construcción de vías empedradas se mantuvo como la única solución para garantizar carreteras con transitabilidad permanente entre comunidades rurales.

Actualmente, la ejecución de empedrados es generalizada en la sierra andina desde Bolivia a Ecuador, ya que las autoridades han aprendido de sus bondades para mejorar caminos de bajo tránsito.

2.3. EMPEDRADOS EN BOLIVIA

Los caminos empedrados son muy comunes en los países andinos, especialmente en Bolivia, donde su aplicación es generalizada, especialmente en aquellos caminos que se encuentran en la cordillera alta de Los Andes y que sirven fundamentalmente a comunidades rurales.

Estos sistemas constructivos emplean una gran cantidad de mano de obra, especialmente no calificada, lo que garantiza el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes.

Las redes viales de Bolivia especialmente de tercer orden y de caminos vecinales, poseen un elevado número de caminos empedrados, estimándose que existen 1250 km de vías con esta clase de capa de rodadura.

La durabilidad de estos caminos es mucho mayor que otras superficies de rodadura, en especial los caminos lastrados. Existen empedrados que sin mantenimiento alguno, y con niveles de tráfico bajos, han resistido más de 30 años.

Las características de los empedrados, permiten que con bajos niveles de mantenimiento, o dicho de otra forma, con un mantenimiento rutinario estrictamente necesario, se garantice la durabilidad del camino.

2.4. CONDICIONES TÉCNICAS Y SOCIALES PARA LA EJECUCIÓN DE EMPEDRADOS.

a. CONDICIONES TÉCNICAS

El empedrado presenta como principales generalidades las siguientes:

- 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.
- Se utiliza en caminos de tráfico promedio diario (TPD) no mayor a 200 vehículos, con un componente de hasta 30% de camiones y autobuses; puede emplearse en

caminos con tráficos de hasta 250 vehículos diarios, cuando se tenga la certeza que no solo circularán vehículos de más de 10 Tn.

Como anteriormente se indicó, los pavimentos presentan niveles de servicio prácticamente permanentes para toda su vida útil, por lo que el mantenimiento que se le provee garantizará que los alineamientos longitudinales y transversales se mantengan.

La destrucción de caminos empedrados se debe a inadecuadas o inexistentes políticas de mantenimiento vial, ya que confiando en las bondades de los empedrados, se exponen a estos caminos a vehículos sobrecargados o a volúmenes vehiculares excesivos que provocan un deterioro de forma acelerada.

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.

Las deformaciones plásticas o permanentes, que en cualquier pavimento flexible produciría grietas, en los empedrados producen ondulaciones, fenómeno que se mantiene inalterable mientras la ondulación permite un reacomodamiento de las piedras a los nuevos niveles que el tráfico va definiendo.

La experiencia con empedrados existentes, demuestra que las ondulaciones presentadas, no disminuyen sensiblemente el nivel de servicio original luego de 30 ó 40 años de servicio del camino. Existen varios factores que inciden en la duración del empedrado, estos factores principalmente son: la calidad del la subrasante o suelo de soporte o cimentación del empedrado, la calidad de la piedra, la buena ejecución del empedrado, la eficiencia del drenaje superficial, la cantidad y distribución del tráfico y un plan adecuado de conservación y mantenimiento.

Debido a que los empedrados se los construye directamente sobre la subrasante o suelo natural, la selección de una adecuada subrasante es tan importante como la ejecución en sí del empedrado, ya que para la ejecución de este tipo de rodadura no se prevé la colocación de capas de mejoramiento o material granular.

Los suelos que prestan mejores condiciones para la ejecución de empedrados son los limos, limos arcillosos o arcillas de baja compresibilidad, clasificaciones que corresponden a las

tobas volcánicas, estos son suelos con baja sensibilidad, lo que garantiza la duración del empedrado en épocas invernales. Estos suelos deben poseer características adecuadas de soporte, medidas con indicadores de resistencia del suelo como el CBR (California Bearing Ratio).

La piedra es el material principal para la ejecución de estos trabajos, se lo puede obtener en terrazas aluviales, localizadas a lo largo de las orillas de los ríos, en estos sitios se depositan grandes cantidades de cantos rodados.

b. CONDICIONES SOCIALES

Como ya se indicó anteriormente, uno de los principales beneficios que se logra con la ejecución de caminos empedrados es la ocupación de un alto componente de mano de obra calificada y no calificada.

De hecho, dentro de los proyectos de infraestructura vial, los proyectos de empedrados son los que menor uso de maquinaria requiere. Por esta razón, una de las condiciones indispensables para ejecutar los empedrados es desarrollar el proyecto en un área donde se ubiquen comunidades debidamente organizadas, para garantizar una participación activa de todos los beneficiarios tanto en la construcción de los empedrados como el mantenimiento y conservación rutinaria del camino.

2.5. CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS EMPEDRADOS

2.5.1. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

Se llama empedrado a toda aquella superficie de rodadura construida con cantos rodados o piedra partida, la misma que se ejecuta sobre una rasante o una capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo las especificaciones técnicas.

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

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

Tabla 2.1 Características Físico – Mecánicas del Material de Empedrado **Fuente:** O.I.T.

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	$\geq 95\%$
Bombeo de calzada	3 - 4%
Gra diente longitudinal mínima	0.5%
Gra diente longitudinal máxima	15%
Máximo longitud de tramo con pendiente $\geq 15\%$	500 m

Tabla 2.2 Características técnicas de la Subrasante y del Diseño Geométrico
Fuente: O.I.T.

2.5.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN.

La secuencia constructiva de un empedrado, implica considerar algunas actividades claves que deben aplicarse.

Así, para la construcción de un empedrado, se consideran como rubros los siguientes:

- Explotación de material
- Transporte de material
- Acabado de obra básica (preparación de sub-rasante)
- Empedrado

Hay que señalar que actividades como construcción de alcantarillas, subdrenajes, señalización, entre otros, son similares a cualquier proyecto de infraestructura vial, por lo que su ejecución debe someterse a normas y especificaciones técnicas.

a. EXPLOTACIÓN DE MATERIAL

Este trabajo consiste en obtener material idóneo para construir empedrados, en cantidad suficiente y calidad adecuada para los requerimientos del proyecto. La explotación podrá realizarse manualmente o mediante la utilización de maquinarias.



Fotografía 2.1 Fuente de Materiales: terraza aluvial **Fuente:** OIT

Las características del material a explotar puede ser de minas a cielo abierto (terrazas aluviales) o canteras (conglomerados), y su explotación puede ser manual o con maquinaria pesada, en función de la fuente de material.

En caso de que la explotación sea manual se requerirá exclusivamente una retroexcavadora o cargadora frontal para efectuar la carga en la volqueta.



Fotografía 2.2 Carga de material a Volqueta **Fuente:** OIT

Las piedras partidas o cantos rodados deben ser duras, limpias, no presentarán fisuras, serán lo más equidimensionales posible y deberán cumplir los requerimientos establecidos en la Tabla 2.1.



Fotografía 2.3 Explotación manual **Fuente:** OIT



Fotografía 2.4 Explotación Mecánica **Fuente:** OIT



Fotografía 2.5 Cribado de material **Fuente:** OIT

b. TRANSPORTE DE MATERIAL.

Este trabajo consistirá en el transporte autorizado de la piedra seleccionada para la construcción del camino.

De la experiencia lograda en la ejecución de empedrados, se puede indicar referencialmente que un metro cúbico de piedra seleccionada permite empedrar hasta 8 m².



Fotografía 2.6 Transporte y Acopio de Material **Fuente:** OIT

c. ACABADO DE OBRA BÁSICA

Este trabajo consistirá en el acabado de la plataforma del camino a nivel de subrasante, y de conformidad con los alineamientos, pendientes y secciones transversales señalados en los planos o fijados por el Fiscalizador.

Es importante señalar que la subrasante debe cumplir por lo menos los valores requeridos en la tabla 2.2, especialmente en lo relativo a la clasificación del suelo y al CBR.

El equipo mínimo deberá constar de una motoniveladora, un rodillo vibratorio liso de al menos 10 toneladas, y un camión cisterna para hidratación y cuadrillas de obreros y herramientas menores.

El acabado de la obra básica consistirá en la reconformación del suelo de subrasante mediante el uso de motoniveladora, hasta conseguir las pendientes longitudinales, transversales y peraltes establecidos en los planos; el humedecimiento y compactación a través del uso de un camión cisterna y rodillo vibratorio liso, hasta lograr la densidad señalada en la tabla 2.2.

El acabado de la obra básica mediante empleo de mano de obra, iniciará con la limpieza de maleza, piedras y otro tipo de escombros y desperdicios que puedan presentarse en la vía.

Una vez que la alineación ha sido determinada, se realizan ranuras cada diez metros, las mismas que determinan los sitios de corte y relleno de la calzada; una vez que las ranuras son terminadas, entonces el volumen de excavación para lograr la terraza nivelada puede llevarse a cabo. Las ranuras actúan como una guía para la excavación y llenado de cada sección de 10m de camino para lograr una terraza transversalmente nivelada. La terraza es una plataforma en la que se construirá la combadura o abombamiento del camino y el drenaje de una manera exacta y controlada.

Esta terraza tendrá una primera compactación, realizada mediante rodillos autopropulsados.

Seguidamente se procede a colocar una primera capa central que será adecuadamente compactada, completando el segundo proceso de compactación; finalmente se coloca el suficiente material sobre la capa compactada, el mismo que será distribuido adecuadamente para proveer de bombeo o gradientes laterales al camino, y una vez finalizado este trabajo se procederá con la compactación final de la subrasante, procurando llegar a los niveles de compactación señalados en la tabla 2.2.

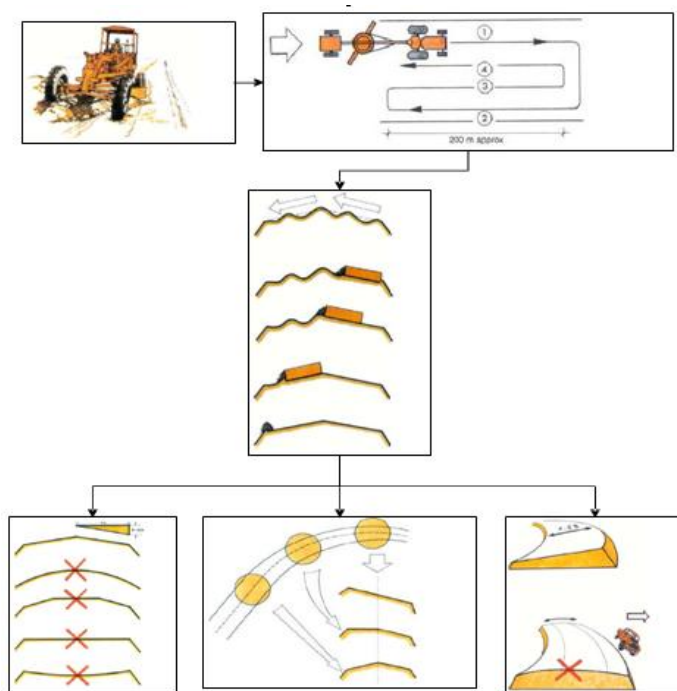


Figura 2.1 Conformación con Maquinaria Subrasante del Empedrado **Fuente:** OIT

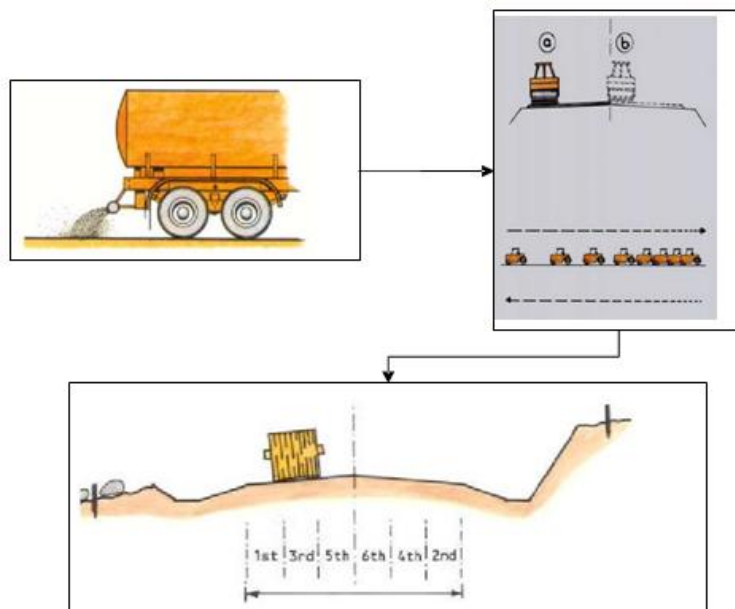


Figura 2.2 Hidratación y Compactación de la Subrasante del Empedrado **Fuente:** OIT

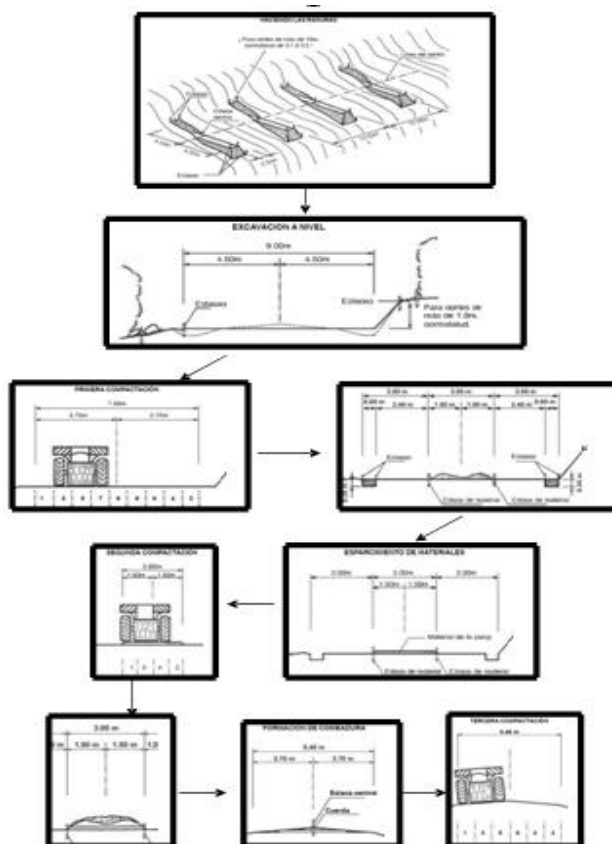


Figura 2.3 Procedimiento de Reconformación de Subrasante con uso de mano de obra

Fuente: OIT

d. EMPEDRADO

Este trabajo consiste en construir una superficie de rodadura con una capa de cantos rodados o de piedra partida.

El empedrado se realizará con cantos rodados o con piedra partida (triturada), en concordancia con lo establecido en las especificaciones técnicas.

Este trabajo no se efectuará en una subrasante que no cumpla con los valores de CBR señalados en el tabla 2.2.

La piedra partida o canto rodado deberá cumplir los valores establecidos en la tabla 2.1. La clasificación y selección de las piedras adecuadas se lo hará en el lugar de explotación.

La piedra partida o canto rodado será colocada a mano, para lo cual requiere de un martillo o combo de 2 kg, que servirá para hincar las piedras. Adicionalmente, una vez terminada la capa de empedrado, se deberá compactar la piedra mediante el paso sin vibración de un rodillo liso de 4 a 8 toneladas.

La subrasante sobre la que se colocará el empedrado deberá hallarse debidamente conformada y compactada, en función del transporte de material.

A la subrasante terminada y compactada, se la disgregará en un espesor de 2 cm aproximadamente, que servirá como cama de apoyo para la colocación de la piedra; este trabajo se efectuará con herramientas manuales.



Fotografía 2.7 Disgregación de Subrasante **Fuente:** OIT

Una vez disgregada la subrasante se colocarán las piedras maestras o cordones maestros con la piedra de mayor tamaño en los ejes, bordes o límites de carriles. Adicionalmente deben colocarse maestras longitudinales intermedias entre el eje y el borde del camino. La distancia entre maestras no debe ser mayor a 1.50 metros.

Si la gradiente longitudinal del camino es mayor de 10%, deberán colocarse maestras transversales cada 3.5 metros, de tal manera que se conforme un encajonamiento que evite desprendimientos de la piedra. En curvas de retorno se colocarán maestras transversales cada 2 metros, cuya referencia será el radio interno de la curva, de forma tal que estas funcionen como bermas.

Conformadas las maestras, se completará la calzada con la colocación de piedra de menor tamaño (8 – 12 cm), de tal manera que se logre un confinamiento adecuado entre las piedras, procurando disminuir al máximo los intersticios que se formen, para lo cual se hincarán las piedras con un combo o martillo de 2 kg.

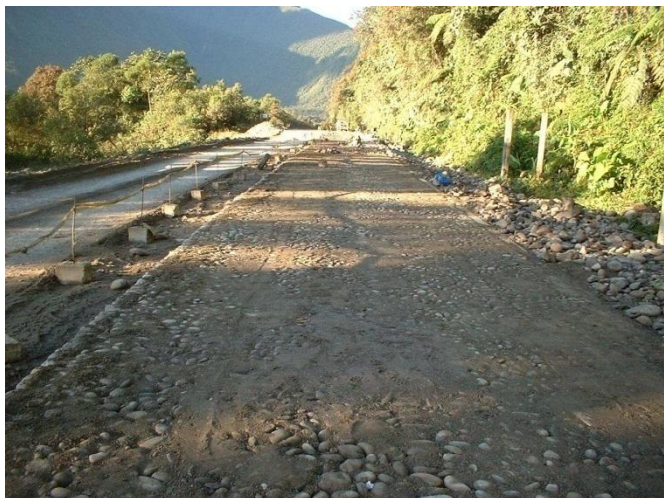


Fotografía 2.8 Colocación de Maestras o Cordones maestros **Fuente:** OIT



Fotografía 2.9 Colocación e Hincado de Piedra en Empedrado **Fuente:** OIT

Inmediatamente se esparcirá material de relleno en los espacios entre las piedras para aumentar la adherencia entre éstas y disminuir la filtración de aguas lluvias. Este material será arcilla o material ligante de las mismas características del material de la subrasante. Se conseguirá una penetración completa y uniforme de este material, por medios de escobas y riego de agua. A este proceso se lo conoce como emporado.



Fotografía 2.10 Emporado **Fuente:** OIT

El emporado deberá cubrir completamente las piedras para facilitar el rodillado. La compactación y fijación se llevará a cabo de inmediato, utilizando un rodillo liso sin vibración, iniciando el trabajo en los costados y desplazándose hacia el centro.



Fotografía 2.11 Rodillado del Emporado **Fuente:** OIT

2.6. PAVIMENTO FLEXIBLES SOBRE DE EMPEDRADO

Este tipo de pavimento flexible, consiste en la colocación de una carpeta asfáltica, sobre el pavimento de piedra.

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.

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

Pero estos trabajos no responden a algún tipo de diseño para pavimentos, debido a que se asemeja más a un recapado de la superficie con otro tipo de carpeta, o quizás se podría mencionar que se convierten en pavimentos de doble capa de rodadura en el supuesto caso de que el pavimento de piedra responde a un diseño de un paquete estructural bien diseñado y ejecutado.

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

Asiando un análisis genérico de la ejecución de este tipo de trabajo parte de Bolivia donde se aplica una carpeta sobre empedrado es por su bajo costo que arrojan en relación al costo por la ejecución de un pavimento flexible con todas sus correspondientes capas y aprovechar la consolidación de la subrasante que presentan los empedrados debido al periodo de servicio que han tenido antes de que se coloque la carpeta asfáltica.

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

2.7. CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE SOBRE EMPEDRADO

Un pavimento flexible sobre empedrado consiste en el uso y colocado de un sistema de capas heterogéneas dispuestas una encima de otras.

El pavimento flexible sobre empedrado está constituido y construido a partir de unidades independientes de piedra de pequeño tamaño que forman parte del empedrado, el cual descansa sobre la subrasante.

- Subrasante.
- Cama de asiento
- Capa de piedra o empedrado.
- Capa de rodadura.

2.7.1. SUBRASANTE

La subrasante es la capa inferior del pavimento flexible sobre empedrado, de tal manera que las capas asentadas sobre esta acompañen a la geometría del diseño con espesores constantes en toda el área de aplicación del pavimento.

La subrasante es la superficie del terreno natural perfilada, es decir una superficie con una terminación uniforme con las pendientes de diseño, que sirve de asiento o fundación de las capas del pavimento flexible sobre el empedrado.

Un drenaje deficiente, el agua de infiltración de lluvia o por ascensión capilar por la existencia de aguas subterráneas con niveles de agua elevados pueden influir de manera negativa en la subrasante por lo que esta capa no cumplirá su función, debido a la pérdida de capacidad portante con influencia directa en la resistencia al corte y más aun en este tipo de ejecución el pavimento flexible sobre empedrado carece de una capa subbase para controlar los cambios volumétricos de elasticidad o plasticidad de la subrasante por la presencia del agua, por asentamiento o levantamientos de esta.

Por lo que la subrasante desempeña un importante rol para el buen funcionamiento del pavimento ya que es el cimiento del pavimento flexible

2.7.2. CAMA DE ASIENTO O CAMA DE ARENA.

Esta capa se encuentra sobrepuesta a la subrasante sirviendo de sostén y asiento al empedrado

El principal objetivo de la capa de asiento o cama de arena es de servir de base para la colocación de las piedras y de absorber las irregularidades y diferencias de tamaño de las piedras, así como también de proveer material para el llenado de las juntas ocasionando de

esta forma trabazón entre piedras para tener como resultado un contacto más uniforme entre las capas del empedrado y la subrasante.

Esta capa cumple varias funciones o propósitos para alcanzar su objetivo principal ya que compensa y nivela en cierta forma las irregularidades e incompatibilidades de tamaño de las piedras tanto de las estaquillas como de las maestras colocadas por encima de esta capa, sirve de nivelación para el asiento adecuado de las piedras, también sirve de material de relleno de las juntas totalmente desiguales que existe entre piedra y piedra relleno que confiere a las piedras en estado de trabazón el cual es sumamente importante para asegurar la transmisión de cargas por esfuerzo de corte entre unidades, de tal forma que se garantiza una disipación de las sollicitaciones en áreas mayores y aumenta su rigidez como también sirve de drenaje de las guas que puedan acumularse debajo de las piedras debido a la infiltración superficial.

Una mala nivelación y extendido de la esta capa perjudicaría el funcionamiento estructural del conjunto y por ende influirá negativamente en la calidad superficial o funcionabilidad del pavimento debido a que se obtendrá una capa de espesor uniforme que brinde un buen apoyo sin alteraciones o irregularidades, sumadas a las propias piedras.

La arena que se utiliza en el medio es obtenida del río o quebrada con un tamaño máximo de $\frac{1}{2}$ ", en algunos casos no se utiliza arena pura sino se utiliza una arena mezclada con un material limoso para obtener con las características particulares de esta arena un cierto grado de cohesión entre sus partículas para mantener las partículas de arena unidas no permitiendo la pérdida de estas partículas a través de las paredes totalmente irregulares de las piedras, con la consiguiente formación de vacíos en la junta, está claro que al mantenerse adheridos los granos de arena habrá un contacto real y directo entre las partículas de arena y a su vez estas con las piedras, garantizando la transferencia de cargas verticales por fricción o frotamiento desde el elemento o elementos receptores de las sollicitaciones hacia los adyacentes trabajando solidariamente entre unidades de trabazón y para que funciones relativamente bien en este tipo de pavimento las juntas entre piedras debe estar y permanecer llenas siempre.

2.7.3. CAPA DE PIEDRA O EMPEDRADO.

Esta capa se encuentra situada entre la subrasante y la capa de rodadura, esta capa formada por piedras de dos clases denominadas estaquillas y maestras.

Las piedras estaquillas son de tamaño uniforme procedente del lecho del río sin ángulos, con un tamaño uniforme máximo de 15 cm, las piedras maestras tendrán las mismas características de las piedras estaquillas con la excepción del tamaño que serán de mayor tamaño y de manera diferente estas piedras van colocadas de costado o echadas dándole una apariencia visual diferente de las estaquillas cuando uno las observa ya ubicadas en obra.

Es perceptible que hablemos de un mismo tipo de piedra con denominaciones diferentes, esto se debe a la forma de colocarlas, específicamente las piedras estaquillas que van ubicadas se podría decir de manera parada en tanto las piedras maestras van ubicadas de manera echada o de costado, se debe mencionar que las piedras maestras cumplen la función de confinamiento transversal de las piedras estaquillas porque dividen longitudinalmente la calzada en cajones o fajas de máximo de 90 cm, dentro de los cuales se ubicarán y quedarán limitadas las piedras estaquillas, no permitiéndoles tener ningún movimiento o desplazamiento lateral o de volcamiento de estas piedras.

La capa de piedra cumple una función netamente estructural ya que en primera instancia resiste las cargas impuestas por el tránsito para posteriormente disiparlas con la ayuda del material disgregado de la subrasante sin que esta cumpla una función resistente, y finalmente transmitir las en niveles coherentes y compatibles dentro de sus posibilidades, con las características de resistencia o mecánicas de la subrasante.

Como las piedras son piezas pequeñas que no están unidas rígidamente unas con otras, como lo es una losa de pavimento rígido, el empedrado se adaptará a cualquier variación o deformación tanto horizontal como vertical de la vía, la deformación de la subrasante se reflejará en primera instancia en la capa de asiento y posteriormente en la capa de piedra debido a la falta de rigidez en las capas y la presencia de elasticidad en el conjunto estructural.

La presencia de irregularidades superficiales y en las juntas de unión de la piedra no brindan las características mínimas para el asiento uniforme de la capa de rodadura, por lo que estas variaciones en forma y tamaño perjudicarían la transferencia de cargas entre unidades vecinas a través de juntas con ausencia de regularidad y disposición geométrica.

Es visible que el confinamiento lateral o exterior es parte fundamental del pavimento flexible sobre el empedrado, porque evita que el tránsito desbarate o haga fluir la capa de

rodadura que va unida por compactación a las piedras y a la vez que estas sufran cualquier movimiento rotacional con la consiguiente pérdida de trabazón del conjunto.

2.7.4. CAPA DE RODADURA

Es la capa final o ultima desde la distribución ascendente, en colocarse para la caracterización de este tipo de pavimento, la capa de rodadura se encuentra ubicada en la parte superior de la piedra, para la colocación de esta capa se efectúa el siguiente procedimiento

Procedimiento en planta

El pavimento es una mezcla asfáltica en caliente, realizada en planta fija que posee tres tolvas donde se carga el material granular grueso, mediano y fino. A través de una cinta transportadora que es regulada de acuerdo a una velocidad determinada y además es la que calcula la cantidad de material a utilizar por una unidad de cemento asfáltico, pasa a una cámara de fuego directo es aquí donde realiza un mezclado del material granular con el cemento asfáltico y un solvente este es el que ayuda a dar a la mezcla una mejor trabajabilidad, la temperatura que debe tener la mezcla asfáltica es de 150 °C también la característica de esta planta es que posee un filtro que saca el exceso del filler de la mezcla asfáltica este filler es el material pesado y fino de los materiales granular luego este material es transportado a una piscina de sedimentación, la mezcla asfáltica pasa a un mezclador donde se agrega un solvente este dará la trabajabilidad necesaria para la mezcla asfáltica, luego e va a dar a una cinta transportadora que eleva esta mezcla (se realiza esto con el fin de evitar la segregación del material) para luego vaya a dar a los camiones que transportaran esta mezcla al lugar de la obra.

El único ensayo que realizan a la salida del material es la prueba de penetrómetro de cargas que consiste en realizar a la mezcla a una temperatura de 25°C con una varilla que en 5 segundos esta varilla debe penetrar del 85 al 100% de penetración.

La temperatura final puesto en obra es de 95°C esta temperatura ayuda a disminuir la cantidad de vacios de la mezcla asfáltica

Dosificación de la mezcla asfáltica

La dosificación de la mezcla asfáltica se podría se realiza por el método de los pesos

Agregado grueso	35 kg/m ³
Agregado intermedio	25 kg/m ³
Agregado fino	60 kg/m ³
Cemento asfáltico	5- 5.5 kg/m ³

Tabla 2.3 Dosificación Mezcla Asfáltica **Fuente:** G.M. Tarija

La dosificación pasa un cierto porcentaje esto se debe a que la mezcla asfáltica debe de dar una textura una vez puesto en obra.

Procedimiento para la conformación de la capa de rodadura

Primeramente en el lugar donde se va a pavimentar se debe de realizar una serie de trabajos preliminares como se indica a continuación:

- El pavimentado se debe realizar en un empedrado que haya sido conformado cinco años atrás a la realización del pavimentado esto se debe a que la capa de empedrado con el tiempo de uso que tiene el suelo y el empedrado estos ya están consolidados.
- Primeramente se lleva a cabo una limpieza de la zona donde se realizara el pavimentado dicha limpieza consiste en sacar el pasto que se encuentra el empedrado y así también la limpieza de materiales suelto y las formaciones de pequeños bancos de tierra.
- Luego se realiza un riego de imprimación a razón de 0.5 litros por metro cuadrado. Este riego se lo realiza con el cemento asfáltico más un solvente de acuerdo al tipo de solvente utilizado se puede obtener los curados siguientes:
 - Curado lento: se agrega como solvente el keroseno.
 - Curado rápido: se agrega como solvente la gasolina.
 - Curado medio: se agrega como solvente al diesel.

La dosificación se la realiza a razón de volúmenes para un 100% el 35% debe ser solvente para los tres curados.

Se debe de esperar 3 días para la conformación de la carpeta asfáltica ya que el solvente se debe de eliminar del riego de imprimación es muy importante la seguridad que se debe tener ya que los solventes son sumamente inflamables.

- Luego con la ayuda de la terminadora se va conformando la capa de rodadura esta maquinaria cuenta con una regla que define la altura de material que se dejara de la tolva que posee la terminadora, luego se arrastra material a la conformadora con la

ayuda de una cuchilla que tiene, luego es amasada y con una regla terminado se dará la altura necesaria.

- Luego se compacta con la ayuda de un compactador de rodillo las veces que este sea necesario, para dar una terminación adecuada a la capa de rodadura, después de ello se sigue compactando con un compactador de neumático.
- Luego de dos días se debe limpiar el asfalto excedente y abrir paso a los vehículos se realiza esta limpieza para evitar la conformación de irregularidades a la superficie

Este tipo de pavimento no es desarrollado de una manera técnica ya que la altura de la capa de rodadura varia lo necesario para dar la adecuada altura de pavimento en general la altura que se desea conseguir es de 5 a 6 cm. Ya que el empedrado ya está consolidado en la mayoría de los casos presenta hundimientos, este hundimiento es rellenado con la mezcla asfáltica hasta alcanzar el mismo nivel de la superficie nivelada.



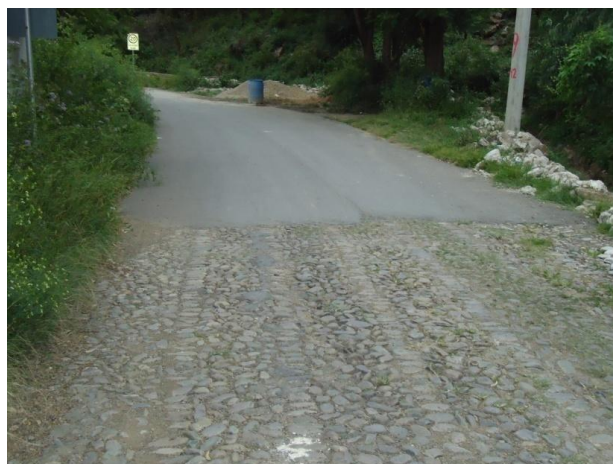
Fotografía 2.12 Imprimación Bituminosa y Colocado de la Carpeta Asfáltica sobre Empedrado **Fuente:** G.M. Tarija

La capa de rodadura es la parte superior del pavimento, por lo tanto soporta directamente las solicitudes del tráfico. Aporta directamente las características funcionales y estructurales, en parte absorbiendo los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. Esta capa es la encargada de:

- Dar lisura apropiada al pavimento, proporcionando una superficie de rodamiento adecuada que permita, todo el tiempo, un tránsito fácil y cómodo de los vehículos,

o de forma más acertada dotarle y brindarle al usuario confort, seguridad y comodidad al circular, ya que su terminación se encuentra acorde a estas exigencias.

- Disminuir la permeabilidad del agua, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia u otras que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores, impidiendo así que esta disminuya la capacidad soporte de las capas.
- Resistir la acción destructora de los vehículos o la acción desintegrante del tránsito, evitando que se desgaste o desintegre la base, y de los agentes atmosféricos.
- Aumentar la capacidad soporte del pavimento a partir de ciertos espesores.



Fotografía 2.13 Carpeta Asfáltica sobre empedrado **Fuente:** Elaboración propia

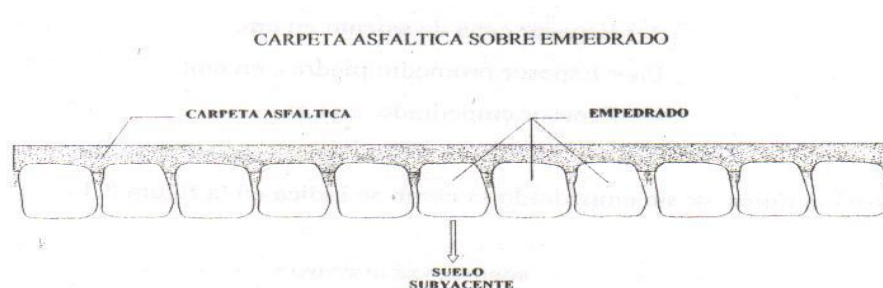


Figura 2.4 Esquema de un Pavimento sobre Empedrado **Fuente:** Elaboración Propia

2.8. CARACTERISTICAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE CONVENCIONAL

Los pavimentos flexibles reciben esa denominación porque 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.

El pavimento flexible está conformado por una serie de capas colocadas unas encima de otras con una función específica de cada una de ellas que en su conjunto deban soportar la carga de tráfico.

Un pavimento flexible presenta muy poca resistencia a flexión ocasionando mayores deformaciones en las capas adyacentes al tener menos rigidez provocando mayores tensiones en la subrasante en comparación con los pavimentos rígidos.

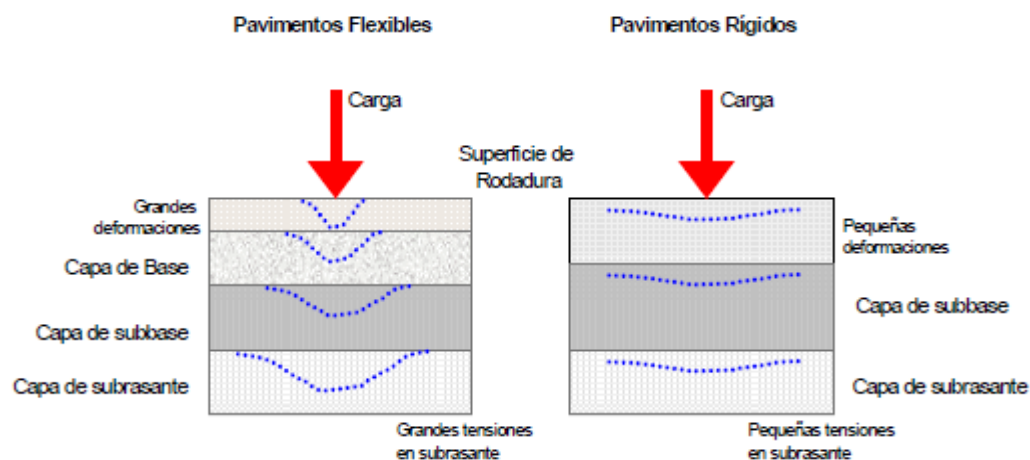


Figura 2.5 Comportamiento de los Pavimentos Flexibles y Rígidos **Fuente:** Manual Centroamericano Diseño Pavimentos

Los pavimentos flexibles, están compuestos por una capa de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, de espesor mínimo de 25 mm. y 75 mm. como máximo. Sobre capas de sustentación como base granular, asfáltica, hormigón o pavimento de bloques. Sus partes constitutivas son:

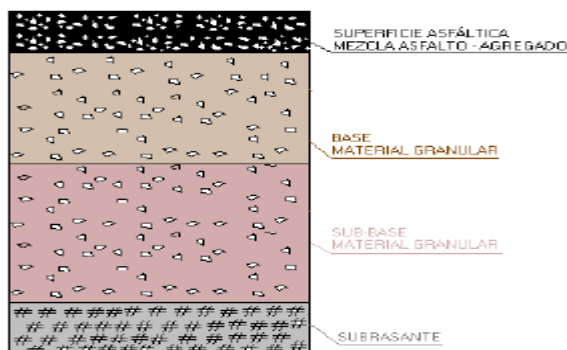


Figura 2.6 Componentes de un Pavimento Flexible **Fuente:** Manual Centroamericano Diseño Pavimentos

En un pavimento flexible, la sub-rasante o terreno de fundación es la capa o asiento sobre la que está apoyado todo el paquete estructural cuyo espesor depende precisamente de las características físico mecánicas que tiene la capa sub-rasante.

