

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La gestión de conservación de carreteras en el Perú, comenzó a ser medida por Niveles de Servicio, por primera vez hace 18 años, a través de las concesiones viales. A partir del año 2007, como parte de la estrategia del Ministerio de Transporte y Comunicación, se vienen entregando contratos de conservación de carreteras por Nivel de Servicio, que representan un cambio fundamental en la gestión de conservación vial nacional, lo cual ha hecho que tome mayor relevancia el contar con parámetros de medición acordes a las necesidades del usuario y la realidad del país.

El presente proyecto de investigación nace a partir de la necesidad de conocer el estado del mantenimiento de nuestras carreteras municipales asfaltadas, frente a los esfuerzos que viene desarrollando el Estado en los últimos años, a fin de reducir la brecha de infraestructura vial del país.

Particularmente en nuestro medio las posibilidades de conservación y mantenimiento de carreteras están limitadas a dos posibilidades, por una parte, realizar conservación y mantenimiento por contratación de microempresas privadas que da lugar a un costo de administración indirecta y la segunda posibilidad es de asumir las conservación o mantenimiento por administración directa a cargo de las entidades municipales.

En cualquiera de los casos de mantenimiento indirecto o directo debe existir parámetros de medición de la calidad del mantenimiento y la oportunidad de tomar decisiones para realizar o no las actividades en forma inmediata, de todos los parámetros posibles el método de medición del Nivel de Servicio por indicadores es el más adecuado al ser utilizado en muchos países, razón por la cual queremos introducir la posibilidad de aplicación de esta metodología en nuestro medio.

A si mismo significa un aporte académico importante porque su estudio es muy vago en las materias de la carrera de ingeniería civil por lo que se hace imperioso la necesidad de profundizar para que el documento resulte un producto de consulta.

1.2. Situación problemática

El problema a solucionar por la no aplicación del método de conservación por niveles de servicio sería el ocasionado por el deterioro de una manera más rápida de los elementos de una carretera, características que deben mantenerse en todos y cada uno de los elementos que conforman su estructura, aplicando procedimientos adecuados y lógicos que permitan realizar en forma oportuna y eficiente las acciones y actividades de mantenimiento, para preservar adecuadamente el patrimonio de la infraestructura vial.

En la actualidad un camino municipal debe tener un proceso de evaluación de mantenimiento de tal manera que garantice su transitabilidad. Un método de evaluación factible, es el de Nivel de Servicio por indicadores.

El tramo estudiado es El Cadillar – La Victoria del municipio de San Lorenzo que pertenece a la red municipal. Es así, que el presente proyecto está orientado a la verificación, seguimiento y monitoreo del mantenimiento rutinario por Nivel de Servicio en caminos municipales.

Este proyecto se fortifica porque en nuestro medio se puede observar que existe una deficiente gestión en el mantenimiento rutinario de los caminos municipales lo cual con lleva a su rápido deterioro generando costos elevados en el mantenimiento y operación.

La implementación de este método de evaluación pretende alcanzar todos los estándares mínimos a contener para un eficiente seguimiento y mantenimiento el cual nos permita incorporar y mejorar aquellos caminos municipales que no cuenta con un mantenimiento rutinario.

1.2.1. Problema

¿Cómo evaluar un camino municipal por el método Nivel de Servicio, para un eficiente seguimiento en tramo El Cadillar – La Victoria del municipio de San Lorenzo?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

En la actualidad se ve necesario el mantenimiento en caminos municipales, por lo tanto, es importante buscar alternativas para realizar dicha ejecución, el cual se tendrá escasa

información en cuanto a datos técnicos de la zona. Las actividades a realizar en la conservación de la vía municipal serán proporcionadas por datos de campo. Por lo cual podemos inferir que el estudio será factible y viable ya que se dará en un corto plazo.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

Esta investigación es necesaria para las microempresas e instituciones encargadas de la administración vial y centro de investigaciones universitarias que utilicen esta información para la aplicación del método para la verificación seguimiento y monitoreo del mantenimiento de caminos municipales por Nivel de Servicio en el municipio de San Lorenzo.

1.3. Justificación

La presente investigación se realiza para brindar criterios en cuanto al método de evaluación de mantenimiento por Nivel de Servicio en caminos municipales, proponiendo la implementación de este método para la verificación, seguimiento y monitoreo del mantenimiento rutinario, aplicado a las microempresas e instituciones que se dedican a la administración vial, ya sea por administración de mantenimiento directo o indirecto, debe existir un parámetro de medición de la calidad del mantenimiento y la oportunidad de tomar decisiones para realizar o no las actividades de mantenimiento de forma inmediata, de todos los parámetros posibles de medición del nivel de servicio por indicadores es el más adecuado al ser utilizado en muchos países razón por la cual queremos introducir la posibilidad de aplicación de esta metodología en nuestro medio, que ayudaran a preservar las distintas redes viales del municipio de San Lorenzo, reduciendo los costos de operación vehicular y de mantenimiento, para optimizar los recursos invertidos mejorando los niveles de servicio y produciendo la reactivación social y económica de los usuarios.

Estos contratos surgen por la necesidad de incorporar el concepto de Nivel de Servicio en los contratos de conservación de caminos, estableciendo por ello estándares a los que los contratistas deben llegar y mantener en el tiempo mediante la ejecución de operaciones de conservación rutinaria, logrando por ello extender la vida útil del camino.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el mantenimiento y la condición de servicio de caminos municipales mediante el método Nivel de Servicio en el tramo El Cadillar – La Victoria del municipio de San Lorenzo.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir conceptos, principios de mantenimiento y conservación de carreteras.
- Establecer las condiciones actuales del tramo en estudio.
- Describir los parámetros de medición del método Nivel de Servicio por indicadores.
- Analizar la metodología y evaluar la conservación de la carretera municipal por el método Nivel de Servicio.

1.5. Hipótesis

Si, se realiza una evaluación por el método Nivel de Servicio por indicadores, en caminos municipales se podrá tener una nueva metodología que podrá ser aplicada por las entidades que tienen bajo su responsabilidad la verificación, seguimiento y monitoreo del mantenimiento de estos caminos como ser el tramo vial El Cadillar – La Victoria del municipio de San Lorenzo. Se optimizará las actividades de mantenimiento y se logrará implementar esta metodología para mejorar la intervención de aquellos caminos municipales.

1.6. Operacionalización de las variables

1.6.1. Variable independiente y dependiente

Tabla 1. Variable independiente

Variable Independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Mantenimiento de caminos municipales	Es el conjunto de actividades que se realiza para conservar un buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos de un camino y de esta manera garantizar que el transporte sea cómodo seguro y económico	Conservación	-	Conservar, mantener los caminos municipales

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Variable dependiente

Variable Dependiente:	Sub variables	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Evaluación del estado del camino por el método Nivel de Servicio por indicadores	Niveles de servicio de pavimento	Parámetro de calzada y berma	NS	-	Visual
	Niveles de servicio de seguridad vial	Parámetros de señalización horizontal y vertical	NS	-	Visual
	Niveles de servicio de puente	Parámetros del puente	NS	-	Visual
	Niveles de servicio de drenaje	Parámetros del drenaje	NS	-	Visual
	Niveles de servicio de franjas de derecho de vía	Parámetros de las franjas del derecho de vía	NS	-	Visual

Fuente: Elaboración propia

1.7. Identificación del tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter aplicativo, conforme a los propósitos y naturaleza de la investigación, el estudio se ubica en el nivel descriptivo.

1.8. Unidades de estudio y decisión muestra

1.8.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio es el tramo vial El Cadillac – La Victoria del municipio de San Lorenzo.

1.8.2. Población

La población es el mantenimiento de caminos municipales a partir de la evaluación del estado del camino por el método Nivel de Servicio.

1.8.3. Muestra

La muestra será los caminos municipales del municipio de San Lorenzo.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

El método que se desarrollara es un método inductivo que es una forma de razonar partiendo de una serie de observaciones particulares que permiten la producción de leyes y conclusiones generales.

1.9. Métodos y técnicas empleadas

1.9.1. Métodos

Se evaluará por el método Nivel de Servicio por indicadores

1.9.2. Técnicas

Donde se evaluará los parámetros de Nivel de Servicio con los siguientes indicadores:

- Niveles de servicio de pavimento
 - Parámetros de calzada.
 - Parámetros de bermas.
- Niveles de servicio seguridad vial
 - Parámetros de señalización horizontal.
 - Parámetros de señalización vertical.
 - Parámetros de elementos de defensa y encarrilamiento.
- Niveles de servicio de puentes
- Niveles de servicio de drenaje
- Niveles de servicio de la franja de derecho de vía

El parámetro de mayor relevancia y reconocimiento a nivel mundial, es el IRI (Índice de Regularidad Internacional), ya que es el mejor indicador de la calidad funcional de una carretera.

Otro indicador muy conocido e importante para la calzada es el PCI

En seguridad vial, normalmente se mide la visibilidad diurna y nocturna a través de parámetros como la retroreflectividad, el color, la iluminación y el contraste.

1.10. Procesamiento de la información

Se procedió a una revisión de la información registrada en las planillas para analizarlo e interpretarlo.

Las muestras extraídas fueron tabuladas, así como también los resultados obtenidos de los ensayos en campo, se utilizaron los formatos establecidos por la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Con los resultados obtenidos se procedió a redactar las conclusiones y recomendaciones al problema de investigación.

1.11. Alcance

Para ejecutar el nuevo método de conservación, se puede señalar que el Nivel de Servicio es la característica de confort, comodidad, movilidad que deben mantenerse en todos y cada uno de los elementos que conforman la estructura de la carretera, aplicando procedimientos adecuados y lógicos que permitan realizar en forma oportuna y eficiente las acciones y actividades de mantenimiento.

La investigación busca implementar una metodología para el seguimiento de la conservación y mantenimiento de caminos municipales por el método Nivel de Servicio en el tramo El Cadillac – La Victoria dentro del municipio de San Lorenzo. El cual debe reflejar un equilibrio entre las exigencias de confort, seguridad y menores costos de parte del usuario, del estándar del camino en relación en su funcionalidad demanda y condición de tal manera que los recursos sean eficientemente utilizados.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES EN LA EVALUACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CAMINOS MUNICIPALES POR NIVEL DE SERVICIO

2.1. Carreteras

La palabra carretera es un término que usamos frecuentemente en nuestro idioma para designar a la vía pública pavimentada que se encuentra especialmente destinada para que por ella transiten los vehículos.

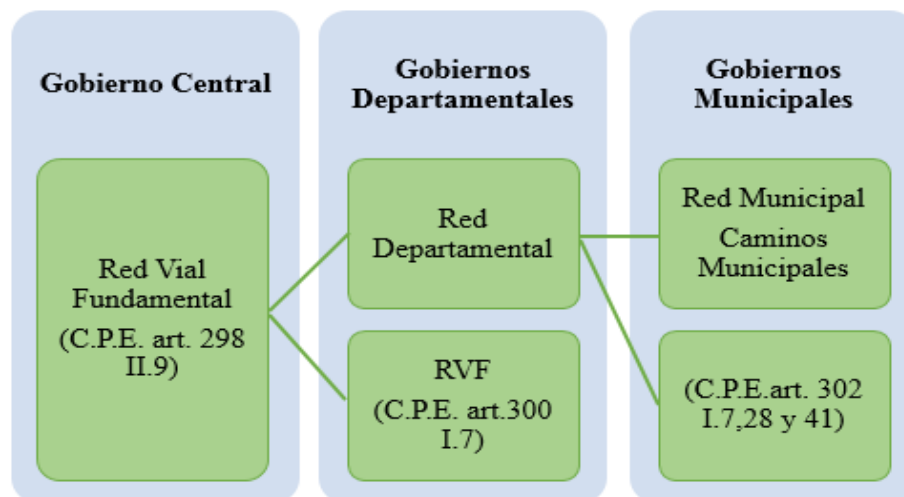
Cabe destacar que las carreteras demandan un constante mantenimiento dado que el tránsito de los vehículos, en especial el de los pesados, implica un fuerte desgaste que termina por generar pozos y baches que no hacen más que complicar el paso y por supuesto pueden desembocar en serios accidentes viales. Asimismo, los factores climáticos inciden en el estado de las carreteras.

El concepto de camino nos resulta ciertamente familiar ya que es un término que usamos cotidianamente porque precisamente también se refiere a un acceso de circulación libre que dispone de un uso regular. Se designa con el término de Camino a aquella vía terciaria o local que se construye con el objetivo de que el usuario la utilice para transitar, ya sea a pie, en automóvil o a través de cualquier otro vehículo. (ABC, 2007).

2.1.1. Clasificación de carreteras

El sistema de carreteras en Bolivia se clasifica en tres grupos de vías de acuerdo a su importancia y nivel de servicio. A partir de la nueva Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia y Ley Marco de Autonomías y Descentralización, se establece regímenes autónomos territoriales del Estado y formas de Gobierno circunscritas a una jurisdicción territorial, que asigna competencias en la temática vial, tal como se describen a continuación. (ABC, PEI, 2016-2020).

Figura 1. Competencias viales



Fuente: Manual de conservación vial ABC

La red de carreteras tiene una longitud de 53.153 Km (1996) de los cuales 7.602 Km corresponden a la Red Fundamental, 6.091 Km a la Red Departamental y 39.460 Km a la Red Municipal.

Así mismo en el cuadro se presenta un resumen general de la red de carreteras por tipo de rodadura.

Tabla 3. Resumen general de caminos por tipo de red y superficie de rodadura

Tipo de superficie					
Tipo de red	Pavimentos	Ripio	Tierra	Total	%
Fundamental	2,409	4,027	1,166	7,602	14,30
Departamental	304	3,529	2,258	6,091	11,46
Municipal	220	8,824	30,416	39,460	74,24
Totales	2,933	16,380	33,840	53,153	100,0

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

Es necesario puntualizar que se han efectuado ajustes con relación a la descentralización administrativa del Subsector vial a través del Decreto Supremo N° 25134 de fecha 21 de agosto de 1998 que entró en vigencia a partir de 1999 y que dispone la conformación de la red vial en tres categorías:

Tabla 4. Red vial

Red fundamental	(Bajo responsabilidad del Servicio Nacional de Caminos).
Redes departamentales	(Bajo responsabilidad de las Prefecturas a través de los Servicios Departamentales de Caminos).
Redes municipales	(Bajo responsabilidad de los Municipios)

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

2.1.2. Carreteras municipales

Las carreteras municipales se encuentran en estado de deterioro, en general, por ausencia de mantenimiento, sin embargo, la red municipal requiere especial atención por la alta incidencia del transporte en la actividad productiva y por constituir un eslabón importante de la cadena de distribución física en el proceso de exportaciones. Además, la deficiencia de infraestructura resulta en una reducción en la oferta de capacidad y periodicidad de servicios de transporte, que se constituyen en graves obstáculos al desarrollo de las comunidades de bajos ingresos.

Como la red municipal sirve a una gran cantidad de comunidades pequeñas, relativamente dispersas y de bajos ingresos, se requiere una red extensa de caminos para satisfacer las necesidades de transporte para todas las comunidades, sin embargo, el bajo número de beneficiarios por kilómetro, y consecuentemente una densidad de tráfico limitada, ocasionan que los proyectos sean poco atractivos desde el punto de vista de la factibilidad económica. Por esta razón, se requiere priorizar los caminos con mayor incidencia en sus ventajas de comunicación desde los centros de producción a los centros de consumo.

2.1.2.1. Desarrollo de la red vial municipal

El objetivo para la Red Municipal es: “Contar en el mediano plazo con los caminos de primer orden con transitabilidad permanente y en el largo plazo con toda la Red Vial Municipal (primer orden y segundo orden) integralmente funcional y con transitabilidad permanente”. Consideramos como factores principales la confiabilidad en términos de transitabilidad y durabilidad de las obras básicas; para eso, los caminos requieren mejoramientos puntuales en la superficie de rodadura en tramos críticos, tratamiento de suelos de fundación deficientes, otorgándose alta prioridad a la provisión y mantenimiento de los sistemas de drenaje.

2.1.2.2. Importancias de los caminos municipales

Son una necesidad básica para el desarrollo de una sociedad, mejoran la calidad de vida, facilitan el acceso a bienes y servicios dan acceso a los mercados y permiten recibir apoyo técnico a los usuarios de esta área. (PDOT, 2005-2025).

2.2. Pavimentos

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

Existen dentro de los tipos de pavimentos los siguientes:

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos rígidos.

2.2.1. Pavimento flexible

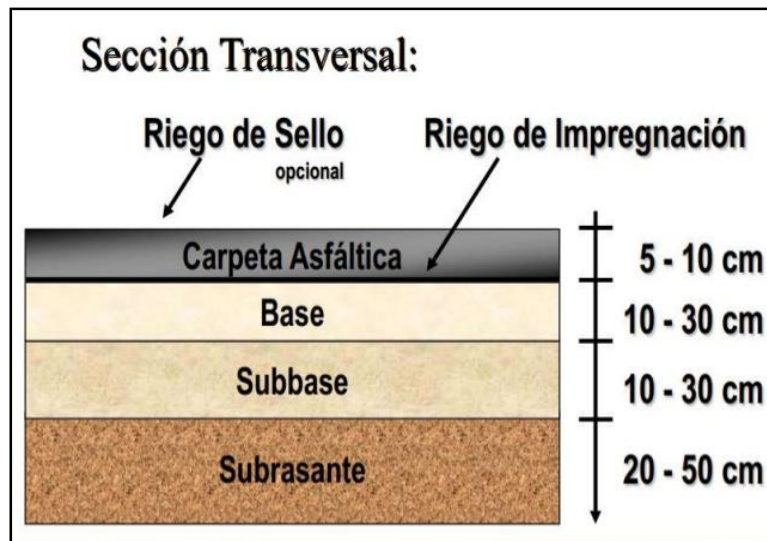
Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

Figura 2. Pavimento flexible de la vía en estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Estructura del pavimento flexible



Fuente: Adaptación Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” MTC, 2013.

2.2.2. Características que debe reunir un pavimento

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

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.2.3. Funciones de las capas de un pavimento

La sub-base granular: Disminución de las deformaciones, Resistencia y Drenaje.

La base granular: Resistencia.

Carpeta: Superficie de rodamiento, Impermeabilidad y Resistencia. (Montejo Fonseca, 2006).

2.3. Mantenimiento Vial

El Mantenimiento vial, es el conjunto de actividades que se realiza para conservar en buen estado las condiciones físicas de la carretera y preservar el capital invertido en la rehabilitación y el mejoramiento, incluyendo las obras complementarias y conexas. Es un camino que pertenece al sistema vial vecinal y que es competencia de los Gobiernos Locales. Sirven para dar acceso a los centros poblados, caseríos o predios rurales.

2.3.1. Tipos de mantenimiento

En un pavimento generalmente las actividades de mantenimiento de pavimentos se agrupan en dos categorías, preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye

aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su tasa de deterioro. Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas. (Gonzales Rodriguez, 2011)

- El mantenimiento menor incluye acciones que se aplican a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar su condición y/o controlar la tasa de deterioro.
- El mantenimiento rutinario debe ejecutarse continuamente, e iniciarse tan pronto como el pavimento muestre los primeros síntomas de falla. Dentro del mantenimiento rutinario se incluyen aquellas acciones menores tanto programadas como de emergencia.
- El mantenimiento mayor incluye actividades que se aplican a toda el área de un tramo, éstas pueden estar precedidas por acciones preparatorias de mantenimiento menor.

En el mantenimiento menor se realizan 5 tipos mantenimiento:

- 1) Sellado de grietas.
- 2) Bacheo puede ser de emergencia, superficial, de carpeta o profundo.
- 3) Sello asfáltico localizado.
- 4) Nivel localizada.
- 5) Fresado y/o Texturización localizada.

En el mantenimiento mayor se realizan:

- 1) Tratamientos superficiales.
- 2) Capas asfálticas que pueden ser de nivelación, de fricción o estructurales.
- 3) Remoción por fresado.
- 4) Reciclado; estas pueden ser en frío o caliente.

Finalmente, las acciones complementarias que pueden ser:

- 1) Nivelación bocas de visita.
- 2) Nivelación de sumideros.
- 3) Suministro de rejillas y marcos.

2.4. Tipos de evaluación en pavimentos

Evaluación Superficial: Este tipo de evaluación consiste en una inspección de la superficie del pavimento, haciendo uso de diferentes métodos y herramientas que dan

como resultado el estado en que se encuentra el pavimento evaluado. En la evaluación superficial, debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Esto es posible mediante la determinación del Índice de condición del Pavimento (PCI).

Evaluación Estructural: Es una evaluación a mayor profundidad que se fundamenta en la toma de muestras representativas de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento en una vía. Los métodos para este tipo de evaluación pueden ser destructivos o no destructivos, dependiendo del grado de alteración física producida por los materiales durante el proceso de evaluación. Entre algunos métodos tenemos; Exploraciones, Dispositivos Estáticos (viga Benkelman), Dispositivos Vibratorios.

2.5. Clasificación de serviciabilidad (PSR)

La serviciabilidad se define como la medida del comportamiento del pavimento, interpretando la percepción de la calidad que tienen los usuarios al transitar por la carretera. (Hurtado, 2016).

El PSR (Present Serviciability Rating) se originó para la búsqueda de un valor para medir la serviciabilidad para esto se seleccionan usuarios que conforman un panel evaluador, cada usuario al transitar por la vía expresa su opinión propia y subjetiva acerca de la calidad de la capa de rodado. Se califica del 0 al 5 el pavimento, teniendo como parámetro 5 muy bueno y 0 muy malo. Claro está, si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aun sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece. (AASHTO, 1993).

A continuación, en la Tabla 5, se presenta la escala de calificación numérica y verbal de la serviciabilidad.