La sub base es la capa de material que se construye directamente sobre la sub rasante y que está formada por un material de mejor calidad, es obtenida en generalidad de los casos de depósitos cercanos a la obra.

La base es la capa de material que se construye sobre la sub-base o, a falta de ésta sobre la sub-rasante también llamada terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub-base.

La carpeta asfáltica, que constituye la capa de rodadura, es de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base y soporta directamente las solicitaciones del tráfico y debe satisfacer las siguientes funciones:

a. Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el transito.

Un pavimento flexible debe estar constituido de tal manera que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado y a la vez, se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción del tránsito. Por lo tanto un pavimento de asfalto debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

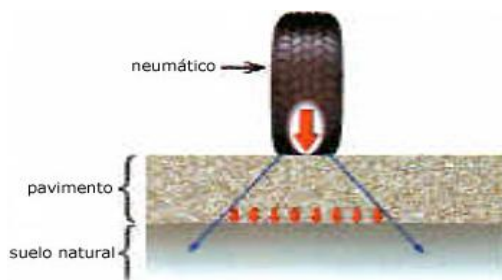


Figura 2.7 Transmisión de cargas por efectos del tránsito **Fuente:** AASTHO

b. Poseer impermeabilidad necesaria.

El pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores, para impedir que el agua disminuya su capacidad para soportar cargas, ya que si esta penetra en exceso, provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. De esto se deduce que siempre será

buena práctica el que se cuente con suficiente drenaje al proyectarse un pavimento, ya que incorporado ello a la impermeabilidad necesaria del pavimento en sí, redundara en una obra estable.



Figura 2.8 Impermeabilidad en el Pavimento **Fuente:** AASTHO

c. Resistir la acción destructora de los vehículos.

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de diferentes partículas de pavimento. También el tránsito provoca cierta acción de molienda y amasado. Es de ahí que se exige que el pavimento deba resistir estos efectos.

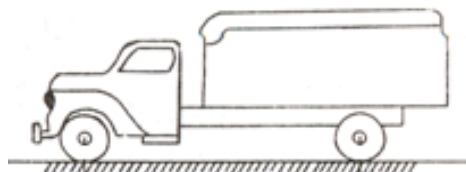


Figura 2.9 Acción Abrasiva de Llantas **Fuente:** AASTHO

d. Tener resistencia a los agentes atmosféricos.

Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman.

Es de tenerse en cuenta que hay materiales que resisten mejor que otros estos efectos y por lo tanto la vida económica y útil del pavimento será mayor cuando los materiales que lo formen tengan más capacidad de resistencia a los agentes químicos y físicos.



Figura 2.10 Resistencia a Agentes Atmosféricos **Fuente:** AASTHO

e. Proporcionar una superficie de rodadura adecuada, que permita en todo tiempo, un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

La superficie de rodamiento de un pavimento debe de ser segura para la conducción de los vehículos y lo suficientemente liza para proporcionar una marcha confortable y una larga vida de los vehículos, sin embargo, esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antideslizante cuando se encuentre húmeda.

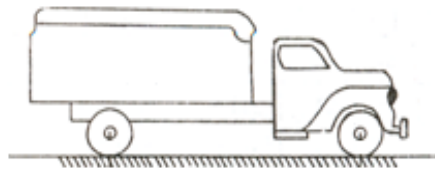


Figura 2.11 Transito Confortable **Fuente:** AASTHO

f. Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o sub base.

En muchas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeñas asentamientos ya sea de la base o de la sub base, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que conviene que el pavimento tenga cierta flexibilidad, que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

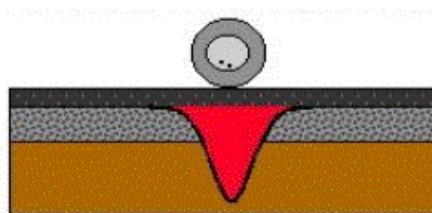


Figura 2.12 Adaptación a Fallas **Fuente:** AASTHO

2.9. TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Para la evaluación de pavimentos se puede decir que existen dos tipos de evaluaciones que son las siguientes:

- Evaluación superficial.
- Evaluación estructural.

2.9.1. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

La evaluación estructural es conocer las características estructurales de un pavimento, su comportamiento ante el tráfico vehicular.

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

La evaluación estructural de los pavimentos se trata de evaluar a todo el conjunto de capas que está formado este pavimento, la evaluación estructural se debe realizar tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Deflexiones Benkelman.
- Evaluación de materiales.
- Numero estructural.
- Tráfico vehicular.
- Factor regional.

2.9.2. EVALUACIÓN SUPERFICIAL

El trabajo de una evaluación de un pavimento flexible, implica la observación y cuantificación de las características superficiales del pavimento, vale aclarar que hablamos de la capa de rodadura, desde el momento que el pavimento se pone en servicio, este tipo de evaluación debe basarse en:

- a. Muestras aleatorias del tramo vial en estudio, con el fin de reducir la inspección visual.

- b. Evaluar objetiva y cuantitativamente las condiciones superficiales del pavimento.
- c. Utilizar métodos y equipo adecuados para realizar la evaluación.

Por otro lado se debe tener en cuenta una inspección visual continua, porque un pavimento flexible no falla instantáneamente, sino que su deterioro va aumentando en forma continua. Con una inspección visual sistemática se detecta las fallas existentes en la superficie del pavimento, dichas fallas pueden ser originadas por solicitaciones de los vehículos, fallas constructivas y por efectos climáticos.

Los objetivos de la observación sistemática son:

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

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS

Las características superficiales de los pavimentos son muy importantes, pues de ellas dependerá la buena funcionalidad de la carretera. Las características superficiales del pavimento son en realidad las únicas características del firme que interesan al usuario, ya que de ellas depende en gran medida su seguridad y la comodidad de circulación.

En determinadas circunstancias, las características superficiales de los pavimentos inciden en los costes de funcionamiento, lo que afecta también a los usuarios.

Entre las características y propiedades a considerar están las siguientes:

- Resistencia al deslizamiento
- Textura
- Regularidad superficial
- Permeabilidad
- Drenabilidad
- Resistencia a la rodadura
- Ruido de rodadura
- Absorción acústica
- Color y propiedades ópticas reflexivas
- Resistencia al ataque de aceites y combustibles

- Proyecciones de agua al paso de los vehículos
- Consumos debidos al contacto neumático-pavimento
- Limpieza
- Deterioros superficiales

Estas características influyen sobre diversos aspectos relativos a la funcionalidad de las carreteras:

- Seguridad
- Comodidad
- Gastos de explotación
- Contaminación ambiental

2.10. MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL.

En este trabajo se aplicaran tres métodos de evaluación superficial de pavimentos flexibles, los cuales se explicaran a continuación y son los siguientes:

1. Método de evaluación PCI.
2. Método de evaluación PSI.
3. Método de evaluación IRI.

2.10.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI.

El método de evaluación de pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y. Shain y S.D. Khon y publicado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimento (PCI) para carreteras, calles y estacionamientos para proveer al ingeniero de:

1. Un método estándar para evaluación de la condición de la superficie operacional de una sección de pavimento.
2. Un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.
3. Un método para determinar el comportamiento mediante determinación continua del PCI

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.

Calculo de las 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 la Tabla 2.4 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Ancho de calzada (m)	Longitudes de la unidad de muestreo (m)
5,00	46,00
5.50	41,80
6,00	38,30
6,50	35,40
7,30(máximo)	31,50

Tabla 2.4 Longitud de unidades de Muestreo **Fuente:** INVIAS Colombia

El número total de muestras (N), se divide la longitud total de la vía entre la longitud de la unidad de muestreo.

Determinación de las unidades de muestreo para evaluar

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\frac{e^2}{4} * (N - 1) + \sigma^2} \quad \text{Ecu. 2.1}$$

Dónde:

- n : Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.
- N : Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.
- e : Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ($e = \pm 5\%$)
- σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos y un error del 5 % por tratarse de la primera evaluación que se realiza. Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán 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 Ecuación 2.2:

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{Ecu. 2.2}$$

b. El inicio al azar es o son seleccionados entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i. Por Ej., si i = 3, la unidad de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3.

c. Las unidades de muestreo para la evaluación se identifican como “s”, “s + i”, “s + 2 i”, etc. Si la unidad seleccionada es 3, y el intervalo de muestreo es 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 6, 9, 12, 15, etc.

ECUACIÓN DEL PCI

El grado de deterioro de un pavimento está en función de:

- El tipo de falla
- La severidad de la falla (ancho de las grietas, etc.)
- La densidad de las fallas (porcentaje del área afectada)

$$PCI = 100 - \left[\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^{mi} VD(T_i, S_j, D_{ij}) \right] * F \quad \text{Ecu. 2.3}$$

Donde:

PCI= Índice de condición del pavimento

VD= Valor de deducción, en función del tipo de falla (T_i), severidad (S_j), y densidad de fallas (D_{ij}) observables en el pavimento.

I= Tipos de falla

J= Grados de severidad

P= Número de fallas en el pavimento analizado

M_i = Grados de severidad para la falla “i”

F= Factor de ajuste, en función de la sumatoria total y el número de valores de deducción mayores que cinco

VALOR DE DEDUCCIÓN

Estos valores (**VD**) son determinados en función del tipo de cada falla, su severidad y densidad en el pavimento, cada falla tiene su correspondiente gráfico para determinar el VD.

FACTOR DE AJUSTE

Este factor permite ajustar el valor total de deducción cuando más de un tipo de falla afecta sustancialmente la condición del pavimento.

En el ANEXO I muestra las curvas empleadas para determinar el valor de deducción corregido (**VDC**) en función del valor total de deducción (**VTD**) y “q”, o sea el número de **VD** individuales mayores que 5.

SEVERIDAD DE FALLA.

En vista de las variaciones de severidad que presentan los tipos de fallas En algunos casos requiere entender como es afectada la calidad de rodaje por diversos tipos de fallas a fin de determinar su veracidad, se han descrito los diferentes niveles contemplados en el método para cada falla.

La siguiente es una descripción generalizada de severidades:

- **BAJO:** Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.
- **MEDIO: (1)** Se producen vibraciones o saltos significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. **(2)** Saltos individuales o continuos que producen molestias.
- **ALTO: (1)** Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad. **(2)** Saltos individuales, que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Para una determinación precisa del PCI debe realizarse una inspección cuidadosa del pavimento a fin de determinar los tipos de falla, su cantidad y severidad.

Hay dos procedimientos para realizar la inspección del pavimento. En ambos debe dividirse la sección del pavimento en unidades de aproximadamente 225 m² cada una. El primer procedimiento requiere evaluar todas las unidades; el segundo, una muestra escogida aleatoriamente.

Cada unidad es cuidadosamente inspeccionada y los datos referentes a cada tipo de falla son anotados en la planilla de evaluación.

DETERMINACION DEL PCI

El valor del PCI (Índice de Condición del Pavimento), se obtiene siguiendo los siguientes pasos:

- Determinar los datos correspondientes a cada tipo de falla (severidad y frecuencia), y su forma de medición.
- Determinar los valores de deducción (**VD**), para cada falla y severidad mediante los ábacos correspondientes del ANEXO I.
- El valor total de deducción (VTD = Sumatoria de VD es corregido mediante las curvas de correccion, así se obtiene VDC. (valor de deducción corregido).
- Finalmente el $PCI = 100 - VDC$.

Debe recordarse que en la figuras para determinar el Valor de Deducción, el valor de “q” corresponde al número de VD individuales y mayores de 5, bien por el tipo de falla ó por severidad dentro de la misma falla.

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

$$PCI = \frac{\sum PCI_i}{n} \quad \text{Ecu. 2.4}$$

Donde:

PCI_i = PCI de cada unidad evaluada

n = Número de unidades existentes en la sección

RANGO			CLASIFICACION
100	-	85	Excelente
85	-	70	Muy bueno
70	-	55	Bueno
55	-	40	Regular
40	-	25	Malo
25	-	10	Muy malo
10	-	0	Pésimo

Tabla 2.5 Rangos Clasificación PCI Fuente: Norma ASTM D 5340

TIPOS DE FALLAS SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Las diferentes fallas que se presentan en los pavimentos flexibles se mencionan en el Tabla 2.6

FALLAS COMÚNES EN UN PAVIMENTO FLEXIBLE.

FALLA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
1	Grietas piel cocodrilo	m2
2	Exudación del asfalto	m2
3	Grietas de contracción	m2
4	Elevaciones - hundimientos	m
5	Corrugaciones	m2
6	Depresiones	m2
7	Grietas de borde	m
8	Grietas de reflexión de juntas	m
9	Desnivel calzada - berma	m
10	Grietas longitudinales y transversales	m
11	Baches y zanjas reparadas	m2
12	Agregado pulido	m2
13	Huecos	Nº
14	Acceso a Puentes	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Deformación por empuje	m2
17	Grietas de deslizamiento	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Disgregación y desintegración	m2

Tabla 2.6 Fallas en Pavimentos Flexibles **Fuente:** MÉTODO DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS PCI (Pavement Condition Index). Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U.A. Reporte Técnico M-268 (1978) M.Y. Shahin y S.D Khon. Versión en Español por: ING. AUGUSTO JUGO B. Caracas 1987

1. GRIETA PIEL DE COCODRILO



Fotografía 2.14 Piel de Cocodrilo **Fuente:** INVIAS Colombia

Una serie de grietas interconectadas producida por la fatiga de la mezcla asfáltica, las grietas y fisuras comienzan en el fondo de la capa y salen a la superficie, habiendo solo sido grietas y fisuras longitudinales paralelas, posteriormente por el efecto del tráfico estas se unen formando polígonos de diferentes tamaños que se asemejan a una piel de cocodrilo o a una malla de gallinero. Estas fisuras y grietas que ocurren solo en áreas sometidas a tráfico vehicular se consideran fallas estructurales severas y estas vienen acompañadas de ahuellamiento.

Niveles de Severidad:

BAJA (L):

- Fisuras y grietas muy finas longitudinales y paralelas con poca o ninguna interconexión entre ellas.

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada, es frecuente encontrar diferente severidad en una misma área afectada, en caso que no se pueda separar o estimar las áreas

correspondientes a cada nivel se debe considerar el área total por afectada de la mayor severidad.

2. EXUDACIÓN DEL ASFALTO



Fotografía 2.15 Exudación del asfalto **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

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

3. GRIETAS DE CONTRACCIÓN O BLOQUES



Fotografía 2.16 Grietas contracción ó Bloques **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

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

4. ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS

Fotografía 2.17 Elevaciones y Hundimientos **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

Los hundimientos son pequeñas deformaciones de la superficie del pavimento, no debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por el hinchamiento.

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

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición:

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

5. CORRUGACIONES

Fotografía 2.18 Corrugaciones **Fuente:** INVIAS Colombia

Éstas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas menos de 3 metros en sentido transversal al tráfico vehicular, estas son causadas normalmente por tráfico en pavimento de base o de una superficie inestable.

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

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición:

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

6. DEPRESIONES



Fotografía 2.19 Depresiones **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- 13 a 25mm.

MEDIA (M):

- 25 a 51mm.

ALTA (H):

- Más de 51mm.

Forma de medición:

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

7. GRIETAS DE BORDE



Fotografía 2.20 Grietas de Borde **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Grietas de baja severidad sin disgregación.

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

- Considerable rotura de borde y disgregación en grietas.

Forma de medición:

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

8. GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS



Fotografía 2.21 Grietas de reflexión de juntas **Fuente:** INVIAS Colombia

Sólo ocurren en capas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto (rígidos), no incluyen grietas de reflexión de ningún otro tipo de base o material bajo el asfalto superficial, normalmente son longitudinales y transversales causadas por expansión y contracción o movimiento de las losas por infiltración del agua. Este tipo de falla no está asociada con el tráfico vehicular, sin embargo éste puede producir disgregación en los bordes, el conocer las dimensiones de la losa de concreto nos ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

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

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

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

9. DESNIVEL CALZADA – BERMA



Fotografía 2.22 Desnivel Calzada - Berma **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

- La diferencia de elevación es mayor a 102mm.

Forma de medición:

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

10. GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



Fotografía 2.23 Grietas longitudinales y transversales **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

Las grietas longitudinales y transversales se miden en metros lineales (ml), la longitud y severidad de cada grieta debe ser identificada. Si una grieta muestra varias severidades, están deben de diferenciarse. Si su elevación o hundimiento ocurre simultáneamente, también estas deben anotarse.

11. BACHEO Y ZANJAS REPARADAS



Fotografía 2.24 Bacheos y zanjas reparadas **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

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

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

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

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

12. AGREGADOS PULIDOS



Fotografía 2.25 de Agregados Pulidos Fuente: INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

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

Forma de medición:

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

13. HUECOS



Fotografía 2.26 Huecos Fuente: INVIAS Colombia

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros inferiores a 90cm. Usualmente tienen bordes angulosos y verticales en las cercanías de la superficie, crecen rápidamente por el agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por pequeñas áreas del pavimento, este se desintegra debido a los defectos de la mezcla, puntos débiles de la base o la subrasante o grietas piel de cocodrilo de alta severidad, los huecos son causados generalmente por la falla estructural y no debe confundirse con disgregación o desintegración. Cuando los huecos son causa del deterioro progresivo de fallas el tipo piel de cocodrilo debe considerarse como huecos y no como disgregación o desintegración.

Nivel de Severidad:

El nivel de severidad para huecos de diámetro 76.2cm. Se basa tanto como en el diámetro y la profundidad.

PROFUNDIDAD MÁXIMA EN cm.	DIÁMETRO PROMEDIO EN cm.		
	10 a 20	20 a 45	45 a 76
1,2 a 2,5cm.	L	L	M
2,5 a 5cm.	L	M	H
>5cm.	M	M	H

Si el hueco tiene más de 76cm. De diámetro el área debe medirse en m² y dividirse entre 0.47m² para determinar el número equivalente de huecos. Si la profundidad es menor a 2.5cm. Se considera que la severidad es media (M), si la profundidad es mayor a 2.5cm. Se considera de severidad alta (H).

Forma de medición:

Se cuenta el número de huecos clasificándolos en cada nivel de severidad por separado (L, M, H).

14. ACCESO A PUENTES



Fotografía 2.27 Acceso a puentes **Fuente:** INVIAS Colombia

Éstos producen depresiones y elevaciones a la rodadura.

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición:

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

15. AHUELLAMIENTO



Fotografía 2.28 Ahuellamiento **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

Nivel de Severidad:

Profundidades del ahuellamiento.

BAJA (L):

- 6 a 13mm.

MEDIA (M):

- 13 a 25mm.

ALTA (H):

- Mayor a 25mm.

Forma de medición:

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

16. DEFORMACIÓN POR EMPUJE

Fotografía 2.29 Deformación por Empuje **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición:

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

17. GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

Fotografía 2.30 Grietas de Deslizamiento **Fuente:** INVIAS Colombia

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

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

- El ancho de grieta es menor a 10 mm.

MEDIA (M):

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

ALTA (H):

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

Forma de medición:

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

18. HINCHAMIENTOS



Fotografía 2.31 Hinchamientos **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura

Forma de medición:

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

19. DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN



Fotografía 2.32 Disgregación y Desintegración **Fuente:** INVIAS Colombia

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

Nivel de Severidad:

BAJA (L):

- Producen bajo efecto sobre la calidad de la rodadura.

MEDIA (M):

- Producen medio efecto sobre la calidad de la rodadura.

ALTA (H):

- Producen alto efecto sobre la calidad de la rodadura.

Forma de medición:

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

2.10.2. ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE PSI.

La serviciabilidad del pavimento se expresa en términos del Índice de Serviciabilidad del pavimento PSI (Pavement Serviceability Index). El PSI es un índice objetivo que cuantifica la calidad de servicio que brinda el pavimento, obtenido a partir de mediciones de la rugosidad de los pavimentos y sus deterioros.

El índice PSI el pilar fundamental de los métodos de diseño de espesores de pavimentos rígidos como flexibles que desarrolló AASHTO a partir del ASSHO ROAD TEST, los cuales son ampliamente utilizados hoy en día. Para el diseño de pavimentos las dos variables de entrada son la Serviciabilidad Inicial del pavimento recién construido y la Serviciabilidad Final, que es la calificación de PSI a la que deberá llegar el pavimento al finalizar su vida útil de diseño.

El índice de serviciabilidad presente es un índice que está orientado mundialmente a medir el confort que brinda el camino al usuario. Se han desarrollado originalmente para su determinación, fórmulas matemáticas que combinan distintos parámetros de deterioro, basadas en condiciones geométricas de la sección del pavimento.

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

CALIFICACIÓN DE LA SERVICIABILIDAD SEGÚN EL VALOR PSI

RANGO	CALIFICACIÓN
5,00 - 4,25	Excelente
4,25 - 3,5	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

Tabla 2.7 Calificación de la Serviciabilidad según el Valor PSI **Fuente:** Road Test de AASHO

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

$$PSI = 6.20 - 0.8 * C1 - 0.3 * C2 - 0.1 * C3 \quad \text{Ecu. 2.5}$$

Donde:

C1, C2, C3, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la escala que se muestra en el cuadro 2.3

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

$$PSI = \frac{\sum PSI_i}{n} \quad \text{Ecu. 2.6}$$

Donde:

PSI_i= PSI de cada unidad evaluada

n= Número de unidades existentes en la sección

COEFICIENTES C1, C2, 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 de C2
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
Deformación Transversal	Valor de C3
Sin deformidad ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Tabla 2.8 Coeficientes de apreciación del pavimento para el Cálculo del PSI **Fuente:** AASTHO -Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Mantenimiento Vial Urbano (Chile)

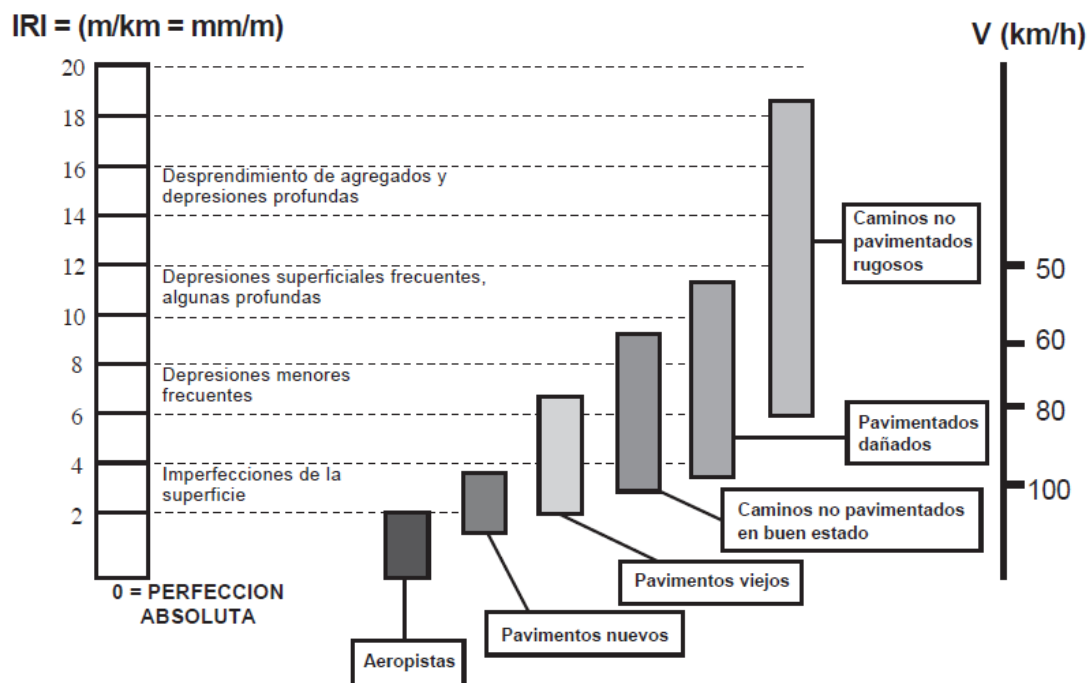
2.10.3. ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI.

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en 1986. Su obtención es posible correlacionarla con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento. El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento, al igual que otros indicadores representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, $IRI = 0$) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

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

ESCALA DE REGULARIDAD PARA PAVIMENTOS (IRI)

Referencia de Valores de IRI



Fuente: Banco Mundial

Tabla 2.9 Referencia de Valores IRI **Fuente:** Banco Mundial

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

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

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

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

Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira y nivel, del tramo total ó subtramos escogidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estas son esenciales para la ejecución del programa.

El software para determinar el IRI hace uso del programa: IRI método (mira y nivel), este programa está conformado por seis módulos, que son:

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

DELTA X (Dx)

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

- a) 50 mm.
- b) 100 mm.
- c) 152.4 mm. (0.5 ft)
- d) 166.7 mm.
- e) 200 mm.
- f) 250 mm.
- g) 304.8 mm. (1 ft)
- h) 333.3 mm.
- i) 500 mm.
- j) 609.6 mm. (2ft)

IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO

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

- Código Tramo
- Nombre del Tramo
- Abscisa Inicial y Final

La Abscisa Inicial y Final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo a la tabla 2.8

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

Tabla 2.10 Longitud máxima y Delta del tramo **Fuente:** INVIAS

ENTRADA DE INFORMACIÓN

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

CÁLCULO DEL IRI

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

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

- Delta X: Delta escogido.

- Número total de datos: Es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.
- Z1, Z2, Z3; Z4, Y, $\sum RSi$: Variables requeridas por el sistema.
- IRI: Valor del Índice de Rugosidad Internacional.

GRÁFICA

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

IMPRIMIR INFORMACIÓN

Se obtendrá un listado por impresora de todos los datos digitados anteriormente, el IRI encontrado debe ser analizado de acuerdo a la tabla **2.10**, para luego dar una conclusión del estado de rugosidad de la superficie del pavimento del tramo en estudio.

2.11. ESTADO DE UNA CARRETERA O VÍA

La calidad de servicio que ofrece una carretera o vía se mide en función del índice de serviciabilidad que va dado en un ábaco (ver figura 2.13) en donde muestra una curva que relaciona la rugosidad (QI) con el (PSI) Índice de Serviciabilidad Presente, de acuerdo a esta curva se saca el tipo de mantenimiento que se requiere del tramo de la carretera en estudio, observando la curva se puede decir que la rugosidad admisible para una carretera es de 40 QI que equivale a un índice de serviciabilidad de 2 hasta que la carretera alcance este valor el mantenimiento es de rutina permanente, cuando el índice de serviciabilidad es menor a 2 quiere decir que la carretera tiene un valor de rugosidad mayor a 40 QI lo cual significa que la carretera tiene fallas o deterioros tales como corrugaciones, hundimientos, problemas que pueden ser superficiales y de fallas en la estructura.

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

ECUACIÓN GENERAL DEL (PSI) ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE

$$PSI = 5^{-0.0229 * QI} \quad \text{Ecu. 2.7}$$

Donde

PSI = Índice de Serviciabilidad Presente.

QI = Rugosidad determinada con el aparato auscultador.

Los valores de la aplicación de la Ecu. 2.7 se muestra en la tabla 2.11, en la tabla 2.12 están los trabajos a realizar en función de los valores obtenidos en cada método, la tabla 2.13 están las relaciones entre el (QI) y (PSI), la relación (QI), (PSI) y (PCI) se muestra en la tabla 2.14 y la relación de equivalencias (IRI), (QI) y (PSI) en la tabla 2.15

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

Tabla 2.11 Valores del PSI Aplicando la Ecuación General **Fuente:** WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

**ÁBACO DE RELACIÓN ENTRE RUGOSIDAD (QI) E ÍNDICE DE
SERVICIABILIDAD PRESENTE (PSI).**

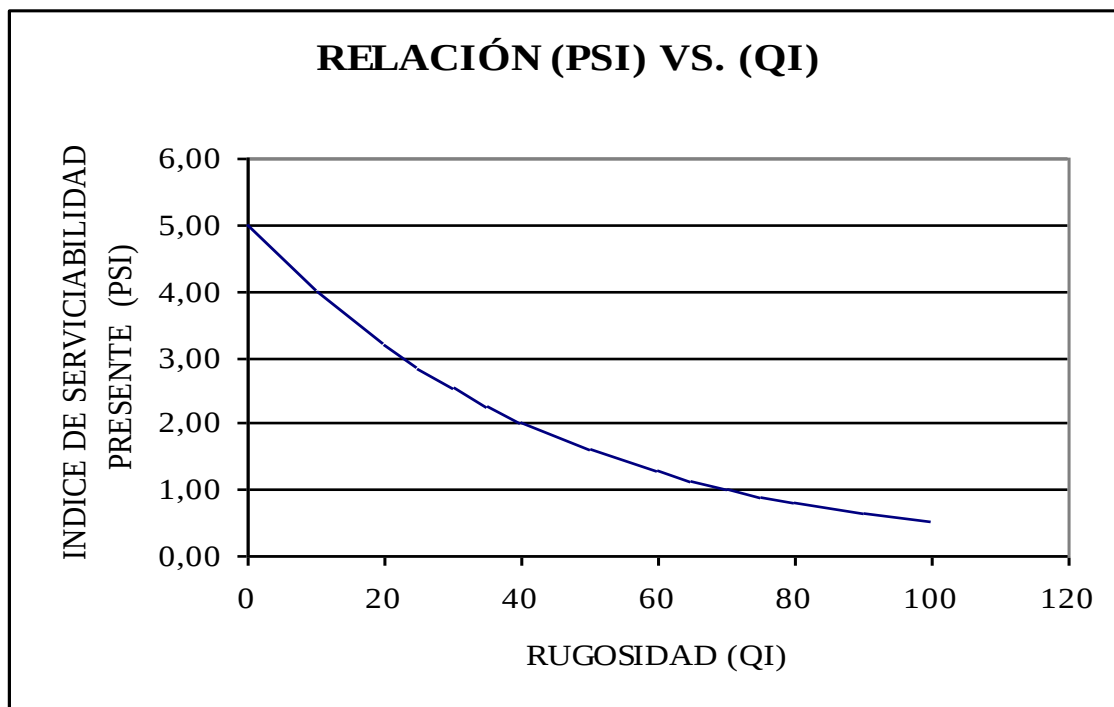


Figura 2.13 Relación entre Rugosidad – Índice de Serviabilidad **Fuente:** WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

De acuerdo a esta gráfica se puede determinar el tipo de mantenimiento a realizar en función de la rugosidad (QI) o del Índice de Serviabilidad Presente (PSI) que se describe a continuación:

1. Cuando la rugosidad del pavimento tiene un valor de (QI) de 0 a 40 el pavimento necesita **“un mantenimiento de rutina permanente”**.
2. Cuando la rugosidad del pavimento tiene un valor de (QI) de 40 a 80 el pavimento necesita **“un mantenimiento periódico”**.
3. Cuando la rugosidad del pavimento tiene un valor de (QI) de 80 a 120 el pavimento necesita **“una pronta rehabilitación”**.
4. para valores mayores de rugosidad (QI) del pavimento que los descritos anteriormente necesitan **“pronta reconstrucción”**

RUGOSIDAD ADMISIBLE Y MANTENIMIENTO		
(QI) rugosidad	0 - 40	mantenimiento de rutina permanente
(PSI)	5,0 - 2,0	mantenimiento de rutina permanente
(PCI)	100 -40	mantenimiento de rutina permanente
(IRI)	0 - 3,6	mantenimiento de rutina permanente
(QI) rugosidad	40 - 80	mantenimiento periódico
(PSI)	2 - 0,8	mantenimiento periódico
(PCI)	40 - 16	mantenimiento periódico
(IRI)	3,6 - 6,4	mantenimiento periódico
(QI) rugosidad	80 - 120	rehabilitación
(PSI)	0,8 - 0,32	rehabilitación
(PCI)	16 - 6,4	rehabilitación
(IRI)	6,4 - 10	rehabilitación
(QI) rugosidad	mayor a 120	reconstrucción
(PSI)	0,32 - 0,0	reconstrucción
(PCI)	6,4 - 0,0	reconstrucción
(IRI)	10,0 - 20,0	reconstrucción

Tabla 2.12 Rugosidad Admisible y Mantenimiento a Realizar

Fuente: WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

RELACIÓN DE RUGOSIDAD(QI) CON EL (PSI)		
(QI) UNIDADES/KM	(PSI)	DESCRIPCION
0 - 20	3,0 - 5,0	El pavimento es completamente nuevo
20 - 35	2,5 - 3,0	Pavimentos de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches.
35 -65	1 - 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros deterioros, baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m. 2% de baches), depresiones (20 a 40 mm. Cada 5 m. o de 10 a 20 mm. Cada 3 m.), velocidad normal de conducción 75 Km. /hr.
65 - 110	0,4 - 1	El pavimento esta severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20 mm cada 3 m), baches frecuentes (15 -20 baches cada 50 m. o 15% de baches)

Tabla 2.13 Relación de Rugosidad (QI) con el (PSI) **Fuente:** WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

RANGOS DE RELACIÓN (PCI), (QI), (PSI)				
(PCI)	DESCRIPCIÓN	(QI) UNIDADES/KM.	(PSI)	DESCRIPCIÓN
90 - 100	Muy bueno, excelente	0- 20	3 - 5,0	El pavimento es completamente nuevo
60 - 90	Bueno	20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos asfálticos de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches
40 - 60	Regular	35 - 65	1 - 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros deterioros, baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m. 2% de baches), depresiones (20 a 40 mm. Cada 5 m. o de 10 a 20 mm. Cada 3 m.), velocidad normal de conducción 75km/h
20 - 40	Muy pobre			
0 - 20	Fallando	65 - 110	0,4 - 1	El pavimento está severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20 mm cada 3 m), baches frecuentes (15 -20 baches cada 50 m. o 15% de baches)

Tabla 2.14 Rangos de Relación (PCI), (QI), (PSI) **Fuente:** WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

RANGOS DE RELACIÓN (IRI), (QI), (PSI)			
(IRI)	(QI) UNIDADES/K M.	(PSI)	DESCRIPCIÓN
0 - 1,6	0 - 20	3,0 - 5,0	El pavimento es completamente nuevo
1,6 - 2,8	20 - 35	2,5 - 3,0	Pavimentos asfálticos de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches.

2,8 - 5,2	35 - 65	1,0 - 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros, baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m. 2% de baches), depresiones (20 a 40 mm. Cada 5 m. o de 10 a 20 mm. Cada 3 m), velocidad normal de conducción 75 km. /hr.
5,2 - 8,8	65 - 110	0,4 - 1,0	El pavimento esta severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20mm. Cada 3 m.), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 m. o 15% de baches

Tabla 2.15 Rangos de Relación (IRI), (QI), (PSI) **Fuente:** WILBUR SMITH Y ASOCIADOS

2.12. RELACIÓN ENTRE EL PCI, IRI CON EL PSI

La calidad de servicio que ofrece una carretera en cualquier instante de su periodo de vida, se mide en función del Índice de Servicialidad Presente (PSI). En la ecuación 2.6 se da una relación del PSI en función del PCI.

$$\mathbf{PSI} = \frac{PCI}{20} \quad \mathbf{Ecu. 2.8}$$

La rugosidad del pavimento en términos de serviciabilidad adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene, por el contrario si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy grande.

Al realizar trabajos de evaluación de las calzadas, se debe tener presente que el PSI (o el IRI como medida indirecta de aquél) es solamente un indicador de la condición del pavimento, que afecta la comodidad de la circulación del usuario por la vía y los costos de operación vehicular, pero en modo alguno constituye el único factor de alerta sobre las necesidades de rehabilitación, ya que la contribución de los deterioros del pavimento a las deficiencias de regularidad superficial no es universal. Un pavimento asfáltico puede tener un perfil relativamente liso (IRI bajo) y, sin embargo, acusar ciertas fallas, como fisuramiento del tipo piel de cocodrilo, indicativas de un avanzado grado de degradación estructural.

Un método práctico para obtener el PSI para pavimentos flexibles en función al IRI, es a través de la utilización de la ecuación de Sayers

$$\text{PSI} = 5 \cdot e^{(-\text{IRI}/5.5)} \quad \text{Ecu. 2.9}$$

(Recomendada para valores de IRI hasta 12 m/km)

2.13. SISTEMAS DE CONSERVACIÓN VIAL

2.13.1. CONSERVACIÓN VIAL

Durante varias décadas, en la mayoría de los países latinoamericanos se consideró que la función primordial de los organismos del Estado responsables de los caminos, era construir caminos con los recursos presupuestales asignados. La eficiencia de tales organismos se medía en el número de kilómetros construidos y en el tipo de construcción utilizada; en cambio, la conservación de los caminos ya construidos tuvo un rol secundario.

Conforme se han ido atendiendo las demandas de nuevos caminos, se ha ido incrementando la necesidad de conservar los caminos en buen estado de funcionamiento. En general, las personas entienden que el camino al haber sido construido con recursos del Estado es de su propiedad y, por lo tanto, el mantenimiento también es de su responsabilidad.

Sin embargo, de acuerdo a la legislación vigente, en la mayoría de países, la red vecinal está bajo responsabilidad de los municipios y, en algunos casos, la red secundaria ha sido entregada a la gestión de las gobernaciones departamentales.

Se ha podido constatar que los municipios y gobernaciones, al asumir responsabilidades en la gestión vial, han arrastrado los esquemas de gestión de los organismos nacionales, siendo frecuente que las autoridades y funcionarios de estas instancias de gobierno estén más preocupados en la construcción de caminos que en la conservación de los ya existentes.

Enfoque Moderno de la Conservación Vial

En años recientes, algunos países latinoamericanos han adoptado políticas nacionales para sostener una conservación vial de carácter preventivo y han generado niveles de organización adecuados para la gestión vial, con marcado éxito. El mantener los caminos en niveles que permiten la circulación vehicular durante todas las épocas del año, ha permitido crear una conciencia nacional acerca de la importancia de mantener las vías

permanentemente en buen estado, en todos los niveles, desde las nacionales hasta las vecinales, y ha permitido un ahorro considerable en los costos de operación vehicular.

Dentro de ello, los casos de Colombia y Perú, y más recientemente Bolivia y Ecuador, merecen una mención especial, pues las labores técnicas del mantenimiento rutinario y preventivo se han encomendado a microempresas de mantenimiento que han sido organizadas dentro de las comunidades que habitan en las inmediaciones de las vías, consolidando una propuesta de alto impacto para el desarrollo local. El pago que la entidad responsable del camino hace a las microempresas, permite inyectar dinero en áreas que suelen ser las menos atendidas. Las microempresas de mantenimiento generan capacidad empresarial en poblaciones carentes de este recurso y se han reportado casos en los cuales las utilidades percibidas por las microempresas de mantenimiento, han permitido el surgimiento de proyectos productivos que responden a necesidades de las comunidades, todo lo cual repercute positivamente en el desarrollo local.

Importancia de Conservar un Camino

La conservación de los caminos es importante porque permite:

- Que el camino se encuentra permanentemente en buen estado.
- Ahorros en los costos de operación de vehículos.
- Acceso permanente a servicios (salud, educación, etc.) y mercados.
- Ahorro de tiempo para los usuarios.
- Se preserva la inversión efectuada en la construcción, reconstrucción o rehabilitación.

CICLO DE VIDA “FATAL” DE LOS CAMINOS

Los caminos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc. Estos elementos afectan al camino, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándolo a tal punto que lo puede convertir en intransitable.

El deterioro de un camino es un proceso que tiene diferentes etapas, desde una etapa inicial, con un deterioro lento y poco visible, pasando luego por una etapa crítica donde su estado deja de ser bueno, para luego deteriorarse rápidamente, al punto de la descomposición total. Por lo tanto, el mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, sino más bien es una acción sostenida en el tiempo, orientada a prevenir los

efectos de los agentes que actúan sobre el camino, extendiendo el mayor tiempo posible su vida útil y reduciendo las inversiones requeridas a largo plazo.

Se ha observado que, en la práctica, las entidades encargadas de la conservación vial sólo se dedican a arreglar las fallas de emergencia o las más graves o visibles en base a sus asignaciones presupuestales que siempre son insuficientes. Este sistema de trabajo conduce rápidamente a la acumulación de obras atrasadas y, a mediano plazo, a la necesidad de rehabilitar o reconstruir totalmente las vías, incurriendo en mayores costos y contribuyendo a mantener a los países en su condición de subdesarrollados.

Consecuencia de ello es que en los países de Latinoamérica, así como en otros continentes, los caminos están sometidos a un ciclo que, por sus características, ha adquirido la condición de fatal.

Ese ciclo consta de cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

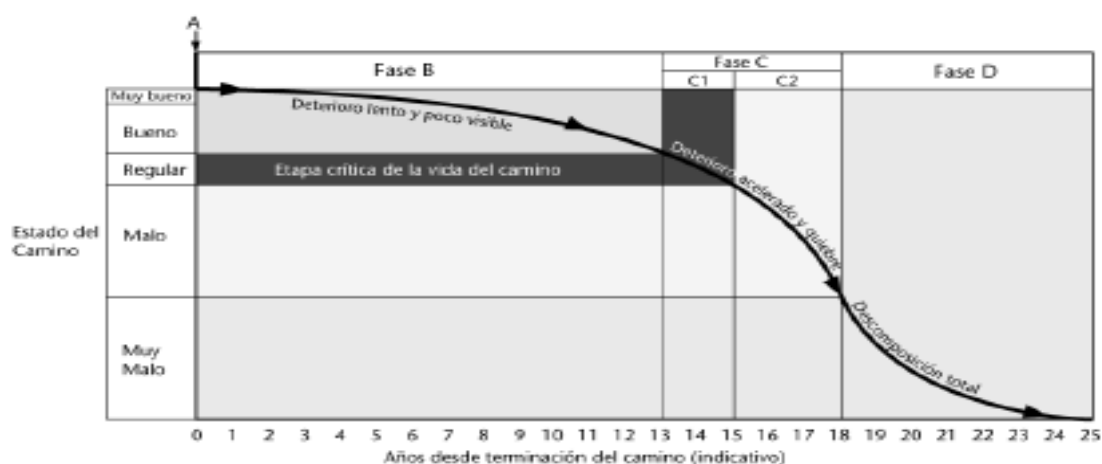


Figura 2.14 Curva de Deterioro Típico para una Carretera Pavimentada **Fuente:** CEPAL 1994

Fase A: Construcción

Un camino puede ser de construcción sólida o con algunos defectos. De todos modos entra en servicio apenas se termina la obra, es decir, el día mismo en que se corta la cinta de la inauguración.

El camino se encuentra, en ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios. (Punto A del gráfico, figura2.14).

Fase B: Deterioro lento y poco visible

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura, aunque, en menor grado, también en el resto de su estructura. Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por él, aunque también por la influencia del clima, del agua de las lluvias o aguas superficiales y otros factores. Por otro lado, la velocidad del desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial.

Para disminuir el proceso de desgaste y debilitamiento, es necesario aplicar, con cierta frecuencia, diferentes medidas de conservación, principalmente en la superficie de rodadura y en las obras de drenaje, además de efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento. Si no se efectúan, la vida útil del camino se reduce sustancialmente.

En épocas anteriores, la conservación de las vías durante esta fase ha sido prácticamente nula, debido a la no asignación de recursos o a que los recursos eran asignados a los caminos que se encontraban en muy mal estado. Pero también ha actuado en contra el mal entendido concepto del “diseño del camino para un determinado número de años”. Suele decirse que un camino está diseñado para un número determinado de años, lo que lleva a que muchas personas supongan, equivocadamente, que durante ese período no hay necesidad de conservarlos, sino reconstruirlos después del tiempo estipulado. Incluso hay ingenieros viales que consideran inevitable que al cabo de un tiempo el camino estará destruido y necesitará una reconstrucción.

Durante la fase B (ver gráfico, figura 2.14), el camino se mantiene en aparente buen estado y el usuario no percibe el desgaste, a pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas. El camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado en el pleno sentido del término.

Fase C: Deterioro acelerado

Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos del camino están cada vez más “agotados”; el camino entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular (ver gráfico, figura 2.14). Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta y la percepción de los usuarios es que el camino se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así. Avanzando más en la fase C, se pueden observar cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura

básica, lo cual, lamentablemente, no es visible. En otras palabras, cuando la superficie de rodadura presenta fallas graves que pueden verse a simple vista, es posible asegurar que la estructura básica del camino está siendo seriamente dañada.

Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte del camino. Esta fase es relativamente corta, ya que una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada.

Fase D: Descomposición total

La descomposición total del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una fracción de la original. Los vehículos comienzan a experimentar daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis

En general, los costos de operación de los vehículos suben de manera considerable y la cantidad de accidentes graves también aumenta. Los automóviles ya no pueden circular y sólo transitan algunos camiones y vehículos especiales.

Desgraciadamente, en Latinoamérica existen muchos ejemplos “perfectos” de carreteras que han llegado a esta fase de descomposición, habiéndose llegado al deterioro total de caminos que son vitales para la vida económica y social del país, convirtiéndose en una verdadera pesadilla. Su reconstrucción viene demandando la inversión de muchos millones de dólares, que como ya se dijo, provienen no sólo de la utilización de una parte considerable de los impuestos recaudados por el Estado, sino también del endeudamiento internacional. Este gasto, sin embargo, pudo haberse evitado si se hubiera intervenido oportunamente en el proceso de mantenimiento carretero. Muchos países han asimilado esta experiencia traumática y han aprendiendo la lección a un costo muy elevado. Se trata ahora de asimilar la lección y evitar que con el paso del tiempo sea olvidada.

CICLO DE VIDA DESEABLE

El proceso de ciclo de vida sin mantenimiento se le puede denominar “fatal”, porque conduce al deterioro total del camino, pero con la aplicación de un sistema de mantenimiento adecuado se puede llegar a mantener el camino dentro de un rango de deterioro aceptable, tal como se aprecia en la siguiente figura.

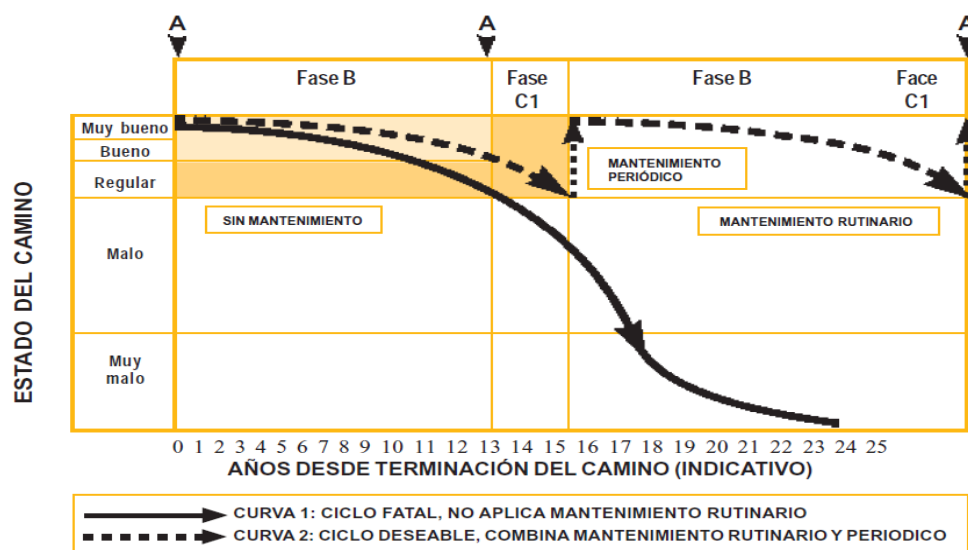


Figura 2.15 Ciclo de Vida Deseable de una Carretera Pavimentada **Fuente:** CEPAL 1994

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso que sigue un camino sin mantenimiento y otro con mantenimiento, en el que podemos apreciar que la falta de mantenimiento permanente conduce inevitablemente al deterioro total del camino, mientras que la atención constante del mismo mediante el mantenimiento rutinario, sólo requiere, cada cierto tiempo, trabajos de mantenimiento periódico.

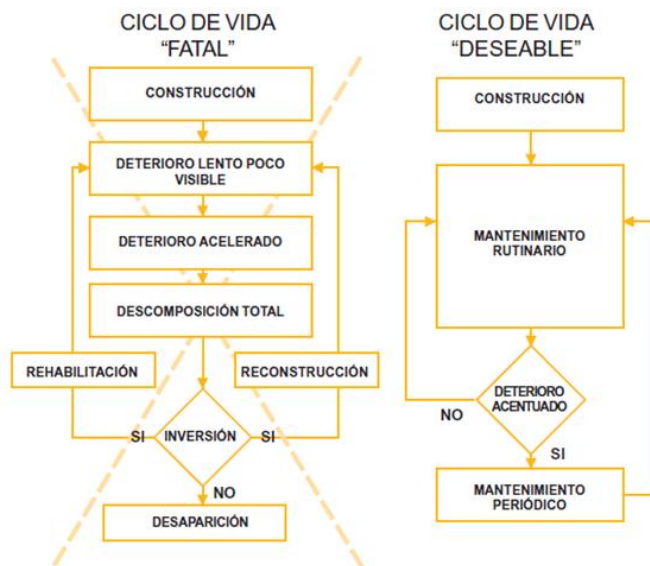


Figura 2.16 Diagrama de flujo del ciclo de vida fatal y deseable **Fuente:** O.I.T.

Se considera que es posible lograr una adecuada conservación de los caminos, estableciendo un ciclo deseable de vida del camino. Así, si el ciclo se inicia con un camino nuevo o recientemente rehabilitado, éste se encontrará en un estado óptimo de servicio. Pero el uso del camino va generando un desgaste “natural” del mismo, principalmente como consecuencia del flujo vehicular y de los factores climáticos.

Si la autoridad competente desarrolla un sistema de mantenimiento rutinario del camino, este desgaste tenderá a ser más lento y prolongará en el tiempo la necesidad de intervenir con un mantenimiento de tipo periódico.

Puede observarse que el mantenimiento rutinario prolonga el estado de conservación del camino en el nivel muy bueno y bueno por más tiempo, en comparación con el caso del camino al que no se le brinda este tipo de mantenimiento.

El estado de conservación de muy bueno a regular en un camino no mantenido puede prolongarse por un período aproximado de dos a tres años, mientras que con el mantenimiento rutinario este período se puede prolongar hasta unos cuatro a cinco años. Cuando el camino llega a un estado regular, es decir cuando la superficie de rodamiento ha perdido la capa asfáltica y empieza a mostrar la estructura de base del camino se hace necesario realizar un mantenimiento de tipo periódico, es decir reponer la capa asfáltica.

De esta manera, se consigue que el camino se mantenga en un estado óptimo de conservación, con los beneficios consiguientes para el transporte: menores tiempos de circulación, ahorro en combustible y repuestos de los vehículos, menores costos de operación y tarifas más baratas del transporte de carga y pasajeros, acceso a vehículos livianos, mayor acceso de la población a los mercados y servicios, etc.

Un camino no mantenido, en cambio, después del segundo año empieza a dar dificultades para el transporte: mayores tiempos de circulación, mayor consumo de combustible y repuestos, mayores costos de operación del transporte, acceso sólo a vehículos pesados, tarifas más altas del transporte, menor acceso de la población a los mercados y servicios, etc.

NIVELES DE INTERVENCIÓN EN LA CONSERVACIÓN VIAL

Se denomina niveles de intervención a las diversas acciones relacionadas con la vía, clasificadas de acuerdo a la magnitud de los trabajos, desde una intervención sencilla pero

permanente (mantenimiento rutinario), hasta una intervención más costosa y complicada (reconstrucción o rehabilitación).

Uno de los objetivos primordiales de la conservación vial es evitar, al máximo posible, la pérdida del capital ya invertido, mediante la protección física de la infraestructura básica y de la superficie del camino. La conservación procura específicamente evitar la destrucción de partes de la estructura de los caminos y su posterior rehabilitación o reconstrucción. La conservación constituye, por tanto, en la realización de actividades o tareas que no impliquen modificar la estructura existente del camino.

Los tres propósitos principales del mantenimiento del camino son:

- . Prolongar la vida del camino y alargar la fecha en la que se requiera la renovación.
- . Reducir los costos de operación de los vehículos en los caminos.
- . Mantener los caminos abiertos y permitir mayor regularidad, puntualidad, y seguridad de los servicios de transporte por camino.

MANTENIMIENTO RUTINARIO

Consiste en la reparación localizada de pequeños defectos en la superficie de rodadura; en la nivelación de la misma y de las bermas; en el mantenimiento regular de los sistemas de drenaje (zanjas, cunetas, etc.), de los taludes laterales, de los bordes y otros elementos accesorios de las vías; en el control del polvo y de la vegetación; la limpieza de las zonas de descanso y de los dispositivos de señalización. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía.

Las actividades, en general, consideradas como mantenimiento rutinario son las siguientes:

- Limpieza de calzada y pequeños derrumbes.
- Reparación localizada de pequeños defectos en la superficie de rodadura.
- Mantenimiento de los sistemas de drenaje.
- Control de la vegetación y mantenimiento de señalización.

MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Aunque este concepto puede inducir a error, pues todas las actividades de conservación son periódicas, es decir que deben ser repetidas cada cierto tiempo, se ha optado por la utilización de este término, pues se diferencia del mantenimiento rutinario en que las actividades “periódicas” se realizan cada cierto número de años. Se aplica generalmente al tratamiento y renovación de la superficie de la vía.

El tratamiento de superficie se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural. Entre sus características está la de preservar en buena forma la textura de la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del camino por un tiempo más prolongado y evite su destrucción. En un camino afirmado, se refiere a la reaplicación de la capa asfáltica, cuando ésta aún se encuentre en un estado regular de conservación, antes de llegar al mal estado.

Las actividades contenidas dentro de los trabajos de mantenimiento periódico pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Restablecimiento de las características de la superficie de rodadura.
- Reparación de obras de arte.
- Reparación del sistema de drenaje.

REHABILITACIÓN

Consiste en la reparación selectiva y de refuerzo estructural, previa demolición parcial de la estructura existente. La rehabilitación procede cuando el camino se encuentra demasiado deteriorado como para poder resistir una mayor cantidad de tránsito en el futuro, pudiendo incluir algunos mejoramientos en los sistemas de drenaje y de contención. La rehabilitación tiene como propósito restablecer la capacidad estructural y la calidad de la superficie de rodadura.

En la mayoría de casos, la rehabilitación se hace cuando no ha existido una conservación adecuada, pero en un esquema sano de conservación sólo debería ser ocasionalmente necesaria, como cuando deben rehabilitarse fracciones defectuosas de una vía nueva. Debe señalarse al respecto que estos defectos se producen por falta de homogeneidad en la ejecución de la obra, imposible de evitar completamente al momento de su construcción.

Las actividades contenidas dentro de los trabajos de rehabilitación pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Restablecer la capacidad estructural y la calidad de la superficie de rodadura.
- Mejorar el sistema de drenaje.

MEJORAMIENTO

Se refiere a la introducción de mejoras en los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, incluidos los trabajos relacionados a la renovación de la superficie y la rehabilitación. El objetivo de estas labores es incrementar

la capacidad del camino y la velocidad de circulación, sí como la seguridad de los vehículos que por él transitan. En sentido estricto, estos trabajos no son considerados como actividades de conservación, excepto la renovación de superficie.

REPARACIONES DE EMERGENCIA

Son aquellas que se realizan cuando el camino está en mal estado o incluso intransitable, como consecuencia del descuido prolongado o de un desastre natural, por no disponerse de los recursos necesarios para reconstruirlo o rehabilitarlo, que es lo que correspondería hacer. Mediante una reparación de emergencia no se remedian las fallas estructurales, pero se hace posible un flujo vehicular regular por un tiempo limitado. Generalmente, las reparaciones de emergencia dejan el camino en estado regular.

2.13.2. COSTOS DE LA CONSERVACIÓN VIAL

Una política sana de conservación, representa un costo que debe ser asumido por la entidad gubernamental responsable de la gestión vial. En el caso de los caminos vecinales, ésta responsabilidad será de los municipios; y en el caso de los caminos secundarios, será de los gobiernos departamentales.

Costos directos

El costo del mantenimiento rutinario puede variar entre US\$ 700 a US\$ 1,200 por km/año, según la naturaleza del camino, la carga de trabajo asignada a la microempresa que se dedica a esta labor, el volumen de tráfico que soporta la vía y el estándar de vida de la localidad, entre otros aspectos.

En los proyectos piloto impulsados por la OIT que se impulsó en Santa Cruz, Bolivia, la tarifa ha sido establecida en US\$ 70 por km/mes o US\$ 840 por km/año.

El costo del mantenimiento periódico puede variar entre US\$ 2,500 y US\$ 8,000 por kilómetro, dependiendo básicamente de la cantidad de material de relleno que se necesitará, de la proximidad de las canteras que proveen dicho material, del costo de la mano de obra en la zona, etc. Pero, en general, este costo debe ser resultado de la elaboración de un expediente técnico de la vía.

El costo de la rehabilitación, ha variado entre US\$ 9,000 y US\$ 18,000 por kilómetro, dependiendo de la calidad del terreno, del grado de deterioro de la vía y del sistema de

drenaje, entre otros. En este caso, los montos de inversión definitiva se precisaron mediante estudios de factibilidad para cada vía.

El costo de las actividades de mejoramiento puede variar considerablemente, según el tipo de mejora que deba realizarse y de la complejidad de los mejoramientos geométricos que requiera la vía. Al igual que en los casos anteriores, se requieren estudios específicos.

El costo de reconstrucción de una vía completamente deteriorada, puede llegar a ubicarse entre los US\$ 30,000 y US\$ 40,000, dependiendo del grado de deterioro de la vía y de los costos operativos de la zona de intervención.

Costo de conservación de una vía afirmada

Mantener una vía afirmada en buen estado de operación, significa incurrir permanentemente en un costo de mantenimiento rutinario y cada 4 a 5 años en un mantenimiento periódico:

Costo promedio del mantenimiento rutinario: = US\$ 800 km/año

Costo promedio del mantenimiento periódico: \$ 3,000 por km/4 años = US\$ 750 km/año

Costo promedio anual del mantenimiento: US\$ 800 + US\$ 750 = US\$ 1,550 km/año

Para efectos comparativos, se estima que en un esquema de operación sin mantenimiento, la rehabilitación de una vía puede ser necesaria a partir del quinto año de operación, lo que significaría incurrir en un costo promedio de US\$ 2,600 por año (US\$ 13,000 / 5).

En el caso de que no se realice una rehabilitación al cuarto o quinto año, el deterioro de la vía podría llegar hasta el nivel en que se necesite una reconstrucción total, lo que llegaría a representar un promedio de US\$ 5,000 por año, si se considera que esta reconstrucción debería ocurrir a partir del séptimo año (US\$ 35,000 / 7 años).

Un esquema sano de conservación permite:

- Mantener las vías en forma permanente a un costo razonable (sostenibilidad).
- Optimizar la relación beneficio-costos (no significa gastar lo mínimo).
- Racionalizar el uso de los recursos.
- Reducir al mínimo el daño al medio ambiente.

2.13.3. SISTEMAS DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

En este contexto, se entiende por sistema de gestión del mantenimiento de pavimentos, el conjunto de operaciones para conservar por un periodo de tiempo las condiciones de

seguridad, comodidad y capacidad estructural adecuadas, soportando condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión.

Todo lo anterior, minimizando los costos monetarios, sociales y ecológicos.

Su objetivo básico, es usar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, otorgar alternativas realistas y contribuir a la eficiencia y a la toma de las decisiones, para así conseguir un programa de acción económicamente óptimo y en el cual se provea una retroalimentación de las consecuencias de las decisiones tomadas, como medio de asegurar su efectividad.

NIVELES EN LA GESTION DE PAVIMENTOS

La gestión de pavimentos opera en dos niveles principales, los que se conocen como nivel de proyecto y nivel de red y que se consideran como las instancias más importantes en la toma de decisiones.

El nivel de red tiene por propósito el desarrollo de un programa prioritario y organizado de rehabilitación, mantención o construcción de nuevos pavimentos teniendo en cuenta la restricción de presupuestos correspondiente. Para tales efectos se debe considerar la condición de los pavimentos en cuanto a su serviciabilidad o al porcentaje de pavimento deficiente que existe en la red, mediante la recolección de datos que permitan determinar esas características.

En la gestión a nivel de proyecto, se establece un conjunto de estrategias que minimicen los costos totales de ciclo de vida del pavimento, en los que se incluye los de construcción y/o mantenimiento, además de los de usuarios, mientras se satisfacen las restricciones de tipo físicas y administrativas, tales como requerimientos de comportamiento, rugosidades máximas o mínimas y disponibilidad de fondos, entre otros.

ESTRUCTURA GENERAL DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS

Debe considerarse que un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP), como todo sistema, está fundamentado en un ciclo que comprende las etapas siguientes:

Planeación, comprende las etapas de adquisición de información, evaluación de deficiencias de la red, asignación de prioridades, cálculo de costos y programación para realizar los trabajos necesarios. En esta fase se toman las decisiones de inversión, reconociendo las restricciones de presupuesto.

Programación. Determinación de que sectores de la red o proyectos que podrán ser intervenidos con los recursos disponibles en el siguiente periodo presupuestario.

Ejecución y Control. Comprende la ejecución de tareas referidas al desarrollo de un programa de trabajo de conservación en función a los presupuestos disponibles, que además puede considerar alternativas de diseño y construcción.

Evaluación de Resultados/Retroalimentación. Se establece una medición periódica de factores funcionales y estructurales.

Este ciclo se acostumbra representarlo gráficamente por un circuito cerrado, esto indica que cada etapa o subsistema está basada en un proceso de evaluación y retroalimentación, en el cual al término de cada ciclo, luego de comparar los resultados obtenidos con las metas originalmente fijadas se reajustan los parámetros que son utilizados en la siguiente etapa de planeación, lo cual permite que todos los procedimientos se vayan perfeccionando progresivamente conforme se van repitiendo ciclos sucesivos del sistema con base en un mayor número de datos reales (Fig. 2.17).

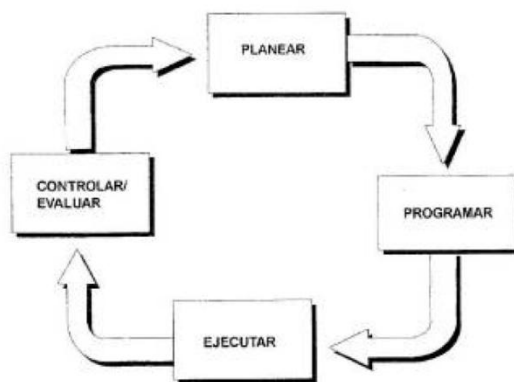


Figura 2.17 Fases de un Sistemas de Gestión **Fuente:** A.B.C.

2.14. ESTUDIO DE SUELO DE LA SUBRASANTE

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

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la

expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

El análisis del suelo que está conformada la subrasante es importante ya es la capa sea para la elaboración de diferentes construcciones, para esto se debe contar con datos seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está tratando.

La mayoría de los caminos en nuestro medio requieren de costosos mantenimientos, esto se debe a que no se realizan buenos estudios de suelos, con relación a la carga de diseño con la que fueron diseñados y construidos por lo que es importante realizar el análisis de la subrasante para determinar si las fallas que presenta el pavimento están relacionadas con la conformación de la subrasante, para buscar alternativas de mejoramiento de esta capa basados en estudios de suelos en laboratorio.

Los ensayos de laboratorio son características básicas para calificar la calidad del suelo de fundación y los materiales a ser empleados en un pavimento y son de mucha utilidad para un análisis de los mismos a través de los ensayos que más se aplican y que caracterizan a este tipo de proyectos, como ser granulometría, límites de Atterberg, clasificación, compactación, densidad y C.B.R.

Dentro del análisis a efectuara, nos referimos también a aspecto como las propiedades ingenieriles del material usado en la conformación de la subrasante del empedrado.

2.14.1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Granulometría es la determinación de los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla que se encuentra en cierta masa de suelo.

El método mecánico se usa en caso de que los suelos sean granulares lo que permite fácilmente determinar los porcentajes de grava y arena mediante el uso de un juego de tamices. Estos tamices con aberturas calibradas, varían desde 10.16 cm. que equivale a 4" hasta 0.074 mm. que equivale al tamiz No 200 que significa que una pulgada está dividida en 200 partes iguales, los cuales pertenecen a la serie de tamices de U.S. Bureau of Standard.

El análisis granulométrico consiste en pasar el suelo por una serie de tamices, previo conocimiento del peso total de la muestra; la parte del suelo retenido por cada tamiz se

calcula en forma individual con relación al peso total y seguidamente se determina los porcentajes que pasan por cada tamiz.

2.14.2. LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

Consistencia es el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura. Los límites de consistencia o de Atterberg de un suelo están representados por contenido de humedad, los cuales se conocen con los nombres de Límite Líquido y Límite Plástico.

LÍMITE LÍQUIDO (LL)

Es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquida y plástica de un suelo.

El límite líquido de un suelo da una idea de su resistencia al corte cuando tiene un determinado contenido de humedad. Un suelo cuyo contenido de humedad sea aproximadamente igual o mayor a su límite líquido tendrá una resistencia al corte prácticamente nulo.

LÍMITE PLÁSTICO (LP)

Es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia plástico y semisólido de un suelo.

ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

Se señala como la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico. De esta forma se indica el intervalo de contenido de agua dentro del cual el suelo tiene una condición plástica.

Los suelos arenosos y los limos tienen características una bajo índice de plasticidad, en tanto que los suelos arcillosos presentan valores elevados del mismo. Los suelos que no tienen un límite plástico, como las gravas arenosas sin cohesión, se clasifican como suelos no plásticos (NP).

2.14.3. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Para determinar la clase de suelo estudiado se ha tomado la clasificación de suelos AASTHO, donde los suelos se clasifican en siete grupos, basándose en la composición granulométrica, en el límite (LL) y el índice de plasticidad (IP).

La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su índice de grupo (IG), el cual es calculado mediante la fórmula empírica que se muestra en el cuadro de clasificación.

TABLA DE CLASIFICACIÓN

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupo:	A-1		A-3					A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP (1)	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín (2) 11 mín
Constituyentes principales	Fracmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

(1): No plástico

(2): El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30

El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30

Índice de grupo :

$$IG = (F - 35) \cdot [0,2 + 0,005 \cdot (LL - 40)] + 0,01 \cdot (F - 15) \cdot (IP - 10)$$

Siendo :

F : % que pasa el tamiz ASTM n° 200.

LL : límite líquido.

IP : índice de plasticidad.

Tabla 2.16 Clasificación de Suelos Método AASTHO **Fuente:** AASTHO

2.14.4. COMPACTACIÓN

Se entiende por compactación de los suelos el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Se distingue de la consolidación de los suelos en que, en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de difusión; ambos proceso involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el *aumento de resistencia y disminución de la capacidad de deformación* que se obtienen al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, pavimentos, etc. Algunas veces se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de cimentaciones sobre arenas sueltas.

La estabilidad de una obra vial exige, entre otras cosas, que los terraplenes y las diferentes capas de rodamientos se hallen debidamente compactados.

A fin de que el material a compactarse alcance la mayor densidad posible en el terreno, deberá tener una humedad adecuada en el momento de la compactación.

Esta humedad, previamente determinada en un laboratorio de suelos, se llama “*humedad óptima*” y la densidad obtenida se conoce con el nombre de “*densidad máxima*”.

2.14.5. DENSIDAD IN SITU

El concepto básico se refiere a la medida de la densidad en el terreno. Esta puede hacerse extrayendo una muestra de la capa compactada y midiendo el volumen del hueco dejado por el material extraído.

Es sabido que la compactación se aplica a suelos con el fin de mejorar sus características de compresibilidad, relación esfuerzo-deformación y resistencia. Atendiendo al problema de compactación para la formación de estructuras para vías terrestres, que es uno de los usos más corrientes e importantes de los materiales compactados, las características de éstas pueden medirse con base en el laboratorio. Sin embargo, para verificar si el terreno que va a servir de capas del pavimento a construirse ha sido debidamente compactado, deben determinarse la densidad y la humedad del material, a fin de comparar estos resultados con la densidad máxima y la humedad óptima obtenidas previamente en laboratorio.

En las especificaciones de construcción, la calidad requerida del suelo compactado se fija generalmente en términos de la densidad seca máxima y no en función de la compresibilidad y resistencia que posea el material compactado; esto es debido tanto a cuestiones de orden práctico, de igual forma se exige un control del contenido de agua de los suelos durante la compactación.

2.14.6. C.B.R.

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

2.15. ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

El tráfico es uno de los parámetros de diseño fundamental, pero siempre se pueden presentar algunas imprecisiones en la determinación de esta variable, dependiendo del método utilizado, siendo necesaria la determinación a objeto de que sirva de guía en el cálculo estructural del pavimento y de esta forma conocer la sollicitación a que se verá sometido éste, durante su vida útil.

Podemos mencionar sintéticamente, que en un estudio de trafico, se analiza el factor de transito y el volumen intenso de trafico, determinan el ancho del pavimento, mientras que el peso de la frecuencia de las cargas de los ejes o ruedas de los vehículos determinan el espesor y otras características del diseño estructural.

El transito es la carga que a de soportar el pavimento y sus efectos, así como los factores climáticos, que deben garantizar los niveles no destructivos durante la vida útil de la vía para la que se diseña el pavimento.

El transito varia en intensidad y numero de vehículos, en calidad y peso de los mismos, y es una carga móvil, repetida, causante de esfuerzos transitorios, deformaciones elásticas y plásticas y de efectos especiales relativamente poco conocidos, como la fatiga, el rebote elástico, etc.

2.15.1. TRÁNSITO PROMEDIO HORARIO (T.P.H.)

Los volúmenes horarios a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico son más significativos, porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Cuando no es posible tener información sobre el Tránsito Promedio Horario se puede utilizar la relación establecida por el Método AASTHO para el diseño de pavimentos flexibles y por la AIPCR organismo que ha estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen la siguiente relación:

$$TPH = (12\% - 15\%) TPD$$

2.15.2. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO (T.P.D.)

Se llama T.P.D. al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un cierto periodo de tiempo, que normalmente es el de un año. En general para su determinación se realizan conteos vehiculares en secciones de rutas determinadas donde existen cambios significativos de los volúmenes.

Es una de las variables fundamentales para determinación del número de ejes equivalentes que solicitarán el pavimento, constituyéndose por ello en un dato muy importante a la hora de calcular las cargas que circularán por la calzada

2.15.3. CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Un aspecto de significativa importancia lo constituye el conocimiento de la composición del tráfico ya que con este dato se estima la configuración y el número de vehículos pesados que son los que interesan al problema que se trata.

La base para el estudio del tráfico vehicular es naturalmente el conocimiento de las características del tráfico actual. Ese conocimiento se lo puede adquirir basándose en la realización de conteos vehiculares, pero teniendo en consideración que en este proceso intervienen varios factores que hay que tomar muy en cuenta, como son:

- Condiciones físicas de la carretera.

- La economía local, nacional o internacional, ya que el tráfico puede reflejar periodos de desarrollo o recesión, el movimiento variable de exportación o importación, etc.
- Época del año: lluvioso, seco.
- Afluencia vehicular por: días de mercado, días de fiesta, accidentes, etc.

2.15.4. PROYECCIÓN DEL TRÁFICO FUTURO

Para determinar políticas de mantenimiento ó mejoramiento de la vía existente no deben basarse solamente en se las características del volumen del tráfico actual, sino que se debe tomar en cuenta también el trafico probables en años futuros. De esta manera el volumen de de trafico ha de corresponder al del año al año de vida útil que tendrá esta carretera desde su puesta en servicio.

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso del tiempo de un eje con una carga y para que resistan en número decapas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y para efectos de cálculo se les transforma en un numero de ejes equivalentes de 80 KN o 18 kips que se les denomina Equivalent Simple Axial Load o ESAL (ejes equivalentes).

$$W_{18} = \sum (TPD)_i * (FC)_i * (FCE)_i * 365 \quad \text{Ecu. 2.10}$$

Donde:

W18 = Número de ejes Equivalentes

(TPD)_i = Tráfico promedio diario del vehículo tipo i, en el primer año de circulación.

(FC)_i = Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

(IC)_i = Índice de crecimiento del vehículo tipo i.

(N) = Número de años hasta el período de diseño: 1, 2, 3, 4,10,20 años.

(FCE)_i = Factor de carga equivalente del vehículo tipo i.

Para el cálculo de los ejes equivalentes, se utiliza la metodología de la AASHO. Este método proporciona en la Tabla 2.17, factores de equivalencia de la carga o coeficientes de daño para ejes sencillos, dobles o triples, incluyendo cargas sobre el eje desde 0.5 toneladas (1,000 lb) hasta 41 toneladas (90,000 lb), lo que se considera cubre sobradamente cualquier condición de peso de vehículos de carga en cualquier red de carreteras, desde rurales hasta

grandes autopistas para analizar el daño que produjeron en un determinado tiempo de vida del pavimento.