Tabla 5. Escala de calificación de serviciabilidad

Calificación		Descripción
Numérica	Verbal	
5 – 4	Muy bueno	Solo los pavimentos nuevos o casi nuevos son los suficientemente suaves y sin deterioro para calificar en su categoría. La mayor parte de los pavimentos construidos o recarpeteados durante el año de inspección normalmente se clasifican como muy buenos.
4 – 3	Bueno	Los pavimentos de esta categoría si bien no son tan suaves como los “Muy Buenos”, pero entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. En pavimentos flexibles pueden comenzar a mostrar signos de ahuellamiento y fisuración aleatoria.
3 – 2	Regular	En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades. Los defectos superficiales pueden incluir ahuellamientos, parches y agrietamiento.
2 – 1	Malo	Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde puedan afectar la velocidad de tránsito. Pueden tener grandes baches y grietas profundas. Incluye pérdida de áridos, agrietamiento y ahuellamientos y ocurre en un 50% o más de la superficie.
1 – 0	Muy malo	Los pavimentos en esta categoría se encuentran en una situación de extremo deterioro. Los caminos se pueden pasar a velocidades reducidas y con considerables problemas de manejo. Existen grandes baches y grietas profundas.

Fuente: Solminihac T., 2001

2.5.1. Determinación de la muestra

Se calculó el tamaño de la muestra teniendo en cuenta que se evaluará a una población finita con un nivel de confianza del 95%, un error máximo aceptado del 5 % y una

probabilidad de que ocurra como de que no ocurra el evento estudiado de un 50 y 50, con la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra para la investigación N= Tamaño de población o Universo

Z= Parámetro estadístico asociado a un nivel de confianza

e= Error de estimación máximo aceptado

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q= (1- p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

2.5.2. Diseño de la encuesta

La encuesta se encuentra estructurada por 8 preguntas cerradas. En la cual sus primeras 4 preguntas se refieren a la variable movilidad, las 2 siguientes a la variable seguridad y los 2 restantes a la variable comodidad. Estas encuestas serán anónimas con el fin de que el usuario se sienta cómodo de participar y expresar libremente su opinión sobre estas vías.

Movilidad: Se refiere al conjunto de desplazamientos de personas o mercancías que se producen en un entorno físico.

Seguridad: Es el conjunto de acciones y mecanismos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación del tránsito, a fin de usar correctamente la vía pública y así prevenir los accidentes de tránsito.

Comodidad: Se refiere el confort de la persona al transitar sobre una vía en específico, la comodidad tiene en cuenta tanto la sensación al movilizarse sobre la vía, como la precepción visual que se tiene de ella. (Silva, Montiel, 2002).

2.5.3. Cálculo de la clasificación de serviciabilidad presente en las vías

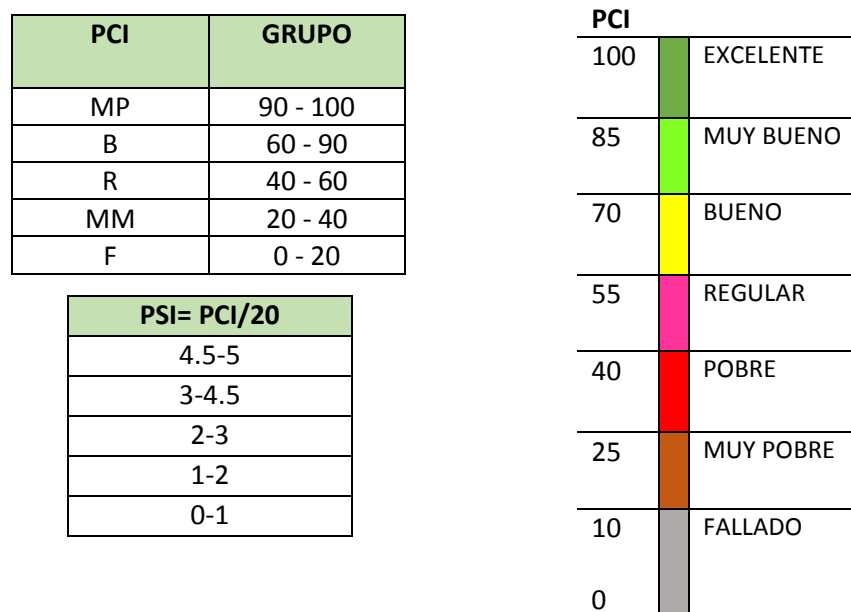
Se empleó el procedimiento especificado por el método AASHTO para calcular la Clasificación de serviciabilidad Presente (PSR) de la vía. Para esto dos evaluadores recorrieron los tramos delimitados y procedieron a encuestar a los usuarios los cuales respondieron calificando el tramo. Se evaluó la calidad de servicio de la carretera mediante encuestas que fueron aplicadas a los usuarios de la vía anteriormente delimitadas para cada tramo de la vía, estas encuestas evaluarán las variables estudiadas en la investigación que son: movilidad, seguridad y comodidad.

2.6. Método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento).

El PCI es un índice numérico desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste.

Esta metodología califica la condición integral del pavimento en base a una escala que varía entre “0” para un estado fallado y un valor de “100” para un estado excelente. Se muestra a continuación los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (Legia, P. y Pacheco, H. (2016)).

Figura 4. Niveles de clasificación del pavimento según el PCI



Fuente: Ingepav ingeniería de pavimentos

Introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento a cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad.

El método PCI es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (ASTM, 2004).

Procedimiento.

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Se identifica los tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red. Luego, se divide cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo. Después se divide las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.

Una vez divididas las secciones se identifican las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.

Seguidamente se procede a seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera: considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.

Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.

Es necesario que las unidades de muestra adicionales deban ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende una etapa de trabajo de campo y otra etapa de cálculos aplicando la metodología respectiva; y es el siguiente: Primero se inspecciona individualmente cada unidad de muestra seleccionada, luego, se registra el tramo y número de sección, así como el número y tipo de unidad de muestra. Es necesario que se tome el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual. Cuando se realice la inspección de las fallas, se debe cuantificar cada nivel de severidad y registrar la información obtenida.

Es necesario mencionar que el método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

Los daños o fallas se identificarán, teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de los mismos.

- a) La clase, está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, entre otros, cada uno de ellos se describe en el manual de daños de la evaluación de la condición de pavimentos.
- b) La severidad, representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, o sea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de tránsito:
 - Bajo (L: Low) = Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad.
 - Medio (M: Medium) = Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad.

- Alto (H: High) = Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad.

El último factor que se debe considerar para calificar un pavimento es la extensión, que se refiere al área o longitud que se encuentra afectada por cada tipo de deterioro, en el caso de la evaluación de pavimentos de hormigón, la calificación de la extensión estará representada por el número de veces que se repita dicha falla en una losa o varias losas.

Para la evaluación de campo, una vez definidas las unidades de muestreo UM-i, a partir del seccionamiento de la vía, en el que también se considerará el ancho total de cada calzada, se inspeccionará cada unidad de muestra para medir el tipo, severidad y cantidad de los daños de acuerdo con el patrón de evaluación, y se registrará toda la información en el formato correspondiente (hoja de información de exploración de la condición) para cada unidad de muestra.

En el formato ya mencionado se hará registro por cada renglón un daño, su extensión y su nivel de severidad, para ello se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de las medidas de los daños descritos en el “manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico”.

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

El cálculo del PCI puede realizarse de manera manual o computarizada bajo una base de datos bien estructurada. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

El cálculo del PCI, comprende las siguientes etapas:

a) Etapa 1. Cálculo de los valores deducidos (VD):

- Se totaliza cada tipo y nivel de severidad de daño y se registra en las columnas dadas por el formato. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

- Se divide la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo y expresar el resultado en porcentaje. Esta será la densidad de cada daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Se determina el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas y tablas denominadas “valor deducido del daño”. Las tablas se encuentran en los anexos.

b) Etapa 2. Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):

Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” (VDT) en lugar del “valor deducido corregido” (VDC), obteniendo en la Etapa 4; de lo contrario, se seguirán los pasos que continúan.

Se listan los valores deducidos individuales en orden descendente.

Se determina el “Número máximo de valores deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1,00 + \frac{9}{98} * (100 - HDV_i)$$

El número de valores individuales deducidos se reduce a “m”, inclusive la parte fraccionaria. Si se repone de menos valores deducidos que “m” se utilizan los que se tengan.

c) Etapa 3. Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV):

Este paso se realiza mediante un proceso iterativo que se describe a continuación: Se determina el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

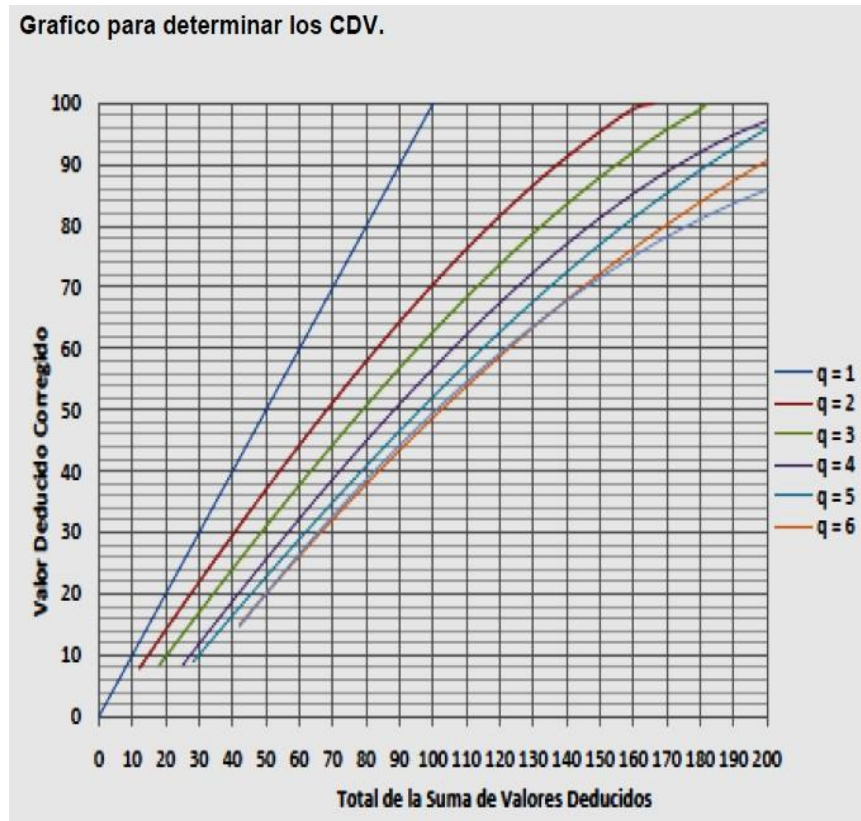
Se procede a determinar del “valor deducido total” sumando todos los valores individuales.

Se calcula el CDV con el “q” y el “valor deducido total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

Se reduce a 2,0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2,0 y repita las etapas iniciales de esta etapa hasta que sea igual a 1.

El “máximo CDV” es el mayor valor de los CDV obtenidos en este proceso.

Figura 5. Curvas de corrección del valor reducido (CDV) para pavimentos flexibles



Fuente: Procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03.

d) Etapa 4: Determinar el PCI de la unidad restando el “máximo CDV” de 100, obtenido en la etapa 3.

$$PCI = 1,00 - \text{max. CDV}$$

Donde:

PCI= Índice de Condición del pavimento.

Máx. CDV= Máximo valor corregido deducido.

El PCI promedio, resulta ser el promedio de todos los PCI de cada unidad de muestra. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001).

Según el manual de daños en vías con superficie de concreto asfáltico se tiene:

1. Piel de cocodrilo.

Descripción. Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0,60 m.

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

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

Niveles de severidad.

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

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

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

Medida

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

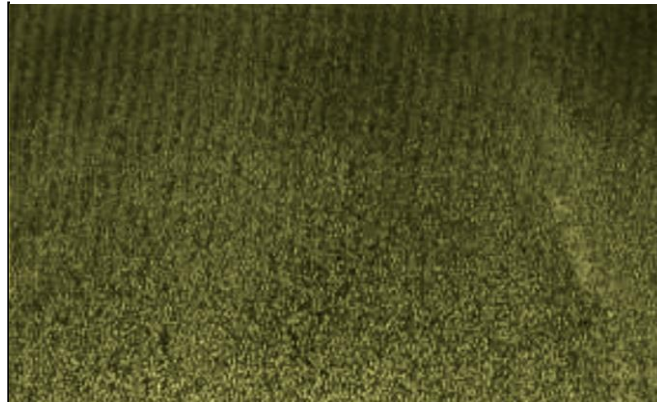
Opciones de reparación

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

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

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

Figura 6. Piel de cocodrilo de baja severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 7. Piel de cocodrilo de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 8. Piel de cocodrilo de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2. Exudación

Descripción

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

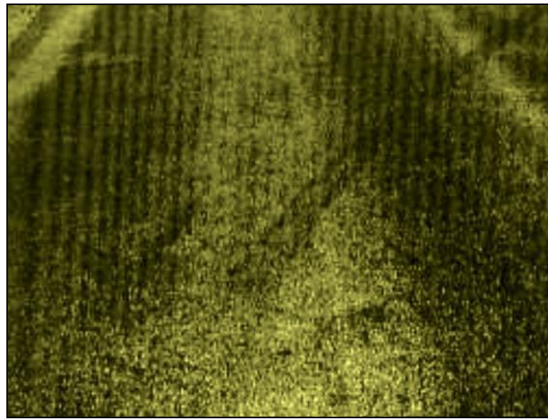
Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Se aplica arena / agregados y cilindrado.

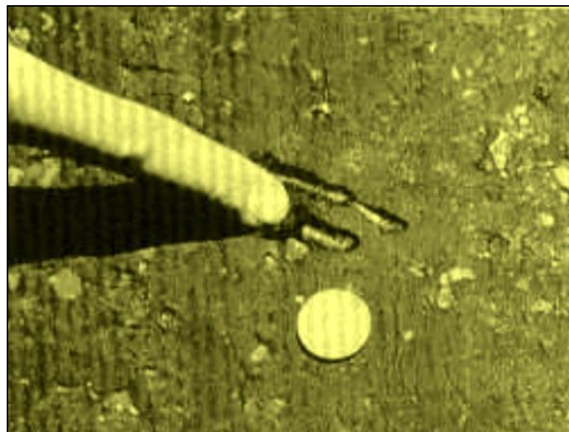
H= Se aplica arena / agregados y cilindrado (precalentando si fuera necesario).

Figura 9. Exudación baja severidad



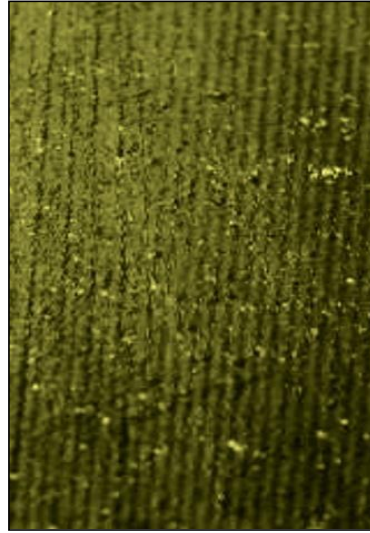
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 10. Exudación severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 11. Exudación severidad alta



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

3. Agrietamiento en bloque

Descripción

Las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares. Los bloques pueden variar en tamaño de 0,30 m x 0,3 m a 3,0 m x 3,0 m. Las grietas en bloque se originan principalmente por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios (lo cual origina ciclos diarios de esfuerzo / deformación unitaria). Las grietas en bloque no están asociadas a cargas e indican que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Normalmente ocurre sobre una gran porción del pavimento, pero algunas veces aparecerá únicamente en áreas sin tránsito. Este tipo de daño difiere de la piel de cocodrilo en que este último forma pedazos más pequeños, de muchos lados y con ángulos agudos. También, a diferencia de los bloques, la piel de cocodrilo es originada por cargas repetidas de tránsito y, por lo tanto, se encuentra únicamente en áreas sometidas a cargas vehiculares (por lo menos en su primera etapa).

Niveles de severidad

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

M= Bloques definidos por grietas de severidad media. H= Bloques definidos por grietas de alta severidad.

Medida

Se mide en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Generalmente, se presenta un solo nivel de severidad en una sección de pavimento; sin embargo, cualquier área de la sección de pavimento que tenga diferente nivel de severidad deberá medirse y anotarse separadamente.

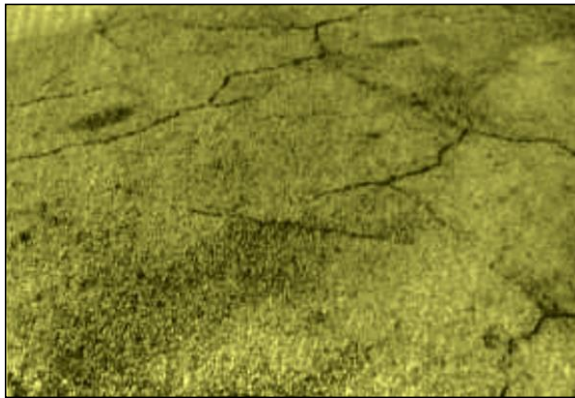
Opciones de reparación

L= Sellado de grietas con ancho mayor a 3,0 mm. Riego de sello.

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

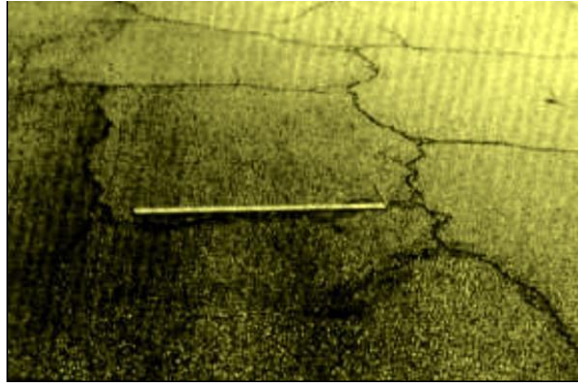
H= Sellado de grietas, reciclado superficial. Escarificado en caliente y sobrecarpeta.

Figura 12. Grietas en bloque de baja severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 13. Grietas en bloque de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 14. Grietas en bloque de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags)

Descripción

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

1. Levantamiento o combadura de losas de concreto de cemento pórtland con una sobrecarpeta de concreto asfáltico.
2. Expansión por congelación (crecimiento de lentes de hielo).

3. Infiltración y elevación del material en una grieta en combinación con las cargas del tránsito (algunas veces denominado “tenting”).

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

Las distorsiones y desplazamientos que ocurren sobre grandes áreas del pavimento, causando grandes o largas depresiones en el mismo, se llaman “ondulaciones” (hinchamiento: swelling).

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Se miden en pies lineales (o metros lineales). Si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3,0 m, el daño se llama corrugación. Si el abultamiento ocurre en combinación con una grieta, ésta también se registra.

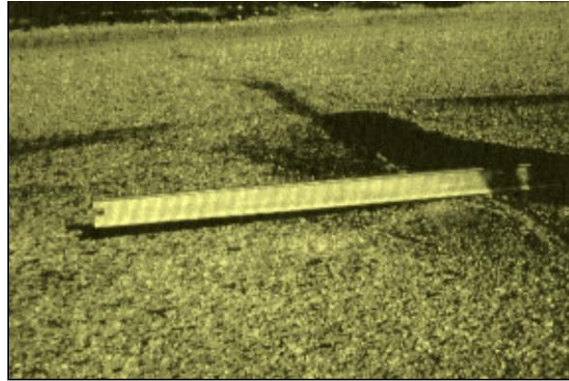
Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Reciclado en frío. Parcheo profundo o parcial.

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

Figura 15. Abultamiento y hundimientos de baja severidad



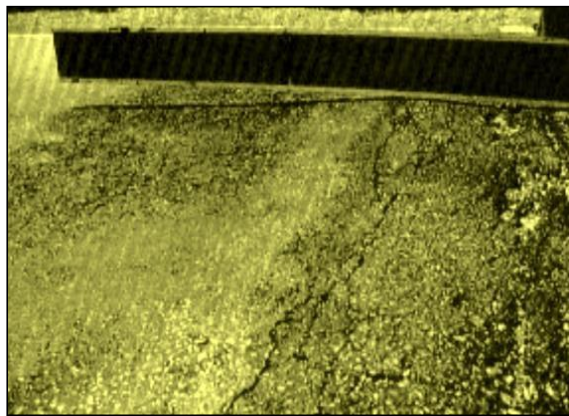
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 16. Abultamiento y hundimientos de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 17. Abultamiento y hundimientos de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

5. Corrugación

Descripción

La corrugación (también llamada “lavadero”) es una serie de cimas y depresiones muy próximas que ocurren a intervalos bastante regulares, usualmente a menos de 3,0 m. Las cimas son perpendiculares a la dirección del tránsito. Este tipo de daño es usualmente causado por la acción del tránsito combinada con una carpeta o una base inestables. Si los abultamientos ocurren en una serie con menos de 3,0 m de separación entre ellos, cualquiera sea la causa, el daño se denomina corrugación.

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Reconstrucción.

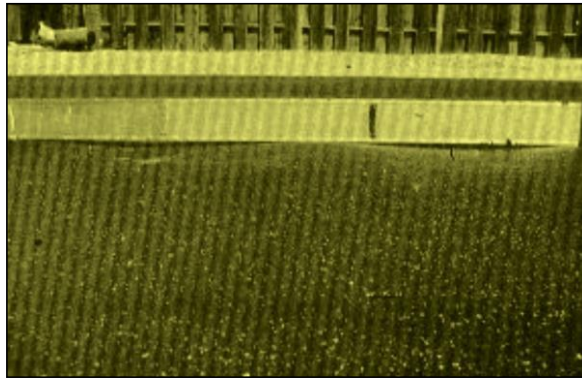
H= Reconstrucción.

Figura 18. Corrugación de baja severidad



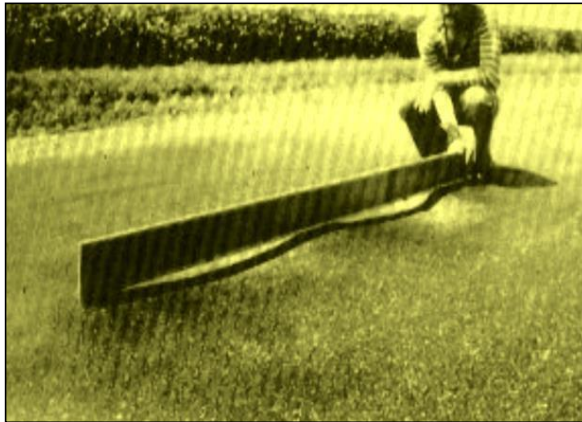
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 19. Corrugación de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 20. Corrugación de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

6. Depresión

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

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

Niveles de severidad

Máxima profundidad de la depresión:

L= 13,0 a 25,0 mm.