Carga Total por Eje o Conjunto de Ejes.		Factores de Equivalencia de Carga.		
Kn	lb	Eje Sencillo	Ejes dobles	Ejes Triples
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249.0	56,000		7.41	1.91
258.0	58,000		8.45	2.20
267.0	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320.0	72,000		19.16	5.03
329.0	74,000		21.32	5.57
338.0	76,000		23.66	6.15
347.0	78,000		26.22	6.78
356.0	80,000		29.00	7.45
364.7	82,000		32.00	8.2
373.6	84,000		35.30	8.9
382.5	86,000		38.80	9.8
391.4	88,000		42.60	10.8
400.3	90,000		46.80	11.8

Tabla 2.17 Factores de Equivalencia de Carga **Fuente:** AASTHO

ÍNDICE DE CRECIMIENTO

Este parámetro constituye unos importantes datos para obtener el porcentaje anual de crecimiento de los diferentes vehículos que se producen durante el periodo de diseño adoptado. Para su determinación se usa un proceso iterativo con ayuda de la ecuación que se señala a continuación.

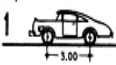
$$(FC)_i = \left[1 + \frac{(IC)_i}{100} \right]^{(N)} \quad \text{Ecu. 2.11}$$

(FC)_i = Factor de crecimiento del vehículo tipo *i*.

El proceso consiste en dar valores de *i* de tal forma que la suma de los tráficos promedios diarios hasta el año de diseño obtenidos con las ecuaciones de regresión sea igual a la suma de los tráficos promedios diarios iterando la formula señalada.

DESCRIPCIÓN DE TRÁNSITO

El conocimiento de la composición del tránsito es un parámetro que toma en cuenta las características de los vehículos las cuáles pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que en la actualidad circulan tipos de vehículos muy variados. Para simplificar este análisis es conveniente agrupados en categorías constituidos por vehículos de características similares.

A_p  1					
	W _{VAC}	1.0	0.9		
	W _{CARG}	1.0	0.9		
	Σ	2.0	1.8		
A_c  2					
	W _{VAC}	1.6	1.2		
	W _{CARG}	3.3	1.2		
	Σ	4.9	2.4		
B  3					
	W _{VAC}	4.2	3.0		
	W _{CARG}	8.3	7.0		
	Σ	12.5	10.0		

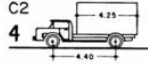
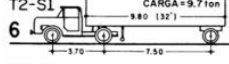
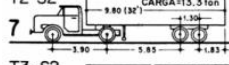
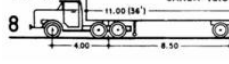
C2  4					
	W _{VAC}	2.5	1.5		
	W _{CARG}	6.8	2.7		
	Σ	9.3	4.2		
C3  5					
	W _{VAC}	2.6	1.7		
	W _{CARG}	14.0	5.2		
	Σ	16.6	6.9		
T2-S1  6					
	W _{VAC}	3.0	2.5		
	W _{CARG}	7.8	3.6		
	Σ	10.8	6.1		
T2-S2  7					
	W _{VAC}	4.0	3.5		
	W _{CARG}	12.1	3.8		
	Σ	16.1	7.3		
T3-S2  8					
	W _{VAC}	3.9	3.5		
	W _{CARG}	13.0	5.4		
	Σ	16.9	8.9		

Tabla 2.18 Configuración de Ejes de los Vehículos **Fuente:** AASTHO

La clasificación vehicular por grupos es de la siguiente manera:

LIVIANOS

- 1) Automóviles, Vagonetas, Camionetas (Hasta 4,9 Ton).

MEDIANOS

- 1) Camión pequeño (Hasta 16,6 Ton)

PESADO

- 1) Camión grande (Hasta 24,9 Ton)

2.16. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL EMPEDRADO

Actualmente no se cuenta con ningún método racional específico para el diseño de espesores de pavimentos empedrados, siendo común el uso de espesores adaptados de diseños de otros tipos de pavimentos.

La obtención de fórmulas racionales que ligen el comportamiento del empedrado con la calidad de la subrasante es dificultosa por el mecanismo estructural un tanto complicado de éste, pero llegando a la conclusión de que se trata de un pavimento de tipo flexible, puede

adaptarse a su diseño un método similar a los utilizados en el diseño de pavimentos asfálticos.

Haciendo esta consideración el Instituto del Cemento Portland Argentino ha adaptado el método de diseño de pavimentos flexibles del CBR para pavimentos articulados.

Un método adecuado para el diseño de pavimentos articulados, es del Ing. Williams Mills que ha efectuado un estudio de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles, habiendo encontrado un método que mejor se adapta a las condiciones para diseñar un pavimento articulado de piedra. Este método toma como factor principal el CBR auxiliado por el índice de grupo, un factor adicional que toma en cuenta el drenaje de la superficie y considera además la intensidad y peso del tráfico.

2.16.1. FACTORES ADAPTADOS AL MÉTODO DE MILLS PARA CALCULAR EL ESPESOR DE PAVIMENTOS DE EMPEDRADO

La fórmula empleada en el método del Ing. William Mills para el cálculo de espesores en pavimentos flexibles incluye el espesor total del pavimento dado por el valor soporte C.B.R. de la subrasante, el espesor total del pavimento dado por el índice de grupo así como un espesor extra por mal drenaje.

$$T_{sb} = \left\{ \left[\frac{(2 * T_c + T_g)}{3} \right] - (S + B + L) \right\} * F_d \quad \text{Ecu. 2.12}$$

Donde:

T_{sb} = Espesor de subbase

T_c = Espesor total del pavimento indicado por el método del CBR, espesor que depende del CBR de la subrasante. Figura 2.18

T_g = Espesor total de pavimento indicado por el método del índice de grupo, espesor que depende del índice de grupo de la subrasante. Figura 2.19

S = Espesor de capa de rodado.

B = Espesor de capa de base. Tabla 2.20

L = Espesor de capa de asiento.

F_d = Factor de incremento de espesor por mal drenaje. Tabla 2.22

Debe cumplirse además que:

$$\frac{2 * T_c + T_g}{3} \geq T_c$$

En caso de ser menor se utilizará el valor de T_c .

a. TRÁFICO

La estimación del tráfico que usará el pavimento debe considerar los conteos actuales y las actividades del área a que servirá la pista a construir, así como posibles usos futuros; sin embargo, Mills estima más importante el peso máximo de los vehículos que su número; un solo vehículo excesivamente pesado puede causar más daño a un pavimento que mil vehículos ligeros.

Sin embargo, el número de aplicaciones de carga tiene un efecto y por ello la clasificación del tráfico considera tanto el número como el peso de los vehículos. Ver tabla 2.19.

TIPO DE TRÁFICO	TRÁFICO TOTAL DURANTE 24 HORAS			CARGA DE DISEÑO (lb./rueda)
	TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIONES PESADOS *	
PESADO	3,000 MÍNIMO	700 MÍNIMO	150 MÍNIMO	14,000
MEDIANO	1,000 - 3,000	250 - 700	50 - 150	12,000
LIVIANO	1,000 MÁXIMO	250 MÁXIMO	50 MÁXIMO	10,000
(*) 18,000 a 24,000 libras por eje				

Tabla 2.19 Carga de Diseño **Fuente:** Manual de Pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

b. CAPA DE RODADURA O SUPERFICIE

La capa de rodadura está constituida por las piedras en sí. Las piedras a usar deben tener adecuada resistencia a la compresión y al desgaste. Como el tamaño de las mismas son variables, mayormente se utilizan espesores de piedra de 10 que es el promedio de las piedras que se utilizan para el empedrado que varían entre 8 a 12 cm.

c. LECHO O CAMA DE ASIENTO

Esta capa tiene la función de absorber las irregularidades y diferencias de tamaño, de las piedras, ayudando a mantenerlas juntas.

El espesor de la capa de arena una vez compactada, debe ser de 2 a 3 cm.

Se debe utilizar arena limpia o arena limosa sin finos arcillosos con un tamaño máximo de grano de 5 mm. y no debe contener materia orgánica.

El lecho de arena sobre el cual se colocan las piedras no es objeto de diseño, ya que no tiene una función estructural; su espesor se fija de acuerdo a lo indicado.

d. CAPA BASE

Generalmente la capa base, al igual que la capa de superficie, se conserva con un espesor uniforme a lo largo de todo el proyecto, variando solamente el espesor de la subbase de acuerdo con la calidad del suelo de subrasante. La tabla 2.20 da los espesores de base en función del tráfico previsto y establece ciertos valores límites en las propiedades de los materiales a usar.

CLASIFICACIÓN DE TRÁFICO	GRANULOMETRÍA PARA MATERIALES AASHO M - 147 *	ESPESOR MÍNIMO (cm)	CBR DE 55 GOLPES MÍNIMO (%) AASHO T - 193	LÍMITE LÍQUIDO MÁXIMO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD MÁXIMO
PESADO	col. A o B	20	90	25	6
MEDIANO	col. A,B,C o D	18	75	25	7
LIVIANO	col. A,B,C,D,E o F	15	60	27	8

Tabla 2.20 Requisitos para la Capa Base **Fuente:** Manual de Pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

TAMIZ NÚM.	PORCENTAJE EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA					
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D	TIPO E	TIPO F
2"	100	100				
1"		75 - 95	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100		
No. 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
No. 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
No. 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
No. 200	2 - 8	5 - 20	5 - 25	10 - 25	6 - 20	8 - 25

Tabla 2.21 Granulometrías para la Capa Base **Fuente:** Manual de Pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

e. ESPESOR ADICIONAL POR MAL DRENAJE

El margen de espesor adicional para mal drenaje fue ideado para obtener un diseño balanceado a lo largo de todo el proyecto. Tiene el propósito de dar pavimentos de capacidad de carga uniforme empleando espesores extra de subbase donde el drenaje natural es malo.

Cuando la pendiente longitudinal de la pista es fuerte, el agua fluye rápidamente, pero al disminuir la pendiente aumenta el peligro de estancamiento de agua. El problema se

agudiza en pendientes planas especialmente en secciones de corte en trinchera donde es mayor la posibilidad de sobresaturación de la subrasante.

El espesor adicional de la subbase aumenta la profundidad de distribución de cargas en estas áreas críticas y disminuye la intensidad de las presiones transmitidas a la subrasante.

El factor no se aplica cuando la subrasante está compuesta de material de alta estabilidad y buenas propiedad de permeabilidad, o sea cuando el suelo de la subrasante tiene un CBR igual o mayor que 20 y un índice de grupo igual o menor que 3. En la tabla 2.22 se da el factor para espesor adicional por mal drenaje.

SECCIÓN TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL (%)	ESPESOR MÍNIMO (cm.)	FACTOR DE INCREMENTO
CORTE	0	20	1.25
RELLENO	0	15	1.20
CORTE	1	10	1.15
RELLENO	1	5	1.10
CORTE	2	0	1.05
RELLENO	2	0	1.00

Tabla 2.22 Factor por Incremento por mal Drenaje **Fuente:** Manual de Pavimentos:
Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

Para pendientes longitudinales intermedias se debe interpolar. Para pendientes mayores del 2 por ciento no se requiere ningún incremento.

f. CAPA SUBBASE

El espesor de la subbase es determinado tomando en cuenta el espesor indicado por el método del CBR así como el indicado por el método del índice de grupo.

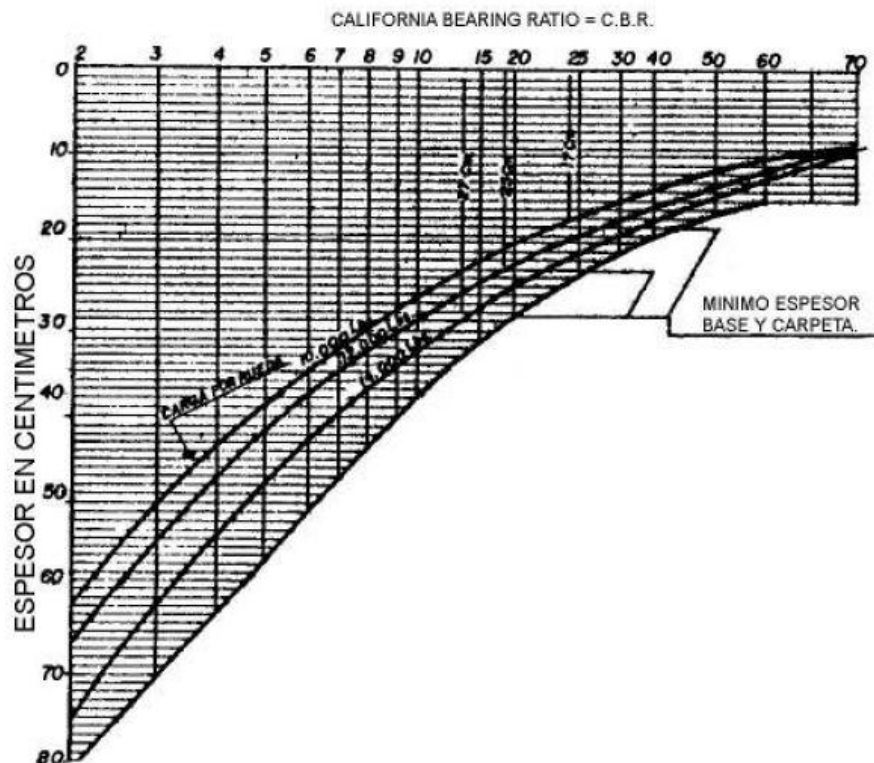


Figura 2.18 Espesor del pavimento indicado por el C.B.R. de la subrasante **Fuente:** Manual de Pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

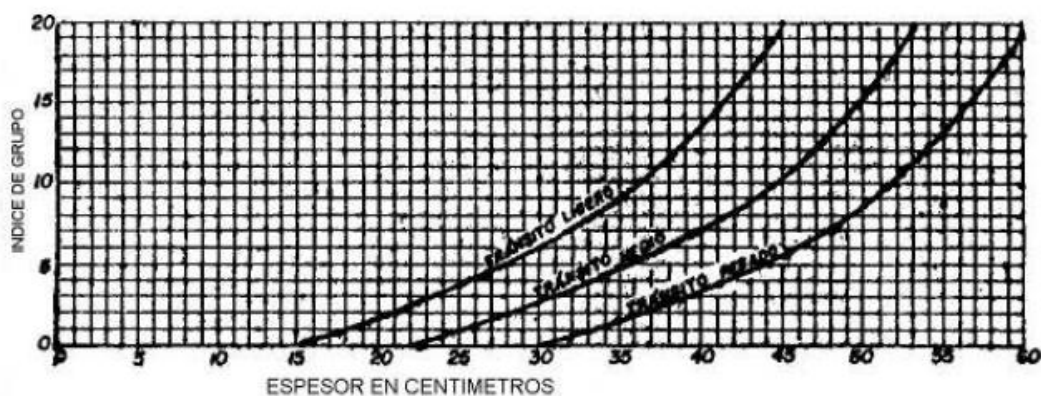


Figura 2.19 Espesor del pavimento indicado por el índice de grupo de la subrasante **Fuente:** Manual de Pavimentos: Asfalto, Adoquín, Empedrado, Concreto (Jesús Moncayo)

2.17. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO SOBRE EMPEDRADO

2.18.1. MÉTODO AASHTO

Los procedimientos y guías de diseño de la American Association of State Highway and Transportation Officials, mejor conocida como el Método AASHTO, han sido durante las últimas décadas documentos básicos para el diseño de pavimentos y desarrollo de nuevos métodos y teorías.

El método de diseño AASHTO fue desarrollado en Estados Unidos entre 1958 y 1961 basándose en ensayos viales (AASHO) a escala real efectuado en Illinois. A partir de los deterioros que experimentaron las carreteras de pruebas solicitadas con cargas conocidas, se establecieron ecuaciones que permitieron representar las relaciones deterioro - solicitud para todas las condiciones ensayadas de esta forma el ensayo vial ha aportado y continúa aportando invaluable información para el complejo comportamiento que ofrece una estructura de pavimento.

ECUACIÓN FUNDAMENTAL DEL MÉTODO AASHTO

El modelo básico del Método AASHTO, se resume en la siguiente ecuación matemática.

$$\log W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad (\text{Ecu. 2.13})$$

Donde:

$W_{18} =$	Número de eje equivalentes a 18.000 Libras que solicitaran durante el periodo de vida útil.
$Z_R =$	Desviación normal estándar para el grado de confiabilidad R elegido.
$S_o =$	Error estándar combinado de las predicciones de transito y de comportamiento
$\Delta PSI =$	Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial P_o y final P_f .
$M_R =$	Modulo Resiliente de la Subrasante.
$SN =$	Número Estructural del Pavimento.

a. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES (W_{18})

Es el número acumulado de aplicaciones de carga de ejes simples equivalentes de 80 KN, que se espera en el pavimento puede soportar en su periodo inicial de desempeño (El Tiempo desde su apertura al tráfico hasta su rehabilitación mayor). Las aplicaciones de carga de ejes simples equivalentes pueden calcularse a partir de datos de tráfico, usando un procedimiento simplificado que considera datos promedios de factor camión o también mediante un procedimiento riguroso que permite introducir diferentes factores de crecimiento no solo para los tráficos sino para los factores de camión en el entendido que las capacidades de nuevos modelos de camiones puedan incrementar con el tiempo.

b. SERVICIABILIDAD

La serviciabilidad de un pavimento está definida como la habilidad de servir a tráfico de alto volumen y alta velocidad. Se mide por medio del Índice de Serviciabilidad Actual “PSI”, que es una escala que va desde el 5 (camino perfecto) hasta 0 (camino imperfecto)

SERVICIABILIDAD INICIAL

Se llama Serviciabilidad Inicial (P_o) al valor de PSI que tendrá un pavimento inmediatamente luego de la construcción. En la mayoría de los casos la Serviciabilidad Inicial debe ser mayor a 4. Según la AASHTO tenemos:

Pavimentos Flexibles: **$P_o = 4.2$**

SERVICIABILIDAD TERMINAL

Serviciabilidad Terminal (P_t) es el valor de PSI mínimo tolerable de un pavimento. Cuando la Serviciabilidad de un pavimento alcanza este valor, se requiere rehabilitación. Para volúmenes bajos de tránsito la AASHTO recomienda un valor de **$P_t = 2.5$** para carreteras de primer orden y **$P_t = 2.0$** para carreteras de menor volumen.

Una vez que (P_o) y (P_t) son establecidos, las siguientes ecuaciones en este momento es aplicable para definir la total transformación del índice de servicialidad.

$$\Delta PSI = p_o - p_t \quad \text{Ecu. 2.14}$$

c. CONFIABILIDAD (R)

El Índice de Confiabilidad se define como la probabilidad de que el Sistema Estructural que forma el pavimento cumpla la función prevista dentro de la vida útil de la vía, bajo las condiciones (medio ambiente) que se presentan durante la operación de la carretera. Cuanto mayor es la incertidumbre, mayor es el coeficiente de seguridad. La aplicación de este coeficiente de seguridad define que el pavimento resulte sobre o subdimensionado.

TIPO DE CAMINO	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias Principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Tabla 2.23 Niveles de Confiabilidad R Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO

d. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar global (S_o) toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, propiedades del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Idealmente, estos valores deberían estar basados en condiciones locales; sin embargo, en ausencia de otros valores la Guía de Diseño de Método AASHTO proporciona valores recomendados. Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado no está considerada, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0,44. En situaciones donde se considera la variación del tráfico futuro proyectado, se recomienda un valor de **0,49** valor recomendado en la Guía del Método AASHTO, para variaciones del tráfico futuro proyectado.

CONDICION DE DISEÑO	DESVIO STANDARD
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el transito.	0.34 (Pav. Rígido)
	0.44 (Pav. Flexible)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el transito.	0.39 (Pav. Rígido)
	0.49 (Pav. Flexible)

Tabla 2.24 Desviación Estándar S_0 **Fuente:** Diseño de Pavimentos AASHTO

En la Tabla siguiente se presentan los valores extractados de la Guía del Método AASTHO, para la Desviación Estándar Normal (**ZR**), correspondientes a valores seleccionados de confiabilidad **R**.

Confiabilidad (%) (R)	Desviación Estándar Normal (ZR)
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Tabla 2.25 Desviación Estándar Normal Z_r **Fuente:** Diseño de Pavimentos AASHTO

e. MÓDULO RESILIENTE M_R

El Módulo Resiliente de un material se define como, la razón entre un esfuerzo aplicado y la deformación recuperable que tiene lugar después de que el esfuerzo aplicado ha sido removido. En la realidad, dadas las características propias de los materiales viales y donde las cargas impuestas por el tráfico tienen un carácter dinámico con muy cortos tiempos de aplicación, sólo una parte de la deformación total inducida se recupera al cesar la sollicitación aplicada implicando la no validez del concepto teórico de "elasticidad" e introduciéndose el de Módulo Resiliente.

El Módulo Resiliente M_R , fue seleccionado para definir el valor soporte, por las razones siguientes:

- Es un buen indicador de las propiedades básicas de los materiales y puede ser usado en sistemas de análisis multicapa.
- Ha sido aplicado internacionalmente para caracterizar materiales en pavimentos.
- Puede ser estimado mediante ensayos no destructivos

Módulo de Resiliencia de la Subrasante

La propiedad que se usa para caracterizar la Subrasante es el Módulo Resiliente (M_r). Este valor es una medida de la elasticidad del suelo reconociendo características no lineares. El módulo resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido en el módulo de reacción (k) para el diseño de pavimentos rígidos. El método empleado para caracterizar la subrasante es el de valor soporte California C.B.R. ya que el equipo necesario para obtener el M_r es costoso y no disponible.

La AASHTO proporciona las siguientes Ecuaciones para correlacionar valores de CBR.

$$M_R = 17,6 \times CBR^{0,64} [MPa] \quad \text{Para CBR entre 2 y 12\%}$$

(Ecu. 2.15)

$$M_R = 22,1 \times CBR^{0,55} [MPa] \quad \text{Para CBR entre 12 y 80\%}$$

El módulo de resiliencia de la subrasante es la propiedad del material usado para representar las características de soporte del suelo natural, en el diseño de pavimentos

flexibles. En términos generales, es una medida de la deformación del suelo en respuesta a aplicaciones (cíclicas) de cargas mucho menores que la carga de falla.

f. NUMERO ESTRUCTURAL (SN)

El número estructural **SN** se define como un número indicador de la capacidad del pavimento flexible para soportar las cargas estructurales, derivado del análisis de tráfico, condiciones del suelo de la subrasante y confiabilidad estadística, que puede ser convertido en el espesor de las diferentes capas de un pavimento flexible por medio del uso de coeficientes apropiados (estructurales y de drenaje) relacionados con el tipo de material que está siendo usado en la estructura del pavimento. Analíticamente el número estructural está dado por la relación siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad (\text{Ecu. 2.16})$$

Donde:

a_i = Coeficientes estructurales de la capa i

m_i = Coeficientes de drenaje de la capa i

D_i = Espesor de la capa i

Tomando como referencia los valores mínimos de D_1 , D_2 (en pulgadas), que el método AASHTO 93 sugiere respetar en función del tránsito en ejes equivalentes sencillos acumulados (W_{18}).

TRÁFICO, W_{18}	CARPETA ASFÁLTICA, D_1	CAPA BASE, D_2
< 50 000	1,0 (o tratamiento superficial)	4
50 001 a 150 000	2.0	4
150 001 a 500 000	2.5	4
500 001 a 2 000 000	3.0	6
2 000 001 a 7 000 000	3.5	6
7 000 000	4.0	6

Tabla 2.26 Valores mínimos en función de los ejes equivalentes W_{18} **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

Cada una de las variables que conforman esta ecuación, tienen varios valores posibles, pero de acuerdo a la Guía de Diseño del Método AASTHO, existen ciertas condiciones mínimas recomendadas que se deben cumplir para que una vez construido el paquete estructural unas protejan a las otras y viceversa.

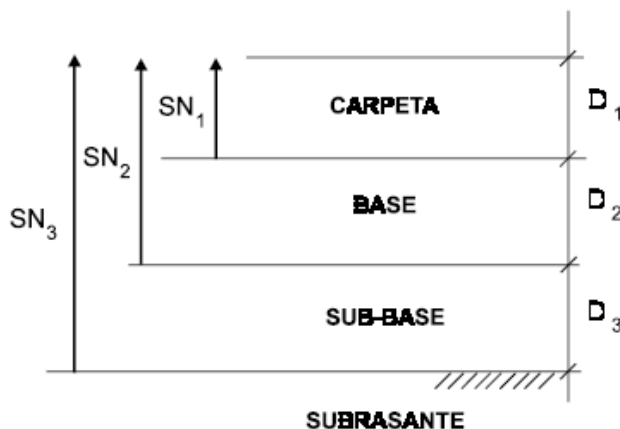


Figura 2.20 Sistema multicapa pavimento flexible **Fuente:** Diseño de Pavimentos AASHTO

Para determinar los espesores de las diferentes capas, mediante el Método de Análisis por Capas, se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (\text{Ecu. 2.17})$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1 \quad (\text{Ecu. 2.18})$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2} \quad (\text{Ecu. 2.19})$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2 \quad (\text{Ecu. 2.20})$$

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 \times m_3} \quad (\text{Ecu. 2.21})$$

Debe tenerse en cuenta de que, en caso de que los espesores obtenidos a través de las ecuaciones 2.16 a la 2.20, resulten inferiores a los espesores mínimos indicados en el método, dichos mínimos deben ser adoptados, lo que obliga a la definición de nuevos valores de SN_1 y SN_2 , en base a los espesores adoptados y los valores de los coeficientes estructurales, respectivamente.

COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE LAS CAPA ASFALTICA a_1

El coeficiente estructural de una capa representa la relación empírica entre el número estructural SN y el espesor de dicha capa, siendo una medida de la capacidad relativa del material para actuar como componente estructural de un pavimento determinado.

El Método AASHTO presenta diversas formas de determinar el valor del coeficiente estructural, en general a través de correlaciones con otras propiedades mecánicas de los materiales (CBR, módulo resiliente, etc.). Estos coeficientes pueden ser determinados a través de ábacos o expresiones matemáticas.

En la Tabla siguiente, se presentan los coeficientes “ a_1 ” para capa asfálticas están en función del modulo elástico.

Módulos Elásticos		Valores de a_1
PSI	MPA	
125.000	0,875	0.220
150.000	1,050	0.250
175.000	1,225	0.280
200.000	1,400	0.295
225.000	1,575	0.320
250.000	1,750	0.330
275.000	1,925	0.350
300.000	2,100	0.360
325.000	2,275	0.375
350.000	2,450	0.385
375.000	2,625	0.405
400.000	2,800	0.420
425.000	2,975	0.435
450.000	3,150	0.440

Tabla 2.27 Coeficientes Estructurales a_1 para Capas Asfálticas **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA CAPA BASE a_2

Para determinar el coeficiente estructural a_2 de una capa base, de material granular, se pueden adoptar valores, partiendo del CBR de la capa base.

BASE DE AGREGADOS	
CBR (%)	a_2
20	0.070
25	0.085
30	0.095
35	0.100
40	0.105
45	0.112
50	0.115
55	0.120
60	0.125
70	0.130
80	0.133
90	0.137
100	0.140

Tabla 2.28 Valores de a_2 si se conoce el % del CBR de la Capa Base **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA LA CAPA SUB-BASE a_3

Para la determinación del coeficiente estructural a_3 se pueden adoptar valores partiendo del CBR de la capa sub base.

BASE DE AGREGADOS	
CBR (%)	a_2
10	0.080
15	0.090
20	0.093
25	0.102
30	0.108
35	0.115
40	0.120
50	0.125
60	0.128
70	0.130
80	0.135
90	0.138
100	0.140

Tabla 2.29 Valores de a_3 si se conoce el % del CBR de la Capa Sub Base **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

Los valores recomendados por AASHTO son:

- Carpeta Asfáltica – $a_1 = 0.44$ (Guía de Diseño de Pavimentos Método

AASHTO - 93)

- Bases Granulares – $a_2 = 0,138$ (Guía de Diseño de Pavimentos Método AASHTO - 93)
- Sub Bases Granulares – $a_3 = 0,112$ (Guía de Diseño de Pavimentos Método AASHTO - 93)

COEFICIENTE DE DRENAJE (m_i)

El Método AASHTO propone la utilización de coeficientes modificados para las capas de pavimento, en función de las características de drenaje de los materiales. Para eso, la calidad del drenaje es definida en función del tiempo exigido para la remoción del agua del pavimento.

Los coeficientes de drenaje tienen por finalidad tomar en cuenta el efecto de distintos niveles de eficiencia de drenaje en el comportamiento de la estructura. Estos parámetros sirven para modificar el coeficiente estructural de las capas granulares de base y sub-base (a_2 y a_3), ya que al incrementarse el contenido de humedad en un material no cementado, su módulo resiliente puede reducirse hasta en un 50 %.

La determinación de los coeficientes de drenaje se realiza según la guía del Método AASHTO, en función de dos variables:

- a. La calidad de drenaje del material
- b. El porcentaje de tiempo anual que la estructura tendría niveles próximos a los de saturación

Calidad de Drenaje

Esta variable se establece en función del tiempo que el material requiere para drenar hasta un 50 % de saturación, lo que depende de la permeabilidad, longitud del recorrido, espesor de la capa, porosidad efectiva y pendiente.

El método AASHTO, define los niveles siguientes:

Calidad de Drenaje	Tiempo de Remoción
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	Semana
Mala	Mes

Muy mala	No drena
----------	----------

Tabla 2.30 Capacidad de Drenaje para remover la humedad **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

Porcentaje de Tiempo para Niveles próximos de Saturación

Esta variable depende del volumen de precipitación, drenaje natural, topografía de la región, y de las características específicas del proyecto que puedan afectar las posibilidades de saturación de la estructura.

En la Tabla 2.31 se presenta los valores de m_i (para las capas de base y sub-base) recomendados por la guía del Método AASTHO, en función de las dos variables descritas anteriormente.

Calidad de Drenaje	Porcentaje de Tiempo Para Niveles Próximos de Saturación			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excesivamente Drenados	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bien Drenados	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regularmente Drenados	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Mal Drenados	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Mal Drenados	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Tabla 2.31 Valores de m_i **FUENTE:** Diseño de Pavimentos AASHTO

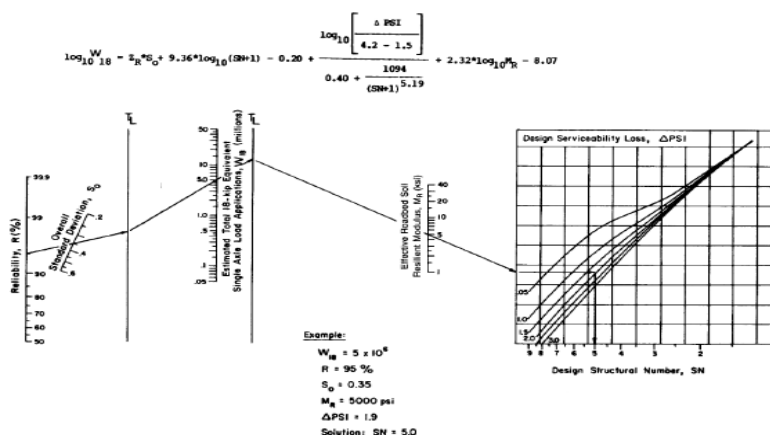


Figura 2.21 Abaco para el Diseño de Estructuras de Pavimento Flexible **FUENTE:**

AASHTO

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. INTRODUCCION.

En el transcurso de este proceso de evaluación se tomara en cuenta aspectos imprescindibles como ser descripción de las características más relevantes de la capa de rodadura asfáltica para facilitar la identificación, procedimientos de medición y cuantificación, así como esquemas explicativos y fotografías.

El firme constituye una de las partes más importantes de la ingeniería de carreteras tanto desde el punto de vista técnico, en el proyecto, construcción y conservación, como económico y también desde el punto de vista general de valoración de los usuarios que mayoritariamente califican a la carretera por el estado del firme. Es por lo general reconocer dos aspectos en la calidad del firme; la calidad estructural y la calidad funcional.

Este trabajo se abocara principalmente al estudio de la calidad funcional, que afecta a las características superficiales del pavimento, que es la parte del firme que está en contacto con los vehículos y que se conoce también con el nombre de capa de rodadura y sobre cuya calidad se tocara en este presente trabajo, también se recopilara toda la información del estudio del suelo de la subrasante, el tráfico del tramo para determinar los espesores de las capas estructurales que conforman el pavimento sobre empedrado con el fin de comparar con lo ejecutado, lo cual nos dará una idea aproximada de porque de las fallas para un posterior análisis de las alternativas de soluciones en función al estado actual del pavimento.

3.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El estudio de evaluación del pavimento flexible ejecutado hasta la fecha, en el tramo puente de Tomatitas sobre el Rio Erquis hasta la comunidad de Coimata, se desarrolla íntegramente en la provincia Méndez del departamento de Tarija en toda su extensión.

El área de estudio comprende específicamente desde el Km. 0 + 000 desde el del tramo puente de Tomatitas sobre el Rio Erquis en la entrada de Tomatitas con coordenadas 21°29'56,88" S de latitud y 64°45'40,61" O de longitud con una elevación de 1928

m.s.n.m. y transcurre hasta el Km. 4+000 donde termina el asfalto en la comunidad de Coimata con coordenadas $21^{\circ}29'48,05''\text{S}$ latitud y $64^{\circ}48'17,72''\text{O}$ de longitud con una elevación de 2054 m.s.n.m., toda el tramo con una capa de pavimento flexible sobre empedrado

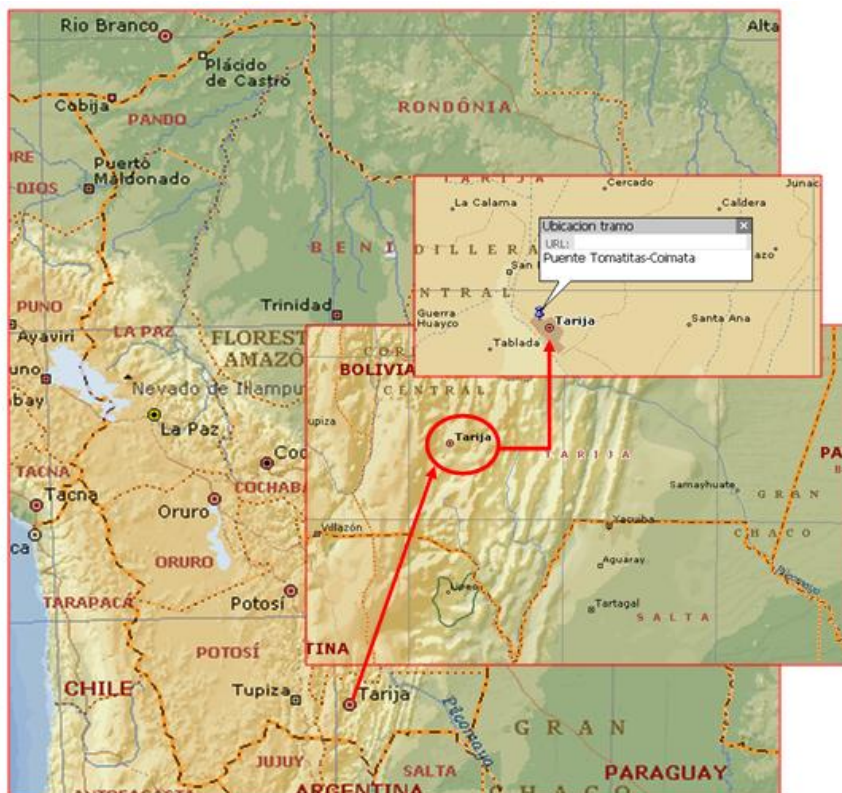


Figura 3.1 Mapa de Ubicación **Fuente:** Google Maps.

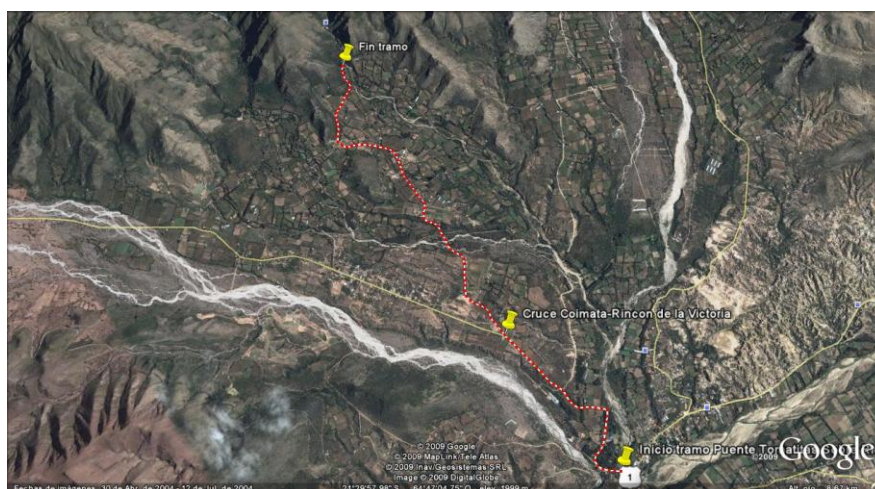


Figura 3.2 Imagen Satelital del Tramo Tomatitas Coimata **Fuente:** Google Earth

3.3. ANTECEDENTES HISTORICOS

En el año 2002 se ejecuto el empedrado del tramo desde la comunidad de Tomatitas hasta la comunidad de Coimata que consistió en el recubrimiento de la superficie de la vía con una capa de piedra formada por cantos rodados para formar una superficie de rodadura resistente, estable y económica, este recubrimiento se realizo sobre la subrasante debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos.

Este trabajo se realizo principalmente para mejorar el confort al usuario para que pueda trasladarse hasta la comunidad de Coimata un centro turístico natural importante del departamento de Tarija ya que el flujo de turistas se fue incrementando paulatinamente año tras año ya que algunas empresas que gestionan el turismo departamental empezaron a promocionar este centro turístico conjuntamente con el municipio de San Lorenzo de la provincia Méndez y por el desarrollo de la comunidad ya que es un centro importante en la producción agrícola y avícola que abastece a la ciudad de Tarija principalmente.

En vista al rápido desarrollo tanto como turístico, social y agropecuario las cantidad de vehículos que circula por este camino se opto el año 2008 la ejecución del pavimentado de este tramo para brindar un mejor confort que el empedrado para los usuarios para que se puedan trasladar de manera rápida a el centro turístico natural, a varios terrenos de cultivo y centros avícolas en la comunidad de Coimata, pero por el factor costo y tiempo el pavimentado fue ejecutado directamente sobre el empedrado obteniendo ciertas ventajas como ser:

- La ejecución fue rápida, permitiendo la pronta habilitación de la vía al tráfico vehicular por ser el único acceso a la zona.
- El reducido costo, debido a que el trabajo se realizo sobre la superficie del empedrado, obviando las capas estructurales convencionales.

Su deterioro de la superficie fue rápido por lo siguiente:

- Se tenía un pavimento de menor capacidad estructural con relación a un pavimento flexible convencional.
- Espesores muy altos cuando se nivelaban las depresiones que existen en el empedrado, los cuales no alcanzaban una compactación óptima, que generaba luego deformación en la superficie.

- Espesores muy pequeños, en zonas donde existen elevaciones en el empedrado, convirtiéndose en pequeñas áreas de riesgo sujetas al desprendimiento de la carpeta asfáltica.
- La distribución de esfuerzos diferenciales a las capas subyacentes debido a la irregularidad del espesor de la carpeta asfáltica, que a corto tiempo provocan deformaciones en la superficie.
- Inadecuadas o inexistentes políticas de mantenimiento vial provocan un deterioro acelerado por que se expone este camino a vehículos sobrecargados y a volúmenes excesivos.

Por estas características la carpeta asfáltica colocada sobre el empedrado empezó a sufrir deterioros en una vida de servicio menor con relación a un pavimento convencional nuevo, hecho que es reflejado en la incomodidad, inseguridad del tráfico vehicular y peatonal.

3.3.1. ANTECEDENTES DE LAS CAPAS ESTRUCTURALES DEL TRAMO

Para tener mejor conocimiento de las capas estructurales nos basamos en observaciones visuales, mediciones, exploración de la subrasante e información técnica del asfaltado sobre empedrado.

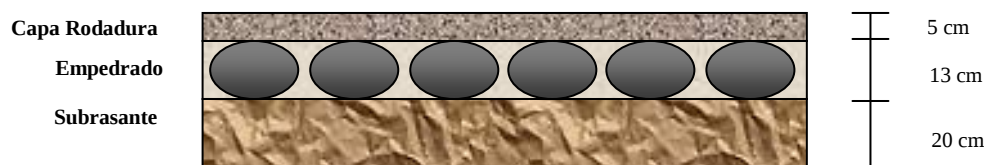


Figura 3.3 Espesores actuales de las Capas del Pavimento sobre Empedrado **Fuente:**
Elaboración Propia

Dentro de la información técnica de relevancia, tiene las siguientes características:

- Camino vecinal de dos carriles con ancho de calzada promedio de pavimento asfáltico de 6.50 m
- Subrasante de 20 cm. de espesor.
- Imprimación bituminosa sobre empedrado.
- CBR subrasante mínimo 6% (Según especificaciones técnicas de la ejecución)
- % de compactación de la subrasante ≥ 90 % de la densidad de ensayo de la prueba Proctor modificada, especificada en la Norma AASTHO T-180.(Según especificaciones técnicas de la ejecución)

- Carpeta de Cemento asfáltico de 5 cm de altura. (Según especificaciones técnicas de la ejecución)

Información técnica para la ejecución de un buen empedrado Fuente “Manual Andino para la Construcción de Empedrados”

- CBR subrasante recomendado 8%
- CBR subrasante mínimo 6%
- % de compactación de la subrasante ≥ 95 % de la densidad de ensayo de la prueba Proctor modificada, especificada en la Norma AASTHO T-180.
- Tipo de suelo subrasante clasificación SUCS: ML o CL
- Tipo de suelo subrasante clasificación AASHTO: A4 o A6

3.4. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

A lo largo del tramo Tomatitas – Coimata se puede observar a simple vista las fallas superficiales del pavimento por lo que es necesario realizar un análisis de la superficie del pavimento y de un estudio del material de la subrasante como también un análisis del flujo vehicular del tramo que nos ayudaran a determinar los factores que pudieron ocasionar las fallas superficiales del tramo.

Antes de proceder a la cuantificación de información de fallas, se realizó una medición geométrica del tramo en estudio, tales como ancho de vía que es de 6,50 m. en todo el tramo y un estacado cada 100 metros de todo el tramo en estudio, desde el Puente de Tomatitas sobre el Río Erquis E0 (Prog.0+000) en la entrada de la comunidad de Tomatitas, terminando en la E40 (Prog.4+000) en la comunidad de Coimata donde termina el asfaltado antes de la entrada al balneario turístico de Coimata lugar que aglutina a muchos bañistas y turistas a este importante centro turístico natural del Municipio de San Lorenzo de la provincia Méndez, donde también es un importante centro de producción agrícola que abastecen de productos alimenticios a la ciudad de Tarija, donde circulan vehículos livianos y pesados por este camino, por lo que las fallas de la superficie de rodadura dificultan la circulación de los vehículos reduciendo la confortabilidad de los usuarios.

3.5. DETERMINACION DE LAS UNIDADES DE MUESTREO DEL TRAMO

La primera etapa para evaluar las fallas del pavimento es determinar las unidades de muestro definida por una porción de un pavimento de sección elegida solamente para la inspección del pavimento. De acuerdo al tipo de pavimento que cuenta la vía a evaluar se tiene:

El ancho de la vía del tramo Puente Tomatitas – Coimata es de 6,50 m por lo que correspondería una longitud de muestreo de 35,40 m, de la Tabla 2.4; para asegurar la exactitud en cálculo del PCI se determino para el presente trabajo una longitud de muestro de 40 m, lo cual el área de muestreo es de 260 m² que encaja dentro de los valores normados.

Se obtuvo el número total de muestras (N), dando como resultado 100 unidades

Luego se determino las unidades de muestreo mínimas a ser evaluadas que se obtiene de la ecuación: 2.1

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimentos asfálticos y un error del 5 % por tratarse de la primera evaluación que se realiza.

Sustituyendo los valores en la ecuación 2.1 tenemos 14 unidades de muestreo

$$n = \frac{100 * 10^2}{\frac{5^2}{4} * (100 - 1) + 10^2}$$

$$n = 14 \text{ unidades}$$

Esto nos indica que de las 100 unidades totales de muestreo, 14 deberán ser evaluadas.

Por último se calculó las unidades de muestreo aleatorias a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio con la siguiente ecuación 2.2:

$$i = \frac{N}{n} \quad \text{reemplazando la ecuación tenemos } i = \frac{100}{14} = 7 \text{ unidades}$$

El resultado obtenido nos indica que debemos inspeccionar el pavimento en un intervalo de 7 unidades es decir cada 7 unidades deberemos levantar la información para evaluar el estado de la vía.

Debido a que las unidades de muestro son pocas para poder determinar el estado actual de la vía ya necesitamos conocer la condición superficial que presenta realmente este tramo ya que el procedimiento de trabajo de colocar la capa de rodadura asfáltica directamente sobre el empedrado mal llamado pavimento flexible tiene un comportamiento distinto a la de un pavimento flexible convencional lo cual hace que se presenten diferentes tipos de

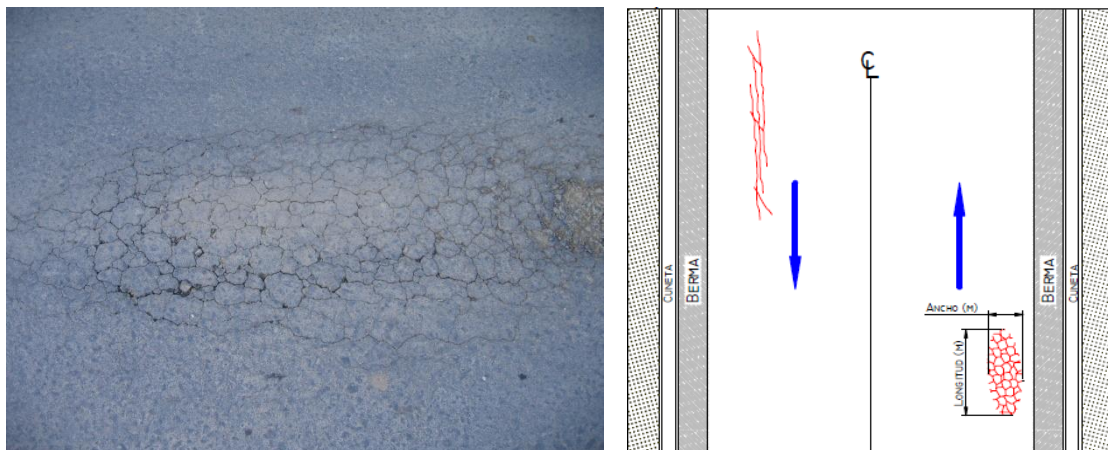
fallas a lo largo del tramo por este motivo optamos por determinar todas las unidades de muestro pero tomando como longitud de muestro 40 m aleatoria a lo que denominamos sub tramo dentro de cada unidad de muestreo de 100 m teniendo en total 40 unidades de muestro en los 4000 m para tener mejor resultado de la condición real del pavimento en el tramo.

3.6. IDENTIFICACIÓN, MEDICIÓN Y CUANTIFICACION DE FALLAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO.

Para la identificación de las fallas se uso el manual de fallas para pavimento flexible del Instituto Nacional de Vías de Colombia que se sustenta con la norma ASTM D 5340. En el tramo a evaluar se observo casi todas las fallas con su respectivo nivel de severidad que se selecciona a criterio que están en el Manual de Fallas, del cual se podían identificar de acuerdo a sus características particulares; profundidad, longitud y porcentaje de área afectada. A continuación se muestran las diferentes fallas encontradas en el área de estudio.

PIEL DE COCODRILO

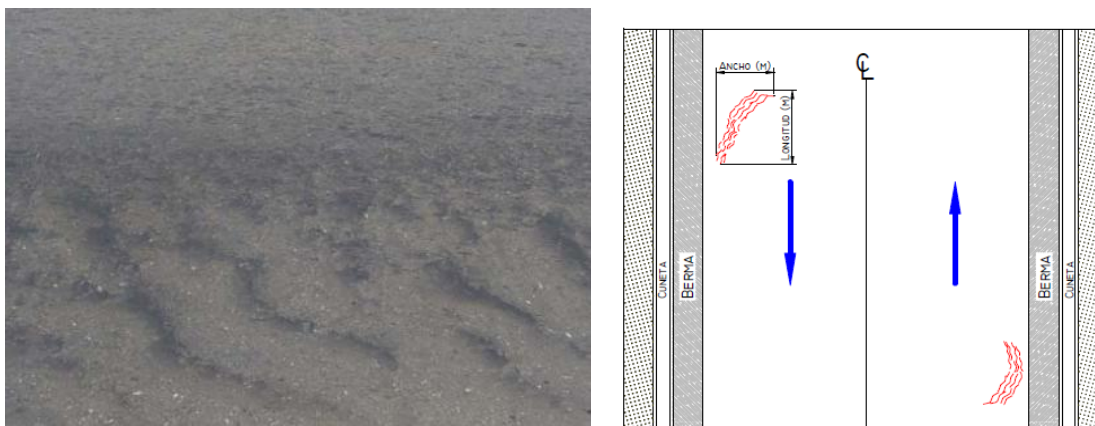
Esta falla se encontró en una de las zonas críticas que se determinaron. Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción ocasionan una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de transito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a las piel de cocodrilo.



Fotografía 3.1 Piel de Cocodrilo **Fuente:** Elaboración Propia

EXUDACION DEL ASFALTO

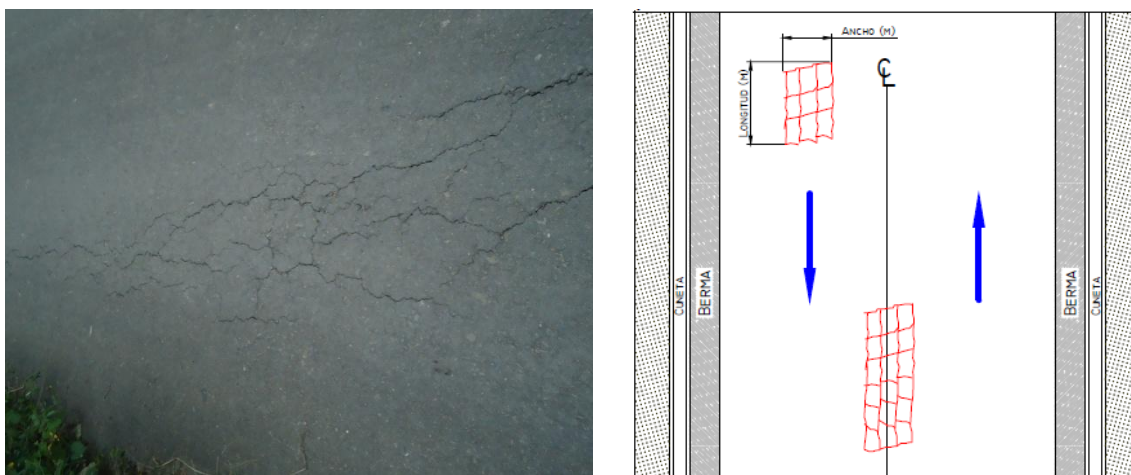
Esta falla se produjo por formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento flexible creando una superficie brillante y reflectaba, producto por altas temperaturas.



Fotografía 3.2 Exudación del Asfalto **Fuente:** Elaboración Propia

GRIETAS DE CONTRACCIÓN O BLOQUES

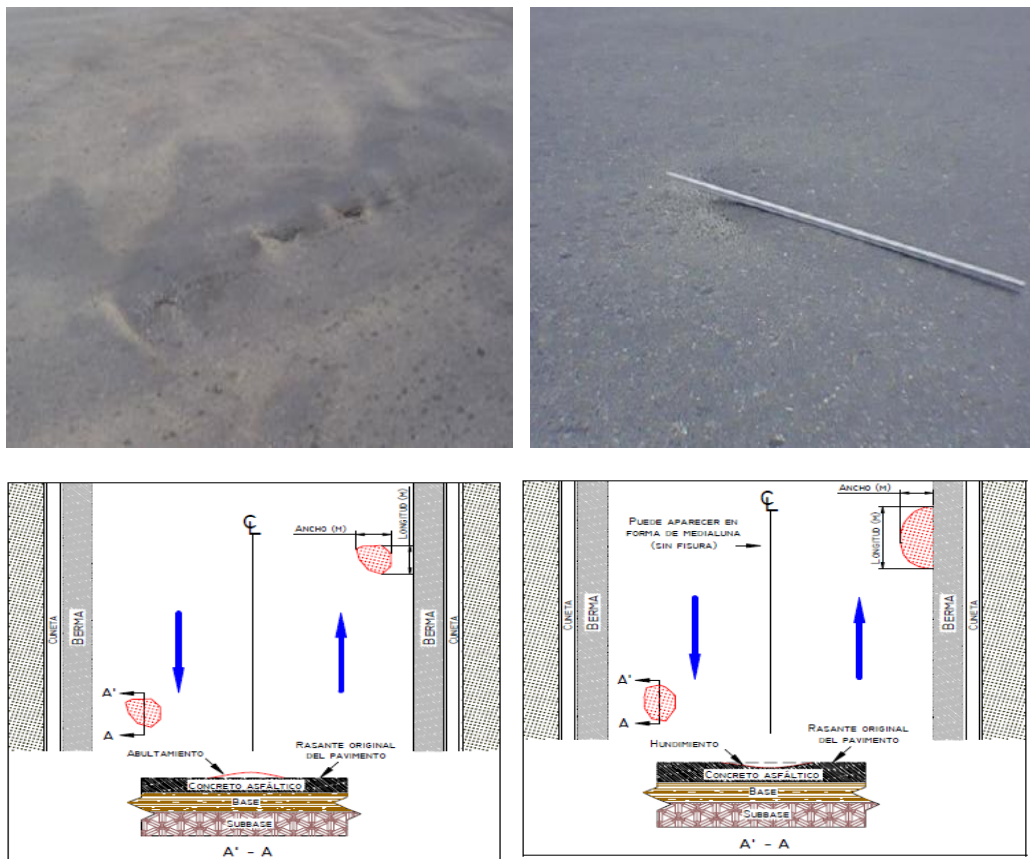
Esta falla se encontró en sectores evaluados principalmente producidas por la contracción del asfalto por efecto de las variaciones climáticas de la temperatura, no están asociadas con cargas ni fatiga, indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente, estas ocurren generalmente en áreas grandes de pavimento y algunas veces donde no hay tráfico vehicular, esta falla presentaba baja severidad.



Fotografía 3.3 Grietas De Contracción ó Bloques **Fuente:** Elaboración Propia

ELEVACIONES – HUNDIMIENTOS

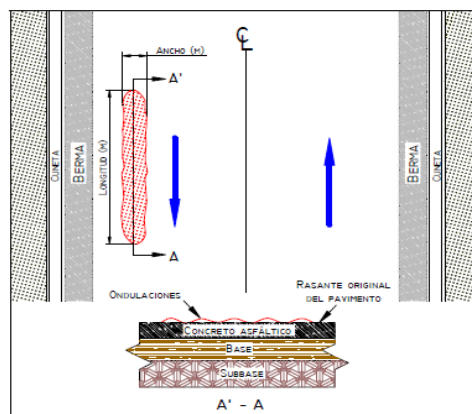
Estas fallas son protuberancias de la superficie del pavimento flexible, producidas por empuje que son producidas por la inestabilidad del pavimento.



Fotografía 3.4 Elevaciones-Hundimientos Fuente: Elaboración Propia

CORRUGACIONES

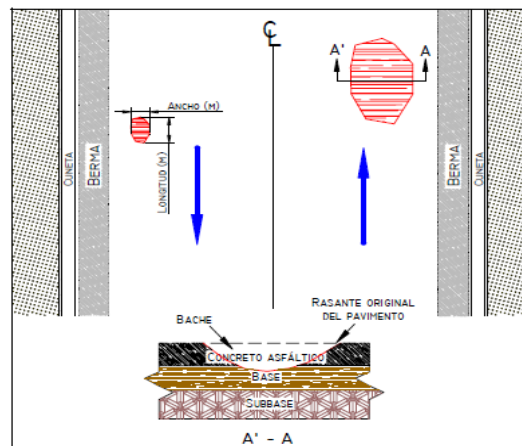
Esta falla se encontró en la mayoría de los tramos evaluados conformada por hundimientos y crestas (ondulaciones), éstas son causadas normalmente por el tráfico en el pavimento con una superficie inestable e irregular, producto de la superficie irregular del empedrado.



Fotografía 3.5 Corrugaciones **Fuente:** Elaboración Propia

DEPRESIONES

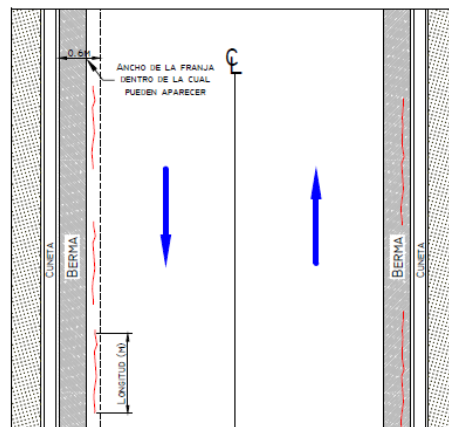
Estas fallas presentan son productos del asentamiento de la fundación o fallas constructivas. Observadas principalmente luego de una lluvia al momento de secarse la superficie la que producen empozamientos de agua.



Fotografía 3.6 Depresiones **Fuente:** Elaboración Propia

GRIETAS DE BORDE

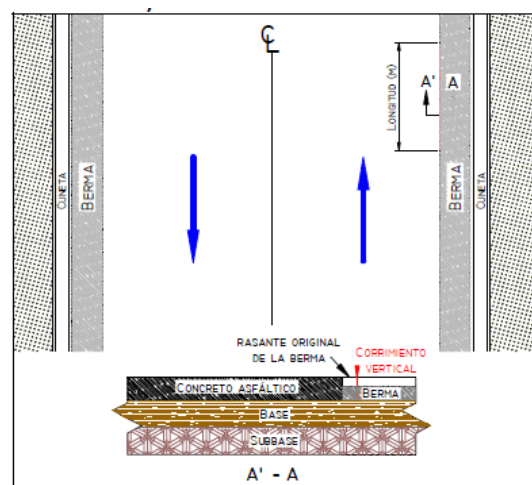
Estas grietas longitudinales y paralelas en el borde extremo del pavimento producidas por las cargas vehiculares y falla del soporte lateral.



Fotografía 3.7 Grietas de Borde **Fuente:** Elaboración Propia

DESNIVEL CALZADA – BERMA

Esta falla encontramos en un sector de la evaluación que ocasiona la diferencia de elevación entre el borde del pavimento y la berma, normalmente causado por la erosión o asentamiento de la berma, o elevación de la calzada sin nivelar la altura de al berma, también en sectores donde el empedrado no tiene cordones para mantener las piedras que conforman el empedrado confinadas.

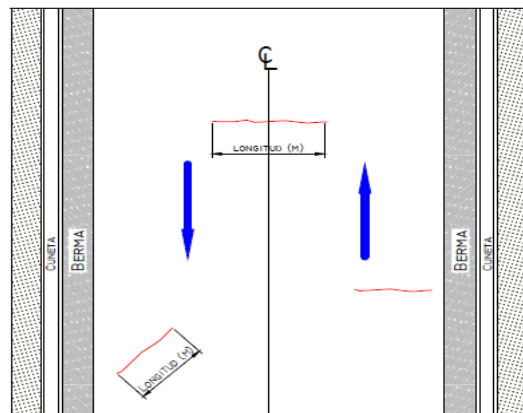


Fotografía 3.8 Desnivel Calzada-Berma **Fuente:** Elaboración Propia

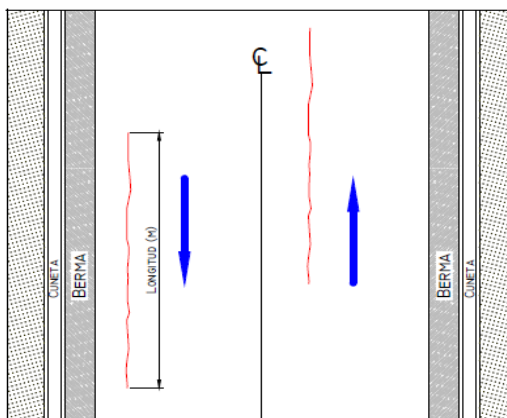
GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Esta falla se encontro en sectores del tramo evaluado generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfaltica, que se localizan generalmente en el eje de la vía, en otros tramos tambien encontramos fisuras longitudinales en la misma dirección del transito que son indicios de la existencia de fuerzas a tension en la capa de la subranaste del

tramo la cual a superado la resistencia del material afectado ó a la ccontracción del asfalto debido a cambios de temperatura y el envejecimiento prematuro.



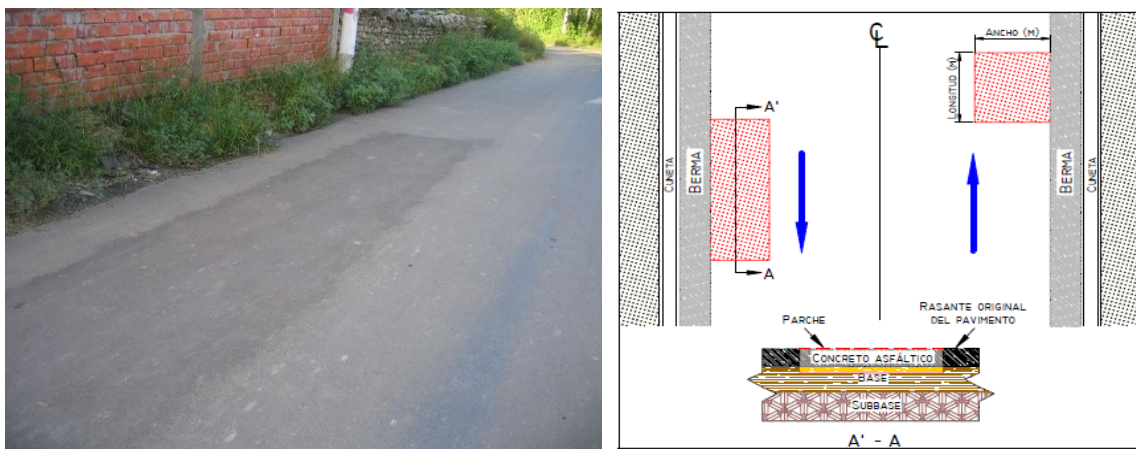
Fotografía 3.9 Grietas Longitudinales **Fuente:** Elaboración Propia



Fotografía 3.10 Grietas Transversales **Fuente:** Elaboración Propia

BACHES Y ZANJAS REPARADAS

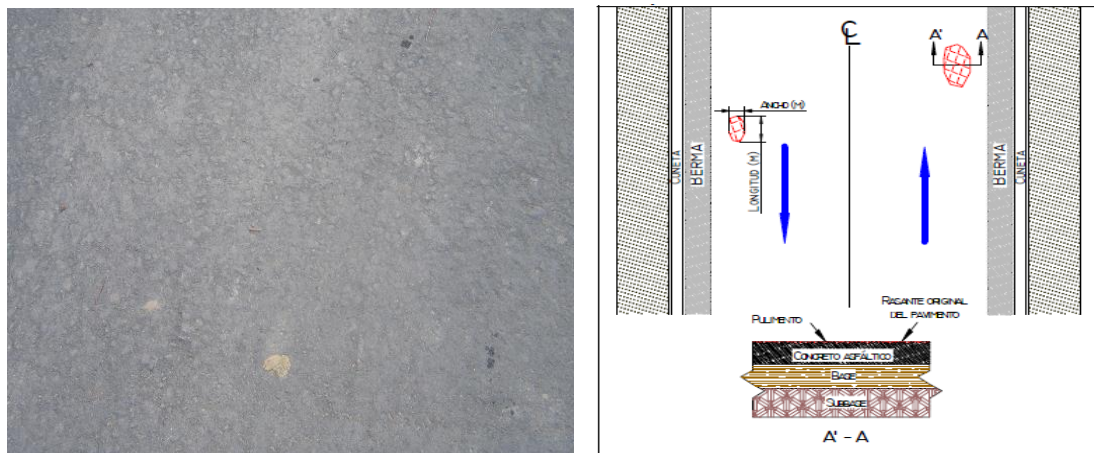
En el tramo avaluado se encontraron parches, donde el pavimento original fue removido y remplazado por un material similar o diferente para reparar la estructura, a pesar de que dichas aéreas no presentan daños en el momento de la inspección, es necesario reportar su extensión porque indica la existencia de un deterioro anterior.



Fotografía 3.11 Baches y Zanjas Reparadas **Fuente:** Elaboración Propia

AGREGADO PULIDO

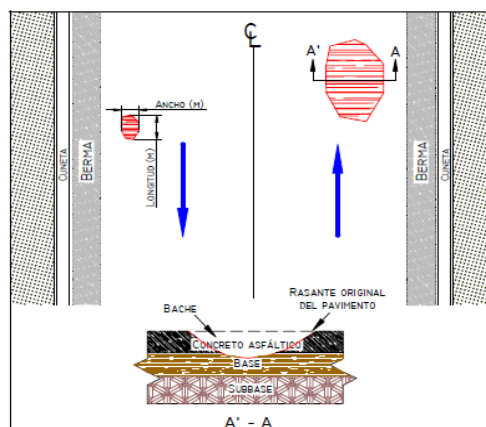
Esta falla se encontró en varios tramos evaluados producida por pasos continuos del tráfico vehicular, lo que ocasiona reducción de adherencia de los neumáticos con el pavimento.



Fotografía 3.12 Agregado Pulido **Fuente:** Elaboración Propia

HUECOS

Esta falla encontramos en sectores los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros inferiores a 90cm. Usualmente tienen bordes angulosos y verticales en las cercanías de la superficie, crecen rápidamente por el agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por pequeñas áreas del pavimento, este se desintegra debido a los defectos de la mezcla.



Fotografía 3.13 Huecos **Fuente:** Elaboración Propia

ACCESO A PUENTES

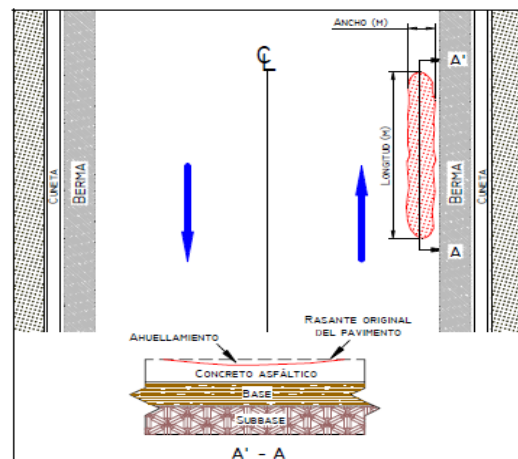
Esta falla encontrada en un solo sector al inicio del tramo donde está el Puente sobre el Río Erquiz se produce depresiones y elevaciones en la capa de rodadura.



Fotografía 3.14 Acceso a Puentes **Fuente:** Elaboración Propia

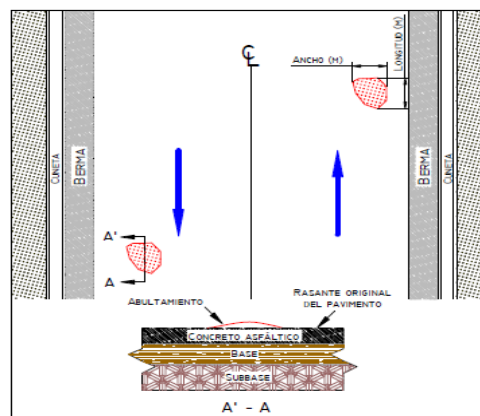
AHUELLAMIENTO

Esta falla superficial se encontró en todos los tramos presentando una depresión longitudinal, bajo las huellas de los neumáticos. Donde el pavimento se levanto a lo largo de los bordes de la depresión. Generalmente el ahuellamiento se observa después de la lluvia, al llenarse de agua las depresiones, originado por la deformación de la subrasante, normalmente causado por el efecto del tráfico y por el acomodo del asfalto entre las piedras por una mala compactación.



Fotografía 3.15 Ahuellamiento **Fuente:** Elaboración Propia

DEFORMACION POR EMPUJE Esta falla es producida por la deformación permanente producida por el tráfico en un área localizada del pavimento. Cuando el tráfico empuja sobre el pavimento produce una corta o abrupta

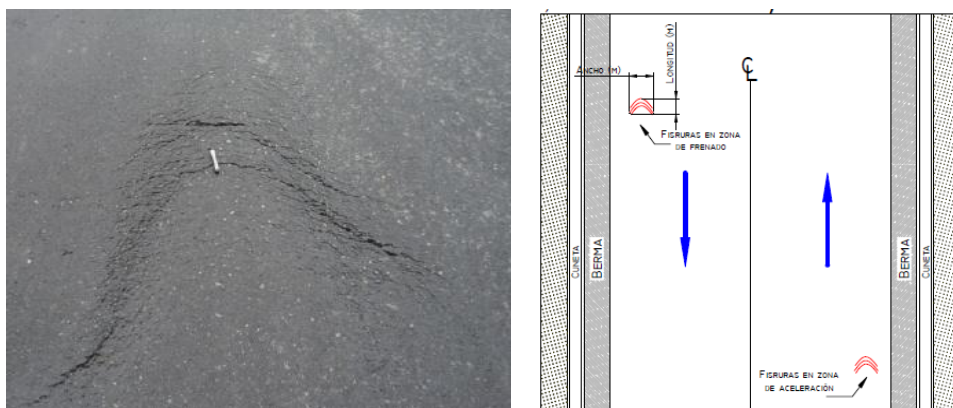


cresta o deformación

Fotografía 3.16 Deformación por Empuje **Fuente:** Elaboración Propia

GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

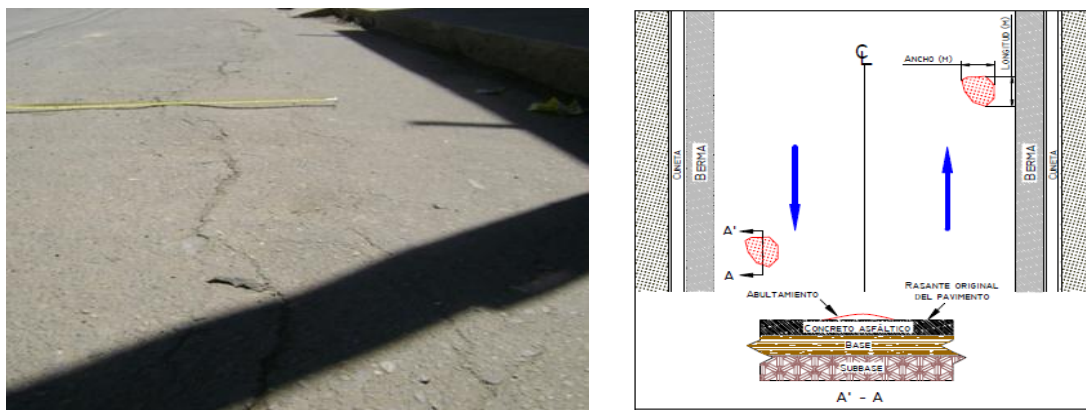
Estas fallas observadas son en forma de media luna, con sus puntas en el sentido de la dirección de tráfico. Son causadas por los deslizamientos de las capas asfálticas por falta o exceso de riego de adherencia.



Fotografía 3.17 Grietas de Deslizamiento **Fuente:** Elaboración Propia

HINCHAMIENTO

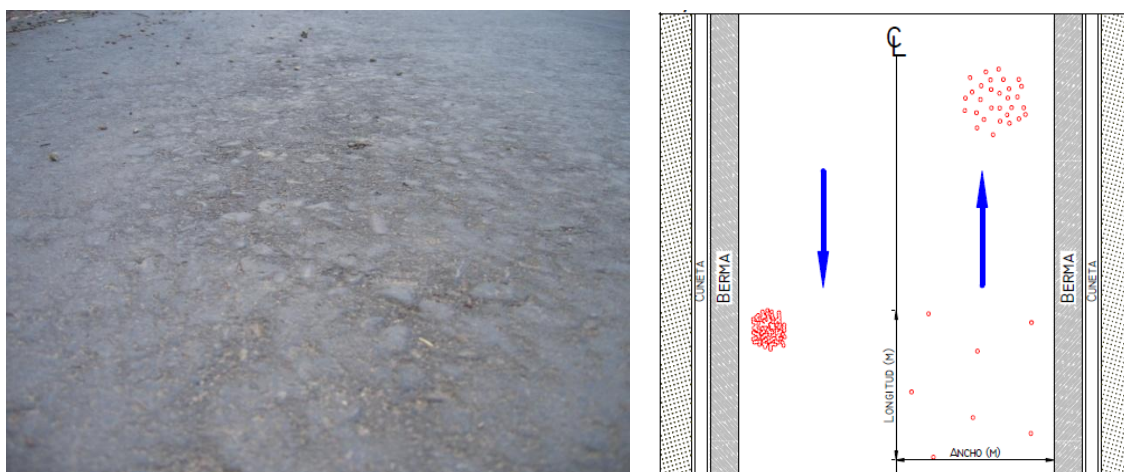
Este tipo de falla se observa por una prominencia localizada hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrasante.