M= 25,0 a 51,0 mm.

H= Más de 51,0 mm.

Medida

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

Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= Parcheo superficial, parcial o profundo.

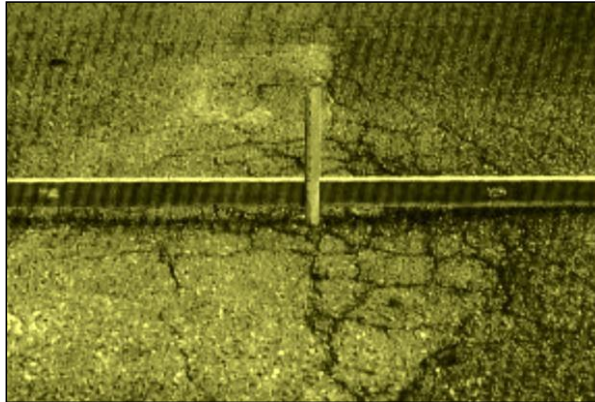
H= Parcheo superficial, parcial o profundo.

Figura 21. Depresión de baja severidad



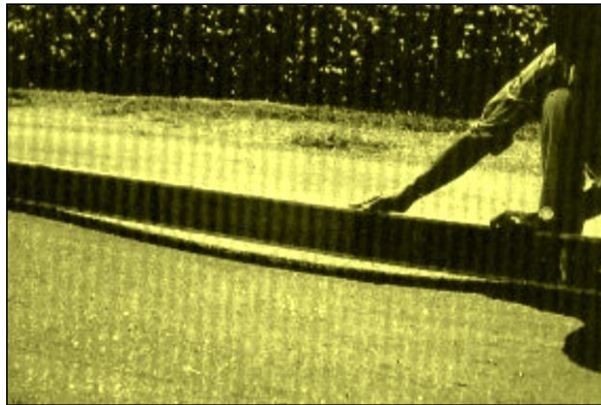
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 22. Depresión de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 23. Depresión de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

7. Grieta de borde

Descripción

Las grietas de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0,30 y 0,60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma cómo se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

Niveles de severidad

L= Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

M= Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.

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

Medida

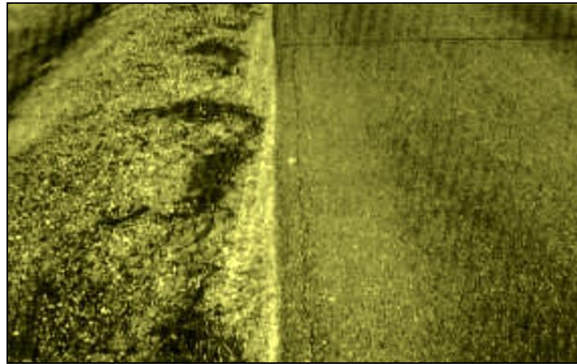
La grieta de borde se mide en pies lineales (o metros lineales).

Opciones de reparación

L= No se hace nada. Sellado de grietas con ancho mayor a 3 mm. M= Sellado de grietas. Parcheo parcial - profundo.

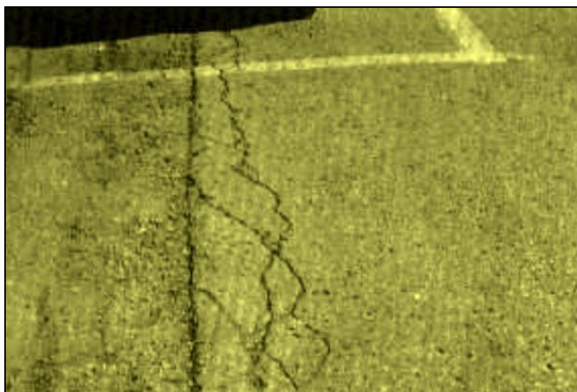
H= Parcheo parcial – profundo.

Figura 24. Grieta de borde de baja severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 25. Grieta de borde de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 26. Grieta de borde de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland)

Descripción.

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

Niveles de severidad

L= Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
- Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

- Grieta sin relleno con ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.

- Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.
- Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de un ligero agrietamiento aleatorio.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

- Cualquier grieta rellena o no, rodeada de un agrietamiento aleatorio de media o alta severidad.
- Grietas sin relleno de más de 76,0 mm.
- Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas (la grieta está severamente fracturada).

Medida

La grieta de reflexión de junta se mide en pies lineales (o metros lineales). La longitud y nivel de severidad de cada grieta debe registrarse por separado. Por ejemplo, una grieta de 15,0 m puede tener 3,0 m de grietas de alta severidad; estas deben registrarse de forma separada. Si se presenta un abultamiento en la grieta de reflexión éste también debe registrarse.

Opciones de reparación

L= Sellado para anchos superiores a 3,00 mm.

M= Sellado de grietas. Parcheo de profundidad parcial.

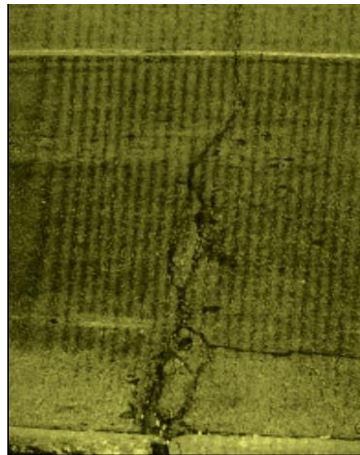
H= Parcheo de profundidad parcial. Reconstrucción de la junta.

Figura 27. Grieta de reflexión de junta de baja severidad



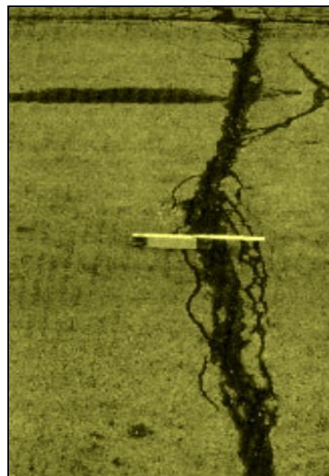
Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI)

Figura 28. Grieta de reflexión de junta de severidad media



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI)

Figura 29. Grieta de reflexión de junta de severidad alta



Fuente: Norma ASTM D6433-03 (Manual del PCI)

9. Desnivel carril / berma

Descripción

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

Niveles de severidad

L= La diferencia en elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25,0 y 51,0 mm.

M= La diferencia está entre 51,0 mm y 102,0 mm.

H= La diferencia en elevación es mayor que 102,00 mm.

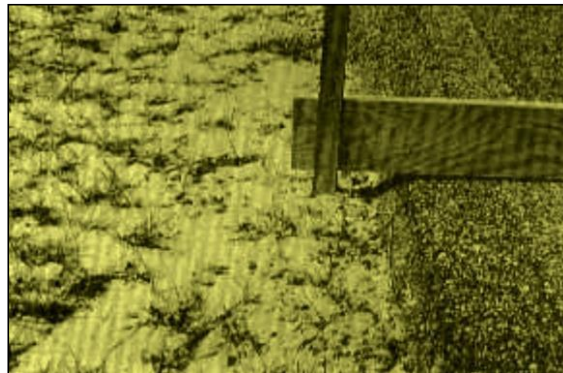
Medida

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

Opciones de reparación

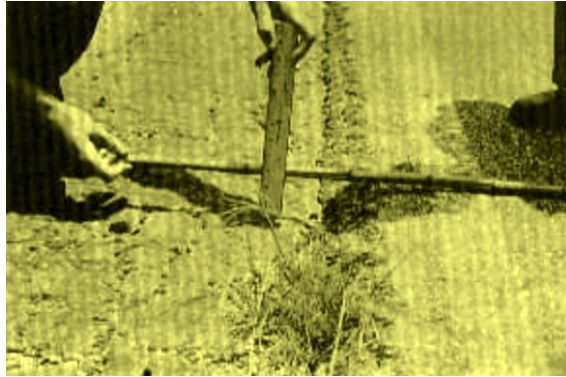
L, M, H= Renivelación de las bermas para ajustar al nivel del carril.

Figura 30. Desnivel carril/berma de baja severidad



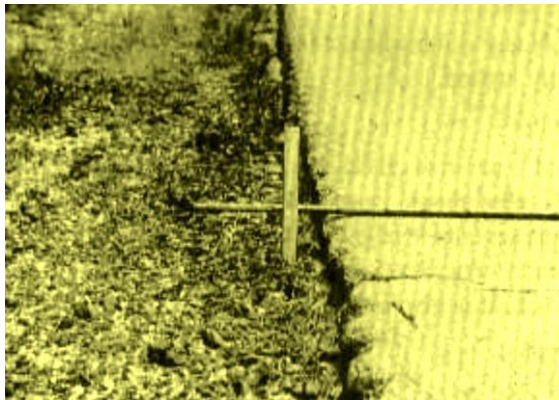
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 31. Desnivel carril/berma de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 32. Desnivel carril/berma de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento portland)

Descripción

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

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

3. Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Portland, pero no las juntas de pavimento de concreto.

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

Niveles de severidad

L= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho menor que 10,0 mm.
2. Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).

M= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Grieta sin relleno de ancho entre 10,0 mm y 76,0 mm.
2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76,0 mm, rodeadas grietas aleatorias pequeñas.
3. Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.

H= Existe una de las siguientes condiciones:

1. Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
2. Grieta sin relleno de más de 76,0 mm de ancho.
3. Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

Medida

Las grietas longitudinales y transversales se miden en pies lineales (o metros lineales). La longitud y severidad de cada grieta debe registrarse después de su identificación. Si la grieta no tiene el mismo nivel de severidad a lo largo de toda su longitud, cada porción de

la grieta con un nivel de severidad diferente debe registrarse por separado. Si ocurren abultamientos o hundimientos en la grieta, éstos deben registrarse.

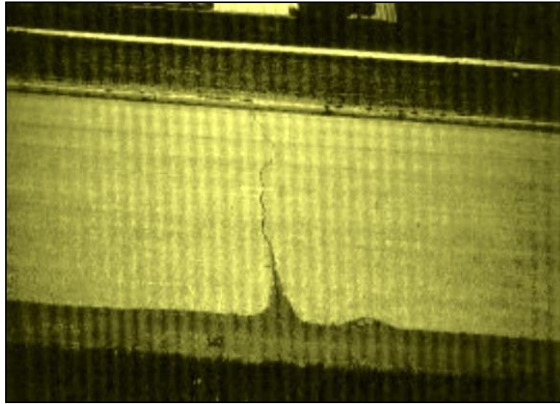
Opciones de reparación

L= No se hace nada. Sellado de grietas de ancho mayor que 3,0 mm.

M= Sellado de grietas.

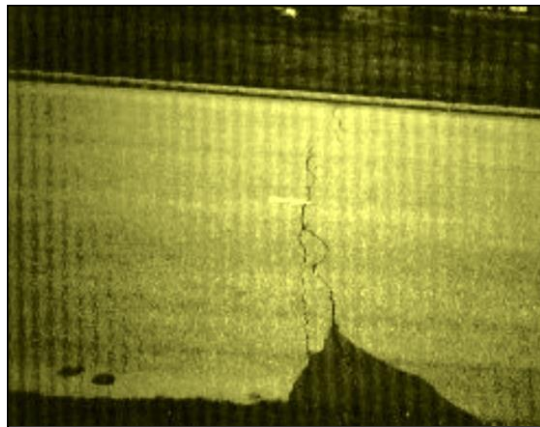
H= Sellado de grietas. Parcheo parcial.

Figura 33. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad



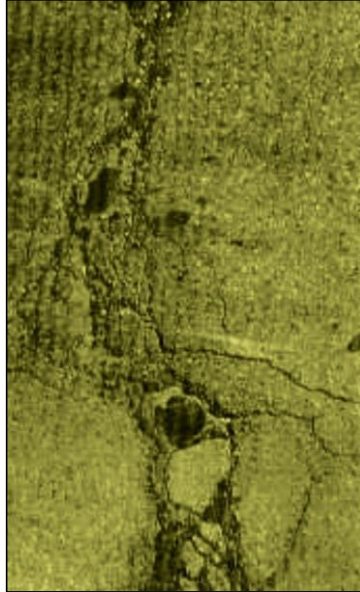
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 34. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 35. Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

11. Parcheo y acometidas de servicios públicos

Descripción

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

Los parches se miden en pies cuadrados (o metros cuadrados) de área afectada. Sin embargo, si un solo parche tiene áreas de diferente severidad, éstas deben medirse y registrarse de forma separada. Por ejemplo, un parche de 2,32 m² puede tener 0,9 m² de severidad media y 1,35 m² de baja severidad. Estas áreas deben registrarse separadamente. Ningún otro daño (por ejemplo, desprendimiento y agrietamiento) se registra dentro de un parche; aun si el material del parche se está desprendiendo o agrietando, el área se califica únicamente como parche. Si una cantidad importante de pavimento ha sido reemplazada, no se debe registrar como un parche sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la sustitución de una intersección completa).

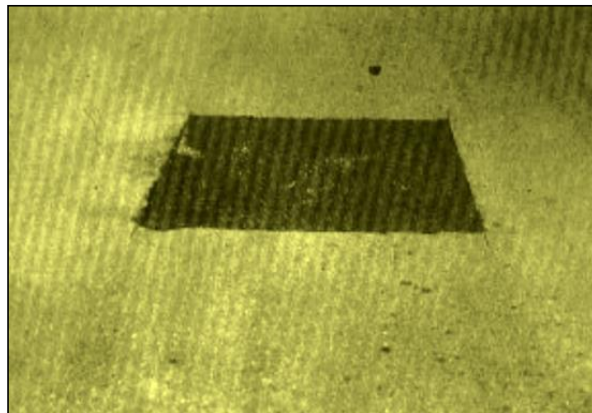
Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Sustitución del parche.

H= Sustitución del parche.

Figura 36. Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 37. Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 38. Parcheo y acometidas de servicios de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

12. Pulimento de agregados

Descripción

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

Niveles de severidad

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

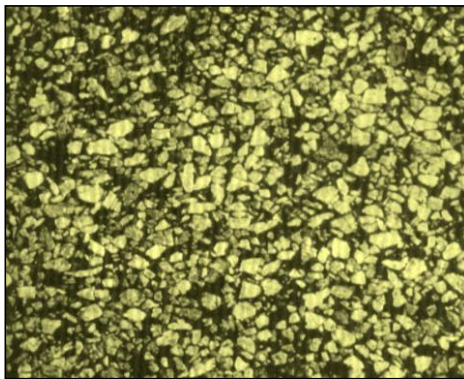
Medida

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

Opciones de reparación

L, M, H= No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

Figura 39. Pulimento de agregados



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

13. Huecos

Descripción.

Los huecos son depresiones pequeñas en la superficie del pavimento, usualmente con diámetros menores que 0,90 m y con forma de tazón. Por lo general presentan bordes aguzados y lados verticales en cercanías de la zona superior. El crecimiento de los huecos se acelera por la acumulación de agua dentro del mismo. Los huecos se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta. Con frecuencia los huecos son daños asociados a la condición de la estructura y no

deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los huecos son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como huecos, no como meteorización.

Niveles de severidad.

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

Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies² (0,47 m²) para hallar el número de huecos equivalentes. Si la profundidad es menor o igual que 25,0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25,0 mm la severidad se considera como alta.

Tabla 6. Niveles de severidad para huecos

Profundidad máxima del hueco	Diámetro medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12,7 a 25,4 mm	L	L	M
> 25,4 a 50,8 mm	L	M	H
> 50,8 mm	M	M	H

Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Medida

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

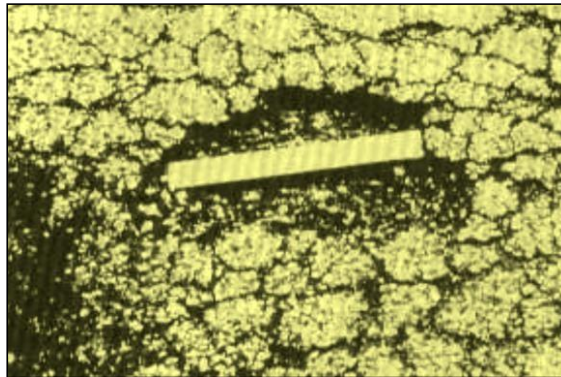
Opciones de reparación

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

M= Parcheo parcial o profundo.

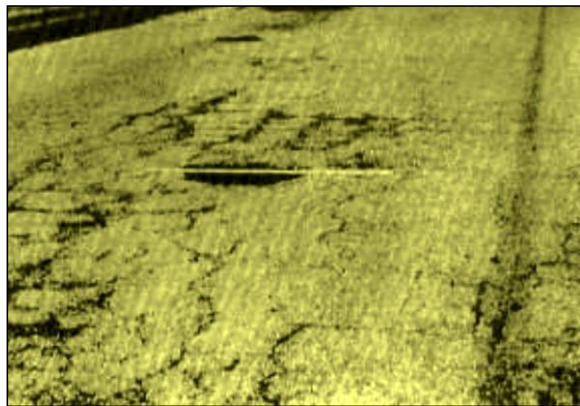
H= Parcheo profundo.

Figura 40. Hueco de baja severidad



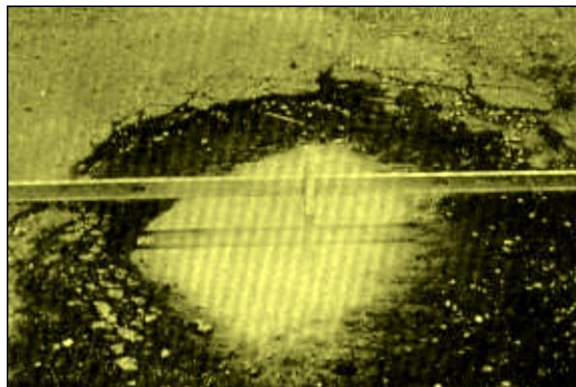
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 41. Hueco de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 42. Hueco de severidad alta



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

15. Ahuellamiento

Descripción

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

Niveles de severidad

Profundidad media del ahuellamiento:

L= 6,0 a 13,0 mm.

M= >13,0 mm a 25,0 mm.

H= > 25,0 mm.

Medida

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

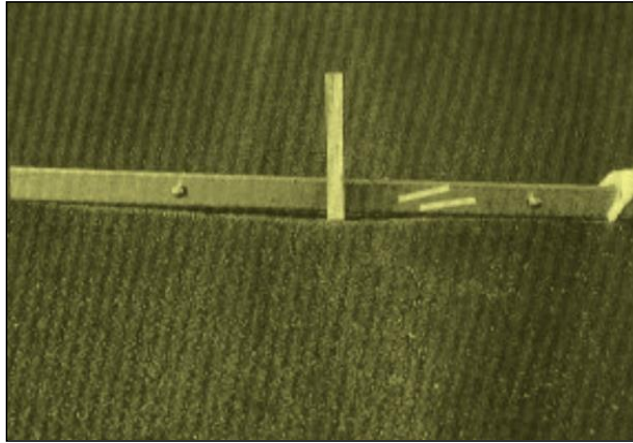
Opciones de reparación

L= No se hace nada. Fresado y sobrecarpeta.

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

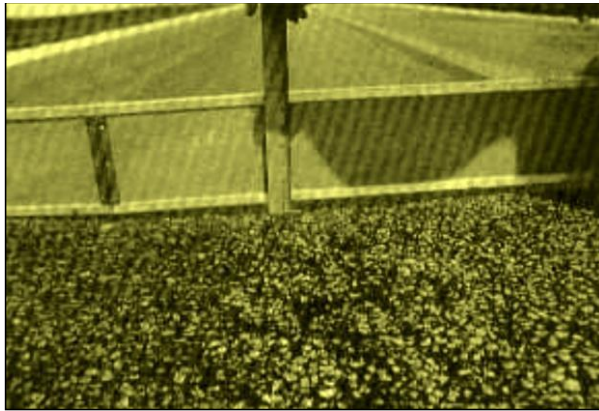
H= Parcheo superficial, parcial o profundo. Fresado y sobrecarpeta.

Figura 43. Ahuellamiento de baja severidad.



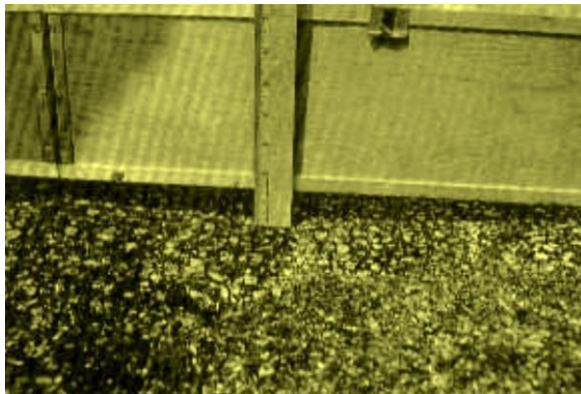
Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 44. Ahuellamiento de severidad media.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

Figura 45. Ahuellamiento de alta severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI)

16. Desplazamiento

Descripción

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

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

Niveles de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L= No se hace nada. Fresado.

M= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

H= Fresado. Parcheo parcial o profundo.

Figura 46. Desplazamiento de baja severidad



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 47. Desplazamiento de severidad media



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

Figura 48. Desplazamiento de severidad alta



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

18. Hinchamiento

Descripción

El hinchamiento se caracteriza por un pandeo hacia arriba de la superficie del pavimento una onda larga y gradual con una longitud mayor que 3,0 m. El hinchamiento puede estar acompañado de agrietamiento superficial. Usualmente, este daño es causado por el congelamiento en la subrasante o por suelos potencialmente expansivos.

Nivel de severidad

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

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

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

Medida

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

Opciones de reparación

L= No se hace nada.

M= No se hace nada. Reconstrucción.

H= Reconstrucción.

Figura 49. Ejemplo de hinchamiento.



Fuente: Norma ASTM D 6433-03 (Manual del PCI).

2.7. Índice de serviciabilidad presente (PSI)

La calidad de servicio que ofrece una carretera se mide en función del Índice de Serviciabilidad Presente, la figura 12 muestra una curva que relaciona la rugosidad con el PSI, y de acuerdo a esta curva el tipo de mantenimiento que requiere el tramo de la carretera estudiado, 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, cuando el Índice de Serviciabilidad es menor a dos quiere decir que la rugosidad tiene un valor superior a los 40 QI, lo cual significa que la carretera tiene fallas o deterioros tales como corrugaciones, hundimientos, etc., problemas que pueden ser superficiales o debido a fallas estructurales.