Fotografía 3.18 Hinchamiento **Fuente:** Elaboración Propia

DISGREGACIÓN Y DESINTEGRACIÓN

Esta falla encontrada en algunos sectores evaluados ocasionan el desprendimiento o pérdida sucesiva de material superficial, por la abrasión del tráfico el clima es causado generalmente por el uso de métodos de construcción pobres, la utilización de agregados de baja calidad. En épocas de lluvia forman los charcos de agua.

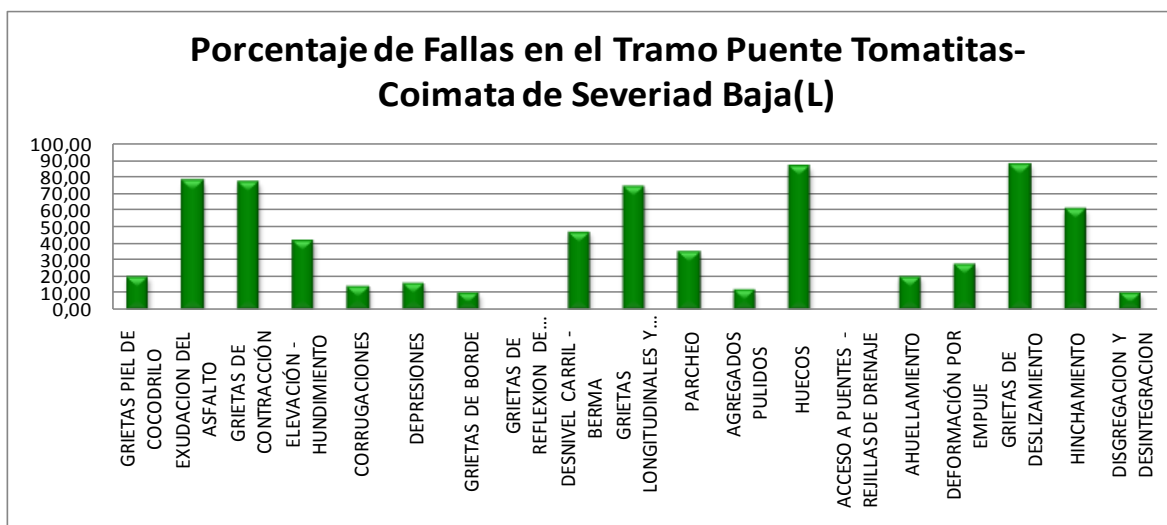
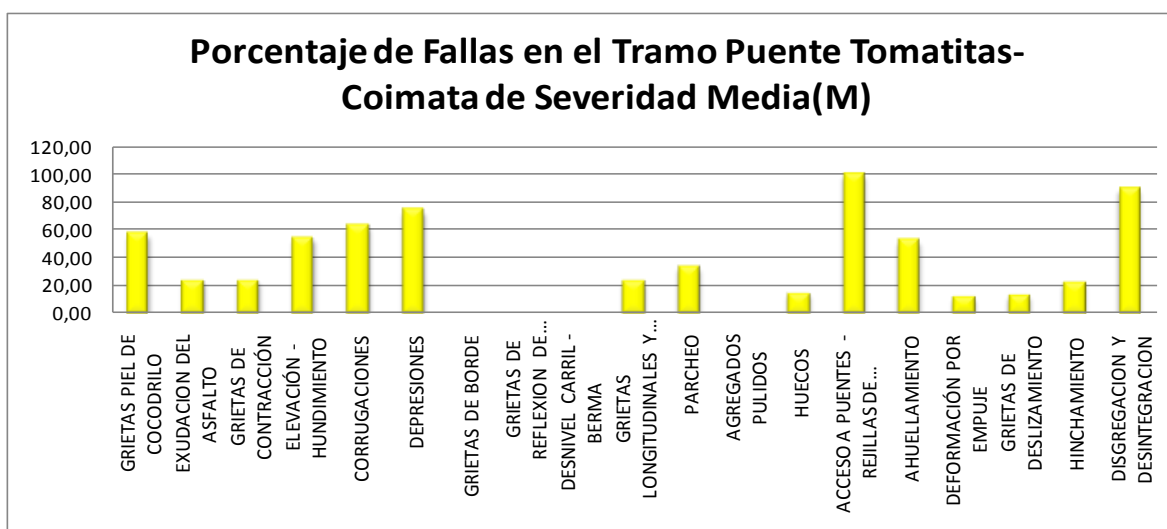
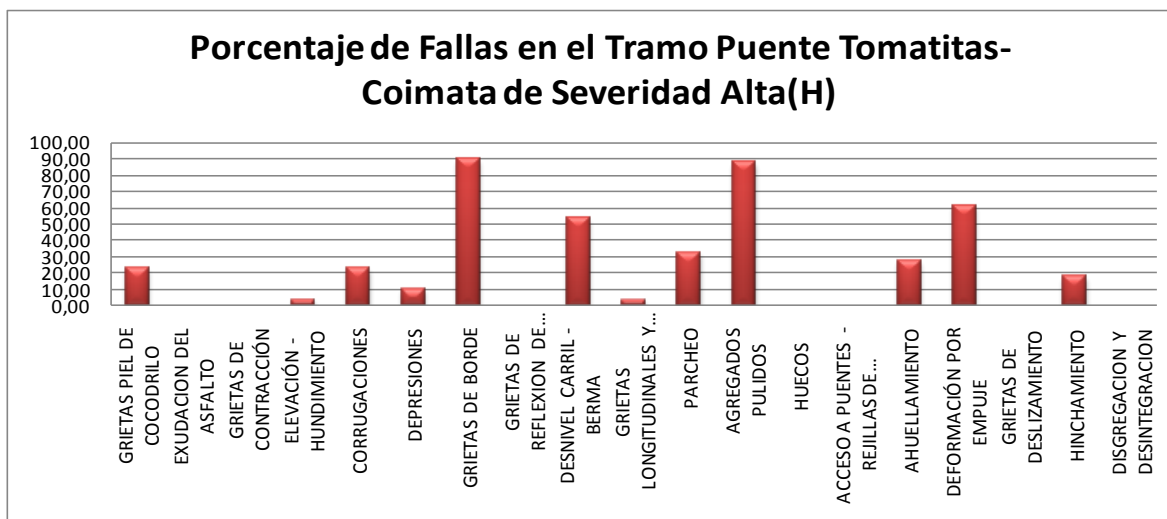


Fotografía 3.19 Disgregación y Desintegración **Fuente:** Elaboración Propia

Cantidad y Severidad de Fallas Evaluadas en el Tramo Tomatitas – Coimata

N° Falla	Tipo de Falla	Unid.	Cant	Sev	%	Cant	Sev	%	Cant	Sev	%	TOTAL
1	GRIETAS PIEL DE COCODRILO	m2	40,44	H	22,68	102,12	M	57,28	35,72	L	20,04	178,28
2	EXUDACION DEL ASFALTO	m2	0,00	H	0,00	1,20	M	23,08	4,00	L	76,92	5,20
3	GRIETAS DE CONTRACCIÓN	m2	0,00	H	0,00	32,28	M	23,58	104,60	L	76,42	136,88
4	ELEVACIÓN - HUNDIMIENTO	m2	1,26	H	3,83	17,88	M	54,28	13,80	L	41,89	32,94
5	CORRUGACIONES	m2	64,65	H	23,05	176,97	M	63,09	38,90	L	13,87	280,52
6	DEPRESIONES	m2	5,26	H	9,99	39,04	M	74,18	8,33	L	15,83	52,63
7	GRIETAS DE BORDE	m	22,50	H	90,00	0,00	M	0,00	2,50	L	10,00	25,00
8	GRIETAS DE REFLEXION DE JUNTAS	m	0,00	H	0,00	0,00	M	0,00	0,00	L	0,00	0,00
9	DESNIVEL CARRIL - BERMA	m	0,24	H	53,33	0,00	M	0,00	0,21	L	46,67	0,45
10	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m	15,90	H	3,57	101,07	M	22,67	328,80	L	73,76	445,77
11	PARCHEO	m2	34,45	H	32,01	36,02	M	33,47	37,15	L	34,52	107,62
12	AGREGADOS PULIDOS	m2	89,20	H	88,14	0,00	M	0,00	12,00	L	11,86	101,20
13	HUECOS	N°	0,00	H	0,00	2,00	M	14,29	12,00	L	85,71	14,00
14	ACCESO A PUENTES - REJILLAS DE DRENAJE	m2	0,00	H	0,00	3,44	M	100,00	0,00	L	0,00	3,44
15	AHUELLAMIENTO	m2	68,80	H	27,50	130,95	M	52,34	50,45	L	20,16	250,20
16	DEFORMACIÓN POR EMPUJE	m2	158,80	H	61,03	29,52	M	11,34	71,90	L	27,63	260,22
17	GRIETAS DE DESLIZAMIENTO	m2	0,00	H	0,00	8,65	M	12,88	58,53	L	87,12	67,18
18	HINCHAMIENTO	m2	11,70	H	17,94	14,20	M	21,78	39,30	L	60,28	65,20
19	DISGREGACION Y DESINTEGRACION	m2	0,00	H	0,00	19,58	M	89,65	2,26	L	10,35	21,84

Cuadro 3.1 Cantidad-Severidad-Porcentaje de Fallas **Fuente:** Elaboración Propia



Cuadro 3.2 Porcentaje-Severidad de Fallas **Fuente:** Elaboración Propia

3.7. CALCULO DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

3.7.1. CALCULO POR EL METODO DEL PCI.

Realizada la inspección visual de todas las unidades de muestreo ó secciones determinadas anteriormente en el tramo asfaltado e identificadas las fallas con sus respectivas mediciones y severidades se procedió a determinar el Indice de Condición del Pavimento que presenta el pavimento.

CALCULO DEL PCI.

Para realizar el cálculo del PCI, se siguen los pasos expuestos en el capítulo anterior subtítulo 2.10.1. Los ábacos para determinar los valores de deducción de cada falla encontrada y las curvas de deducción corregida para determinar el PCI de cada unidad de muestreo están en el ANEXO I.

RESULTADOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL PCI.

Este es el resumen de los resultados obtenidos por el método de evaluación PCI.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICION DEL PAVIMENTO
0+000 – 4+000	PCI =48,73	REGULAR

Cuadro 3.3 Resultado PCI del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

Una información más detallada se muestra en el ANEXO II, donde se encuentra una planilla con los resultados obtenidos para cada unidad de muestreo evaluada.

Este método de evaluación, nos dio como resultado la obtención del índice de condición del pavimento.

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

Como se obtuvo un PCI de 48,73 se puede concluir que el **ESTADO SUPERFICIAL** del pavimento flexible del tramo Puente de Tomatitas-Coimata en las progresivas (0+000-4+00) según la tabla 2.5 la Norma ASTM D 5340 adjuntado en el capítulo II la condición del pavimento flexible es **REGULAR**.

3.7.2. CALCULO POR EL METODO DEL IRI.

El método de evaluación IRI (Índice de Rugosidad Internacional), requiere primeramente de una nivelación, elegimos unidades de estudio de 20 metros de longitud, delta “X” para realizar la nivelación cada 500 mm, que corresponde a una longitud máxima de 8000 metros, el tramo total de estudio tiene una longitud de 4000 metros que está en los rangos que requiere el programa IRI- Método de Mira y Nivel del software INPACO.

CALCULO DEL IRI.

Se realizo la nivelación en todas las secciones de estudio con un nivel de ingeniero en las huellas de los vehículos lado derecho en el carril de ida hacia la Comunidad de Coimata e izquierdo en el carril de vuelta hacia la Comunidad de Tomatitas cada 50 cm. de longitud, en una longitud de muestra de 20 m en cada sentido de la vía de todas las secciones determinadas, luego de realizar la nivelación realizamos el trabajo de gabinete. Con la ayuda del software INPACO se pudo calcular el IRI de cada unidad de estudio y de cada huella. Todos los datos obtenidos en el tramo se muestran en el ANEXO IV.

RESULTADOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL IRI.

El cuadro que se presenta a continuación muestra el resultado del IRI obtenido, este se lo obtuvo calculando el promedio del IRI calculados para cada tramo. (Los datos de las cotas y los perfiles longitudinales de cada huella y de cada unidad de estudio están adjuntados en el ANEXO IV).

PROGRESIVA	VALOR	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
0+000 - 4+000	IRI = 7,40	El pavimento presenta deterioros con depresiones menores frecuentes

Cuadro 3.4 Resultado IRI del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

El IRI calculado para todo el tramo en estudio es de 7,40 m/Km según la tabla 2.9 Referencia de Valores IRI del Banco Mundial adjuntado en el capítulo II, “El pavimento presenta deterioros con depresiones menores frecuentes”

3.7.3. CALCULO POR EL METODO DEL PSI.

El método PSI (Índice de Serviciabilidad Presente), está basado en una observación cuidadosa del estado superficial del pavimento flexible, primeramente se debe tener el adecuado conocimiento de los tipos de fallas y deterioros superficiales que se presentan en los pavimentos con mayor frecuencia en los pavimentos flexibles, con los respectivos niveles de severidad, densidad y tipos de daños que se presentan, de tener este conocimiento será fácil definir los siguientes coeficientes:

- ✓ **C1** (Rugosidades Longitudinales).
- ✓ **C2** (Intensidad de Grietas y Parches).
- ✓ **C3** (Deformaciones transversales).

Estos coeficientes de apreciación del pavimento son asumidos de acuerdo a la calificación que se les dé según la tabla 2.8 del Capítulo II, para luego poder aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{PSI} = 6.20 - 0.8 * \text{C1} - 0.3 * \text{C2} - 0.1 * \text{C3}$$

Una vez obtenida la información de los coeficientes **C1**, **C2** y **C3**, estos valores se reemplazan en la ecuación 2.5 para obtener el valor del PSI

CALCULO DEL PSI.

Se calculó el PSI de todas las secciones de estudio y para determinar el PSI de todo el tramo se calculó la media aritmética o valor promedio de los resultados del PSI de todas las unidades evaluadas, aplicando la ecuación 2.5. Con el valor obtenido en la tabla 2.7, se obtiene la serviciabilidad que ofrece el pavimento.

Para determinar los coeficientes de correlación para el cálculo del PSI en el presente trabajo es mas practico puesto que expresa el estado de la superficie en términos de severidad de acuerdo a apreciaciones en el terreno; se los identifica según los criterios del proyectista, estas apreciaciones están en función de las propiedades físicas del estado del pavimento que son las deformaciones en el perfil longitudinal similar a las variaciones que se puedan registrar por el rugosímetro (lisura longitudinal), deformaciones transversales (ahuellamiento) medidas por la regularidad del pavimento determinadas por el cálculo de IRI, y a desprendimientos materiales del pavimento, fundamentalmente a baches y grietas (cuantificados en porcentajes respecto a la superficie del pavimento) determinadas en el cálculo del PCI.

Básicamente para valorar el estado del pavimento se basa exclusivamente en la apreciación personal (subjetiva) del usuario con respecto a la facilidad que ofrece la superficie de rodamiento para ser recorrido cómodamente y de forma segura.

El Índice de Serviciabilidad Presente da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese el estado de la superficie del pavimento en términos de serviciabilidad.

En el ANEXO III se muestra los resultados más detallados del cálculo del PSI para cada sección evaluada.

RESULTADOS DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN DEL PSI.

Este es el resumen de los resultados obtenidos por el método de evaluación PSI.

PROGRESIVA	VALOR	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
0+000 – 4+000	PSI =2,48	REGULAR

Cuadro 3.5 Resultado PSI del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

Según la tabla 2.7 adjuntado en el Capítulo II de este proyecto, los rangos del PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) el tramo total en estudio de pavimento flexible, tiene una calificación **REGULAR**.

3.7.4. RESULTADOS DE CADA MÉTODO DE EVALUACIÓN EXPRESADOS EN PSI.

Los resultados de cada método tienen que ser expresados en valores de serviciabilidad para determinar cual es la calidad de servicio que ofrece el camino a los usuarios, en base a estos se plantea el tipo de mantenimiento a realizar.

METODO DE EVALUACION	PCI	IRI	PSI	TIPO DE MANTENIMIENTO
Índice de Condición del Pavimento	48,73		2,44	Mantenimiento de rutina permanente
Índice de Regularidad Internacional		7,40	1,32	Mantenimiento periódico
Índice de Serviciabilidad Presente			2.48	Mantenimiento de rutina permanente

Cuadro 3.6 Resultados del PCI, IRI expresados en PSI **Fuente:** Elaboración Propia

3.7.5. ESTADO GENERAL DEL PAVIMENTO.

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

TRAMO	PCI	PSI	IRI m/km	SERVICIABILIDAD DEL TRAMO
Puente Tomatitas-Coimata Prog. 0+000 – 4+000	48,73	2,48	7,40	REGULAR

Cuadro 3.7 Diagnóstico General del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

3.8. ANALISIS DEL SUELO DE LA SUBRASANTE DEL TRAMO

Para tener un conocimiento del tipo de material y las características que está conformada la subrasante se realizaron ensayos de laboratorio, estos ensayos se encuentran en el ANEXO V.

La muestra obtenida fue extraída del área de estudio realizando una excavación hasta una profundidad de 20 cm por debajo del nivel del empedrado.

3.8.1. ANALISIS GRANULOMETRICO

Peso Total (gr.)			1821,89		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret.	% que pasa del total
3"	76,2	0	0	0,0	100,0
2"	50,8	0	0	0,0	100,0
1½"	38,10	448,37	448,37	24,6	75,4
1"	25,40	272,77	721,14	39,6	60,4
¾"	19,05	151,02	872,16	47,9	52,1
½"	12,70	103,03	975,19	53,5	46,5
3/8"	9,50	94,27	1069,46	58,7	41,3
Nº4	4,80	146,01	1215,47	66,7	33,3
Nº10	2	105,94	1321,41	72,5	27,5
Nº40	0,43	213,47	1534,88	84,2	15,8
Nº200	0,075	244,66	1779,54	97,7	2,3
Base		42,35			

Cuadro 3.8 Análisis granulométrico del material de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

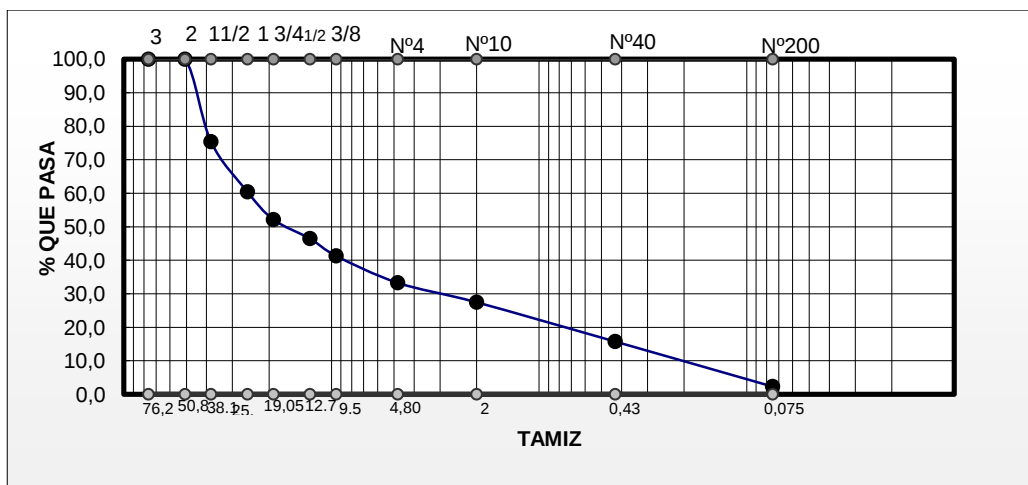


Figura 3.4 Curva Granulométrica del Material de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

3.8.2. LIMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL)	28,01
Límite Plástico (LP)	19,75
Índice de Plasticidad (IP)	8,26

Cuadro 3.9 Límite Líquido y Plástico de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

3.8.3. CLASIFICACION DEL SUELO DE LA SUBRASANTE

Descripción del Tipo de Suelo según Clasificación	Clasificación De Suelos
AASHTO: Gravas y arenas limosas o arcillosas Comportamiento general como subrasante: excelente a bueno	AASHTO: A - 2 - 4(0)

Cuadro 3.10 Clasificación del Suelo de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

Este suelo está constituido por una mezcla de arenas y gravas en una matriz limosa y/o arcillosa de baja plasticidad, cuya proporción y gradación son variables.

La influencia de las partículas de limo sobre los suelos gravosos y arenosos, referentes al comportamiento esfuerzo - deformación es de suma importancia, de manera especial si estos suelos son expuestos a saturaciones.

La infiltración de aguas en estos suelos, sumada a un flujo de naturaleza turbulenta, eventualmente determina el lavado y arrastre de las partículas de limo, lo que origina una reorganización de sus componentes granulares que muchas veces se traducen en fenómenos

de erosión y asentamientos, cuyas magnitudes son generalmente impredecibles y difíciles de cuantificar.

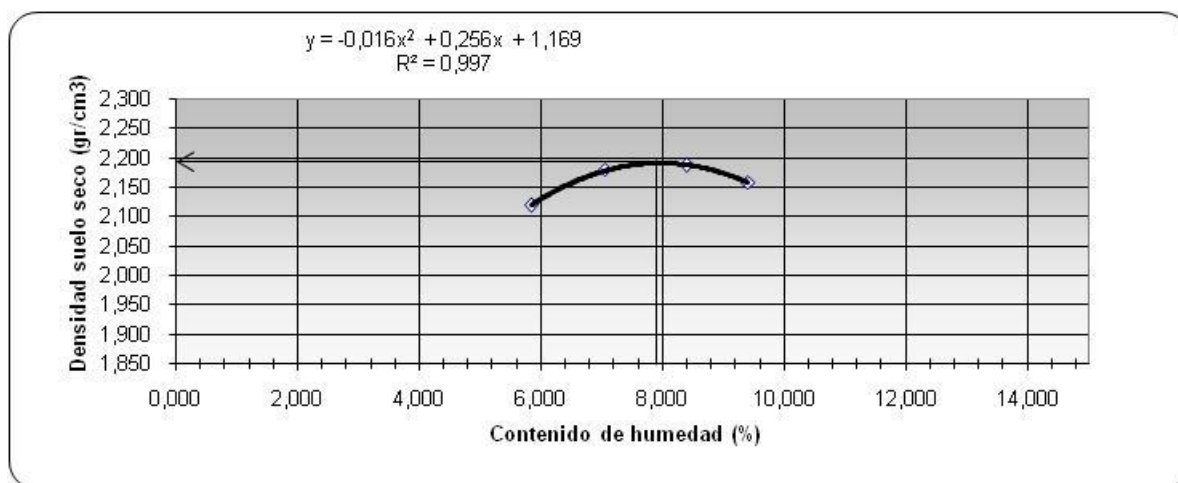
Estos asentamientos modifican a su vez el sistema de esfuerzos internos de los materiales, iniciando un proceso gradual de deformación, llegando inclusive a colapsar el suelo.

Por otra parte, es muy acentuado el efecto que producen las partículas de limo, reacomodándose entre los intersticios de los materiales arenosos y los materiales de granos más grandes representados por gravas y fragmentos de roca, llegando a disminuir la permeabilidad propia y característica de estos suelos, haciéndolos más sensibles a la acción de cargas de tipo no drenado, es decir, a cargas rápidas que no permiten la disipación de excesos de presión de poros inducidos por los mismos.

Estos suelos cuando están saturados sufren cambios de volumen debido a las variaciones térmicas producidas por el efecto cíclico de las heladas.

Para el uso como material de subrasante estos materiales son calificados desde excelentes a buenos.

3.9.4. COMPACTACIÓN DEL MATERIAL DE LA SUBRASANTE



Valores obtenidos de la compactación:

Densidad máxima gr/cm3	2,19
Humedad óptima %	7,97

Cuadro 3.11 Resultados de la Compactación T-180 de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

La compactación del suelo tiene por objeto reducir el volumen de los vacíos y así aumentar su resistencia, volviéndolo más estable.

Al compactar un suelo se establece un contacto más firme entre las partículas; las partículas de menor tamaño son forzadas a ocupar los espacios vacíos formados por los de mayor dimensión. Cuando un suelo está compacto, aumenta su valor soporte. Como las partículas se hallan firmemente adheridas después de la compactación la masa del suelo será más densa y el volumen de vacíos quedará reducido a un mínimo, por consiguiente la capacidad absorbente de agua del suelo queda grandemente reducida por efecto de la compactación

Cuando se realiza la compactación del suelo, bajo diferentes condiciones de humedad y determinada energía de compactación, la variación de las densidades en función de la humedad se representa por una curva. Cada suelo tiene su propia curva de compactación, que es característica del material y distinta de los otros suelos. La curva nos muestra que hay un determinado punto para el cual la densidad es máxima. La humedad correspondiente a este punto es denominada humedad óptima.

La compactación para el suelo, fue realizada en el Laboratorio de Suelos, siguiendo la guía de laboratorio de suelos.

3.8.5. DENSIDAD EN SITIO DE LA SUBRASANTE

El grado de compactación de la subrasante obtenida en Laboratorio por el método del cono de arena nos determino los siguientes resultados lo que indica que no se llevo al grado requerido en las especificaciones técnicas.

Densidad del suelo	1,82	grs/cm ³
Densidad máxima de la curva de compactación	2,19	grs/cm ³
Porcentaje de compactación	83,12	%

Cuadro 3.12 Resultados de la Densidad de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

3.8.6. CBR DE LA SUBRASANTE

100% DE LA DENSIDAD MAXIMA			
C.B.R. (%) =	44,145	EXPANSIÓN (%) =	0,067
95% DE LA DENSIDAD MAXIMA			
C.B.R. (%) =	33,605	EXPANSIÓN (%) =	0,124

Cuadro 3.13 Resultados del CBR de la Subrasante **Fuente:** Elaboración Propia

El método C.B.R.(California Bearing Ratio / Relación de Soporte California), establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo, y la capacidad de soporte como base de sustentación para el diseño de pavimentos flexibles, tomando como material de comparación la piedra triturada.

El ensayo de CBR para el suelo, fue realizado en el Laboratorio de Suelos siguiendo la guía de laboratorio de suelos.

3.8.7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

El estudio del suelo de la sub rasante nos determino que el material que está compuesto la subrasante es un material del tipo A-2-4(0) con un C.B.R. del 33,61 % el cual es un material bueno para la conformación de subrasante.

100 %	—	80 %	Son excelentes materiales para bases
80 %	—	50 %	Son buenos materiales para bases
50 %	—	30 %	Son buenos materiales para subbase
30 %	—	20 %	Son muy buenos materiales para subrasante
20 %	—	10 %	Son buenos materiales para subrasante
10 %	—	5 %	Son regulares materiales para subrasante y son los más usuales en nuestro medio
5 %	—	0 %	Son malos materiales para subrasante.

Categoría Subrasante	Clasificación de los Suelos		Características del Suelo	
	U.S.C.S	ASSHTO	CBR%	K(Kg/cm ³)
A. <u>Muy Buena</u>	GW,GP,GM,GC	A1-a, A1-b, <u>A2-4, A2-5,</u>	<u>> 25</u>	> 8
B. Buena	SC-SM	A2-6, A2-7 A3	6-25	4-8
C. Deficiente	ML,CL,MH,CH OH, OL	A-5, A-6 A7-5, A-4 A7-6	2-6	2-4

3.9. ANALISIS DE TRAFICO DEL TRAMO TOMATITAS – COIMATA

Para determinar el tráfico y sus características que circula en el tramo se evaluó en un periodo de un mes con el fin de obtener el volumen promedio total por cada tipo de vehículos que circulan y así determinar el Número de Ejes Equivalentes que circularan en el tramo en el periodo de vida útil que se proyectó para establecer si fue estimado el tráfico en el momento de realizar el diseño de la capa de rodadura y así poder tener una referencia si el tráfico fue el causante del deterioro del tramo evaluado, el análisis del estudio de tráfico vehicular se encuentra en el ANEXO VI.

3.9.1. TRAFICO POMEDIO HORARIO

Sentido ida hacia Coimata

Tipo de Vehículo	TPH (Prom.) [veh/h]	TPD [veh/día]
Livianos	6,33	42
Medianos	5,17	34
Pesados	1	4

Sentido vuelta hacia Tomatitas

Tipo de Vehículo	TPH (Prom.) [veh/h]	TPD [veh/día]
Livianos	6,83	46
Medianos	5,50	37
Pesados	1	6

Cuadro 3.14 TPH de los Carriles de Ida y Vuelta del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

3.9.2. TRAFICO PROMEDIO DIARIO

$$TPD = \frac{TPH_{prom}}{0.15}$$

Tipo de Vehículo	TPD [veh/día]	% TPD
Livianos	88	52,0
Medianos	71	42,1
Pesados	10	5,9
Total =	169	100,0

Cuadro 3.15 TPD del Tramo **Fuente:** Elaboración Propia

3.9.3. CALCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES W18 PARA PAVIMENTO FLEXIBLE (N=15 años)

Consecuentemente basándonos en los datos de los conteos vehiculares para cada tipo de vehículo, estimamos el tránsito promedio diario, sustituyendo en cada ecuación de regresión obtenida, el valor correspondiente a cada año hasta el año 15 (2027), el cual se ha establecido como periodo de diseño estimado.

Tipo de Vehículo	Tráfico Prom. Diario (TPD)	Porcentaje (%) TPD	Índice de Crecimiento (IC)	Factor de Carga Equiv. (FCE)
Livianos	88	52	2,05	0,0041
Medianos	71	42	2,05	1,4767
Pesados	10	6	2,05	1,7733
Total =	169	100,0		

Cuadro 3.16 Factores de Carga Equivalente Según Tipo de Vehículo **Fuente:** Elaboración Propia

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES
LIVIANOS	2508
MEDIANOS	731900
PESADOS	123596
TOTAL EJES EQUIVALENTES	8,58E+05

Cuadro 3.17 Total de Ejes Equivalentes del Tramo Evaluado **Fuente:** Elaboración Propia

3.10. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL EMPEDRADO

Un factor importante para determinar si la estructura del empedrado cumple con un diseño adecuado utilizamos la fórmula del Ingeniero Williams Mills, para el cálculo de espesores del pavimento de empedrado (pavimento flexible) formula adaptada para el cálculo de espesores de pavimento de empedrado. Esta fórmula toma como factor principal el CBR auxiliado por el índice de grupo, un factor adicional que toma en cuenta el drenaje de la superficie y considera además la intensidad y peso del tráfico.

$$T_{sb} = \left\{ \left[\frac{(2 * T_c + T_g)}{3} \right] - (S + B + L) \right\} * F_d$$

Donde:

T_{sb} = Espesor de subbase

T_c = Espesor total del pavimento indicado por el método del CBR, espesor que depende del CBR de la subrasante Figura 2.21

T_g = Espesor total de pavimento indicado por el método del índice de grupo, espesor que depende del índice de grupo de la subrasante Figura 2.22

S = Espesor de capa de rodado

B = Espesor de capa de base Tabla 2.20

L = Espesor de capa de asiento.

F_d = Factor de incremento de espesor por mal drenaje Tabla 2.22

Debe cumplirse además que:

$$\frac{2 * T_c + T_g}{3} \geq T_c$$

En caso de ser menor se utilizará el valor de T_c .

Análisis del tráfico

El tráfico del tramo evaluado es liviano con un TPD de 1000 veh/día máximo según la Tabla 2.19 se obtiene la carga de diseño de 10.000 lb/rueda.

El espesor total del pavimento $T_c = 16$ cm que la obtenemos de la Figura 2.21 por el Método del CBR, depende del CBR de la Subrasante.

El espesor total del pavimento $T_g = 15$ cm que la obtenemos de la Figura 2.22 por el Método del Índice de grupo del material de la Subrasante.

Capa de rodadura

El espesor de la piedra que debería usarse en la capa de rodadura del tramo evaluado según el tráfico liviano es $S = 10$ cm.

Capa de asiento

Espesor aproximado $L = 3$ cm.

Material arena de río sin excesiva cantidad de finos.

Capa de base

El espesor para la capa base según la tabla 2.20 se obtiene un espesor $B = 15$ cm según las características del suelo que es un material suelo granular, preferentemente con grava, bien graduado y que compacte fácilmente; que cumpla mínimamente:

Valor soporte CBR mínimo: 60 %

Límite líquido máximo 27 %

Índice de plasticidad máximo 8 %

Factor de incremento de espesor por mal drenaje

El Factor de incremento se determina en función de la pendiente longitudinal del tramo entre 0 % y 2% según la tabla 2.22, en el tramo evaluado tenemos pendientes variables con un promedio de 3,15% con un CBR igual o mayor que 20 y un índice de grupo igual o menor que 3 por lo que no se necesita un factor de incremento.

$$\frac{2 * 16 + 15}{3} \geq 16$$

$$15,67 \geq 16$$

Como la relación $\frac{2 * T_c + T_g}{3} \geq T_c$

es menor que el T_c entonces utilizamos $T_c=16$ en la fórmula para el cálculo de T_{sb}

$$T_{sb} = \{16 - (10 + 15 + 3)\}$$

$$T_{sb} = - 16,40 \text{ cm.}$$

Este resultado nos indica que no es necesaria una capa de sub-base, quedando el pavimento de la siguiente manera:

Capa de base 15 cm.

Capa de asiento 3 cm.

Empedrado 10 cm.

Espesor total 28 cm.

El espesor total de la estructura de empedrado es de 28 cm. El cual nos ayudara a comparar con el espesor actual del tramo evaluado para determinar si existe una deficiencia estructural que probablemente sea el causante de las fallas que existen en el pavimento.

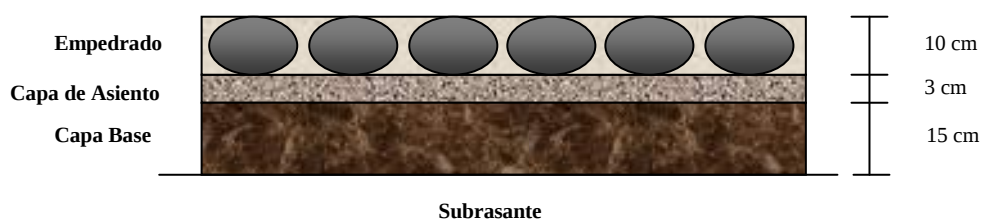


Figura 3.5 Diseño adecuado del empedrado **Fuente:** Elaboración Propia



Figura 3.6 Empedrado Actual **Fuente:** Elaboración Propia

Analizando el diseño actual del empedrado con el diseño calculado y correcto del empedrado nos muestra que el empedrado actual no cuenta con una capa base lo que nos lleva deducir que existe una deficiencia estructural en el pavimento de empedrado porque se obvió la capa base indispensable para todo tipo de estructura de pavimento para una mejor distribución de cargas hacia la subrasante, lo que hace que comporte

estructuralmente como un pavimento flexible convencional, un factor para que hayan obviado la construcción de la capa base podría ser el costo que significaría la conformación de esta base a la Alcaldía por no contar con un presupuesto para la ejecución ó la buena calidad del material de la subrasante, porque no sería necesario conformar una subrasante mejorada.

3.11. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO SOBRE EMPEDRADO

Análisis de la Estructura actual del Pavimento sobre empedrado del Tramo mediante el Método AASHTO.

Numero de ejes equivalentes $W_{18} = 858004$

Confiabilidad $R = 85\%$ (arterias rurales colectoras)

Desviación estándar normal $Z_r = -1.037$

Desviación estándar $S_o = 0,45$ Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el transito.

Índice de la calidad de servicio $\Delta PSI = 2,2$

Modulo resiliente $M_r = 22,1 \times CBR^{0,55}$ (Mpa)

Para el $CBR > 20\%$

$M_r = 152,74 \text{ Mpa} = 22153,06 \text{ psi}$

Coefficiente estructural de la Carpeta asfáltica (a_1)

El coeficiente estructural a_1 de la carpeta asfáltica de la tabla 2.27 $a_1 = 0.44$

Coefficiente estructural de la Capa Base (a_2)

La base (empedrado) asumimos un valor de soporte CBR de 100% (caso extremo) en la tabla 2.28 se obtiene el módulo y el coeficiente a_2 .

Coefficiente estructural $a_2 = 0.14$

Coefficientes de drenaje de capa (m_2 , m_3)

Los factores (m_2 , m_3) para la vía en estudio se determinaron en base a datos del clima de la Tabla 2.36

La calidad del drenaje, es decir el tiempo que tarda el agua en ser eliminada de la vía es regular, debido a la constante humedad en el lugar.

El porcentaje del tiempo que la estructura está expuesta a humedad es $= 5 - 25\%$ y según la Tabla 2.31 los coeficientes de drenaje: m_2 y $m_3 = 1$

Diseño de la Estructura de Pavimento

Cálculo del Número Estructural (SN)

Determinados los parámetros necesarios que intervienen en la ecuación general de diseño, se procede a encontrar un número estructural (SN) que soporte el W18 proyectado para el diseño.

Determinación de espesores por capa

Obtenido el SN para la sección estructural del pavimento, es necesario determinar una sección multicapa que provea la suficiente capacidad de soporte equivalente al SN calculado.

La siguiente ecuación se utilizó para obtener los espesores de cada capa;

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

De la Tabla 2.26 Valores mínimos D1, D2 en función del tráfico W18

La vía en estudio tiene un número de ejes equivalentes W18 = 858004, por tal razón el espesor mínimo de la carpeta asfáltica D1 = 3 plg y de la capa base D2 = 6 plg.

El empedrado actual cumplirá la función de una base; con un espesor de 130 cm, en el diseño de la estructura se determinarán los espesores de la capa asfáltica

Procedimiento:

Tipo de Pavimento ☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 85 % $Z_R = -1.037$ So 0.49	
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2.1		Módulo resiliente de la subrasante Mr 22153.06 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - E _c (psi)		Coeficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - S _c (psi)		Coeficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis ☒ Calcular SN W18 = 858004 ☐ Calcular W18		Número Estructural SN = 2.15	

PAVIMENTO FLEXIBLE

**Calculo de Espesores de la Estructura
Pavimento de Asfalto - 15 años**

$$\log W_{18} = Z_R * So + 9.36 \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

- W18** = 858004 *Número de ejes equivalentes a 18000 Lb que solicitaran durante el periodo de vida útil.*
R = 85 *Nivel de confiabilidad*
Zr = -1.037 *Desviación normal standard para el grado de confiabilidad R elegido.*
So = 0.49 *Error estándar combinado de las predicciones de transito y de comportamiento*
Pi = 4.2 *Serviciabilidad inicial*
Pt = 2.1 *Serviciabilidad final*
ΔPSI = 2.1 *Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.*
Mr = 22153,06 [PSI] *Modulo Resiliente de la Subrasante.*
CBRs-r = 33,61% *Valor de Soporte California (Sub Rasante)*

$$M_R = 22,1 \times CBR^{0,55} [MPa] \quad \text{Fórmula Empírica Según AASTHO}$$

- SN** = 2.15 [pulg] *Número Estructural del Pavimento.*
SN = 55 [mm] *Número Estructural del Pavimento.*

ESPESORES DEL PAQUETE ESTRUCTURAL MEDIANTE EL METODO DE CAPAS

Donde:

- a1** = 0.44 *Coefficiente Estructural de capa de rodadura*
a2 = 0.14 *Coefficiente Estructural de capa la Base*
a3 = 0.111 *Coefficiente Estructural de capa de la Sub base*
m2 = 1.00 *Coefficiente de Drenaje de la capa Base*
m3 = 1.00 *Coefficiente de Drenaje de la capa Sub base*
D1 = 50.0 [mm] *Espesores de la Carpeta Asfáltica Actual*
D2 = 130.0 [mm] *Espesor de la Capa de Empedrado Actual (Trabaja como Capa Base)*

$$SN_1 = 1.79 \quad \text{Para la Carpeta Asfáltica}$$

$$SN_2 = 2.15 = SN \quad \text{Para la Capa Base}$$

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad \text{Sustituyendo en la ecuación } D_1^* \geq 4,07$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^*$$

$$SN_1^* = 1.79$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \times m_2}$$

$$D_2^* \geq 2,57$$

$$SN_2^* = a_2 m_2 D_2^*$$

$$SN_2^* = 0,36$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$1,79 + 0,36 \geq SN_2$$

$$2.15 \geq 2.15 \text{ OK}$$

Los espesores minimos en funcion del SN son:

$$D_1^* = 45 \text{ mm.}$$

$$SN_1^* = 7 \text{ mm.}$$

Carpeta de Rodadura

$$D_2^* = 10 \text{ mm.}$$

$$SN_2^* = 1,4 \text{ mm.}$$

Capa Base

Evaluacion de la Estructura del Pavimento Flexible Actual con el Paquete Computacional DARWin

Evaluacion Superficial Asfaltado sobre Empedrado Tramo To...

Description:
Evaluacion del Diseño Estructural del Pavimento Tomatitas - Coimata

80-kN ESALs Over Initial Performance Period: 858,004

Initial Serviceability: 4.2

Terminal Serviceability: 2.1

Reliability Level (%): 85

Overall Standard Deviation: 0.49

Roadbed Soil Resilient Modulus: 152,740.031965 kPa

Number of Construction Stage: 1

Design Structural Number: 55 mm

Thickness Designs

Layered Specified Optimized

Layer	Material Description	Struct. Coeff. (A _i)	Drain. Coeff. (M _i)	Thick. (D _i) (mm)	One Direct Width (m)	Structural Number (mm)	Thickness to match Design SN (mm)
1	Carpeta Asfaltica	0.44	1	50	22	84	
2	Capa Base	0.14	1	130	18	236	

Thickness Sum: 180

Design SN Source: Flex Design SN Design SN: 55 (mm) Calculated SN: 40 (mm) Design is ineffective.

OK Cancel Clear Materials...

Thickness Designs

Layered Specified Optimized

Layer	Material Description	Struct. Coeff. (A _i)	Drain. Coeff. (M _i)	Thick. (D _i) (mm)	One Direct Width (m)	Structural Number (mm)	Thickness to match Design SN (mm)
1	Carpeta Asfaltica	0.44	1	85	37	84	
2	Capa Base	0.14	1	130	18	126	

Thickness Sum: 215

Design SN Source: Flex Design SN Design SN: 55 (mm) Calculated SN: 56 (mm) Design is OK.

OK Cancel Clear Materials...

Thickness Designs

Layered Specified Optimized

Layer	Material Description	Struct. Coeff. (A _i)	Drain. Coeff. (M _i)	Thick. (D _i) (mm)	One Direct Width (m)	Structural Number (mm)	Thickness to match Design SN (mm)
1	Carpeta Asfaltica	0.44	1	100	44	84	
2	Capa Base	0.14	1	130	18	79	

Thickness Sum: 230

Design SN Source: Flex Design SN Design SN: 55 (mm) Calculated SN: 62 (mm) Design is OK.

OK Cancel Clear Materials...

Cuadro 3.18 Análisis del Espesor del Pavimento sobre Empedrado Mediante el Software.

DARWin **Fuente:** Elaboración Propia

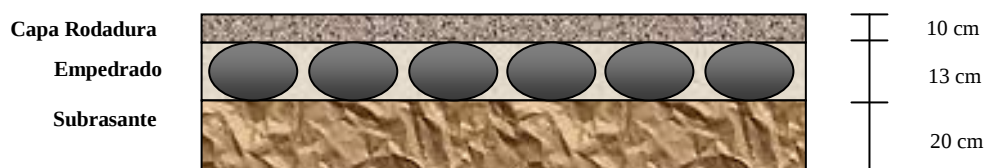


Figura 3.7 Diseño de la Carpeta Adecuado al Tráfico Actual **Fuente:** Elaboración Propia

Mediante el análisis de diseño de la estructura del pavimento sobre empedrado conforme a las solicitaciones de carga actuales deducimos que la capa de rodadura actual en comparación con un nuevo diseño de la capa de rodadura con los factores que se aproximan a un diseño de pavimento asfáltico sobre empedrado tiene una deficiencia estructural ya la capa actual de 5 cm. es insuficiente para soportar las solicitaciones de carga, lo cual mediante este análisis de comparación el espesor de la capa de rodadura debería ser de 10 cm. para poder soportar las cargas de los vehículos adecuadamente.

3.12. ANÁLISIS GENERAL DE LAS CAUSAS POSIBLES DEL DETERIORO DEL PAVIMENTO

Ahora que se conoce de manera detallada los deterioros presentes en el tramo de estudio y las causas posibles, se puede hacer el análisis de estas y clasificarlas en categorías. Se destacan 3 grandes orígenes para los deterioros:

- Problema estructural y de diseño
- Problema en la calidad de la ejecución
- Problema relativo a las solicitaciones

3.12.1. DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Capa estructurales

El primer origen que se destaca es el fallo o la insuficiencia de las capas estructurales. En efecto, unos de los deterioros recurrentes como los baches o algunos tipos de grietas pueden ser originados por la ausencia de la capa base del empedrado lo que ocasiona deformaciones aceleradas del empedrado por las solicitaciones de carga reales insuficientes para mantener la vía firme.

Capa superficial

El segundo origen que se destaca es la capa superficial inicial en la cual se ha colocado la mezcla asfáltica. En efecto, esta capa superficial que era empedrado, puede haber sido inadecuada e impropia para estar recubierta por la mezcla asfáltica. Puede haber presentado fallas previas de tipo de deformaciones iniciales, baches, ahuellamiento, hundimiento presencia de humedad o todos tipos de problemas que pueden estropear sus propiedades, las cuales no fueron reparadas mediante un trabajo adecuado para volver a tener un empedrado nivelado adecuado para colocar la capa asfáltica.

Diseño del proyecto

El diseño del proyecto también se destaca como causa posible del deterioro. Tanto el diseño de la mezcla asfáltica como el diseño estructural adecuado para el empedrado a esto nos referimos a la ausencia de la capa base que debería tener el empedrado y a su vez también la ausencia de la capa base para el diseño de la estructura del pavimento, esta capa base es muy separada de la estructura del empedrado ya que debería contar con esta capa para tener un firme adecuado para colocar la capa de rodadura sin irregularidades como las que presenta el empedrado, otro análisis es el diseño del espesor de la capa de mezcla asfáltica que se debe colocar, pueden originar deterioros. En efecto, si el pavimento es mal diseñado, es inadecuado para soportar las solicitaciones de diseño y por lo tanto, se deteriora. Hay que notar también que el diseño puede haber sido bueno, pero que si la elección de las solicitaciones era mala, el pavimento se deteriora igual.

3.12.2. CALIDAD DE LA EJECUCIÓN

Propiedades de la mezcla asfáltica

Otro origen que se destaca dentro de las causas posibles del deterioro es la calidad de mezcla asfáltica colocada. En efecto, es posible que la mezcla asfáltica sea de mala calidad, de mala fabricación o que no cumpla con los requisitos de las especificaciones técnicas y así fragiliza y hace fallar el pavimento. Por lo tanto, si la mezcla asfáltica no cumple, pesa a ser una de las causas ciertas del deterioro.

Proceso constructivo

El deterioro puede ser también el resultado de un mal proceso constructivo. En efecto, puede que el transporte del asfalto, la colocación o la compactación no se realizaron con un

control riguroso, lo que implicaría que la carpeta asfáltica no tenga todas sus propiedades y así se deterioraría, también otro factor causante de las fallas en la deficiente imprimación bituminosa ocasionando la mala adherencia de la capa de rodadura con el empedrado.

3.12.3. SOLICITACIONES EXTERIORES

El tránsito

Dentro de los orígenes posibles del deterioro relativos a las solicitudes sobre el pavimento, el tránsito es el punto más relevante. El tránsito puede ser una de las causas importantes del deterioro. En efecto el tránsito puede haber sido mal estimado, tanto el aspecto de la cantidad como de la naturaleza de los vehículos que transitan. De modo que el pavimento es sometido a cargas demasiadas importantes con respecto a lo que se ocupó para diseñarlo. Lo que puede participar en el deterioro del pavimento.

El agua y el sistema de drenaje

El agua y el sistema de drenaje, si no han sido adecuadamente considerados, también pueden contribuir al deterioro del pavimento. En efecto, si el sistema de drenaje es malo o inexistente, el agua y la humedad se vuelven un problema para el pavimento, lo dañan y pueden aceleran los deterioros existentes. Debido a que no fueron diseñados sistemas de drenaje adecuados para este tramo ya que en la mayor parte de la vía cuenta con cordones de piedra tallada para mantener confinadas las piedras del empedrado. Por lo tanto, el agua que escurre obligatoriamente debe buscar algún tramo que no cuente con estos cordones para escurrir fuera de la vía y por no tener un sistema de drenaje para evacuar las mismas ocasiona que se infiltre a la capa de rodadura por el tiempo que esta se encuentra escurriendo hasta encontrar una salida esto podría ser parte de las causas posibles del deterioro.

3.12.4. DIAGRAMA RESUMEN DE LAS CAUSAS POSIBLES

Se presenta a continuación el diagrama resumen de las categorías de causas posibles del deterioro prematuro del pavimento.

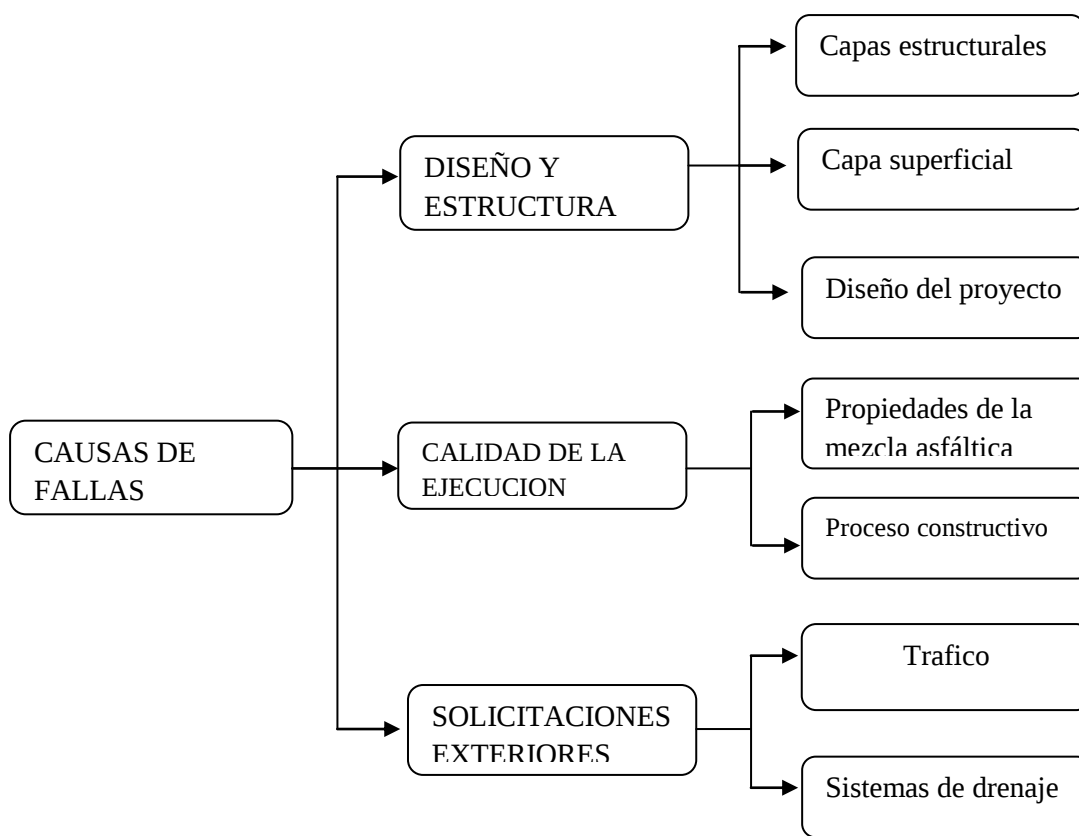


Figura 3.8 Causas posibles del deterioro prematuro Tomatitas-Coimata **Fuente:**

Elaboracion Propia

3.13. ALTERNATIVA DE SOLUCION

Las características superficiales iniciales de una vía se va deteriorando con el transcurso del tiempo, debido al paso del tránsito vehicular, los agentes climatológicos, y defectos durante su construcción, todas las operaciones de mantenimiento se realizan para tratar de resistir en lo posible esas características.

Todo trabajo de mantenimiento debe ser planeado a poco tiempo de puesta en funcionamiento la obra, tratando de solucionar todos los problemas que se vayan presentando en el pavimento, y solucionando con los menos recursos posibles, y estos trabajos deben estar destinados a frenar los deterioros prematuros de la vía.

Lo que se debe de tener en cuenta que la conservación debe estar en estrecha relación con la construcción de la vía. Una vía proyectada y construida de buena calidad según el trafico que soportara, tendrá unos gastos de conservación menores, pero es importante analizar que

los gastos de conservación y mantenimiento compensan los gastos iniciales de la obra, por lo contrario una vía construida con costos reducidos tendrá un gasto de conservación muy alto, los gastos de conservación originan un aumento de costo para los usuarios, también esta vía puede traer accidentes de tránsito, esto significa poner en riesgo la vida de los usuarios que hacen uso de esta vía.

3.13.1. ESTADO ACTUAL DEL TRAMO TOMATITAS - COIMATA

Tomando en cuenta el estado actual del tramo Tomatitas – Coimata utilizamos la curva de deterioro de caminos (Figura 2.17) para determinar la fase que se encuentra el tramo para determinar los niveles de intervención que se debe realizar en el tramo.

Como el estado actual del tramo Tomatitas-Coimata es **REGULAR** y en base a la curva de deterioro el tramo está en la fase C donde la superficie de rodadura está cada vez más agotado; el camino entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular. Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta y la percepción de los usuarios es que el camino se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así.

En otras palabras, cuando la superficie de rodadura presenta fallas graves que pueden verse a simple vista, se puede asegurar que la estructura básica del camino está siendo seriamente dañada. Estos daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte del camino. Esta fase es relativamente corta, ya que una vez que el daño de la estructura básica se generaliza, la destrucción es acelerada.

3.13.2. NIVELES DE INTERVENCIÓN PARA EL TRAMO TOMATITAS - COIMATA

Determinado el estado actual del tramo, es imprescindible plantear niveles de intervención para la conservación vial del tramo Tomatitas – Coimata para evitar que el tramo pase a la siguiente fase en la curva de deterioros donde tengamos que aumentar los costos para una rehabilitación, con la intervención vial oportuna evitaremos al máximo posible la pérdida del capital invertido en este tramo mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino.

Esto se logra, principalmente, brindando un mantenimiento de tipo rutinario y periódico que logra evitar la destrucción de la estructura de los caminos y su posterior rehabilitación o reconstrucción. La conservación constituye, por tanto, la realización de actividades o tareas que no impliquen modificar la estructura existente del camino.

MANTENIMIENTO RUTINARIO

Consiste en la reparación localizada de fallas en la superficie de rodadura. Se debe aplicar con regularidad una vez al año.

Estas actividades, que por su naturaleza son intensivas en el uso de mano de obra, pueden ser encomendadas a micro y pequeñas empresas que se constituyen específicamente para este propósito.

MANTENIMIENTO PERIÓDICO

Aunque este concepto puede inducir a error, pues todas las actividades de conservación son periódicas, es decir que deben ser repetidas cada cierto tiempo, se ha optado por su utilización pues se diferencia del mantenimiento rutinario en que éstas se realizan cada cierto número de años. Se aplica, generalmente, al tratamiento y a la renovación de las superficies dañadas de la vía.

El tratamiento de superficie se orienta a restablecer algunas características de la superficie de rodadura, sin constituirse en un refuerzo estructural. Entre sus características está la de preservar en buena forma la superficie de rodadura, de manera que asegure la integridad estructural del camino por un tiempo más prolongado y evite su destrucción.

Desde su puesta en servicio para los usuarios el Tramo Tomatitas Coimata no se realizó ningún mantenimiento de rutina solo bacheos atribuibles a defectos de construcción realizados por la empresa ejecutora del trabajo, por lo que en 5 años de servicio sin un mantenimiento rutinario el estado del tramo en la actualidad es regular.

Las fallas empezaron a hacerse notorias a partir del 2do año de su puesta en servicio por lo que es indispensable para este tramo un mantenimiento periódico mantenimiento periódico cada tres años.

3.14. PLANTEAMIENTO GENERAL DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO PARA EL TRAMO TOMATITAS COIMATA

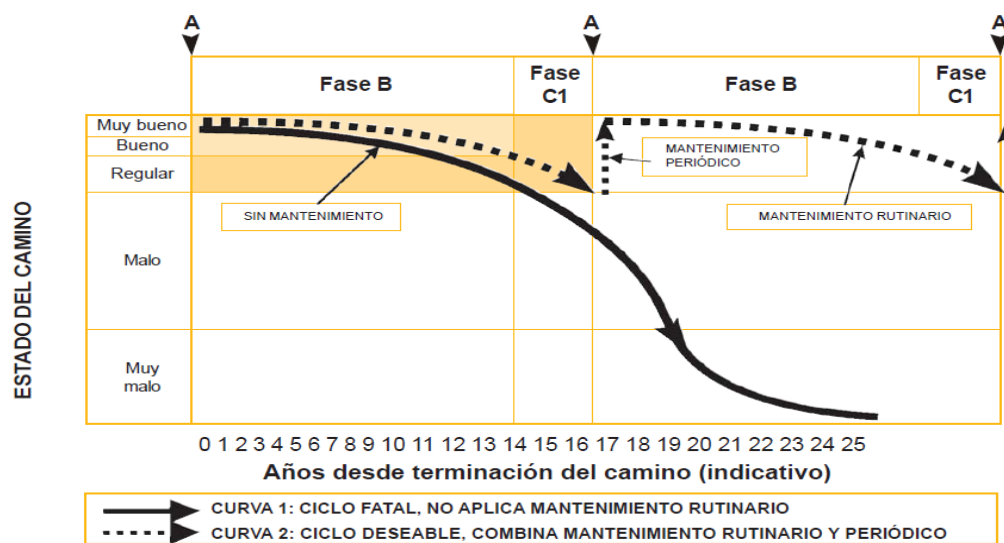


Figura 3.9 Sistema de Mantenimiento Planteado **Fuente: O.I.T.**

Tomando en cuenta los niveles de intervención señalados para el tramo Tomatitas - Coimata, se considera que es posible lograr una adecuada conservación vial de este tramo estableciendo un ciclo deseable de vida del camino. Así, si el ciclo se inicia con tramo pavimentado nuevo, éste se encontrará en un estado óptimo de servicio. Si no se desarrollan adecuadas actividades de mantenimiento, el tramo entra en un proceso acelerado de deterioro, como lo señala la curva 1 en la figura 3.9

Pero si la institución encargada de la conservación vial en este caso por tratarse de un camino vecinal nos referimos a la Alcaldía de San Lorenzo, a través de sus técnicos desarrolla un sistema de mantenimiento rutinario y preventivo, este desgaste tenderá a ser más lento (ver curva 2 en la figura 3.9) y prolongará en el tiempo la necesidad de intervenir con un mantenimiento de tipo periódico, es decir de reponer la capa de asfalto. Si esta forma de conservación se desarrolla de manera sostenida, el camino no debería volver a necesitar de una rehabilitación o reconstrucción completa.

Para el Tramo Tomatitas Coimata se plantea un mantenimiento periódico un período aproximado de tres años si es que no se le da un mantenimiento rutinario, dependiendo del clima y volumen de tráfico que va incrementado. Pero si se le brinda mantenimiento rutinario, este período se puede prolongar a cinco años.

De esta manera, combinando un adecuado mantenimiento rutinario con un mantenimiento periódico oportuno, se consigue que el camino se mantenga en un estado óptimo de conservación, con los beneficios consiguientes para el transporte: menores tiempos de circulación, con el consiguiente ahorro en horas de trabajo para los transportistas y usuarios; ahorro de combustible y repuestos de los vehículos, lo cual redunda en menores costos de operación y tarifas más baratas del transporte de carga y pasajeros. Asimismo, el tramo bien mantenido asegura el acceso de vehículos, lo cual mejora el acceso de los turistas que visitan esta zona y mejora la productividad y los servicios, incrementando el desarrollo local. En la figura 3.10 muestra cómo se desarrolla un sistema de mantenimiento para la conservación de este tramo una vez concluida la reparación de todas las fallas para devolverle al tramo un estado de serviciabilidad bueno.

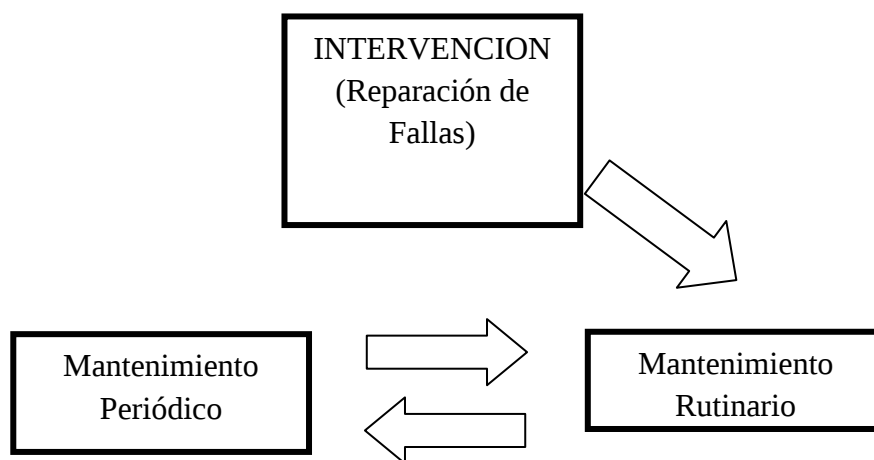


Figura 3.10 Ciclo Para la Conservación del Pavimento del Tramo Tomatitas-Coimata
Fuente: Elaboración Propia

3.15. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTO DE REPACION DE FALLAS DEL PAVIMENTO

3.15.1. CORTADO Y DEMOLICION DEL PAVIMENTO FALLADO

Una vez demarcadas las fallas donde se harán las reparaciones de bacheo del pavimento se procede a cortar el pavimento con una sierra mecánica para cortar pavimentos, posteriormente se demolerá todo el espesor de la carpeta asfáltica y al retiro de escombros.

3.15.2. RETIRO DEL EMPEDRADO

El retiro del empedrado, es la remoción del empedrado deformado o con hundimientos donde se realizará los bacheos.

Se debe extraer del empedrado que no se encuentre con el alineamiento adecuado o que se encuentre disgregado, producto de asentamientos de la subrasante, teniendo el cuidado de rescatar todo el material para ser reutilizado.

3.15.3. MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE Y NIVELACION

Una vez retirado el empedrado se procederá al mejoramiento de la subrasante con incorporación de material seleccionado y la nivelación de la subrasante hasta un espesor máximo de 0,20 m. por debajo del nivel de la capa de empedrado.

Se debe compactar el material de la subrasante en dos capas utilizando una compactadora vibratoria hasta que alcance la humedad optima y quede perfilada para la reposición de la capa de empedrado.

3.15.4. REPOSICION DE EMPEDRADO

El re empedrado comprende la construcción de la capa de piedras de donde se ha retirado la piedra anteriormente y se ha procedido a la nivelación de la subrasante. Si es necesario se debe restituir las maestras de lo contrario realizar el re empedrado entre las mismas dando la línea y el nivel correspondientes.

El empedrado se efectuará cumpliendo las siguientes instrucciones:

Para la conformación del empedrado, se colocará una capa de asiento de arena fina que deberá esparcirse directamente sobre la subrasante perfilada y compactada, buscando un espesor constante no inferior a 2.0 cm. ni mayor a 3.0 cm. La arena a emplear será semifina con suficiente grano que pase el tamiz N°4 y sin sustancias perjudiciales o material vegetal, que además tendrá las siguientes características:

Luego de colocada y extendida la arena, se procederá a la colocación de las piedras que deben ser niveladas una por una a medida que estas son colocadas sobre la capa de arena, sin hacer mucha presión, ya que todo el empedrado en su conjunto será compactado posteriormente hasta lograr una superficie adecuada antes de colocar el riego de imprimación.

3.15.5. LIMPIEZA DE EMPEDRADO

Antes de colocar el riego de imprimación en el área empedrada, se debe realizar una limpieza total del empedrado incluida la cara superior e intersticios entre piedra y el retiro o desbroce del material vegetal existente con un compresor autopropulsado mecánicamente, en toda el área a ser colocada el parche.

3.15.6. BACHEO

Bacheo, es probablemente el método de reparación en el mantenimiento de pavimentos más difundidos.

Bacheo, es la reparación superficial o en profundidad de un área dañada del pavimento. Esta reparación puede ser temporal o permanente.

Una reparación oportuna de los baches ayuda considerablemente en bajar los costos de mantenimiento de los pavimentos, ya que si éstos no se reparan a tiempo, puede entrar agua a la sub-rasante provocando fallas mayores.

Generalmente para las operaciones de bacheo se utilizan mezclas de cemento asfáltico en caliente hechas en planta, ya que éstas a pesar de tener un costo más elevado que otras, producen parches de duración mayor.

3.15.7. REPARACIÓN DE GRIETAS

Las grietas en los pavimentos asfálticos pueden ocurrir por diversos motivos, por lo tanto el tratamiento que se les dará estará directamente relacionado con el tipo de grieta que encontremos en el pavimento.

GRIETAS PIEL DE COCODRILO

Puesto que las grietas en forma de piel de cocodrilo son, generalmente, el resultado de la saturación de la capa de empedrado o la subrasante, la corrección debe incluir la remoción del material húmedo. Para la confección del parche se debe colocar un material granular nuevo, compactándolos en capas de igual espesor.

En el empedrado se coloca un riego de imprimación y luego rellenar el bache con mezcla asfáltica. Cuando sea necesario, se pueden realizar reparaciones temporales, aplicando parches superficiales en las áreas afectadas. En todos los casos, las reparaciones deben hacerse prontamente para evitar daños mayores en el pavimento.

Reparación Permanente:

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

1.- Se remueve la superficie del pavimento, el empedrado hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme, fuera del área agrietada. Esto significa que parte del material de la subrasante tendría también que ser removido.

Se hará un corte en forma rectangular o cuadrada. Un par de las caras debe formar ángulo recto con la dirección del tránsito. Una sierra para pavimento puede hacer un corte rápido y limpio, formando caras rectas y verticales.

2.- Se debe aplicar un riego de liga en todas las caras verticales y en el fondo de la zona a reparar.

3.- Se rellena el bache con mezcla asfáltica densamente graduado, el cual debe extenderse cuidadosamente para evitar segregación de la mezcla.

4.- Es necesario compactar en capas cuando se haya reparado y nivelado la subrasante. La compactación debe realizarse con un compactador vibrante plano para parches pequeños, y con rodillo para áreas más grandes.

5.- Con una regla se verifica que tengan igual cota, la superficie del pavimento con la del parche.

Reparación temporal:

Esta reparación se realiza para fisuras con más de 3mm de ancho.

Para realizar esta reparación se procede de la siguiente manera:

1.- Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a reparar, de tal forma que los bordes de las caras sean verticales.

2.- Se limpia el área agrietada, ya sea barriéndola o con aire comprimido.

3.- Se usa un escobillón para extender el concreto asfáltico de graduación fina sobre las fisuras.

4.- Se compacta con un compactador vibrante plano o con rodillo.

5.- Se coloca un parche delgado de mezcla asfáltica. Antes de compactar debe verificarse que los bordes estén limpios.

6.- Se compacta el parche con un compactador vibrante o con rodillo.

GRIETAS DE BORDE

Son grietas longitudinales que aparecen unos 30 cm o más del borde del pavimento, acompañadas o no de fisuras transversales que se extienden hacia la berma

Generalmente este tipo de grietas se producen por falta de soporte lateral (berma). También pueden ser ocasionadas por el asentamiento o desplazamiento del material que se encuentra del área agrietada, lo cual puede deberse a una deficiente evacuación del agua del pavimento, levantamiento por congelamiento, o encogimiento debido a la evaporación del agua de los suelos cercanos. En los tres últimos casos, los arbustos o la vegetación fuerte próxima al borde del pavimento pueden ser la causa.

Reparación

Se rellenan las grietas con concreto asfáltico, pero el agregado debe ser arena, si el borde del pavimento se ha asentado, se debe llevar a su nivel utilizando concreto asfáltico de graduación densa.

Para realizar este tipo reparación de fisuras, debemos seguir los siguientes pasos:

- 1.- Se limpia el pavimento y las fisuras con escobillón y aire comprimido (ver fig. 3.11).



Figura 3.11 Limpieza de las grietas **Fuente:**

- 2.- Se rellenan las fisuras con concreto asfáltico de graduación fina (ver fig. 3.12).

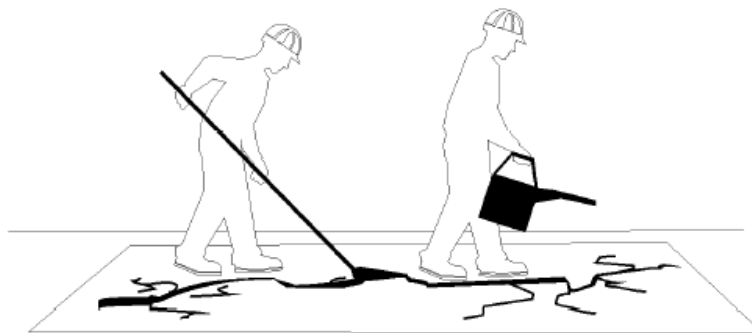


Figura 3.12 Relleno de grietas con CA Fuente:

- 3.- Se aplica un riego de liga en la sección que se va a reparar.
- 4.- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo concreto asfáltico. Se comprueba la nivelación con una regla. Posteriormente se compacta con un compactador vibrante plano. Los bordes del parche deben quedar limpios y rectos.
- 5.- Se remueve todo tipo de vegetación que se encuentre cercana al pavimento.

GRIETAS LONGITUDINALES A LO LARGO DE LA BERMA

Las fisuras longitudinales a lo largo de la berma, no es otra cosa que una hendidura, es decir, es la separación que se produce entre el pavimento y la berma.

Una de las causas que generalmente produce este tipo de fisuras, es el mojado y secado alternativo de la superficie bajo la berma. Esto puede deberse a la evacuación deficiente del agua del pavimento hacia la berma, esto es debido a una elevación formada por material que rellena la junta, o por depresiones en el borde del pavimento, lo cual estanca el agua y permite que se mantenga a lo largo de las juntas y se filtre a través de ellas. Otros factores que pueden influir en estas grietas son el asentamiento de las bermas y los daños ocasionados por los camiones o vehículos de carga pesada que se montan sobre ellas.

Reparación

Si el agua es la que produce los daños, lo primero que se necesita hacer es evacuar las aguas y eliminar la causa del estancamiento de ellas. Las grietas se deben llenar con cemento asfáltico de graduación fina.

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se limpia la fisura con un escobillón de cerdas duras o aire comprimido.
- 2.- Utilizando el escobillón, se rellena la fisura con concreto asfáltico de graduación fina.

3.- Se recubre con arena seca la superficie de la fisura sellada, para evitar que el tránsito levante el material.

GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES

Estas grietas son ocasionadas por movimientos horizontales y verticales del pavimento que está por debajo del recubrimiento, producidos por la expansión y contracción debidas a las variaciones de temperatura o de humedad. También pueden ser ocasionadas por el tránsito vehicular, por movimientos del suelo o por la pérdida de humedad de la subrasante.

Reparación

Las grietas pequeñas (menos de 3 mm de ancho) son demasiado angostas para ser selladas efectivamente. Las fisuras mayores (sobre los 3 mm de ancho), deben sellarse con concreto asfáltico de graduación fina.

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se limpian las grietas con escobillón y aire comprimido.
- 2.- Las grietas grandes se rellenan utilizando el escobillón, después se sellan utilizando una maestra de mano.
- 3.- Se recubre con arena seca la superficie del área rellena, para evitar que el tránsito vehicular levante el material.

GRIETAS DE CONTRACCIÓN

Se llaman así a las grietas interconectadas formando una serie de bloques grandes y usualmente con esquinas.

Es difícil determinar las causas de estas grietas, ya que pueden producirse por cambios de volumen en la superficie del pavimento, en la base o en la subrasante. Frecuentemente son causadas por un cambio volumétrico de la mezcla asfalto – agregado. La ausencia de tránsito vehicular sobre el pavimento, acelera la aparición de estas grietas.

Reparación

Las grietas de contracción deben ser llenadas con concreto asfáltico seguido de un sellado (cemento asfáltico emulsificado mas agregado fino bien graduado) de toda la superficie del pavimento.

Para reparar estas fisuras se procede siguiendo los siguientes pasos:

- 1.- Se remueve todo el material suelto de las grietas y de la superficie del pavimento, con escobillón y aire comprimido.
- 2.- Se humedece con agua la superficie del pavimento.
- 3.- Se aplica un riego de liga, después que se haya humedecido toda la superficie y sin que haya exceso de agua.
- 4.- Se rellenan las grietas con concreto asfáltico.
- 5.- Cuando el concreto asfáltico ha obtenido una consistencia firme, se aplica un sellado a toda la superficie del pavimento.

GRIETAS DE DESLIZAMIENTO

Son grietas en forma de luna creciente que se orientan en la dirección del empuje de las ruedas sobre la superficie del pavimento, apuntando invariablemente en la dirección del tránsito

Las grietas de deslizamiento se ocasionan por la falta de adherencia entre la carpeta de superficie y la carpeta inferior. La falta de adherencia puede deberse por la presencia de polvo, aceite, agua o cualquier otro material no adhesivo entre estas dos carpetas. Generalmente la falta de adherencia se produce cuando no se ha colocado un riego de liga. Algunas veces la mala compactación ocasiona la rotura de la adherencia entre las dos carpetas.