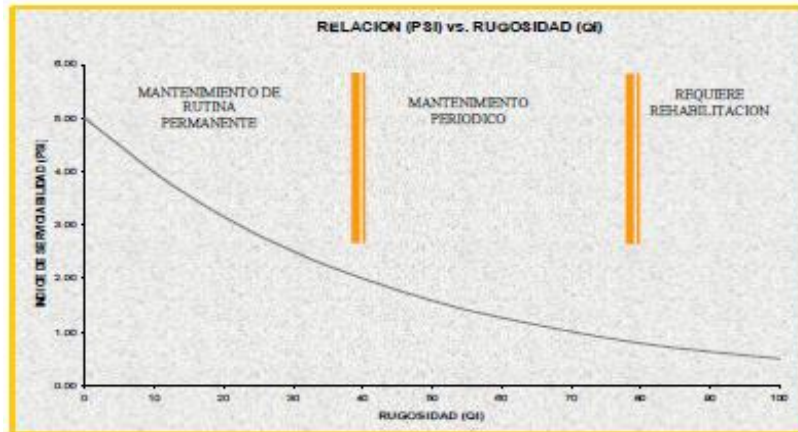
Con la asistencia técnica que ofreció a Bolivia WILBUR SMITH Y ASOCIADOS, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{PSI} = 5 * e^{(-0,02291 * \text{QI})}$$

QI = Rugosidad determinada con un aparato auscultador

Con la aplicación de esta fórmula se determinan las relaciones existentes entre la Rugosidad QI y PSI están determinadas, las relaciones de equivalencia entre el IRI, QI, y PSI, asimismo se muestran la relación de equivalencia IRI, PSI.

Figura 50. Relación PSI vs Rugosidad



Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) da una orientación sobre el estado del pavimento desde el punto de vista del usuario, por lo que es necesario que se exprese la rugosidad en términos de serviciabilidad. Para este fin se adopta una escala que en base a estudios realizados por el Instituto del Asfalto está en un rango de 5 a 0, de acuerdo a esta escala el PSI (Present Index Service) es igual a 5 y la rugosidad es cero, siendo este índice más alto de serviciabilidad, valor que en la práctica no se obtiene, por el contrario, si el PSI es igual a cero, la carretera es intransitable y corresponde a una rugosidad muy grande.

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

$$\text{PSI} = 6,20 - 0,8 * C_1 - 0,3 * C_2 - 0,1 * C_3$$

Donde:

C1, C2, C3, son apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento de acuerdo a la siguiente escala tabla 7.

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

$$\overline{\text{PSI}} = \frac{\sum \text{PSI}_i}{n}$$

Donde:

PSI = PSI de cada unidad evaluada.

n = Número de unidades existentes en la sección.

Tabla 7. Constantes de apreciación del PSI coeficiente C1, C2 y C3

Rugosidad longitudinal	Valor C₁
Perfectamente lisa	1
Algo rugosa	2
Medianamente rugosa	3
Rugosidad alta	4
Extremadamente rugosa	5
Intensidad de grietas y parches	Valor C₂
Ausencia de grietas	1
Grietas y parches escasos	2
Fuertemente agrietado y parchado	3
Extremadamente agrietado y parchado	4
Deformación transversal	Valor C₃
Sin deformidad ni ahuellamiento	1
Medianamente deformado y ahuellado	2
Fuertemente deformado y ahuellado	3

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Tabla 8. Relación de rugosidad (QI) con el PSI

QI Unidades/Km	PSI	Descripción
0 - 20	3 - 5,0	El pavimento es nuevo.
20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
35 - 65	1,0 - 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
65 - 110	0,4 - 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 m, 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Tabla 9. Descripción de valores PCI, QI, PSI

PCI	Descripción	QI Unidades/Km	PSI	Descripción
90 - 100	Muy bueno, excelente	0 - 20	3 - 5,0	El pavimento es nuevo.
60 - 90	Bueno	20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
40 - 60	Regular	35 - 65	1,0 - 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depressiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
20 - 40	Muy pobre			
0 - 20	Fallado	65 - 110	0,4 - 1,0	El pavimento severamente afectado, con depressiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 m., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

Tabla 10. Relación de rangos PSI vs QI vs PCI

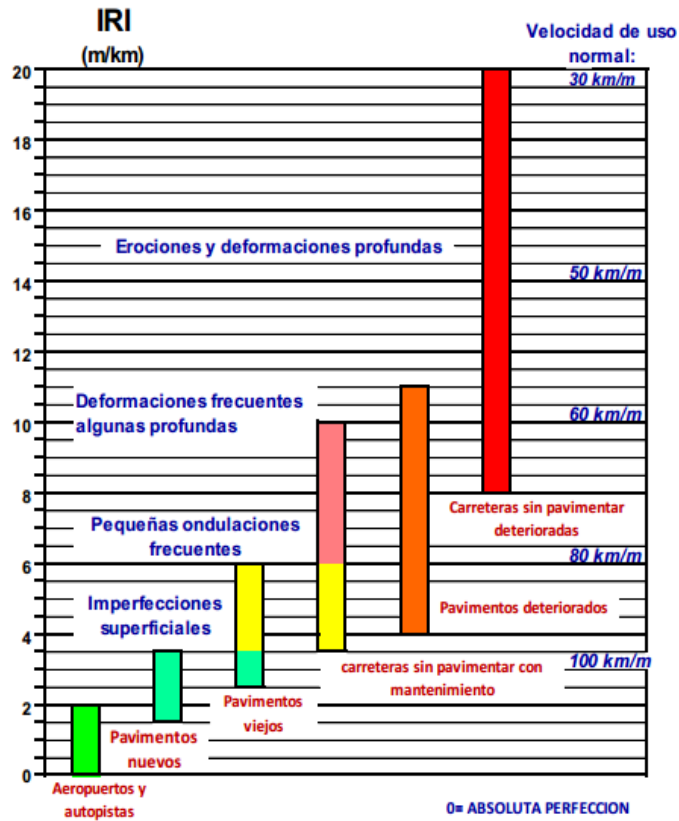
IRI	QI Unidades/Km	PSI	Descripción
0 – 1,6	0 - 20	3 – 5,0	El pavimento es nuevo.
1,6 – 2,8	20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existe baches ni Corrugaciones.
2,8 – 5,2	35 - 65	1,0 – 2,5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1 - 3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80 km/h.
5,2 – 8,8	65 - 110	0,4 – 1,0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (≥ 20 mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50 m., 15 % de baches).

Fuente: Manual de evaluación de pavimentos Ing. Gustavo Corredor

2.8. Índice de regularidad internacional (IRI)

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura, se expresa en metros por kilómetros. (Sayers y Karamihas, 1996)

Figura 51. Escala de clasificación del IRI



Fuente: Banco Mundial

Factores que Afectan la Rugosidad de los Pavimentos

Las investigaciones han demostrado que existen muchos factores que afectan la regularidad superficial del pavimento de estos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Niveles de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- El número estructural.

Ventajas de un Pavimento Sin Irregularidades

Los pavimentos sin irregularidades brindan al usuario la comodidad al transitar y a su vez un pavimento sin irregularidades trae como consecuencia positiva en comparación con un pavimento con superficie irregular:

- Disminución de las cargas dinámicas en los pavimentos.
- La regularidad de un pavimento se conserva por más tiempo.
- El nivel de servicio aumenta.
- Disminuye el consumo de combustible y el costo de mantenimiento del vehículo
- Disminuye el costo de mantenimiento del pavimento.

Las características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades del IRI están en mm/m, m/km o in/mí.
- La escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km, donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.
- Para una vía 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, tampoco los cambios de pendiente.
- La norma ASTM E-1926, presenta una escala del IRI.

2.7.1. Descripción de equipos de medición de rugosidad

Mira y nivel topográfico. Esta herramienta es la forma más precisa de medir el perfil longitudinal del pavimento pues, consiste en una mira de precisión graduada y un nivel topográfico empleado para determinar las cotas del perfil de la huella de rueda seleccionada.

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, para obtener una precisión correspondiente a la Clase 1, las medidas se deben tomar cada 0,25 m, mientras que para una precisión de Clase 2, los intervalos deben ser de 0,50 m. El rendimiento aproximado de la medición de perfiles con mira y nivel es de aproximadamente 640 m/día. (Contreras Sauñe, 2000)

Este equipo, comparado con otras herramientas para la medición de la rugosidad, es fácil de encontrar en el mercado a un costo muy accesible, ya sea para alquiler o compra de este. La desventaja de la Mira y Nivel es la cantidad de esfuerzo y tiempo que demanda su uso. Es por esto por lo que, en general, es mejor usarlo cuando deben medirse unos pocos perfiles o para calibrar otros instrumentos menos precisos. (Cárdenas Cruz, 2007).

Machine for Evaluating Roughness using low-cost instrumentation (MERLIN). Este equipo fue desarrollado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). Consiste en una estructura metálica de 1,8 m de longitud, con una rueda al frente de circunferencia 2,15 m, un pie de apoyo fijo atrás y un apoyo central oscilante. Este último mide la desviación vertical de la superficie respecto de una cuerda promedio definida por la rueda y el apoyo fijo. El apoyo central está unido a un brazo que en su extremo superior posee un puntero que permite registrar estas desviaciones en una planilla de papel, siendo la relación de brazo entre los segmentos pivote-extremo, de 1:10. En cada vuelta de la rueda se realiza una observación de acuerdo con la posición del puntero hasta completar las 200 observaciones.

2.8.1.1. Método de medición de la rugosidad con rugosímetro de MERLIN

El rugosímetro de Merlin, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo.

El Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) desarrolló el Rugosímetro Merlin (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), basándose en el principio del perfilómetro estático, con el objetivo de obtener un equipo de bajo costo, fácil manejo y un método de análisis simple con resultados confiables.

La gran ventaja en el uso del Merlin es la exactitud en los resultados que solo puede ser superada por el método de Mira y Nivel. Pero también tiene la desventaja de que el rendimiento ofrecido por este equipo es muy bajo comparado con los equipos electrónicos y/o dinámicos y el problema es mayor aun cuando es necesario evaluar grandes distancias de carretera y si los resultados son necesarios con prontitud la utilización del Merlin se hace improductivo.

Esquema y representación de las partes de un equipo Merlin

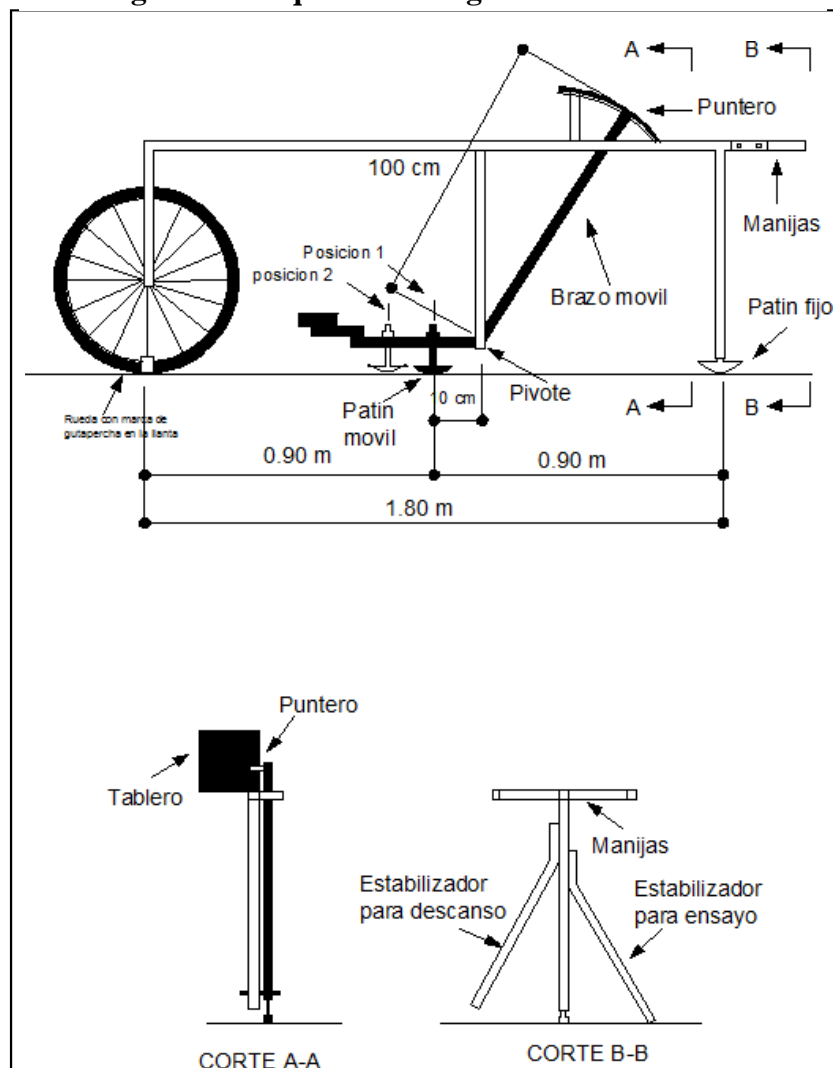
El Merlin es un equipo sencillo y fácil operación, lo cual hace que su utilización resulte completamente económica cuando se trate de evaluar tramos cortos de carretera.

Consta de:

- Patín móvil

- Pivote
- Brazo móvil
- Puntero
- Manijas
- Patín fijo
- Tablero
- Estabilizador para descanso
- Estabilizador para ensayo

Figura 52. Esquema del rugosímetro de Merlin

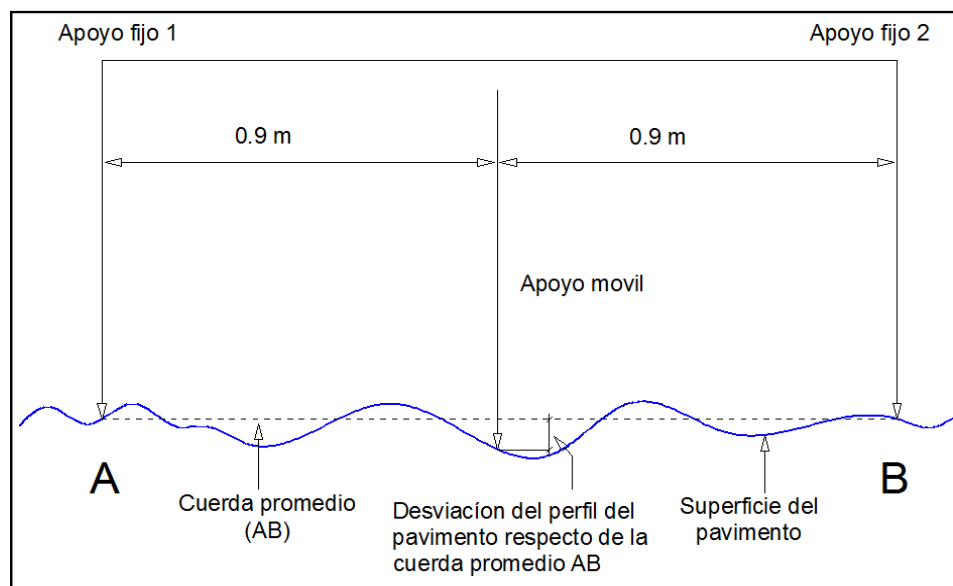


Fuente: Del Aguilar Rodríguez, Pablo, 1999

Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlin

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. El Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

Figura 53. Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.

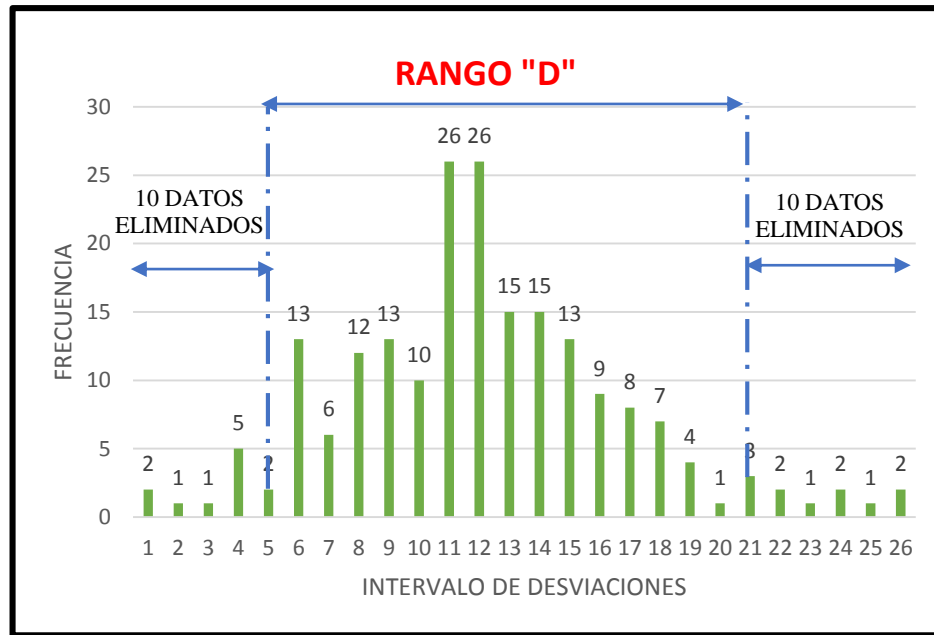


Fuente: Del Aguilar Rodríguez, Pablo, 1999. Manual del usuario MERLINER

Histograma de la distribución de frecuencia

Se debe medir 200 desviaciones en forma continua para poder obtener el histograma de distribución de frecuencias, en el histograma existe la posibilidad de medir dispersión de las desviaciones, en la figura que sigue se muestra el parámetro estadístico “D” que representa la rugosidad del pavimento en escala Merlin, luego de hacer la depuración de 5% (10 datos) a cada lado (cola) del histograma, el máximo rango “D” debe ser convertido a unidades IRI mediante ecuaciones de correlación.

Figura 54. Histograma de la distribución de frecuencias.



Fuente: Elaboración propia

Correlaciones "D" versus IRI

A partir de las investigaciones por encargo del Banco Mundial en la década de los 80's se estableció como parámetro patrón para relacionar los resultados obtenidos con la gran variedad de equipos medidores del IRI.

Para relacionar la rugosidad obtenida con el Merlin con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se deben usar las siguientes ecuaciones de correlación.

Cuando $2,4 < IRI < 15,9$ entonces $IRI = 0,593 + 0,0471$

Cuando $IRI < 2,4$ entonces $IRI = 0,0485$

La primera ecuación es una ecuación primigenia del TRRL, resultado de las investigaciones del banco mundial en el año 1982, la segunda ecuación es el resultado de las investigaciones en el Perú, el cual debe ser aplicado a pavimentos nuevos o en buen estado, tal como indica la condición de su utilización en la expresión segunda.

Según la clasificación de equipos para medición de la regularidad superficial de pavimentos, propuesta por el Banco Mundial, el Merlin pertenece a la Clase 1, por obtener

resultados muy exactos solo superado por el método de Mira y Nivel y además de ser una variación del perfilómetro estático.

El tablero del Merlin

La relación entre el patín móvil – pivot y pivot – puntero es de 1 a 10, lo cual da entender que un movimiento en la parte inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm (10 mm) en el puntero.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero.

Tabla 11. Tabla de Merlin

Rugosímetro Merlin		DEPRESIONES	5
1 DIVISION = 5 mm			DEPRESIONES
		4,8	
		4,7	
		4,6	
		4,5	
		4,4	
		4,3	
		4,2	
		4,1	
		4	
		3,9	
		3,8	
		3,7	
		3,6	
		3,5	
		3,4	
		3,3	
		3,2	
		3,1	
		3	
		2,9	
		2,8	
		2,7	
		2,6	
		2,5	
		2,4	
		2,3	
		2,2	
		2,1	
		2	
1,9			
1,8			
1,7			
1,6			
1,5			
1,4			
1,3			
1,2			
1,1			
1			
9			
8			
7			
6			
5			
4			
3			
2			
1			

Fuente: Del Aguilar Rodríguez, Pablo, 1999

Las anotaciones de las observaciones realizadas deben ser hechas en una planilla. Los datos recolectados se deben representar en un histograma como parte del trabajo de gabinete de la evaluación de la rugosidad del pavimento.

Figura 55. Formato de planilla para toma de datos

DETERMINACIÓN DE RUGOSIDAD (EQUIPO TIPO MERLIN)

Proyecto:
Sector:
Elaborado por:
Carril: Fecha :

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Fuente: Elaboración propia

Método para el cálculo de la rugosidad

La dispersión de los datos obtenidos con el Merlin se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cual puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma. Posteriormente se establece el

Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior. Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos.

Debemos de tener en cuenta que cuando en el tablero el puntero indica valores cercanos a 25, el pavimento es menos rugoso y si en cambio está muy alejado de 25, indica que el pavimento presenta muchas imperfecciones.

El rango obtenido del histograma debe ser convertido a milímetros (mm), para lo cual se multiplica con el valor de cada unidad (5mm), cuando se llega a este punto se ha calculado la rugosidad en escala MERLIN en cual debe ser convertido a escala IRI.

Factor de corrección para ajuste de “D”

La condición de relación de los brazos del Rugosímetro de 1 a 10 en ocasiones se cambia, como consecuencia del desgaste del patín del brazo móvil, lo cual debe ser ajustado con el factor de corrección “FC”. El procedimiento de obtención de “FC” se encuentra en: “Metodología para la Determinación de La Rugosidad de los Pavimentos, Pablo del Águila Rodríguez.”

La ecuación a utilizar para el ajuste de “D” es:

$$F.C.=\frac{EP*10}{(LI-LF)*5}$$

Donde:

EP= Espesor de la pastilla

LI= Posición inicial del puntero

LF= Posición final del puntero

Al multiplicar el rango “D” por el F.C. se obtiene el valor de la rugosidad en “unidades Merlín”.

Determinación de la rugosidad en la escala del IRI

Para transformar la rugosidad de unidades Merlín a la escala del IRI, se usa las expresiones.