Reparación

La manera más apropiada para reparar estas grietas, es remover la carpeta superficial alrededor de la grietas, hasta donde exista una buena adherencia entre las capas, y posteriormente rellenar el bache con concreto asfáltico.

Procedemos de la siguiente manera para la reparación:

- 1.- Se remueve el área desplazada, extendiéndose al menos 30 cm más allá de los bordes dañados, y haciendo las caras del corte vertical y recto. Una sierra mecánica para pavimentos sirve para hacer este trabajo n forma rápida y limpia.
- 2.- Se limpia la superficie expuesta de la carpeta inferior con escobillón y aire comprimido.
- 3.- Se aplica un riego de liga.

- 4.- Se coloca una cantidad suficiente de cemento asfáltico en el área a reparar, para que al compactarlo quede a ras con la superficie del pavimento contiguo, extendiéndose cuidadosamente para evitar la segregación de los materiales.
- 5.- Se comprueba que la superficie del parche se encuentre al mismo nivel del pavimento circundante, utilizando una regla.
- 6.- Se compacta el parche con un compactador vibrante plano o con rodillo.

3.15.8. REPARACIÓN DE DEFORMACIONES

La deformación de un pavimento es cualquier cambio en la forma original de su superficie. Usualmente es ocasionada por causas tales como poca compactación de las capas del pavimento, demasiado asfalto, hinchamiento de las capas inferiores o asentamientos.

AHUELLAMIENTO

Son depresiones canalizadas, que se forman en los pavimentos asfálticos bajo las huellas de las ruedas de los vehículos

Los ahuellamientos pueden producirse por la consolidación o por el movimiento lateral, bajo el tránsito, de una o más de las capas inferiores, o por desplazamientos, en la propia capa asfáltica superficial. Pueden desarrollarse bajo la acción del tránsito, en los pavimentos asfálticos nuevos que han tenido poca compactación durante la construcción.

Reparación:

Se enrasa el pavimento rellenando las depresiones con concreto asfáltico, y luego se coloca un recubrimiento asfáltico delgado en toda la superficie del pavimento, cubriendo tanto el parche como la zona alrededor de éste.

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

- 1.- Se determinan los límites de las depresiones con una regla, demarcando las áreas a rellenar.
- 2.- Se aplica un riego de liga en el sector a rellenar.
- 3.- En las depresiones se rellena con concreto asfáltico densamente graduado.
- 4.- Se compacta el parche con rodillo neumático o en su defecto con un rodillo de rueda metálica.
- 5.- Se aplica un recubrimiento delgado de material asfáltico.

CORRUGACIONES, ELEVACIONES Y HUNDIMIENTOS

La ondulación es una forma de movimiento tipificada por ondas en la superficie del pavimento asfáltico. El desplazamiento es una forma de movimiento plástico consistente en un hundimiento y elevaciones localizadas de la superficie del pavimento. Ocurre, generalmente, en los sitios donde los vehículos frenan durante la bajada, en las curvas cerradas y donde los vehículos golpean un resalte.

Las ondulaciones y desplazamientos usualmente se producen en las capas asfálticas que carecen de estabilidad. La falta de estabilidad se produce a que la mezcla del concreto asfáltico es demasiado rica en asfalto, también puede ser ocasionada por la alta proporción de agregados finos, o que la superficie del pavimento tenga una superficie demasiado lisa.

Reparación

Se procede a escarificar el pavimento en aquellas zonas donde esté ondulado o haya desplazamientos, hasta la profundidad donde el pavimento este en buenas condiciones. Luego se limpia la zona dañada con escobillón y aire comprimido. Se aplica un riego de liga o imprimación dependiendo si el bache abarca en profundidad hasta la base granular o sólo la carpeta de rodado. Se rellena la zona en reparación con concreto asfáltico a nivel del pavimento circundante.

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se escarifica y se rompe la superficie con una cortadora rotativa.
- 2.- Se limpia con escobillón y aire comprimido el área a reparar.
- 3.- Se aplica el riego de liga o imprimación, dependiendo si se está trabajando en la base granular o en la carpeta de rodado.
- 4.- Se rellena el bache con concreto asfáltico, hasta el nivel del pavimento circundante.
- 5.- Se compacta la zona reparada con un rodillo o un compactador vibrante.

DEPRESIONES

Las depresiones son áreas bajas localizadas, de tamaño reducido, que pueden estar o no acompañadas de fisuras. Penetran varios centímetros (2 o más) por debajo de la rasante y el agua se estanca en ellos.

Pueden ser ocasionadas por tránsito más pesado (que circula por el pavimento) para el que ha sido diseñado el pavimento o por haberse empleado métodos constructivos deficientes.

Reparación

Las depresiones deben llenarse con concreto asfáltico y posteriormente compactarse hasta quedar parejo con el pavimento circundante. Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se delimitan los bordes de la zona hundida con una regla, marcando la superficie del pavimento.
- 2.- Con una máquina de lijar se rebaja el área, a fin de obtener una cara vertical alrededor de los bordes, si no se dispone de esta máquina puede omitirse este paso.
- 3.- Se limpia perfectamente toda el área, abarcando al menos unos 30 cm más allá de los límites marcados, esta limpieza se realiza con aire comprimido.
- 4.- Sobre la superficie limpia, se aplica un riego de imprimación.
- 5.- Se extiende sobre la depresión suficientemente concreto asfáltico hasta alcanzar cuando se compacte el nivel original.
- 6.- Se verifica el nivel del parche con una regla.
- 7.- Se debe compactar el parche perfectamente con un compactador vibrante plano.

HINCHAMIENTOS

Es el desplazamiento localizado de un pavimento hacia arriba, debido al hinchamiento de la subrasante o de alguna parte de la estructura del pavimento.

Son causados principalmente, por la expansión del hielo en las capas inferiores del pavimento o de la subrasante. También pueden ser causados por el hinchamiento de los suelos expansivos debido a la humedad.

Reparación

Se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se remueve el pavimento hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar apoyo firme. Hacer un corte cuadrado o rectangular con caras rectas y verticales.
- 2.- Se aplica un riego de liga a las caras verticales y al fondo de la zona en reparación.
- 3.- Se rellena la zona dañada con concreto asfáltico densamente graduado.

4.- Si se emplea una base granular, debe ser imprimada. La reparación se completa colocando cemento asfáltico y compactándola hasta dejarla a ras con la superficie circundante del pavimento.

5.- Utilizando una regla, se verifica el nivel del parche.

3.15.9. REPARACIONES DE LA DESINTEGRACIÓN

La desintegración es la rotura del pavimento en fragmentos pequeños y sueltos, o también disgregación de las partículas del agregado. Es necesario hacer esta reparación en sus comienzos, ya que si la desintegración progresa se debe reparar todo el pavimento.

Los tipos más comunes de desintegración son los baches y el desprendimiento.

HUECOS

Son pozos de distintos tamaños, que se forman en el pavimento como resultado de la desintegración localizada.

Los huecos son causados generalmente por, pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante, resultante de la escasez de asfalto, superficie de asfalto demasiado fino y drenaje inadecuado de las aguas o insuficiente.

Reparación:

Generalmente los huecos aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces medidas de emergencia.

Reparación de emergencia:

- 1.- Se limpia el hueco de todo el material suelto y el agua que sea posible.
- 2.- Se rellena el huecos con concreto asfáltico, y se rastrilla hasta dejar la superficie lisa.
- 3.- Se compacta con un compactador vibrante plano o con rodillo.

Reparación permanente:

- 1.- Se corta con sierra alrededor del hueco, dejando las caras verticales de éste, se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme (ver fig. 3.13).

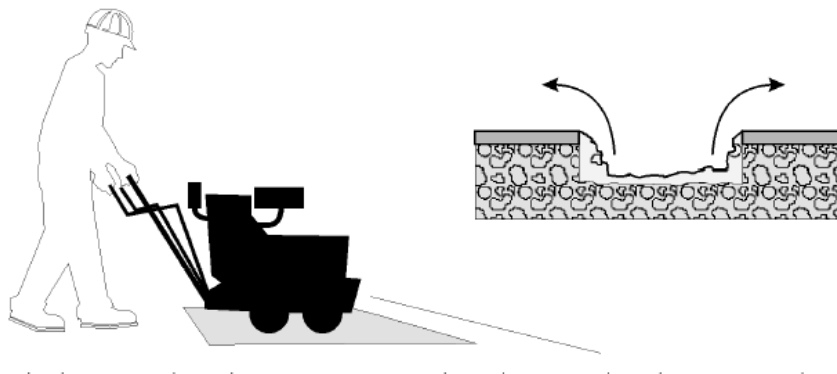


Figura 3.13 Corte con sierra eléctrica alrededor del hueco **Fuente:**

2.- A las caras verticales y al fondo del hueco se le aplica un riego de liga (ver fig. 2.14).

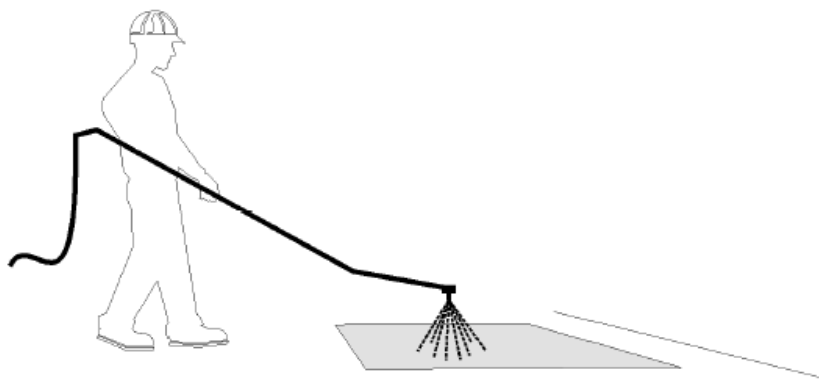


Figura 3.14 Riego de Liga o Riego de Imprimación **Fuente:**

3.- Se rellena el hueco con concreto asfáltico densamente graduado.

4.- Se compacta la superficie del parche con un compactador vibrante plano o con rodillo (ver fig. 3.15).

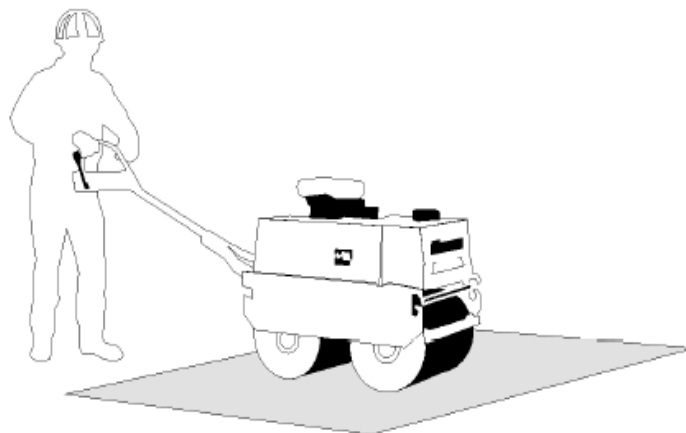


Figura 3.15 Compactación del Parche **Fuente:**

DISGREGACION

Es el desprendimiento progresivo de las partículas de agregado de un pavimento desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia adentro. Usualmente el agregado fino se desprende primero y deja algunas marcas en el pavimento. A medida que aumenta la erosión, las partículas mayores se van rompiendo y el pavimento va adquiriendo un aspecto rugoso y áspero, caso típico de una superficie erosionada.

El desprendimiento de los bordes puede ser causado por falta de compactación durante la construcción, construcción durante tiempo húmedo o frío, agregados sucios o desintegrados, escasez de asfalto en la mezcla o calentamiento excesivo de la mezcla asfáltica.

Reparación

Las superficies con bordes desprendidos, requieren generalmente un tratamiento superficial (agregado de 25 mm mas cemento asfáltico) . Este tratamiento puede considerarse tanto una medida de mantenimiento como preventiva. En el primer caso se utiliza para corregir una situación existente, en el segundo para evitar una condición prevista que se transforme en realidad.

Reparación de emergencia:

1.- Se barre todo el material suelto y polvo que se encuentre sobre la superficie del pavimento.

2.- Se aplica un sello (cemento asfáltico emulsificado) sobre la superficie del pavimento. No se requiere agregado de cubierta.

3.- Debe prohibirse el tránsito vehicular por un periodo razonable, para impedir que el sello se levante por las ruedas.

Reparación permanente:

Se hace el mismo procedimiento que para la reparación de emergencia, sólo que para la reparación permanente en vez de un sello, se aplica un tratamiento superficial (agregado de 25 mm mas cemento asfáltico) en toda la superficie del pavimento.

3.15.10. REPARACIÓN DE SUPERFICIES RESBALADIZAS

Varias son las causas que hacen que un pavimento sea resbaladizo. Una de las mas frecuentes es la presencia de una delgada película de agua sobre una superficie lisa, otra es la de una gruesa película de agua que, a altas velocidades. Hace que el vehículo pierda el contacto con la superficie del pavimento y se deslice. La condición de pavimento liso es, la presencia de una película de asfalto sobre la superficie o de agregado pulido en la carpeta de rodamiento. El resbalamiento puede producirse también, por la presencia de aceite en la superficie del pavimento.

La reducción de los peligros de resbalamiento se logra restaurando la superficie del pavimento, de forma que el agua pueda fluir alrededor de las partículas de agregado.

Los tratamientos que se aplican van desde la limpieza de la superficie contaminada a la remoción del exceso de asfalto y la repavimentación para mejorar las condiciones de evacuación del agua superficial desde el pavimento a la berma.

EXUDACION DEL ASFALTO

Es la salida hacia la superficie del material ligante de un pavimento asfáltico, con la consiguiente formación de una película sobre la superficie.

El exceso de asfalto en una o más capas del pavimento, se produce en tiempo caluroso. Esto puede ser producto de una mezcla asfáltica demasiado rica, es decir, con mucha cantidad de asfalto. Un riego de liga o imprimación muy grueso, también un tránsito de vehículos demasiado pesado puede ocasionar la compresión del pavimento que contiene demasiado asfalto, obligando a éste brotar hacia la superficie.

Reparación:

En la mayoría de las veces, puede solucionarse este problema esparciendo arena caliente sobre la superficie. Cuando el exceso de asfalto es ligero, basta con un tratamiento superficial usando agregado absorbente.

Reparación con agregado caliente:

Se procede de la siguiente manera:

- 1.- Se esparce arena o gravilla cuyo tamaño no debe sobrepasar 1 cm, sobre el área afectada. Este agregado debe ser calentado al menos a 150°C y extendido sobre la superficie del pavimento.
- 2.- Inmediatamente después de extendido el agregado, se apisona con un rodillo de rudas de goma.
- 3.- Cuando el agregado se ha enfriado se barren las partículas gruesas.
- 4.- Si es necesario se repite el proceso.

AGREGADOS PULIDOS

Son partículas de agregado, en la superficie del pavimento, cuyas caras han sido pulidas. Esto incluye a gravas sin triturar lisas por naturaleza como a las rocas trituradas que se desgastan rápidamente bajo la acción del tránsito de vehículos

Algunos agregados se pulen rápidamente bajo el tránsito de vehículos. Algunas gravas son lisas por naturaleza y, se utilizan sin triturar en la superficie del pavimento, éstos serán peligrosos por resbaladizos, en especial cuando están mojados.

Reparación

La única manera efectiva de reparar un pavimento construido con agregados pulidos es recubriendo la superficie del pavimento con un tratamiento anti-resbaladizo. Para ello se debe aplicar un tratamiento superficial, en donde el agregado debe ser duro y angular.

3.16. RIEGOS ASFALTICOS PARA LA REPARACION DEL PAVIMENTO

Como su nombre lo indica, son riegos de asfalto sobre superficies de pavimentos existentes y sobre el empedrado.

Los riegos protegen a la superficie de los agentes atmosféricos y de los efectos del tráfico.

Según la función de los riegos es el nombre que toman, entre ellos encontramos:

Los riegos más usados en el mantenimiento de pavimentos son el Riego de Liga y el Riego de Imprimación.

3.16.1. RIEGO DE LIGA

El propósito del Riego de Liga, es facilitar la adherencia entre un pavimento ya existente y la carpeta que se va a colocar sobre él.

Después de aplicar el riego de liga, se debe dejar transcurrir un tiempo prudente para que el asfalto líquido seque, mientras debe vitarse transitar sobre la superficie en donde se aplicó el riego.

3.16.2. RIEGO DE IMPRIMACIÓN

La Imprimación es el riego de asfalto que se coloca sobre una base estabilizada.

Este riego se coloca con los siguientes propósitos:

- 1.- Proteger provisionalmente las bases granulares contra las variaciones de humedad.
- 2.- Eliminar el polvo de las superficies en las que no es posible hacerlo con otro procedimiento.
- 3.- Asegurar una buena adherencia entre el empedrado y la carpeta de rodado.
- 4.- Endurecer la superficie.
- 5.- Llenar los vacíos capilares.

3.17. PRESUPUESTO DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO

El presupuesto de la reparación de las fallas nos dará una estimación de cuánto capital tendremos que disponer para un supuesto financiamiento y cuánto necesitaríamos invertir posteriormente para un nuevo mantenimiento periódico si no se realizan trabajos de mantenimiento rutinario.

Falla	Sellos Grietas	Bacheo Superf.	Bacheo Prof.	Trat. Superf.	Replant.	Cortado de Pavimento	Retiro de Emped.	Nivelacion Subrasante	Repocision Emped.	Limp. Emped.
1		122,54	48,53	42,86						
2		38,74		125,52						
3	2,40									
4										
5	7,33									
6	80,62									
7		19,01	0,76							
8		259,04	77,58							
9		10,00	53,16							
10		0,27								
11		87,80	41,34							
12		4,13								
13		60,54	239,70							
14		121,70	190,56							
15			78,24							
16		5,04								
17				26,21						
18				6,24						
19				121,44						
Total	90,34	728,81	729,86	322,27	1871,3	1871,29	729,86	729,86	729,86	729,86

Cuadro 3.19 Cantidades de Actividades para Reparación del Pavimento (m²) **Fuente:** Elaboración Propia

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. U. Bs.	Precio Total
1	Instalación Faenas	Glb	1,00	5.478,48	5.478,48
2	Replanteo, Trazado y Control	m2	1.871,29	7,28	13.622,99
3	Sello de Fisuras	m2	90,34	107,83	9.741,36
4	Cortado y Retiro de Pav. Existente	m2	1.458,68	14,43	21.048,75
5	Retiro Empedrado	m2	729,86	3,61	2.634,79
6	Nivelación Subrasante	m2	729,86	43,07	31.435,07
7	Reposición Empedrado	m2	729,86	59,86	43.689,42
8	Limpieza Empedrado	m2	729,86	7,10	5.182,01
9	Bacheo Asfáltico	m2	1.458,68	124,55	181.678,59
10	Tratamiento Superficial	m2	322,27	15,51	4.998,41
11	Limpieza General	Glb	1,00	4.229,25	4.229,25

Total presupuesto Bs: 323.739,12

Cuadro 3.20 Presupuesto para la Reparación del Pavimento **Fuente:** Elaboración Propia

Los análisis de los Precios Unitarios de cada actividad se encuentran en el ANEXO VII

3.18. ALTERNATIVA DE DISEÑO CORRECTO DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE SOBRE EMPEDRADO PARA SITUACIONES FUTURAS

Como alternativa de solución para que contar con un diseño adecuado en este tipo de trabajos que se lo viene realizando en los caminos empedrados sobre todo en caminos rurales de colocar una superficie de rodadura de concreto asfáltico para brindar mejores condiciones de circulación para los usuarios en base a experiencias de otros países se diseñan estructuras de pavimento sobre empedrado con una capa de base granular sobre empedrado especialmente absorber las irregularidades que presenta un tramo asfaltado directamente sobre el empedrado para minimizar los problemas futuros de fallas superficiales y costos de mantenimiento que presentan los pavimentos colocados directamente sobre el empedrado.

Para el diseño del pavimento sobre empedrado utilizamos los datos de tráfico futuro para 15 años del tramo en estudio asumiendo que no tiene la carpeta asfáltica, compuesta por una capa de asiento, capa de empedrado y su respectiva subrasante. Debido a que el CBR de la subrasante tiene un valor muy bueno, el diseño de la estructura del pavimento constará de la carpeta asfáltica, la capa base y el empedrado cumplirá la función de la sub-base.

Para el diseño del pavimento sobre empedrado se escogió los parámetros mismos del tramo evaluado.

Numero de ejes equivalentes $W_{18} = 858004$

Confiabilidad $R = 85\%$ (arterias rurales colectoras)

Desviación estándar normal $Z_r = -1.037$

Desviación estándar $S_o = 0,45$ Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el transito.

Índice de la calidad de servicio $\Delta PSI = 2,2$

Modulo resiliente $M_r = 22,1 \times CBR^{0,55}$ (Mpa)

Para el $CBR > 20\%$

$M_r = 152,74 \text{ Mpa} = 22153,06 \text{ psi}$

Coefficiente estructural de la Carpeta asfáltica (a_1)

El coeficiente estructural a_1 de la carpeta asfáltica de la tabla 2.27 $a_1 = 0.44$

Coeficiente estructural de la Capa base (a_2)

La capa base deberá tener un valor de soporte CBR igual o mayor al 80%.

Ingresando el valor de CBR = 80% en la tabla 2.28 se obtiene el módulo y el coeficiente a_2 .

Los valores obtenidos son:

Coeficiente estructural $a_2 = 0.133$

Coeficiente estructural de la Capa Sub-base (a_3)

La sub-base (empedrado) asumimos un valor de soporte CBR de 100% (caso extremo) en la tabla 2.29 se obtiene el módulo y el coeficiente a_3 .

Coeficiente estructural $a_3 = 0.14$

Coeficientes de drenaje de capa (m_2 , m_3)

Los factores (m_2 , m_3) para la vía en estudio se determinaron en base a datos del clima de la Tabla 2.36

La calidad del drenaje, es decir el tiempo que tarda el agua en ser eliminada de la vía es regular, debido a la constante humedad en el lugar.

El porcentaje del tiempo que la estructura está expuesta a humedad es = 5 – 25% y según la Tabla 2.31 los coeficientes de drenaje: m_2 y $m_3 = 1$

Diseño de la Estructura de Pavimento

Cálculo del Número Estructural (SN)

Determinados los parámetros necesarios que intervienen en la ecuación general de diseño, se procede a encontrar un número estructural (SN) que soporte el W18 proyectado para el diseño.

Determinación de espesores por capa

Obtenido el SN para la sección estructural del pavimento, es necesario determinar una sección multicapa que provea la suficiente capacidad de soporte equivalente al SN calculado.

La siguiente ecuación se utilizó para obtener los espesores de cada capa;

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

De la Tabla 2.26 Valores mínimos D_1 , D_2 en función del tráfico W18

La vía en estudio tiene un número de ejes equivalentes W18 = 858004, por tal razón el espesor mínimo de la carpeta asfáltica $D_1 = 3$ plg y de la capa base $D_2 = 6$ plg.

El empedrado actual cumplirá la función de una sub-base; con un espesor de 130 cm, en el diseño de la estructura se determinarán los espesores de dos capas; la capa asfáltica y la capa base.

Procedimiento:

SN REQUERIDO = 2,14 (obtenido con Mr. de la subrasante en la ecuación general)

SN1 = 0,53 (obtenido con Mr de la capa de rodadura, en la ecuación general)

SN2 = 1,93 (obtenido con Mr de la capa base, en la ecuación general)

SN calculado = $a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$

Se calcularon los espesores de las capa por separado:

Espesor de la carpeta asfáltica D1

Teórico

$$DI = SN1 / a_1$$

$$DI = 0,53 / 0,44$$

$$D1 = 1,21'' \text{ 3,1 cm}$$

Propuesta

Asumiendo $D1' = 5 \text{ cm}$

$$SN1' = a_1 * D1'$$

$$SN1' = 0,44 * 5 \text{ cm}$$

$$SN1' = 2,20 \text{ cm} = 0,90''$$

Espesor de la capa base D2

Teórico

$$D2' \geq (SN2 - SN1') / (a_2 * m_2)$$

$$D2' \geq (1,93 - 0,90) / (0,133 * 1)$$

$$D2' \geq 7,70'' \text{ 19,70 cm}$$

Propuesta

Asumiendo $D2' = 10,0 \text{ cm}$

$$SN2' = a_2 * m_2 * D2'$$

$$SN2' = 0,14 * 1 * 10 \text{ cm}$$

$$SN2' = 1,40 \text{ cm} = 0,55''$$

Espesor de la capa sub-base D3 = 130 cm

Teórico

$$D3' \geq (SN3 - (SN1' + SN2')) / (a3 * m3)$$

$$D3' \geq (2,14 - (0,90 + 0,55)) / (0,14 * 1)$$

$$D3' \geq 4,90'' \text{ 12,50cm}$$

Propuesta

$$D3' = 13 \text{ cm}$$

$$SN3' = a3 * m3 * D3'$$

$$SN3' = 0,14 * 1 * 13 \text{ cm}$$

$$SN3' = 1,80 \text{ cm } 0,72''$$

$$SN' \text{ CALCULADO} = SN1' + SN2' + SN3'$$

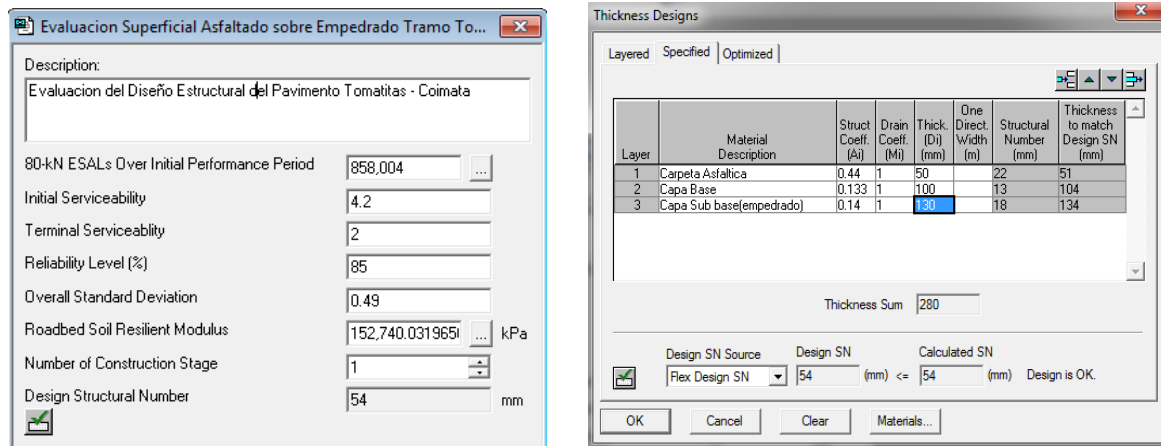
$$SN' \text{ CALCULADO} = 0,9 + 0,55 + 0,72$$

$$SN' \text{ CALCULADO} = 2,17''$$

$$SN' \text{ CALCULADO} \geq SN \text{ REQUERIDO ok.}$$

$$2,17 \geq 2,14 \quad \text{ok.}$$

CALCULO DE LOS ESPESORES UTILIZANDO EL SOFTWARE DARWIN



Cuadro 3.21 Diseño Pavimento sobre Empedrado Mediante el Software. DARWin

Fuente: Elaboración Propia



Figura 3.16 Diseño Correcto de Pavimento sobre Empedrado **Fuente:** Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.

El Índice de la Condición del Pavimento (PCI) nos determinó el estado actual de la superficie asfáltica, dándonos como resultado: $PCI = 48,73$ que equivale a una condición REGULAR para el tramo evaluado.

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) utilizando el procedimiento de Mira y Nivel y el Software INPACO nos da como resultado un $IRI = 7.4$ m/km, valor que nos indica que el pavimento es MUY POBRE, este resultado es debido al proceso de construcción ya que el asfalto al momento de compactarse tuvo que acomodarse a las irregularidades de las piedras y al ahuellamiento que ya presentaba el empedrado antes de colocar la capa de rodadura variando el espesor de la carpeta asfáltica en algunos sectores, por lo que no presenta una superficie lisa en su acabado por la variación de la regularidad superficial del empedrado que se manifiesta en la capa de rodadura, este resultado se debe al procedimiento constructivo.

El Índice de Serviciabilidad Presente para el tramo evaluado es igual a: $PSI = 2.48$ lo que equivale a un Índice de Serviciabilidad Presente de REGULAR, lo que nos indica que la superficie de rodado se encuentra deteriorada con la presencia de baches, ahuellamiento y grietas que hace reducir la velocidad de los vehículos y disminuye la comodidad al usuario para ser recorrida de forma segura.

De acuerdo a los valores de los métodos de evaluación superficial utilizados expresados en Condición de Serviciabilidad, el pavimento presenta una condición de servicio **“REGULAR”**, lo que requiere que se realice un: **“Mantenimiento de rutina y un mantenimiento periódico”**, ya que se encuentran en la fase **“C”** dentro de la curva de deterioro, donde la superficie de rodadura está cada vez más agotado y el tramo está entrando en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito

vehicular, donde se presentan daños puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte del camino.

Los métodos de evaluación superficial utilizados son para evaluar estructuras de pavimentos flexibles convencionales, debido a que en nuestro medio no existe una metodología para evaluar la condición de una superficie asfáltica sobre empedrado la metodología mejor recomendada es el PCI ya que en el manual de fallas que propone esta metodología podemos identificarlas la mayor parte de las mismas que se presentan en el tramo evaluado.

Para el mantenimiento se debe tomar como referencia el Manual Técnico para la Conservación Vial de la ABC en la aplicación del Mantenimiento Rutinario y Periódico, que permitirá que el pavimento mejore su condición de serviciabilidad y además detener las fallas para conservar su integridad funcional de la vía para alcanzar el periodo de vida útil.

El costo estimado para los trabajos de reparaciones de las fallas del tramo evaluado es de 323.739,12 Bs. este precio es mayor a los costos promedios estimados en un proyecto con un plan de mantenimiento adecuado debido a que desde su puesta en servicio no se realizó ningún trabajo de mantenimiento rutinario.

Tan pronto ha sido determinada la necesidad de hacer las reparaciones, éstos deben hacerse inmediatamente, ya que el pavimento continúa deteriorándose día a día, produciendo el incremento de los costos de las reparaciones.

Los orígenes del deterioro del pavimento flexible sobre el empedrado son principalmente por:

- Problemas de deficiencia estructural
- Problemas en la calidad de la ejecución
- Problemas relativos a las solicitudes

La inexistencia de obras de drenaje para evacuar el agua de lluvia causa daños a la vía ocasionando erosión superficial en los sectores laterales del empedrado donde no tienen cordones, esto ocasionan el desmoronamiento de las hileras en el empedrado lo que a su vez se transmite a la capa de rodadura asfáltica ocasionando el desnivel de la calzada.

Los empedrados son ampliamente utilizados en Bolivia por los municipios para la pavimentación de tramos de caminos vecinales como solución para mejorar la superficie de rodado y garantizar el tránsito en toda época del año, pero con el tiempo generan una gran incomodidad para el tránsito a medianas y altas velocidades, debido a este inconveniente y al verse obligado el tránsito a desplazamientos lentos, el costo de operación se eleva muchísimo (tiempo de traslado y consumo de combustible), a los cuales se deben sumar al alto desgaste de neumáticos y averías en los sistemas de suspensión y ejes delanteros y traseros de los vehículos, sin contar de que requieren altos costos de mantenimiento, por todos estos factores y para mejorar el nivel de servicio que brindan los pavimentos tipo empedrado, muchos tramos son posteriormente recubiertos con una carpeta asfáltica.

Para el dimensionamiento del espesor de la carpeta asfáltica sobre el empedrado, no existen métodos específicos estudiados y normados en nuestro país que nos permitan determinar y justificar los coeficientes de aporte estructural de este tipo de pavimento por lo que tienen comportamientos estructurales distintos. Por esta razón, una práctica común entre los ingenieros, es asemejar la capa de empedrado a una base de suelo granular, mediante el cual se puede asignar un coeficiente de aporte estructural al mismo y posteriormente utilizamos el método AASHTO para el cálculo del espesor de la carpeta asfáltica.

Aplicando un criterio de comparación de espesores de la capa asfáltica concluimos que la capa actual de pavimento flexible sobre empedrado con espesor de 5 cm presenta una deficiencia estructural ya que resulta ser insuficiente para soportar las cargas del tránsito evaluado que circula por esta vía, entonces en función a la frecuencia de uso del tramo por parte de los vehículos esta capa debería tener un espesor de 10 cm.

De acuerdo al análisis del tráfico vehicular las solicitaciones del tráfico estuvieron mal evaluadas o bien no se estimó el tráfico para el diseño del espesor de la carpeta asfáltica por lo que las solicitaciones actuales provocaron el inicio de las fallas que luego, aceleraron el desarrollo del deterioro, resultando una reducción de la vida útil del pavimento. Por lo tanto, el tránsito sería una de las causas del origen del deterioro.

La falta de apoyo uniforme para la colocación de la carpeta asfáltica influye en el desarrollo de las fallas superficiales ya que para el buen desempeño del pavimento flexible es la regularidad superficial de las capas inferiores situación que los empedrados no presentan.

Debido a que los empedrados son altamente permeables la infiltración del agua influyen directamente sobre la capa de rodadura y a la subrasante ocasionando las fallas superficiales y asentamientos por la saturación del material de fundación.

4.2. RECOMENDACIONES

Para proceder a realizar un estudio de evaluación superficial, es importante conocer los datos de diseño y todas las características superficiales y atributos funcionales que deben tener los pavimentos flexibles, con el fin de generar un correcto análisis crítico en lo que se refiere a la identificación y registro de problemas que puedan presentarse en el pavimento.

Es necesario determinar primero la causa que produjo el daño en el pavimento, para poder realizar una reparación correcta, pudiendo así evitar una recurrencia.

Lo que se debe de hacer para que los deterioros no se propaguen con más rapidez en el pavimento, es tener un esquema sano de conservación y su respectivo mantenimiento de la superficie del pavimento, de esta manera poder hacer cumplir con la vida útil de diseño del pavimento en condiciones buenas y preservar la inversión realizada.

Desde el día en que un pavimento nuevo es abierto al tránsito, comienza a deteriorarse gradualmente debido a las cargas vehiculares y a efectos de la lluvia por lo que el mantenimiento vial debe planificarse y ejecutarse de forma efectiva según el requerimiento

ya que al no ser asistida se incrementa en el nivel de severidad de los diferentes daños que se presenten en el pavimento.

Por ser un camino perteneciente a una red municipal que vincula a comunidades rurales y centros de producción, entre la capital de la primera sección de la de provincia Méndez y la capital del departamento de Tarija es de primordial importancia establecer un plan de mantenimiento vial por parte del municipio de San Lorenzo para que asuma la planificación y ejecución del mantenimiento vial de este tramo conforme a lo establecido en el decreto supremo N° 25134 y a la ley 2028 que establece que esta institución es responsables de la inversión en la construcción, mejoramiento y/o mantenimiento.

La mayoría de los caminos en nuestro medio requieren de costosos mantenimientos, esto se debe a que no se realizan eficientes estudios de suelos, con relación a la carga de diseño con la que fueron diseñados y construidos por lo que es importante realizar el análisis de la subrasante para determinar si las fallas que presenta el pavimento están relacionadas con la conformación de la subrasante, para buscar alternativas de mejoramiento de esta capa basados en estudios de suelos en laboratorio.

El hecho de no disponer métodos estudiados en nuestro País para la pavimentación directa de vías sobre empedrados, debería ser un aliciente para las instituciones encargadas de las Obras Públicas para que conjuntamente con las Universidades, en particular las Facultades de Ingeniería, se puedan llevar a cabo investigaciones que permitan determinar los aportes estructurales de los empedrados. Uno de ellos podría ser el método del Plato de Carga para determinar la capacidad portante del empedrado y determinar los coeficientes de aporte estructural para realizar un buen diseño del espesor de la carpeta asfáltica sobre empedrado, como también que tipo de mezcla asfáltica utilizar para elaborar un pliego de especificaciones técnicas adecuados para estos trabajos y mediante un buen control de calidad en la ejecución conseguir resultados óptimos para un buen desempeño funcional y estructural para que no sea considerado simplemente como una carpeta asfáltica para mejorar la superficie del camino si no como una estructura con su debido comportamiento estructural para determinar la vida útil en un proyecto.

En un proyecto de asfaltado de un camino sobre empedrado se debería diseñar la estructura asumiendo como capa sub base al empedrado y encima una capa de base granular para que la carpeta asfáltica tenga un apoyo uniforme y de esta manera poder distribuir las cargas del tráfico adecuadamente a la subrasante, esta metodología se está implementando en nuestro medio para que esta estructura se comporte como un pavimento flexible convencional.