Cuando $2,4 < \text{IRI} < 15,9$ entonces $\text{IRI} = 0,593 + 0,0471$

Cuando $\text{IRI} < 2,4$ entonces $\text{IRI} = 0,0485$

Calculado el IRI característico, el sector o tramo será aceptado si cumple con lo siguiente:

- Para pavimentos asfálticos nuevos, el IRI deberá ser menor o igual a 2,0 m/km.
- Para pavimentos con recapado asfáltico, el IRI deberá ser menor o igual a 2,5 m/km.
- Para pavimentos con sellado asfáltico, el IRI deberá ser menor o igual a 3,0 m/km.

En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados. (Del Aguilar Rodríguez, Pablo, 1999).

Figura 56. Rugosímetro de MERLIN empleado para los ensayos



Fuente: Elaboración Propia.

2.8.1.2. Método de medición de la rugosidad con mira y nivel de ingeniero

Para garantizar la validez de los datos recolectados sobre cualquier vía, se confirmó que el equipo cumplía con el criterio de resolución de 0,1 mm y se tomaron las medidas cada 0,25 m según la norma ASTM E 1364 - 95 Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method.

Para poder utilizar la mira y el nivel fue necesario contar con:

- Nivel: Instrumento cuya finalidad es la medición de desniveles entre punto que se encuentran a una distancia o altura distinta.
- Mira: Regla gigante graduada en centímetros y milímetros.
- Trípode: Soporte en el que se apoya el nivel.
- Señales semipermanentes: Se realizaron marcas en el pavimento con pintura en aerosol de color rojo cada 0,50 m para indicar dónde debía ser medida la cota.
- Equipo de seguridad: Se utilizaron conos y chalecos reflectivos para evitar accidentes.

Procedimiento

El procedimiento llevado a cabo para determinar el IRI real. A continuación, se describe cada una de las operaciones del proceso realizado:

Definir el tramo, se seleccionaron vías donde con la menor cantidad de singularidades (rompemuelles, cruces de vías, buzones de desagües, etc.) presentes ya que afectarían la medición de su regularidad en 40 m alrededor suyo.

Señalizar el pavimento, se marcó el pavimento con pintura en aerosol cada 0,50 m.

Seleccionar el punto topográfico, se determinó el lugar donde se colocaría el instrumento teniendo en cuenta siempre la buena visibilidad y la seguridad de los trabajadores y personas.

Montar el equipo, se instaló el trípode y el nivel.

Nivelar el equipo, se niveló el trípode para poder validar los resultados del levantamiento.

Realizar el levantamiento topográfico, se determinó el perfil longitudinal.

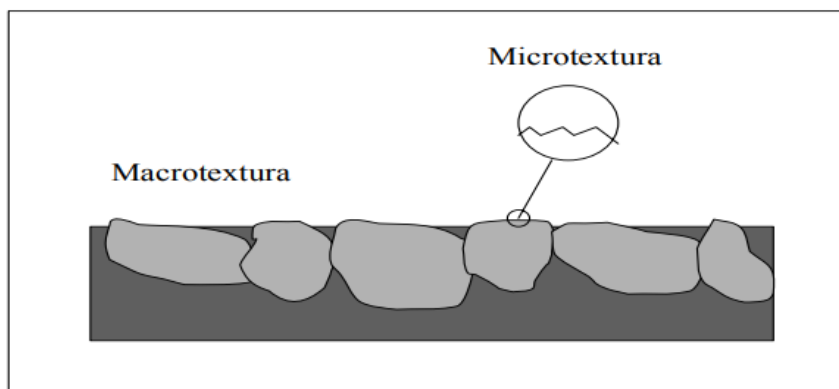
2.9. Índice de Fricción Internacional (IFI)

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: microtextura y macrotextura.

La microtextura característica propia del árido expuesto sobre la superficie de los pavimentos, afecta el nivel de fricción en el área de contacto entre el neumático y el pavimento, ya que entre más áspera sea la superficie menos tiempo le tomaría al automóvil de cierta velocidad inicial llegar a 0, factor que se refleja en un mayor gasto en el neumático. Permite una adecuada adherencia gracias a penetración de la película de agua entre el neumático y el pavimento. Presenta una longitud de onda de 0-0,5 mm y una amplitud de 0,01-0,5 mm.

Macrotextura depende del tamaño máximo de los agregados y de la composición de la mezcla, riego o lechada asfáltica o del tratamiento de superficializado a la capa de concreto. En el caso de mezclas drenantes o tratamientos superficiales, la macrotextura será del tipo grueso, mientras que, en el caso de mezclas densas convencionales, la macrotextura será más bien fina. Proporciona canales de escape para el agua superficial del área de contacto entre el neumático y el pavimento, de esta forma ofrece una adecuada resistencia a altas velocidades sobre pavimentos mojados. Presenta una longitud de onda de 0,5-50 mm y una amplitud de 0,01-20 mm.

Figura 57. Diferencia entre microtextura y macrotextura



Fuente: Cfr. Crespo 1999. El Índice de Fricción Internacional (IFI)

El coeficiente de fricción de un pavimento varía según:

- Las características del pavimento.
- La densidad del tránsito.
- Condiciones de la vía.
- Grado de humedad en la superficie y temperatura.

2.9.1 Péndulo Británico

Respecto al Péndulo de Fricción, este es un dispositivo muy difundido internacionalmente, principalmente por su bajo costo en comparación a otros equipos más sofisticados. Este equipo desarrollado por el TRRL, tiene sus mediciones normalizadas según ASTM E-303, Para efectuar la medida, este se ajusta de modo que el patín de goma, fijado en el péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir.

El péndulo se balancea desde la vertical hasta el reposo. La pérdida de energía del péndulo debido a la fricción del pavimento se registra en una escala graduada. Este instrumento es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades (< 50 km/hr), por consiguiente, provee medidas para la microtextura. La medición entrega como resultado el valor BPN (British Pendulum Number).

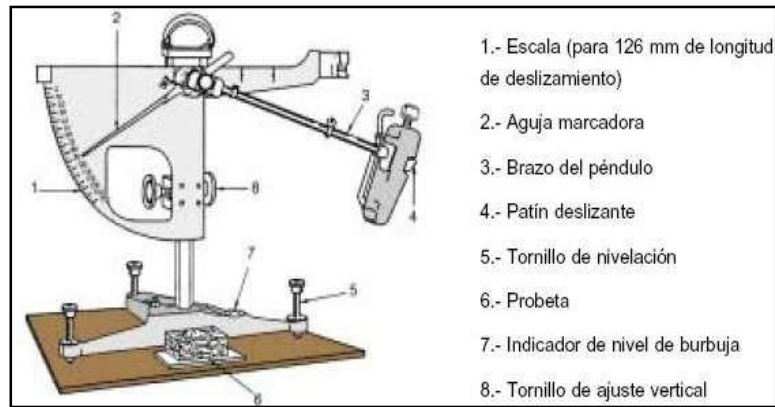
Figura 58. Péndulo Británico



Fuente: Elaboración Propia

2.9.1.1 Elementos que conforman el Péndulo Británico

Figura 59. Esquema del Péndulo Británico



Fuente: S.N.2004

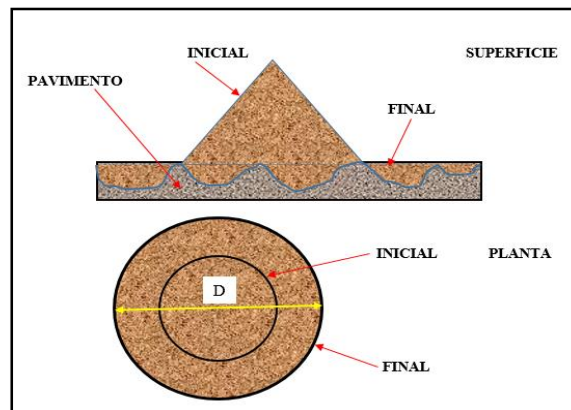
Para utilización del equipo, se debe contar con lo siguiente:

- Regleta graduada.
- Termómetro láser.
- Recipientes para agua.
- Cepillo con cerdas de goma.
- Agua (potable o destilada).

2.9.2 Círculo de arena (Mancha de arena)

Permite determinar el promedio del espesor de la macrotextura (rugosa o lisa) de la superficie del pavimento y sus medidas puntuales mediante un círculo de arena, según la norma ASTM E965-15.

Figura 60. Círculo de arena



Fuente: Elaboracion propia

El cociente entre el volumen conocido y el área del círculo determina la altura o profundidad de la macrotextura del pavimento. A ese valor generalmente comprendido en una banda que va de 0,3-0,4mm a 2-3 mm se le llama altura H de la mancha de arena, que define la profundidad media de la textura del pavimento.

El valor está muy ligado al tipo de pavimentos que se construya. Así por ejemplo los tratamientos superficiales y los pavimentos de hormigón presentan valores de textura mayores que las mezclas bituminosas y para estas, el tipo de mezcla y el tamaño máximo del árido empleado definen una banda de valores de textura bastante amplia. El ensayo es útil para valores de textura superiores a 0,25 mm. El ensayo está normalizado en la mayoría de los países.

2.9.3. Cálculo del Índice de Fricción Internacional

Como se mencionó anteriormente, el IFI relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo. Para esto se estima una constante de referencia de velocidad (Sp) y la fricción a una velocidad de 60 km/h donde finalmente se obtiene una curva de fricción- velocidad de deslizamiento.

1) Realizar los dos tipos de medidas sobre el pavimento a evaluar con los equipos disponibles

- Fricción (FR)
- Textura (Tx)

2) Designación de las parejas de valores

La pareja de los valores (F60, Sp) se designa como el IFI de un pavimento. Estos valores permitirán dibujar la curva de referencia estimada de fricción – velocidad de deslizamiento del pavimento a ensayar.

a) Determinación de la constante de velocidad Sp:

$$\mathbf{a) \quad Sp = a + b \times Tx}$$

Donde:

Sp = Constante de velocidad

Tx = H o altura de macrotextura del pavimento

a y b = constantes según Norma ASTM E 695 SON (a = -11,5981; b = 113,6325)

b) Determinación de la constante FR60:

$$\mathbf{FR60} = \mathbf{FRs} \times \mathbf{e}^{\left(\frac{\mathbf{S}-60}{\mathbf{Sp}}\right)}$$

Donde:

FR60 = Fricción de referencia a una velocidad de 60 km/h.

FRs = Fricción a la velocidad de la medición del equipo

S= Velocidad de operación del péndulo = 10 km/hr

Sp= Constante de velocidad

c) Determinación de la fricción de referencia F60:

$$\mathbf{F60} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} \times \mathbf{FR60}) + (\mathbf{C} \times \mathbf{Tx})$$

Donde:

F60 = Estimado de la fricción en la curva idealizada a 60 km/h

A, B y C = constantes según Norma ASTM E 274 son (A= 0,078 y B = 0,0107)

FR60 = Fricción de referencia a una velocidad de 60 km/h.

Tx = Medida de la macrotextura con el equipo utilizado

Es así como la pareja de valores F60 y Sp forman el índice de fricción internacional (IFI):

(F60, Sp)

3) Obtención de la curva fricción-deslizamiento

Se obtiene con los valores calculados IFI de un pavimento. Con esta curva se permite calcular el valor de la fricción F(S) a cualquier velocidad de deslizamiento S según la expresión siguiente: (AIPCR, 1995).

$$\mathbf{F(S)} = \mathbf{F60} \times \mathbf{e}^{\left(\frac{\mathbf{60}-\mathbf{S}}{\mathbf{Sp}}\right)}$$

Donde:

$F(S)$ = Fricción de una velocidad estimada

$F60$ = Estimado de la fricción en la curva idealizada a 60 km/h

S = Velocidad de operación del equipo

S_p = Constante de velocidad (km/hr)

El valor del IFI está representado por: ($F60$, S_p).

Para así poder dar una calificación en función a los valores de condición en función de las siguientes tablas.

Tabla 12. Valores de fricción con el Péndulo Británico

Fricción	Calificación
<0,50	Malo (Deslizamiento del vehículo)
0,51-0,60	De regular a bueno
0,61-0,80	Bueno
0,81-0,90	De bueno a regular
>0,91	Malo (Desgaste de los neumáticos)

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento ASTM E 1960, Ing.

Fabricio Leiva

Tabla 13. Textura en pavimentos para el círculo de arena

Textura	Círculo de arena HS (mm)
Muy fina	$HS < 0,20$
Fina	$0,20 < HS < 0,40$
Media	$0,40 < HS < 0,80$
Gruesa	$0,80 < HS < 1,20$
Muy gruesa	$> 1,20$

Fuente: Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento ASTM E 1960, Ing.

Fabricio Leiva

2.10. Capacidad y nivel de servicio de una carretera

En un estudio de Capacidad y Niveles de Servicio intervienen múltiples variables cuyas definiciones son indispensables para la adecuada comprensión del presente estudio, por ello se incluye a continuación un listado básico de conceptos que introducen al lector en el tema propuesto. El cálculo de la capacidad de una, vía, así como de su nivel de servicio, ofrece algunas diferencias dependiendo de la metodología empleada, por ello, se presenta lo concerniente al “Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles” del Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS).

Carril: Parte de la vía cuya sección transversal está destinada a la circulación de un solo vehículo.

Calzada: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. En el caso de vías de dos carriles con circulación en ambos sentidos, el ancho de la calzada lo constituye la suma del ancho de los dos carriles.

Berma: Parte exterior de la calzada destinada a la parada eventual de vehículos. La berma puede ocasionalmente incrementar el ancho efectivo de la calzada, a la vez que proporciona mayor visibilidad a los conductores debido al despeje lateral de obstáculos que brinda.

Capacidad de una carretera multicarril: (Multilane Highway Capacity). Es la máxima tasa de flujo horario sostenida a la cual los vehículos se espera que atraviesen un segmento uniforme de la vía, bajo condiciones prevalecientes del tráfico y de la vía misma.

Velocidad a Flujo Libre: (Free-Flow Speed, FFS). Es la velocidad a la cual los conductores sienten comodidad viajando, bajo condiciones controladas ambientales, físicas y de tránsito, en una sección descongestionada de una carretera multicarril. (Este concepto es análogo para una vía de dos carriles).

Vehículos de pasajeros: (Passenger cars). Este término hace alusión a los vehículos livianos o simplemente denominados “autos” en Bolivia, ya que, en países como Estados Unidos, se procura hallar un equivalente de vehículos livianos para los pesados (buses y camiones), así como para los vehículos recreativos que transportan gran número de

usuarios y se consideran igualmente vehículos pesados con diferencias temporales de circulación.

Población de conductores: (Driver population). Es la diferenciación entre los usuarios habituales de una vía y aquellos que transitan por ella esporádicamente y por tanto no están familiarizados con sus condiciones y limitantes.

Tiempo de retraso: (Time spent following). Es el tiempo que los conductores se demoran en su recorrido por una vía, debido a la imposibilidad de adelantar a otros vehículos con menor velocidad que van delante de ellos. Este tiempo es un criterio bastante importante en la determinación del Nivel de Servicio en la metodología del Manual HCM 2000.

Terreno plano: Es aquel cuyas pendientes longitudinales de sus vías son menores del 3%.

Terreno ondulado: Es el que posee pendientes longitudinales entre el 3% y el 6%.

Terreno montañoso: Es el que presenta pendientes longitudinales entre el 6% y el 8%.

Terreno escarpado: Presenta pendientes longitudinales mayores al 8%.

Carretera de dos carriles: Es aquella que tiene una calzada con un carril para cada sentido de circulación de los vehículos.

Carretera multicarril: Es la que tiene dos o más carriles en cada sentido de circulación, pudiendo o no tener separador central. También se le conoce como doble calzada.

Carreteras Principales o de primer orden: De acuerdo con su función, estas carreteras son troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función básica de integración de las zonas principales de producción y consumo del país y de este con otros países.

Carreteras Secundarias o de segundo orden: Son las vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una principal.

Tramo de una vía: Es una subdivisión de una ruta con longitud de hasta 150 km.

Sector de una vía: Es la parte de un tramo determinado para realizar estudios de capacidad y niveles de servicio.

Sector crítico de una vía: Es el sector de una vía que presenta factores deficientes en sus características geométricas o mal estado de su capa de rodadura. Este es el primer sitio en congestionarse cuando se presente alta demanda en la vía.

Zona de no rebase: Porcentaje de la longitud del sector de la vía donde los conductores no encuentran una distancia prudencial para adelantar.

TPDs: El tránsito promedio diario semanal o TPDs (por su sigla) representa el número promedio de vehículos que transita por una vía determinada en un periodo de tiempo igual a un día completo. Los datos del TPDs provienen de conteos semanales realizados por el INVIAS en estaciones de conteo específicas y se encuentran en cartillas de publicación anual del Instituto.

Volumen Hora Pico: Es el número de vehículos que transitan por una vía en la hora de mayor congestión durante un día completo.

2.10.1. Capacidad

Se define la capacidad de una carretera de dos carriles como el máximo número de vehículos que puede circular, por un punto o tramo uniforme de la vía en los dos sentidos, durante cierto período de tiempo, en las condiciones imperantes de vía y de tránsito. La capacidad se expresa en vehículos por hora, aunque puede medirse en períodos menores de una hora. El valor de la capacidad depende de la duración del período en que se mida.

Este valor de la capacidad definido para "condiciones imperantes" difiere del volumen máximo que puede circular por la vía en un momento dado. El volumen máximo posible depende de factores tales como la composición vehicular, la velocidad de circulación y las condiciones atmosféricas, que pueden cambiar en cualquier momento.

2.10.1.1. Cálculo de la capacidad

Para determinar la capacidad de una vía, se parte de una capacidad ideal de la misma (3200 automóviles por hora en ambos sentidos), la cual se ve reducida al ser multiplicada por varios factores de corrección que representan la medida aproximada en que la vía real se aleja de las condiciones ideales. El producto de multiplicar la capacidad ideal de la vía por

los diferentes factores de corrección representa la capacidad para las condiciones específicas de la vía en vehículos de todas las clases por hora. (INVIAS, 1996).

$C_i = 3200$ automóviles/hora/ambos sentidos

$$C_{60} = 3200 * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$

Donde:

C_{60} = Capacidad en vehículos mixtos por hora sin considerar variaciones aleatorias

F_{pe} = Factor de corrección a la capacidad por pendiente (Tabla 14)

F_d = Factor de corrección a la capacidad por distribución por sentidos (Tabla 15)

F_{cb} = Factor de corrección a la capacidad por efecto combinado del ancho de carril y berma (Tabla 16)

F_p = Factor de corrección a la capacidad por la presencia de vehículos pesados en pendientes ascendentes (Tabla 17).

Debido a que las condiciones de demanda no son uniformes, sino que existen variaciones aleatorias que generan situaciones indeseables en el flujo vehicular, se ha optado por reducir la capacidad mediante un factor de hora pico (FHP) que considera dichas variaciones aleatorias en un periodo de cinco minutos, de modo que se tiene:

$$C_5 = C_{60} * FHP$$

Donde:

C_5 = Capacidad en vehículos mixtos por hora considerando variaciones aleatorias.

A continuación, se relacionan las tablas correspondientes a los diferentes factores de corrección.

Tabla 14. Factores de corrección a la capacidad por pendiente

Pend. Asc. %	Longitud de la pendiente (km)											
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
2	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
3	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
4	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
5	0,98	0,95	0,94	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
6	0,97	0,95	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89
7	0,96	0,93	0,91	0,89	0,89	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86
8	0,96	0,92	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,83	0,84
9	0,94	0,89	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
10	0,92	0,85	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74
11	0,90	0,81	0,76	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68
12	0,87	0,76	0,71	0,68	0,67	0,64	0,64	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61

Fuente: Inferidos de datos de campo colombianos

Tabla 15. Factores de corrección a la capacidad por distribución por sentidos

Distribución por sentidos A/D	Porcentaje de zonas de no rebase					
	0	20	40	60	80	100
50/50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
60/40	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,83
70/30	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71
80/20	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,63
90/10	0,69	0,66	0,64	0,61	0,58	0,56
100/100	0,64	0,61	0,58	0,56	0,53	0,50

Fuente: Inferidos de datos de campo colombianos

Tabla 16. Factores de corrección a la capacidad por efecto combinado

Ancho utilizable de la berma en metros	Ancho de carril (m)				
	3,65	3,50	3,30	3,00	2,70
1,80	1,00	0,99	0,98	0,96	0,92
1,50	0,99	0,99	0,98	0,95	0,91
1,20	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91
1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90
0,50	0,98	0,97	0,96	0,93	0,89
0,00	0,97	0,96	0,95	0,92	0,88

Fuente: Tomados del HCM y transformados en factores de capacidad

Tabla 17. Factores de corrección a la capacidad por vehículos pesados

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados					
		10	20	30	40	50	60
0	TODAS	0,95	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78
1	0,5	0,95	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78
	1,0	0,94	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77
	1,5	0,93	0,88	0,85	0,82	0,80	0,77
	2,0	0,92	0,87	0,85	0,82	0,79	0,76
	3,0	0,91	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76
	4,0	0,91	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75
2	≥5,0	0,90	0,87	0,83	0,81	0,78	0,75
	0,5	0,94	0,90	0,85	0,83	0,80	0,77
	1,0	0,93	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76
	1,5	0,92	0,88	0,84	0,81	0,79	0,76
	2,0	0,90	0,86	0,83	0,80	0,78	0,75
	3,0	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,73
3	4,0	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72
	≥5,0	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,72
	0,5	0,94	0,89	0,84	0,81	0,78	0,75
	1,0	0,92	0,87	0,83	0,80	0,77	0,75
	1,5	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,73
	2,0	0,87	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
3	3,0	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70
	4,0	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
	≥5,0	0,84	0,80	0,78	0,75	0,72	0,69

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados					
		10	20	30	40	50	60
4	0,5	0,93	0,88	0,83	0,80	0,76	0,74
	1,0	0,89	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
	1,5	0,84	0,81	0,77	0,74	0,72	0,69
	2,0	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68
	3,0	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,66
	4,0	0,81	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65
	≥5,0	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67	0,64
5	0,5	0,92	0,86	0,82	0,78	0,75	0,73
	1,0	0,85	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69
	1,5	0,82	0,78	0,75	0,71	0,69	0,65
	2,0	0,80	0,77	0,73	0,70	0,67	0,63
	3,0	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,63
	4,0	0,78	0,74	0,71	0,68	0,65	0,62
	≥5,0	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64	0,62
6	0,5	0,90	0,84	0,79	0,76	0,73	0,70
	1,0	0,81	0,77	0,73	0,70	0,67	0,65
	1,5	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,63
	2,0	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64	0,62
	3,0	0,76	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61
	4,0	0,75	0,72	0,68	0,65	0,63	0,60
	≥5,0	0,75	0,71	0,67	0,64	0,62	0,59
7	0,5	0,89	0,82	0,78	0,74	0,71	0,68
	1,0	0,78	0,74	0,71	0,67	0,64	0,61
	1,5	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59
	2,0	0,74	0,70	0,67	0,63	0,60	0,57
	3,0	0,72	0,68	0,67	0,61	0,58	0,56
	4,0	0,71	0,67	0,64	0,60	0,57	0,55
	≥5,0	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,54
8	0,5	0,87	0,81	0,76	0,73	0,70	0,67
	1,0	0,76	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59
	1,5	0,73	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56
	2,0	0,71	0,67	0,63	0,60	0,57	0,53
	3,0	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,53
	4,0	0,68	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52
	≥5,0	0,67	0,63	0,60	0,56	0,53	0,51
9	0,5	0,86	0,79	0,74	0,71	0,68	0,65
	1,0	0,74	0,70	0,67	0,64	0,60	0,58
	1,5	0,71	0,67	0,64	0,60	0,57	0,55
	2,0	0,70	0,66	0,62	0,59	0,56	0,53
	3,0	0,68	0,64	0,60	0,57	0,54	0,51
	4,0	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50
	≥5,0	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,50

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Porcentaje de vehículos pesados					
		10	20	30	40	50	60
10	0,5	0,83	0,76	0,72	0,68	0,65	0,59
	1,0	0,70	0,66	0,62	0,59	0,56	0,52
	1,5	0,68	0,64	0,61	0,58	0,55	0,50
	2,0	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,48
	3,0	0,65	0,61	0,57	0,54	0,51	0,47
	4,0	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,46
	≥5,0	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,45
11	0,5	0,79	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59
	1,0	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55	0,52
	1,5	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,50
	2,0	0,64	0,60	0,57	0,54	0,51	0,48
	3,0	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,47
	4,0	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,46
	≥5,0	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,45
12	0,5	0,77	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56
	1,0	0,66	0,62	0,59	0,55	0,52	0,50
	1,5	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,48
	2,0	0,62	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46
	3,0	0,61	0,57	0,53	0,50	0,48	0,45
	4,0	0,60	0,56	0,53	0,49	0,47	0,44
	≥5,0	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43

Fuente: Tomada del trabajo de investigación de Herrera Juan Carlos "Determinación de factores de equivalencia vehicular para carreteras de dos carriles"

Tabla 18. Factores de pico horario basado en periodos de cinco minutos (FPH)

Volumen horario total Veh /h (C60)	Factor de pico horario	Volumen horario total Veh /h (C60)	Factor de pico horario
100	0,68	1600	0,90
200	0,70	1800	0,92
300	0,72	2000	0,93
400	0,74	2200	0,95
600	0,78	2400	0,95
800	0,81	2600	0,96
1000	0,84	2800	0,97
1200	0,86	≥ 3000	0,97
1400	0,89		

Fuentes: Calculados usando las distribuciones de poisson y binomial y calibrados por la Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia (UTPC) - Tunja.

2.10.2. Nivel de servicio y parámetros que lo describen

Se define el nivel de servicio de un sector de una carretera de dos carriles como la calidad del servicio que ofrece esta vía a sus usuarios, que se refleja en grado de satisfacción o contrariedad que experimentan éstos al usar la vía. Se establecieron dos medidas de efectividad que reflejan esa calidad de servicio, siendo la principal la velocidad media de los vehículos que transitan por la carretera, y como medida auxiliar la relación entre el volumen que circula y la capacidad. La velocidad media describe el grado de movilidad, mientras que la relación volumen/capacidad permite vigilar la proximidad a la congestión.

Se han definido seis niveles para Colombia que van desde el A al F, así:

- **Nivel de servicio A.** Representa flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas. Hay libertad para conducir con la velocidad Deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular es sumamente alta, al no existir prácticamente interferencia con otros vehículos y contar con condiciones de vía que no ofrecen restricción por estar de acuerdo con la topografía de la zona.
- **Nivel de servicio B.** Comienzan a aparecer restricciones al flujo libre o las especificaciones geométricas reducen algo la velocidad. La libertad para conducir con la velocidad deseada y la facilidad de maniobrar dentro de la corriente vehicular se ven disminuidas, al ocurrir ligeras interferencias con otros vehículos o existir condiciones de vía que ofrecen pocas restricciones. Para mantener esta velocidad es preciso adelantar con alguna frecuencia otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es bueno.



- **Nivel de servicio C.** Representa condiciones medias cuando el flujo es estable o empiezan a presentarse restricciones de geometría y pendiente. La libertad para conducir con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular se ve afectada al presentarse interferencias tolerables con otros vehículos o existir deficiencias de la vía que son en general aceptables. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es adecuado.



- **Nivel de servicio D.** El flujo todavía es estable y se presentan restricciones de geometría y pendiente. No existe libertad para conducir con la Velocidad deseada dentro de la corriente Vehicular, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos, o existir condiciones de vía más defectuosas. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.



- **Nivel de servicio E.** Representa la circulación a capacidad cuando las velocidades son bajas pero el tránsito fluye sin interrupciones. En estas condiciones es prácticamente imposible adelantar, por lo que los niveles de libertad y comodidad son muy bajos. La circulación a capacidad es muy inestable, ya que pequeñas perturbaciones al tránsito causan congestión. Aunque se han tomado estas condiciones para definir el nivel E, este nivel también se puede alcanzar cuando limitaciones de la vía obligan a ir a velocidades similares a la velocidad a capacidad, en condiciones de inseguridad.



- **Nivel de servicio F.** Representa la circulación congestionada, cuando el volumen de demanda es superior a la capacidad de la vía y se rompe la continuidad del flujo. Cuando eso sucede, las velocidades son inferiores a la velocidad a capacidad y el flujo es muy irregular. Se suelen formar largas colas y las operaciones dentro de éstas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos. También condiciones sumamente adversas de la vía pueden hacer que se alcancen velocidades e irregularidades en el movimiento de los vehículos semejantes a las descritas anteriormente



Para determinar el Nivel de Servicio de una vía de dos carriles con dos sentidos de circulación, se ha seleccionado como indicador de efectividad la velocidad media de recorrido de los vehículos que integran la corriente vehicular, comprendiendo tanto vehículos ligeros como pesados.

Para calcular el Nivel de Servicio se parte de una velocidad para condiciones casi ideales (excepto por pendiente), la cual se va multiplicando sucesivamente por factores de corrección hasta llegar a una velocidad representativa de las condiciones estudiadas.

La velocidad ideal de automóviles a flujo libre V_i se toma de la Tabla 19 (con los valores de inclinación de la pendiente ascendente y su longitud), obteniendo la velocidad media de automóviles en condiciones ideales excepto por pendiente.

El primer valor de factor de corrección corresponde al factor de utilización “ F_u ”, el cual se toma de la Tabla 20, conociendo la relación entre el volumen total en ambos sentidos y la capacidad (Q/C_{60}).

Así, la velocidad a flujo restringido V_1 es el producto de la velocidad ideal de automóviles a flujo libre V_i por el factor de utilización F_u .

$$V_1 = V_i * F_u$$

Con el valor de la velocidad V_1 y el parámetro de estado de superficie de rodadura seleccionado, se determina el factor de corrección por el estado de la superficie de rodadura “ F_{sr} ” de la Tabla 21.

Existen tres criterios para evaluar el estado de la superficie de rodadura a saber:

- El valor del IRI (Índice de Rugosidad Internacional).
- El porcentaje de área afectada.
- El nivel funcional.

Para efectos del presente documento, se ha considerado el porcentaje de área afectada.

Determinar igualmente el factor de corrección por ancho de carril y berma “ F_{cb} ” de la Tabla 22 con base en los datos del ancho utilizable de carril y de berma.

Al multiplicar la velocidad V_1 por los factores F_{sr} y F_{cb} simultáneamente, se obtiene la velocidad de automóviles a flujo restringido para las condiciones que se estudian y en tangente V_2 .

$$V_2 = V_1 * F_{sr} * F_{cb}$$

Luego se halla el factor de corrección por la presencia de vehículos pesados F_p , para lo cual debe hallarse primero el factor F_{p1} de la Tabla 23, con los datos de la longitud y la inclinación de la pendiente, así como con la velocidad V_2 . Debe tomarse igualmente el factor F_{p2} de la Tabla 24 conociendo el porcentaje total de vehículos pesados y el volumen total en ambos sentidos (Q).

Al multiplicar los factores F_{p1} y F_{p2} entre sí, se obtiene el factor F_p , de ser mayor a la unidad dicho producto, el valor de F_p se hace igual a uno. Multiplicando la velocidad V_2 por el factor F_p , se obtiene la velocidad del tránsito mixto a flujo restringido, para las condiciones estudiadas y en tangente V_3 .

$$V_3 = V_2 * F_p$$

Conociendo el radio de curvatura de la curva más cerrada, se obtiene de la Tabla 25 la velocidad máxima permitida por la curva más cerrada en el sector en estudio V_c .

Se deben comparar los valores de V_3 y de V_c . Si V_c resulta ser menor que V_3 se debe entonces calcular la velocidad media de recorrido V con la Hoja de Trabajo número 2 que se presenta ANEXO G. Si V_c resulta ser mayor o igual que V_3 , se toma el valor de V_3 como V . La velocidad V representa la velocidad media del tránsito mixto a flujo restringido para las condiciones estudiadas, en todo el sector de análisis. Con el valor de la velocidad media V se entra a la Tabla 26 y se determina el Nivel de Servicio. (INVIAS 1996).

Tabla 19. Velocidad media ideal a flujo libre en pendientes ascendentes

Pend.A SC. %	Longitud de la pendiente (km)											
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
0	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
1	88	86	86	86	85	85	85	85	85	85	85	85
2	86	82	81	81	80	80	80	80	80	80	80	80
3	83	79	77	76	75	75	75	75	75	75	75	75
4	82	77	74	72	70	70	69	69	69	69	68	68
5	81	74	70	68	66	66	65	65	64	64	64	64
6	80	73	67	65	63	62	61	61	60	60	60	60
7	85	69	63	60	59	56	55	55	54	54	54	54
8	76	66	60	55	54	52	51	51	50	50	49	49
9	70	59	52	49	48	46	44	44	43	43	43	43
10	66	52	46	42	41	40	39	38	38	37	37	37
11	61	46	39	38	35	34	33	31	31	30	30	30
12	55	39	34	30	29	27	27	26	26	25	25	25

Fuente: Valores inferidos de datos de campo colombiano

Tabla 20. F.C. al nivel de servicio por el efecto de la utilización de la capacidad

Relación volumen/capacidad Q/C60	Factor de corrección
0,1	0,99
0,2	0,98
0,3	0,96
0,4	0,92
0,5	0,87
0,6	0,82
0,7	0,75
0,8	0,68
0,9	0,59
1,0	0,50

Fuente: Inferidos de la relación volumen/velocidad determinada con datos de campo colombiano

Tabla 21. F.C. al nivel de servicio por el estado de la superficie de la rodadura

Velocidad (km/h) V1	IRI > 6 mm/m	IRI 4 a 6 mm/m	IRI 2 a 4 mm/m
	Área afectada mayor del 30 %	Área afectada del 15 al 30 %	Área afectada menor del 15 %
	Nivel Funcional 2	Nivel Funcional 3	Nivel Funcional 4 ó 5
20	1,00	1,00	1,00
30	0,99	0,99	1,00
40	0,97	0,98	1,00
50	0,93	0,95	1,00
60	0,88	0,92	0,98
70	0,81	0,87	0,97
80	0,73	0,82	0,96
90	0,63	0,75	0,94

Fuente: Valores inferidos de datos de campo colombiano

Tabla 22. F.C. al nivel de servicio por efecto combinado del ancho de carril

Ancho utilizable de la berma (m)	Ancho carril (m)				
	3,65	3,50	3,30	3,00	2,70
1,80	1,00	0,97	0,93	0,85	0,73
1,50	0,98	0,95	0,91	0,83	0,71
1,20	0,96	0,93	0,89	0,81	0,70
1,00	0,95	0,92	0,88	0,80	0,69
0,50	0,91	0,88	0,84	0,76	0,66
0,00	0,88	0,85	0,81	0,73	0,63

Fuente. Interpolados de los valores del HCM

Tabla 23. F.C. al nivel de servicio para vehículos pesados en pendientes ascendentes

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad media de los automóviles en km/h, (V2)					
		≥90	80	70	60	50	≤40
0	TODAS	0,85	0,88	0,92	0,97	1,00	1,00
1	0,5	0,84	0,88	0,91	0,96	1,00	1,00
	1,0	0,80	0,84	0,89	0,95	1,00	1,00
	1,5	0,76	0,82	0,88	0,95	1,00	1,00
	2,0	0,75	0,82	0,88	0,95	1,00	1,00
	2,5	0,75	0,81	0,88	0,95	1,00	1,00
	3,0	0,75	0,81	0,88	0,95	1,00	1,00
	≥3,5	0,75	0,81	0,88	0,95	1,00	1,00
2	0,5	-	0,00	0,91	0,95	1,00	1,00
	1,0	-	0,87	0,87	0,93	1,00	1,00
	1,5	-	0,82	0,85	0,92	0,99	1,00
	2,0	-	0,79	0,84	0,92	0,98	1,00
	2,5	-	0,79	0,84	0,92	0,98	1,00
	3,0	-	0,78	0,84	0,92	0,98	1,00
	≥3,5	-	0,77	0,84	0,92	0,98	1,00
3	0,5	-	0,84	0,88	0,92	0,98	1,00
	1,0	-	0,79	0,84	0,89	0,97	1,00
	1,5	-	0,75	0,80	0,87	0,95	1,00
	2,0	-	0,74	0,80	0,87	0,95	1,00
	2,5	-	0,73	0,79	0,87	0,95	1,00
	≥3,5	-	0,73	0,79	0,86	0,95	1,00
4	0,5	-	0,82	0,86	0,91	0,97	1,00
	1,0	-	0,77	0,81	0,87	0,95	1,00
	1,5	-	0,72	0,77	0,84	0,92	1,00
	2,0	-	0,72	0,77	0,83	0,92	1,00
	2,5	-	0,71	0,76	0,83	0,91	1,00
	3,0	-	0,71	0,75	0,82	0,91	1,00
	≥3,5	-	0,70	0,74	0,82	0,91	1,00

Pendiente ascendente en por ciento	longitud de la pendiente (km)	Velocidad media de los automóviles en km/h, (v_2)						
		≥ 80	70	60	50	40	30	≤ 20
5	0,5	0,81	0,85	0,89	0,95	1,00	1,00	1,00
	1,0	0,70	0,76	0,81	0,89	0,99	1,00	1,00
	1,5	0,68	0,73	0,79	0,87	0,97	1,00	1,00
	2,0	0,67	0,72	0,78	0,86	0,97	1,00	1,00
	2,5	0,66	0,71	0,77	0,86	0,96	1,00	1,00
	3,0	0,66	0,71	0,77	0,85	0,96	1,00	1,00
	$\geq 3,5$	0,66	0,70	0,76	0,85	0,95	1,00	1,00
6	0,5	0,75	0,79	0,84	0,90	0,98	1,00	1,00
	1,0	0,64	0,69	0,75	0,82	0,92	1,00	1,00
	1,5	0,63	0,67	0,73	0,80	0,90	1,00	1,00
	2,0	0,62	0,67	0,72	0,80	0,90	1,00	1,00
	2,5	0,62	0,66	0,71	0,79	0,90	1,00	1,00
	3,0	0,62	0,66	0,71	0,79	0,90	1,00	1,00
	$\geq 3,5$	0,61	0,66	0,71	0,78	0,89	1,00	1,00
7	0,5	0,72	0,76	0,81	0,86	0,94	1,00	1,00
	1,0	0,61	0,65	0,70	0,76	0,87	1,00	1,00
	1,5	0,60	0,63	0,69	0,75	0,85	0,99	1,00
	2,0	0,59	0,63	0,68	0,74	0,84	0,98	1,00
	2,5	0,59	0,62	0,67	0,73	0,83	0,97	1,00
	3,0	0,59	0,62	0,67	0,73	0,83	0,97	1,00
	3,5	0,59	0,62	0,67	0,73	0,83	0,97	1,00
	$\geq 4,0$	0,58	0,61	0,66	0,73	0,82	0,96	1,00
8	0,5	0,68	0,72	0,77	0,82	0,90	1,00	1,00
	1,0	0,58	0,61	0,65	0,72	0,80	0,95	1,00
	1,5	0,57	0,60	0,64	0,70	0,78	0,92	1,00
	2,0	0,56	0,59	0,63	0,69	0,77	0,91	1,00
	2,5	0,56	0,59	0,63	0,68	0,76	0,90	1,00
	3,0	0,56	0,59	0,62	0,68	0,76	0,89	1,00
	3,5	0,56	0,58	0,62	0,68	0,75	0,89	1,00
	4,0	0,56	0,58	0,62	0,67	0,75	0,89	1,00
	$\geq 4,5$	0,55	0,58	0,62	0,67	0,75	0,89	1,00

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad media de los automóviles en km/h, (v2)						
		≥70	60	50	40	30	20	≤10
9	0,5	0,65	0,70	0,75	0,83	0,95	1,00	1,00
	1,0	0,57	0,61	0,66	0,74	0,86	1,00	1,00
	1,5	0,56	0,59	0,64	0,72	0,83	1,00	1,00
	2,0	0,56	0,59	0,63	0,71	0,82	1,00	1,00
	2,5	0,55	0,58	0,63	0,70	0,81	1,00	1,00
	3,0	0,55	0,58	0,62	0,70	0,81	1,00	1,00
	3,5	0,55	0,58	0,62	0,69	0,81	1,00	1,00
	≥4,0	0,55	0,57	0,62	0,69	0,80	1,00	1,00
10	0,5	0,61	0,65	0,71	0,79	0,91	1,00	1,00
	1,0	0,55	0,58	0,62	0,69	0,80	1,00	1,00
	1,5	0,53	0,57	0,61	0,67	0,77	0,97	1,00
	2,0	0,52	0,55	0,59	0,65	0,76	0,95	1,00
	2,5	0,52	0,55	0,59	0,65	0,75	0,94	1,00
	3,0	0,52	0,55	0,59	0,64	0,74	0,93	1,00
	3,5	0,52	0,55	0,58	0,64	0,74	0,93	1,00
	≥4,0	0,51	0,54	0,58	0,63	0,73	0,92	1,00
11	0,5	-	0,60	0,65	0,73	0,85	1,00	1,00
	1,0	-	0,55	0,59	0,64	0,74	0,93	1,00
	1,5	-	0,53	0,57	0,62	0,71	0,88	1,00
	2,0	-	0,52	0,56	0,61	0,69	0,86	1,00
	2,5	-	0,52	0,55	0,60	0,68	0,85	1,00
	3,0	-	0,51	0,55	0,60	0,68	0,84	1,00
	3,5	-	0,51	0,55	0,59	0,67	0,84	1,00
	≥4,0	-	0,51	0,54	0,59	0,67	0,83	1,00

Pendiente ascendente en por ciento	Longitud de la pendiente (km)	Velocidad media de los automóviles en km/h, (v2)					
		≥60	50	40	30	20	≤10
12	0,5	0,55	0,59	0,65	0,75	0,94	1,00
	1,0	0,51	0,54	0,60	0,67	0,83	1,00
	1,5	0,50	0,53	0,58	0,65	0,79	1,00
	2,0	0,49	0,52	0,57	0,63	0,78	1,00
	2,5	0,49	0,52	0,56	0,63	0,77	1,00
	3,0	0,49	0,51	0,56	0,62	0,75	1,00
	3,5	0,48	0,51	0,55	0,62	0,75	1,00
	4,0	0,48	0,51	0,55	0,62	0,75	1,00
	≥4,5	0,48	0,51	0,55	0,61	0,74	1,00

Fuentes: Trabajo de investigación realizado por Herrera. Op. Cit

Tabla 24. Factores de corrección por la presencia de vehículos pesados

Porcentaje de vehículos pesados	Volúmenes en ambos sentidos (veh/h)								
	≤50	100	200	300	400	500	600	800	≥1000
0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
10	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	1,00
20	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,01	0,99	0,97	0,96
30	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95
40	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94
50	0,98	0,97	0,95	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
60	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
70	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
80	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
100	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88

Fuentes: Tomada del trabajo de investigación de Herrera Juan Carlos "Determinación de factores de equivalencia vehicular para carreteras de dos carriles"

Tabla 25. Velocidad máxima que permite la curva más cerrada del sector

RADIO DE CURVATURA (m)	VELOCIDAD MÁXIMA**(km/h)
20	37
40	46
60	51
80	54
100	57
150	62
200	66
300	71
400	74
500	77

Fuente. Valores basados en datos de campo tomados en carreteras colombianas.

Tabla 26. Velocidades que determinan los niveles de servicio por tipo de terreno

Tipo de terreno (pendiente longitudinal)	Niveles de servicio					
	A	B	C	D	E	F
Plano (< 3%)	> 83	72 - 83	62 - 72	52 - 62	42 - 52	≤ 42
Ondulado (≥ 3 - < 6 %)	> 68	59 - 68	51 - 59	43 - 51	34 - 43	≤ 34
Montañoso (≥ 6 - < 8 %)	> 52	45 - 52	39 - 45	33 - 39	26 - 33	≤ 26
Escarpado (≥ 8 %)	> 36	31 - 36	27 - 31	23 - 27	18 - 23	≤ 18

Fuente. Valores basados en datos de campo tomados en carreteras colombianas

2.11. Método Nivel de Servicio en caminos municipales

El manual técnico, incorpora las Normas de Ejecución, las Normas de Cantidad y las Normas de Evaluación, cuya aplicación facilita tanto, la planificación del mantenimiento, como la medición de las cargas de trabajo, rendimientos y productividades alcanzadas en el mantenimiento. Así mismo, permite prevenir y reducir la probabilidad de ocurrencia de controversias generales en la administración de los contratos, estimulando altos niveles de calidad en el trabajo.

Esta propuesta pretende alcanzar todos los estándares mínimos a contener para la eficiente verificación, seguimiento y monitoreo del mantenimiento rutinario por niveles de servicio de vías municipales asfaltadas, dirigido y aplicado a las instituciones que se dedican y están a cargo de la administración de las vías municipales, que ayudara a preservar las distintas redes viales de la provincia reducción costo de operación y de mantenimiento y así optimizar recursos invertidos produciendo la reactivación económica de los usuarios y mejorando los niveles de servicio.

2.11.1. Mantenimiento rutinario.

Es el conjunto de actividades con carácter preventivo que se ejecutan permanente a lo largo de la carretera y tiene por finalidad preservar los elementos de la carretera, conservando las condiciones que tenía después de la construcción o rehabilitación; incluye labores de limpieza de la plataforma, limpieza de las obras de drenaje, corte de la vegetación en el derecho de vía y reparaciones menores de los defectos puntuales de la plataforma. En los sistemas tercerizados se incluye también el cuidado y vigilancia de la vía.

2.11.1.1. Indicadores de Mantenimiento Rutinario

Los indicadores de Mantenimiento rutinario son medidas referenciales de las buenas características físicas y operativas que debe presentar el tramo de la vía como consecuencia del mantenimiento adecuado, son aceptables si cumplen con los estándares mínimos establecidos objetivamente.

Los Indicadores de Mantenimiento se definen para cada actividad, con sus niveles de tolerancia de acuerdo a las circunstancias propias del entorno de la vía, las condiciones socio-ambientales y la operación vial.

2.11.1.2. Actividades específicas del Mantenimiento Rutinario

Las actividades a ejecutar como parte del mantenimiento rutinario, son las siguientes:

CONSERVACIÓN DE LA CALZADA

1. limpieza de calzada
2. Bacheo
3. Desquinche
4. Remoción de derrumbes

LIMPIEZA DE OBRAS DE DRENAJE

5. Limpieza de cunetas
6. Limpieza de alcantarillas
7. Limpieza de badén
8. Limpieza de zanjas de coronación
9. Limpieza de puentes
10. Encauzamiento de pequeños cursos de agua

CONTROL DE VEGETACIÓN

11. Desbroce y limpieza

SEGURIDAD VIAL

12. Conservación de las señales

MEDIO AMBIENTE

13. Reforestación

VIGILANCIA Y CONTROL VIAL

14. Vigilancia y control

ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS

15. Reparación de muros secos
16. Transporte de material de cantera

2.11.2. Evaluación por el método Nivel de Servicio por indicadores

Normalmente en el ámbito de la ingeniería vial, se conoce el Nivel de Servicio como un indicador de volumen de tránsito y capacidad de las carreteras. Sin embargo, también desde inicio de la década de los años 90, es un indicador de desempeño en la gestión de

la conservación de carreteras. Un Nivel de Servicio de conservación vial podemos resumirlo como un indicador de la calidad de la carretera.

Podemos señalar que un Nivel de Servicio, es un parámetro que permite medir el grado de calidad y de desempeño de la gestión de conservación de una carretera, buscando compatibilizarla con la percepción de calidad de servicio que tiene el usuario.

Principales parámetros de medición de un Nivel de Servicio

Los principales indicadores o parámetros de medición de niveles de servicio, se encuentran agrupados en las siguientes categorías:

- Niveles de Servicio de Pavimento
 - Parámetros de calzada.
 - Parámetros de Bermas.
- Niveles de servicio Seguridad Vial
 - Parámetros de Señalización Horizontal.
 - Parámetros de señalización Vertical.
 - Parámetros de Elementos de defensa y encarrilamiento.
- Niveles de servicio de Puentes
- Niveles de Servicio de Drenaje

El parámetro de mayor relevancia y reconocimiento a nivel mundial, es el IRI (Índice Internacional de Rugosidad), ya que es el mejor indicador de la calidad funcional de una carretera. Otros indicadores muy conocidos para la calzada, son la cantidad de baches el grado de agrietamiento, grado de ahuellamiento, PCI (Índice de condición del pavimento).

En seguridad vial, normalmente se mide la visibilidad diurna y nocturna a través de parámetros como la retroreflectividad, el color, la luminancia y el contraste.

2.11.3. Tipos de medición de Niveles de Servicio según etapas del proyecto

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú los define textualmente, como aquellos “Indicadores que califican y cuantifican el estado del servicio de una vía, y que

normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales puede evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad”.

Son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

Las áreas o sectores de influencia donde se medirán los niveles de servicio son los estipulados en las especificaciones técnicas para la conservación de carretera.

La forma de medición de los indicadores de servicio será de acuerdo a lo establecido en los presentes términos de referencia, para lo cual el supervisor deberá llevar y mantener una planilla de verificación de los niveles de servicio de acuerdo a lo detallado en la tabla.

Tabla 27. Planilla de niveles de servicio

Planilla de relevamiento y cálculo del nivel de servicio prestado por kilómetros													
ASPECTO INSPECCIONADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NUMERO SECTORES CON FALLAS	FACTOR DE PESO	PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO
											(1)	(2)	(3) = (1) * (2) / 10
CALZADA												50	
BERMAS												10	
ZONAS LATERALES (DERECHO DE VÍA)												5	
DRENAJE												15	
ESTRUCTURAS VIALES												10	
SEÑALIZACIÓN												10	
PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO EN EL Km.												Maximo	

Fuente: Manual de carreras mantenimiento y conservación vial (2014).

En las celdas numeradas del 1 al 10 se colocará una “X” para indicar que al menos existe un incumplimiento en los niveles de servicio.

Los factores de peso se determinan en base a la importancia de cada variable para mantener la transitabilidad y nivel de servicio aceptable de la vía

La Planilla constituye el documento de registro para comprobar el nivel de servicio prestado o el nivel de incumplimiento de los indicadores. Esta planilla será suscrita por el responsable del tramo por parte del contratista y el supervisor.

El procedimiento para el cálculo del porcentaje del incumplimiento se detalla a continuación:

1.- La evaluación se hará cada 10 Km., tomándose como muestra un kilómetro al azar el cual se subdividirá en segmentos de 100 m cada uno (una planilla por cada 10 kilómetros).

2.- En el caso de puentes se evaluará al menos uno de los puentes en estudios emplazados en el tramo de 10km.

3.- El supervisor evaluará las variables en cada uno de los segmentos de 100 m. de acuerdo a los indicadores y tolerancias preestablecidas, procediendo a colocar un aspa (X) en los lugares donde se incumple los indicadores.

4.-El supervisor calculará el porcentaje de incumplimiento de cada una de las evaluaciones, procediendo posteriormente a obtener promedio de toda la muestra obtenida, con lo cual se calculará el porcentaje de incumplimiento o descuento total.

5.- El pago mensual = cuota mes X (100% – porcentaje de incumplimientos)

6.-El pago mensual total es igual a pago mensual - descuentos del mes por incumplimiento de órdenes de Servicios.

El valor referencial del costo de la conservación rutinaria por km.-año para los sectores indicados ha sido calculado en base a los costos modulares de conservación rutinaria que

maneja la unidad gerencial de conservación, según sea el caso y en base a los siguientes metrados y actividades referenciales.

Sin embargo, atendiendo a que el presente contrato será controlado por niveles de servicio (no por ejecución ni avance de metrados), el contratista tendrá que ejecutar todas las actividades necesarias con la finalidad de cumplir con el nivel de servicio exigido y al costo ofertado, de acuerdo al avance y según las variables e indicadores del siguiente cuadro.

Tabla 28. Indicadores Niveles de Servicio

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
CALZADA	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Baches - Fisuras > 3mm y < 6 mm - Fisuras > 6mm 	Inspección visual Inspección visual Odómetro Odómetro	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre limpia - Cero baches - 10% de tolerancia – área - 0% de tolerancia - área
BERMAS	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Baches 	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre limpia - Cero baches
ZONAS LATERALES (DERECHO DE VÍA)	<ul style="list-style-type: none"> - Roce - Taludes - Terraplenes 	Inspección visual	Altura Máxima. 0,30 M. Deberán presentarse sin deformaciones, asentamiento o erosión alguna.
DRENAJE	<ul style="list-style-type: none"> - Cunetas - Alcantarillas - Bajadas de agua - Badenes 	Inspección visual	- Siempre limpias, libre de residuos sólidos, vegetación y cualquier otro elemento que cauce obstáculo

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
ESTRUCTURAS VIALES	<ul style="list-style-type: none"> - Puentes - Pontones - Muros 	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre limpio y libre de obstáculos en puentes y entorno (accesos y cauce) - Juntas de dilatación funcionales (completas sin restricción). - Apoyos libres de restricciones al desplazamiento y rotación. - Estructuras metálicas sin oxido. - Estructuras de concreto sin delaminación ni disgregación. - Conexiones completas y ajustadas. - Barandas pintadas y completas. - Drenes completos y abiertos. <p>NOTA: Conforme a la periodicidad señalada en el ítem 4.1 del anexo No 01 6. De manera complementaria cumplir con no sobrepasar los límites admisibles establecidos para los parámetros de evaluación, características o defectos, en lo que corresponda a las partidas de conservación rutinaria del presente servicio señalado en el ítem 5 del anexo No 01</p>

Variable	Indicador	Forma de medición	Tolerancia
SEÑALIZACIÓN	- Verticales	- Retroreflectómetro	- Completas y limpias, Amarillo: 250cd/lux/m ² Blanco: 320cd/lux/m ² Naranja: 60cd/lux/m ²
	- Horizontales	- Retroreflectómetro	- Amarillo: 150 mcd/lux/m ² Blanco: 150 mcd/lux/m ²
	- Hitos	- Inspección visual	- Completos, limpios y pintados
	- Guardavías	- Inspección visual	- Completos, limpios, pintados y sin deformaciones

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

3.1. Introducción

Para la realización de esta investigación se realizaron ensayos de campo en el tramo vial El Cadillar – La Victoria del municipio de San Lorenzo del departamento de Tarija. El cual nuestro tramo determinado tiene una longitud de 5 km.

Así mismo se describe el proceso de cada ensayo de campo requerido para la realización de la guía de evaluación de mantenimiento en caminos municipales por nivel de servicio.

3.2. Ubicación

El estudio se realizó en la ciudad de Tarija provincia San Lorenzo el cual se dividió el estudio en dos tramos para un mejor estudio, por tal el primer tramo de la vía es de la prog: 00+000 a la prog: 01+665, como se ve la Figura 61, y el segundo tramo es de la prog: 01+665 a la prog: 05+000 representada en la Figura 62.

Figura 61. Tramo de estudio 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Tramo de estudio 2



Fuente: Elaboración propia

3.3. Determinación de la serviciabilidad de la vía de estudio PSR

Para el tamaño de la muestra de la investigación se tomó en cuenta que la población o universo será los conductores que circulan en el tramo El Cadillac - La Victoria.

Figura 63. Encuesta del vehículo de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Dicho esto, se procedió a calcularla con la siguiente formula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$n = \frac{104 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2 * (899 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = 31,16 \text{ Veh.}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra para la investigación

N= Tamaño de población o Universo, N= 104

Z= Parámetro estadístico asociado a un nivel de confianza, Z= 1,96

e= Error de estimación máximo aceptado, e= 0,05

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado, p=0,5

q= (1- p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado, p=0,5.

A continuación, se definió los kilómetros de vía a recorrer, utilizando las distancias totales de esta vía de estudio y su equivalencia en porcentaje.

Tabla 29. Distancia total de vía a recorrer

Tramo	Distancia equivalente de la vía (%)	Distancia total (km)
Tramo 1	33,30%	1,67
Tramo 2	66,70%	3,34

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se muestra los tramos que se recorrerá en la vía para realizar las encuestas propiamente dichas.

Para la elaboración de la encuesta se formularon 8 preguntas que evaluaron la calidad de servicio de la vía, teniendo como variables fundamentales a la movilidad, la seguridad y la comodidad. (Ver ANEXO A).

En la tabla 30, se muestra las primeras 4 preguntas que fueron elaboradas para evaluar la variable movilidad.

Tabla 30. Preguntas relacionadas con la variable movilidad

Número	Pregunta
1	¿Suele experimentar congestión vehicular en la vía?
2	¿Le permite esta vía movilizarse a distintas áreas de servicio?
3	¿Qué tan frecuente la vía se encuentra inhabilitada al tránsito?
4	¿Considera usted que el ancho de la vía es el adecuado?

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31, se muestran las siguientes 2 preguntas que fueron elaboradas para evaluar la variable seguridad.

Tabla 31. Preguntas relacionadas con la variable seguridad

Número	Pregunta
5	¿La vía cuenta con algún tipo de señalización?
6	¿Ha sufrido accidentes ocasionados por el estado de la vía?

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se muestran las últimas 2 preguntas que fueron elaboradas para evaluar la variable comodidad.

Tabla 32. Preguntas relacionadas con la variable comodidad

Número	Pregunta
7	¿Cuál es el nivel de confort que siente al conducir en la vía?
8	Según su percepción visual. ¿Cómo considera el estado de la vía?

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se presenta la tabla 33, que permiten evidenciar los valores de la clasificación de serviciabilidad presente (PSR) en la vía y su respectiva calificación. (Ver ANEXO A).

Tabla 33. Valores de la clasificación de serviciabilidad (PSR) y su calificación

No	Calificación PSR		PSR final	Calificación
	Evaluador 1	Evaluador 2		
Pregunta 1	2,45	2,05	2,25	Regular
Pregunta 2	3,68	3,08	3,38	Bueno
Pregunta 3	2,45	2,05	2,25	Regular
Pregunta 4	3,68	3,08	3,38	Bueno
Pregunta 5	3,68	3,08	3,38	Bueno
Pregunta 6	3,68	3,08	3,38	Bueno
Pregunta 7	2,45	2,05	2,25	Regular
Pregunta 8	2,45	2,05	2,25	Regular
PROMEDIO PSR			2,82	Regular

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 33, se muestra la respuesta a la clasificación de serviciabilidad de la vía, esta vía fue calificada por 2 evaluadores y su respectivo promedio determinó el valor de su Clasificación de Serviciabilidad PSR de 2,82, y con este valor se obtendrá la calificación a su estado. Se puede observar que la mayoría de las preguntas posee un PSR entre 2,0 y 3,0, lo que nos dice que el estado de las vías es regular.

3.4. Determinación del PCI

3.4.1. Unidades de muestreo

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía, en 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 $230,0 \pm 93,0$ m². En la tabla 34, se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

Tabla 34. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

Ancho de calzada (m)	Longitud de la unidad de muestreo (m)
5,0	46,0
5,5	41,8
6,0	38,3
6,5	35,4
7,3 (Máximo)	31,5

Fuente: Manual del PCI (Norma ASTM D 6433-03).

El tramo “El Cadillac – La Victoria”, cuenta con dos subtramos de estudio el cual en el primer tramo tiene un ancho de calzada de 10 m y una longitud de 1,665 km, de acuerdo a la tabla 34, se extrapola obteniendo una longitud de cada unidad de muestra de 18,34 m, por tanto, se tiene 91,00 unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 183,40 m² lo cual está dentro del rango de valores normados.

El subtramo dos tiene una calzada de 7 m y una longitud de 3,335 km, se optó por tomar una longitud de cada unidad de muestra de 33,00 m, por tanto, se tiene 101 unidades de muestra y cada unidad de muestra tiene un área de 231 m² que están dentro del rango establecido en el PCI.

3.4.2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación

Para conocer las unidades de muestra que serán evaluadas se siguió el procedimiento que establece la norma ASTM D6433 – 03, utilizando la fórmula de número de unidades de muestreo que se muestra a continuación:

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

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

σ = Desviación estándar del PCI entre las unidades (= 10).

Pero en el presente trabajo para tener mejores resultados y más representativos se realizó con una confiabilidad del 98 % y un error admisible de 2 %.

Por lo tanto, el número de unidades de muestra que se tendrá para la evaluación es el siguiente:

$$n = \frac{91 * 10^2}{\frac{2^2}{4} * (91 - 1) + 10^2} = 47,89$$

3.4.3. Selección de las unidades de muestreo para la 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:

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ecuación:

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

Donde:

N= Número total de unidades de muestreo disponible.

n= Número mínimo de unidades para evaluar.

i= Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3,7 se redondea a 3).

El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.

Así, si $i = 2$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 2. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

Siguiendo con el ejemplo, si la unidad inicial de muestreo para inspección seleccionada es 2 y el intervalo de muestreo (i) es igual a 2, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 4, 6, 8, 10, etc.

Para el presente trabajo se calculó el intervalo de muestreo como se muestra a continuación:

$$i = \frac{91}{47,89} = 2$$

Con el intervalo (i) igual a 2, se procedió a identificar la unidad de muestra inicial que fue la número 1; se empezó por esta ya que las otras dos estaban o muy dañada o sin fallas, luego ya se fueron inspeccionando las siguientes unidades de muestra cómo se mencionó anteriormente sumando la inicial más el intervalo de muestreo (1+2; 3+2; 5+2, etc.) hasta realizar todas las unidades de muestreo necesarias.

En el subtramo 2, se tiene: $n = 50,5$ y $i = 2$

3.4.4. Procedimiento del cálculo del método PCI

Una vez registrados todos los datos de campo y teniendo así en las planillas el tipo, severidad y cantidad de fallas que presenta cada unidad de muestra que será evaluada, se procede a calcular la condición en la que se encuentra el pavimento por el método del PCI que se basa en el cálculo de los valores deducidos.

Se detallará la aplicación de la metodología, realizando el cálculo del PCI a una unidad de muestra aleatoria, con el fin de observar paso a paso el procedimiento de cómo realizar una evaluación superficial, cómo obtener el índice de condición del pavimento y así conocer la condición de cada unidad de muestra y posteriormente la de todo el tramo seleccionado.

A continuación, se realizará el cálculo paso a paso de la unidad de muestra número 1 para facilitar el entendimiento del método del PCI. El cual los demás cálculos de toda la vía en el (ANEXO B).

Primero deben totalizarse cada tipo, severidad y cantidad de daños que presente la unidad de muestra que está siendo inspeccionada y se debe anotar estos datos en la planilla de registro. Las fallas pueden ser medidas en áreas o longitudes dependiendo cada tipo falla.

Tabla 35. Hoja de registro

Método del PCI (Índice de Condición del Pavimento)											
Hoja de registro											
Nombre de la vía: El Cadillac – La Victoria									Subtramo 1		Esquema:
Ejecutor:		Patricia Jerez Cespedes									
Sección:		0+018,34									
Fecha:		26/09/2021									
Área (m ²):		183,4									
Unidad de muestra: 1											
Fallas			Unidad de medida			Fallas			Unidad de medida		
1. Piel de cocodrilo			m ²			11. Parches			m ²		
2. Exudación			m ²			12. Agregado pulido			m ²		
3. Fisuras en bloque			m ²			13. Huecos			#		
4. Abultamientos y hundimientos			m ²			14. Ahuellamiento			m ²		
5. Corrugación			m ²			15. Desplazamiento			m ²		
6. Depresión			m ²			16. Fisura parabólica			m ²		
7. Fisura de borde			m			17. Hinchamiento			m ²		
8. Fisura de reflexión de junta			m			18. Desprendimiento de agregados			m ²		
9. Desnivel carril-berma			m			19. Cruce de puentes			m ²		
10. Fisuras longitudinales y transversales			m								
Falla	Severidad	Cantidad						Total	Densidad	Valor Deducido	
10	M	6,50	2,09	1,68				10,27	5,60	14,00	
10	L	4,20						4,20	2,29	2,00	
1	M	2,64						2,64	1,44	22,00	
13	L	2,38	1,10	1,10				4,58	2,50	36,00	
11	L	2,24						2,24	1,22	4,00	

Fuente: Elaboración propia

Para calcular la densidad de cada falla, se debe dividir el área de cada falla para cada tipo y severidad entre el área total de la unidad de muestra que se está evaluando y se multiplica por 100 ya que esta densidad se la expresa en porcentaje (%).

Cálculo de la densidad

$$D = \frac{\text{Area falla}}{\text{Area unidad de muestra}} \times 100$$

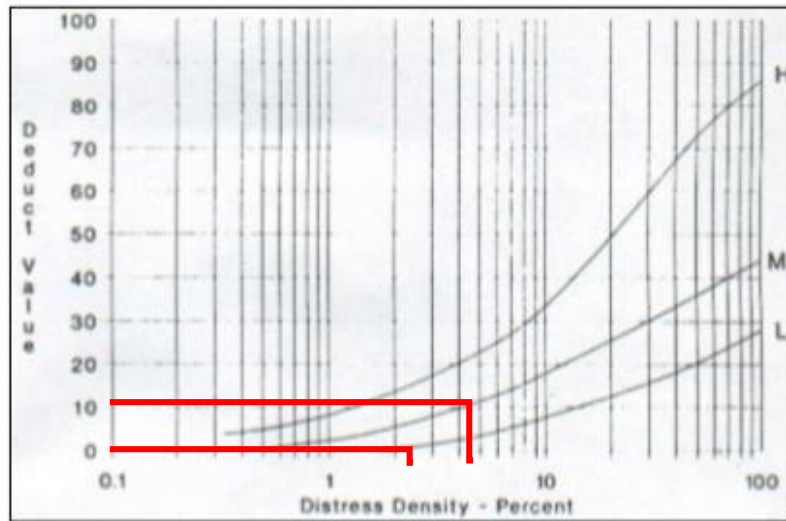
$$D = \frac{10,27 \text{ m}^2}{183,40 \text{ m}^2} \times 100$$

$$D = 5,60\%$$

Para el cálculo de valor deducido se usan curvas como también tablas denominadas “valores deducidos” que se muestran a continuación, que están en función a la densidad y a la severidad de cada falla.

Figura 64. Curva de valor deducido fisura longitudinal y trasversal

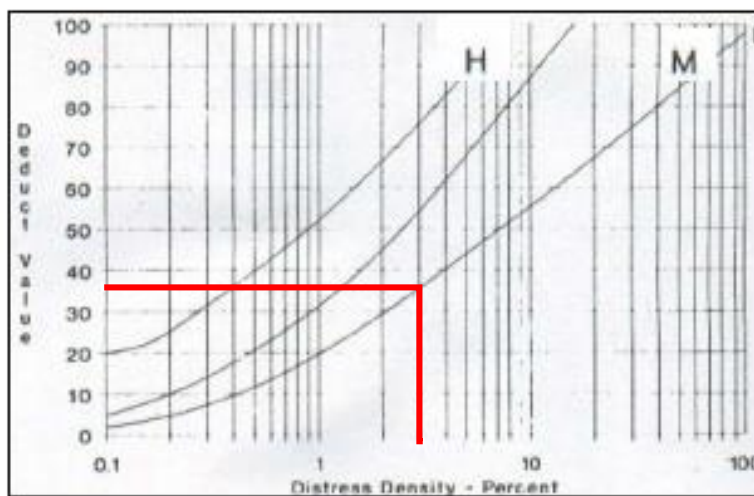
10. Fisuras longitudinales y transversales



Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Curva de valor deducido Baches

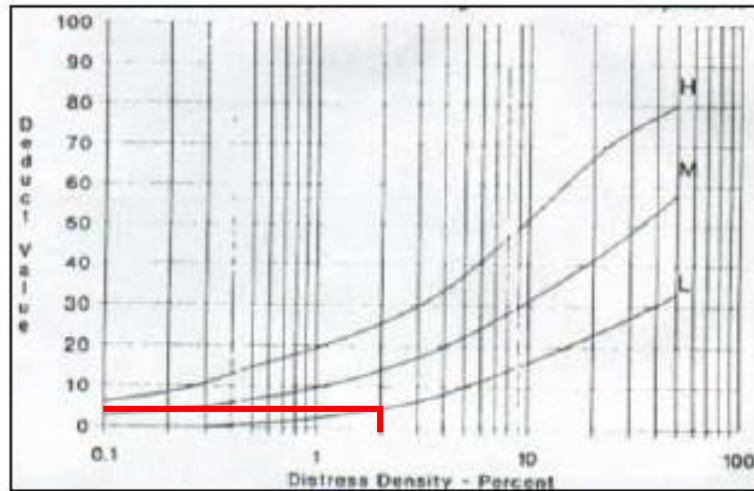
13. Baches



Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Curva de valor deducido Parches

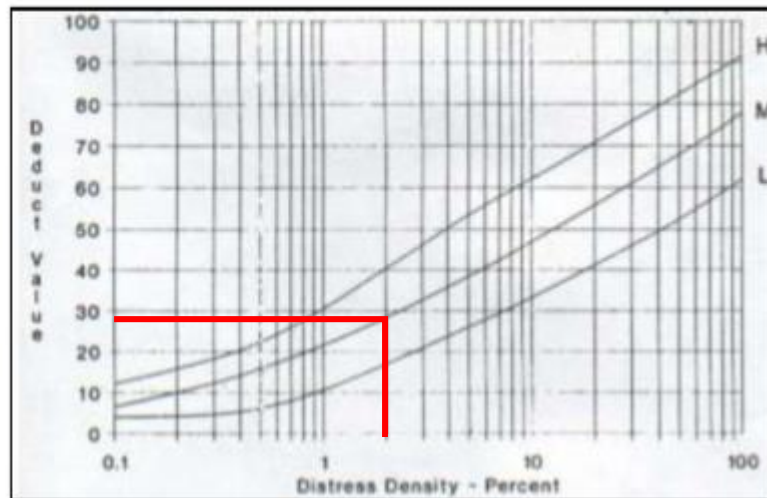
11. Parches y parches de cortes utilitarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Curva de valor deducido piel de cocodrilo

1. Piel de Cocodrilo

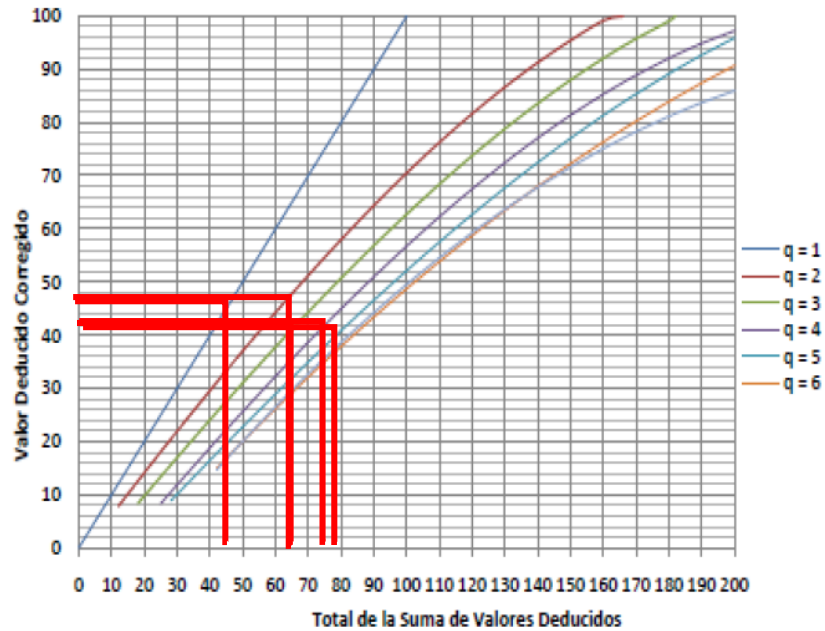


Fuente: Elaboración propia

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

Figura 68. Curva de valor deducido corregido

Grafico para determinar los CDV.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Cálculo valor deducido CDV

Cálculo del número máximo del valor deducido											
#	Valor deducido							Total	q	CDV	
1	36	22	14	4	2			78	5	42	
2	36	22	14	4	2			76	4	44	
3	36	22	14	2	2			64	3	42	
4	36	22	2	2	2			64	2	48	
5	36	2	2	2	2			44	1	44	

Fuente: Elaboración propia

Y por último el cálculo del PCI que es la resta de 100 menos el máximo valor deducido corregido y se clasifica según los rangos de clasificación.

$$PCI = 100 - CDV_{\text{máx}}$$

$$PCI = 100 - 48 = 52 \text{ [Regular]}$$

3.4.5. Resultados de la clasificación del PCI para cada subtramo

Tabla 37. Resultado del Subtramo 1

Progresiva inicial	Progresiva final	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
			m	m	m ²		
0+000	0+018,34	1	18,34	10	183,4	52	Regular
0+018,34	0+055,02	3	18,34	10	183,4	50	Regular
0+055,02	0+091,7	5	18,34	10	183,4	51	Regular
0+091,7	0+128,38	7	18,34	10	183,4	46	Regular
0+128,38	0+165,06	9	18,34	10	183,4	44	Regular
0+165,06	0+201,74	11	18,34	10	183,4	39	Malo
0+201,74	0+238,42	13	18,34	10	183,4	51	Regular
0+238,42	0+275,1	15	18,34	10	183,4	49	Regular
0+275,1	0+311,78	17	18,34	10	183,4	46	Regular
0+311,78	0+348,46	19	18,34	10	183,4	50	Regular
0+348,46	0+385,14	21	18,34	10	183,4	43	Regular
0+385,14	0+421,82	23	18,34	10	183,4	43	Regular
0+421,82	0+458,5	25	18,34	10	183,4	52	Regular
0+458,5	0+495,18	27	18,34	10	183,4	43	Regular
0+495,18	0+531,86	29	18,34	10	183,4	30	Malo
0+531,86	0+568,54	31	18,34	10	183,4	15	Muy malo
0+568,54	0+605,22	33	18,34	10	183,4	48	Regular
0+605,22	0+641,9	35	18,34	10	183,4	23	Muy malo
0+641,9	0+678,58	37	18,34	10	183,4	50	Regular
0+678,58	0+715,26	39	18,34	10	183,4	41	Regular
0+715,26	0+751,94	41	18,34	10	183,4	40	Malo
0+751,94	0+788,62	43	18,34	10	183,4	46	Regular
0+788,62	0+825,3	45	18,34	10	183,4	39	Malo
0+825,3	0+861,98	47	18,34	10	183,4	26	Malo
0+861,98	0+898,66	49	18,34	10	183,4	53	Regular
0+898,66	0+935,34	51	18,34	10	183,4	20	Muy malo
0+935,34	0+972,02	53	18,34	10	183,4	38	Malo
0+972,02	1+008,7	55	18,34	10	183,4	23	Muy malo
1+008,7	1+045,38	57	18,34	10	183,4	34	Malo
1+045,38	1+082,06	59	18,34	10	183,4	36	Malo
1+082,06	1+118,74	61	18,34	10	183,4	43	Regular

1+118,74	1+155,42	63	18,34	10	183,4	46	Regular	
1+155,42	1+192,1	65	18,34	10	183,4	39	Malo	
1+192,1	1+228,78	67	18,34	10	183,4	43	Regular	
1+228,78	1+265,46	69	18,34	10	183,4	62	Bueno	
1+265,46	1+302,14	71	18,34	10	183,4	46	Regular	
1+302,14	1+338,82	73	18,34	10	183,4	49	Regular	
1+338,82	1+375,5	75	18,34	10	183,4	48	Regular	
1+375,5	1+412,18	77	18,34	10	183,4	48	Regular	
1+412,18	1+448,86	79	18,34	10	183,4	48	Regular	
1+448,86	1+485,54	81	18,34	10	183,4	39	Malo	
1+485,54	1+522,22	83	18,34	10	183,4	37	Malo	
1+522,22	1+558,9	85	18,34	10	183,4	49	Regular	
1+558,9	1+595,58	87	18,34	10	183,4	41	Regular	
1+595,58	1+632,26	89	18,34	10	183,4	62	Bueno	
1+632,26	1+668,94	91	18,34	10	183,4	46	Regular	
						Prom=	43	Regular

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Resultado Subtramo 2

Progresiva inicial	Progresiva final	Tramo N°	Longitud	Ancho de vía	Área	PCI	Condición
			m	m	m ²		
0+000	0+033	1	33	7	231	42	Regular
0+033	0+099	3	33	7	231	48	Regular
0+099	0+165	5	33	7	231	37	Malo
0+165	0+231	7	33	7	231	58	Bueno
0+231	0+297	9	33	7	231	44	Regular
0+297	0+363	11	33	7	231	39	Malo
0+363	0+429	13	33	7	231	51	Regular
0+429	0+495	15	33	7	231	51	Regular
0+495	0+561	17	33	7	231	46	Regular
0+561	0+627	19	33	7	231	50	Regular
0+627	0+693	21	33	7	231	43	Regular
0+693	0+759	23	33	7	231	32	Malo
0+759	0+825	25	33	7	231	58	Bueno
0+825	0+891	27	33	7	231	56	Bueno
0+891	0+957	29	33	7	231	55	Bueno
0+957	1+023	31	33	7	231	31	Malo

1+023	1+089	33	33	7	231	70	Bueno
1+089	1+155	35	33	7	231	42	Regular
1+155	1+221	37	33	7	231	50	Regular
1+221	1+287	39	33	7	231	48	Regular
1+287	1+353	41	33	7	231	26	Malo
1+353	1+419	43	33	7	231	46	Regular
1+419	1+485	45	33	7	231	39	Malo
1+485	1+551	47	33	7	231	30	Malo
1+551	1+617	49	33	7	231	48	Regular
1+617	1+683	51	33	7	231	41	Regular
1+683	1+749	53	33	7	231	55	Regular
1+749	1+815	55	33	7	231	40	Regular
1+815	1+881	57	33	7	231	76	Muy bueno
1+881	1+947	59	33	7	231	56	Bueno
1+947	2+013	61	33	7	231	66	Bueno
2+013	2+079	63	33	7	231	46	Regular
2+079	2+145	65	33	7	231	59	Bueno
2+145	2+211	67	33	7	231	56	Bueno
2+211	2+277	69	33	7	231	62	Bueno
2+277	2+343	71	33	7	231	46	Regular
2+343	2+409	73	33	7	231	49	Regular
2+409	2+475	75	33	7	231	48	Regular
2+475	2+541	77	33	7	231	48	Regular
2+541	2+607	79	33	7	231	56	Bueno
2+607	2+673	81	33	7	231	60	Bueno
2+673	2+739	83	33	7	231	53	Regular
2+739	2+805	85	33	7	231	59	Bueno
2+805	2+871	87	33	7	231	41	Regular
2+871	2+937	89	33	7	231	62	Bueno
2+937	3+003	91	33	7	231	56	Bueno
3+003	3+069	93	33	7	231	62	Bueno
3+069	3+135	95	33	7	231	62	Bueno
3+135	3+201	97	33	7	231	71	Muy bueno
3+201	3+267	99	33	7	231	56	Bueno
3+267	3+333	101	33	7	231	41	Regular
Prom=						50	Regular

Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinación del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Este método de evaluación, al estar basado en la observación cuidadosa del estado superficial del pavimento, requiere previamente el conocimiento adecuado de los tipos de fallas superficiales que generalmente se presentan en los pavimentos flexibles, como sus niveles de Severidad o daño, pues de ser así, la determinación de los coeficientes de: Rugosidad longitudinal (c1), Intensidad de grietas y parches (c2), y Deformación transversal (c3), serán fáciles de asumir, para luego aplicar en la ecuación, y de tal manera obtener resultados que representen las condiciones superficiales del pavimento, expresado por el Índice de Serviciabilidad Presente.

Se determinó el PSI para cada sub tramo, como también para el tramo total que es el promedio de los PSI de los sub tramos, en las tablas 39 y 40, nos muestran los resultados de la aplicación de este método de evaluación.

Tabla 39. Determinación de los coeficientes C1, C2, C3, para el cálculo del PSI

Progresiva inicial	Progresiva final	Rugosidad longitudinal	Intensidad de grietas y baches	Deformación transversal	Índice de serviciabilidad presente
		C1	C2	C3	PSI
0+000	0+018,34	5	2	2	1,40
0+018,34	0+055,02	3	3	2	2,70
0+055,02	0+091,7	5	2	2	1,40
0+091,7	0+128,38	4	3	2	1,90
0+128,38	0+165,06	3	3	2	2,70
0+165,06	0+201,74	5	3	2	1,10
0+201,74	0+238,42	4	2	2	2,20
0+238,42	0+275,1	3	2	2	3,00
0+275,1	0+311,78	4	3	2	1,90
0+311,78	0+348,46	3	3	2	2,70
0+348,46	0+385,14	3	2	2	3,00
0+385,14	0+421,82	5	2	2	1,40
0+421,82	0+458,5	4	3	2	1,90
0+458,5	0+495,18	3	2	2	3,00
0+495,18	0+531,86	5	3	2	1,10
0+531,86	0+568,54	4	3	3	1,80
0+568,54	0+605,22	3	2	2	3,00

0+605,22	0+641,9	4	3	2	1,90
0+641,9	0+678,58	4	2	2	2,20
0+678,58	0+715,26	3	2	2	3,00
0+715,26	0+751,94	4	3	2	1,90
0+751,94	0+788,62	3	3	2	2,70
0+788,62	0+825,3	5	3	2	1,10
0+825,3	0+861,98	4	3	2	1,90
0+861,98	0+898,66	3	3	2	2,70
0+898,66	0+935,34	5	3	2	1,10
0+935,34	0+972,02	4	2	2	2,20
0+972,02	1+008,7	4	3	2	1,90
1+008,7	1+045,38	5	3	2	1,10
1+045,38	1+082,06	4	3	2	1,90
1+082,06	1+118,74	5	3	2	1,10
1+118,74	1+155,42	3	2	2	3,00
1+155,42	1+192,1	4	3	2	1,90
1+192,1	1+228,78	3	2	2	3,00
1+228,78	1+265,46	4	3	2	1,90
1+265,46	1+302,14	3	2	2	3,00
1+302,14	1+338,82	4	3	2	1,90
1+338,82	1+375,5	3	3	2	2,70
1+375,5	1+412,18	5	2	2	1,40
1+412,18	1+448,86	3	3	2	2,70
1+448,86	1+485,54	4	3	2	1,90
1+485,54	1+522,22	4	2	2	2,20
1+522,22	1+558,9	3	3	2	2,70
1+558,9	1+595,58	3	3	2	2,70
1+595,58	1+632,26	4	2	2	2,20
1+632,26	1+668,94	3	3	2	2,70
PSI PROMEDIO					2,15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Determinación de los coeficientes C1, C2, C3, para el cálculo del PSI

Progresiva inicial	Progresiva final	Rugosidad longitudinal	Intensidad de grietas y baches	Deformación transversal	Índice de serviciabilidad presente
		C1	C2	C3	PSI
0+000	0+033	5	3	2	1,1
0+033	0+099	3	3	2	2,7
0+099	0+165	4	3	2	1,9
0+165	0+231	5	3	2	1,1
0+231	0+297	3	2	2	3
0+297	0+363	4	2	2	2,2
0+363	0+429	3	3	2	2,7
0+429	0+495	4	2	2	2,2
0+495	0+561	5	3	2	1,1
0+561	0+627	3	2	2	3
0+627	0+693	4	3	2	1,9
0+693	0+759	4	2	2	2,2
0+759	0+825	3	2	2	3
0+825	0+891	4	3	2	1,9
0+891	0+957	3	3	2	2,7
0+957	1+023	4	3	2	1,9
1+023	1+089	5	3	2	1,1
1+089	1+155	3	2	2	3
1+155	1+221	4	3	2	1,9
1+221	1+287	3	2	2	3
1+287	1+353	4	3	2	1,9
1+353	1+419	3	3	2	2,7
1+419	1+485	5	2	2	1,4
1+485	1+551	4	3	2	1,9
1+551	1+617	3	3	2	2,7
1+617	1+683	3	2	2	3
1+683	1+749	4	2	2	2,2
1+749	1+815	3	3	2	2,7
1+815	1+881	3	2	2	3
1+881	1+947	4	3	2	1,9
1+947	2+013	3	2	2	3
2+013	2+079	4	3	2	1,9
2+079	2+145	3	2	2	3
2+145	2+211	3	3	2	2,7
2+211	2+277	4	2	2	2,2

2+277	2+343	4	2	2	2,2
2+343	2+409	3	3	2	2,7
2+409	2+475	3	3	2	2,7
2+475	2+541	4	2	2	2,2
2+541	2+607	4	2	2	2,2
2+607	2+673	2	3	2	3,5
2+673	2+739	3	3	2	2,7
2+739	2+805	2	2	2	3,8
2+805	2+871	3	2	3	2,9
2+871	2+937	2	2	2	3,8
2+937	3+003	4	2	2	2,2
3+003	3+069	3	2	2	3
3+069	3+135	2	2	2	3,8
3+135	3+201	3	2	2	3
3+201	3+267	2	2	2	3,8
3+267	3+333	3	2	2	3
PSI PROMEDIO					2,50

Fuente: Elaboración propia

3.6. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Para la determinación del IRI, se realizó por el equipo rugosímetro de MERLIN y a sí mismo para verificar algunos subtramos más relevantes se determinó por el método tradicional de nivel y mira topográfica (clase I), el cual para este último solo se realizó una sola verificación dentro del tramo de estudio.

3.6.1. Método dispositivo basado en el equipo de MERLIN

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse una distancia de aproximadamente 400 m de longitud, sobre el carril de la carretera. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Figura 69. Ejecución del ensayo, operador y auxiliar



Fuente: Elaboración propia

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento “cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del Merlin, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del Merlin, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del tramo de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

Figura 70. Lectura y toma de datos



Fuente: Elaboración propia

Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

Figura 71. Operador, eleva y desplaza el equipo a una distancia constante



Fuente: Elaboración propia

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta la que debe quedar siempre en contacto

con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

Para el cálculo es necesario contar con los datos de entrada los cuales se obtienen a partir de las lecturas en cada tramo. (Ver ANEXO C).

Obtención de datos de campo con el dispositivo de Merlín para el cálculo del IRI

Se tomará como ejemplo del tramo 1 de ida de la vía de estudio.

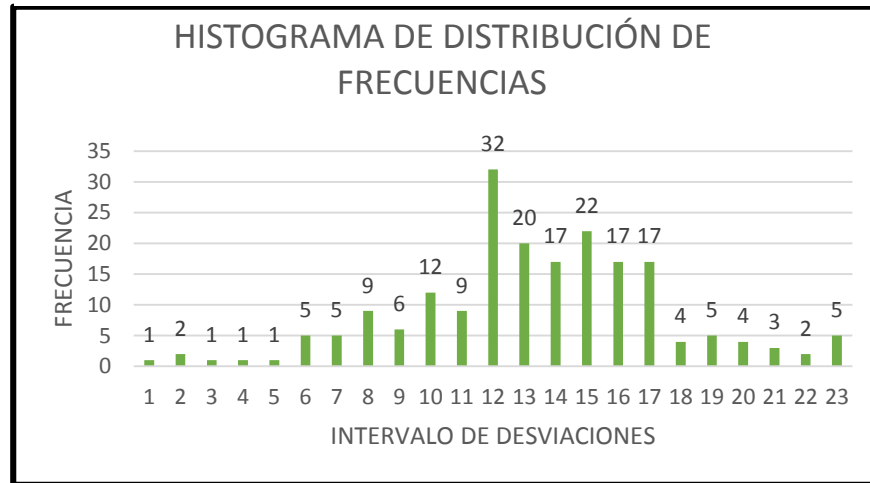
Tabla 41. Datos de campo con el dispositivo de Merlin

LECTURAS CAMPO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	35	36	30	30	28	32	25	27	26	21
2	30	25	26	25	29	30	27	29	28	36
3	32	34	27	35	28	26	26	25	22	21
4	24	25	29	25	29	25	26	24	22	29
5	28	26	28	27	25	20	24	27	22	15
6	30	26	33	27	24	29	25	27	19	30
7	34	27	30	29	19	25	28	29	29	23
8	33	25	29	25	21	25	28	23	23	27
9	21	32	29	24	30	26	28	26	25	23
10	29	36	24	28	30	25	21	33	14	31
11	23	28	30	17	28	30	27	21	36	19
12	25	26	25	28	21	25	20	27	25	25
13	27	32	26	30	25	28	25	26	19	28
14	28	26	23	27	16	26	21	26	26	25
15	27	29	23	25	23	23	29	19	25	28
16	28	28	31	27	25	30	23	20	25	27
17	32	26	25	20	29	21	25	22	15	22
18	34	29	26	31	26	33	28	36	30	31
19	29	25	28	18	25	22	28	25	30	30
20	20	27	26	23	23	24	24	30	28	24

Fuente: Elaboración propia

Se realiza el histograma de los datos recolectados

Figura 72. Histograma



Fuente: Elaboración propia

Cálculo del factor de corrección

$$F. C. = \frac{(EP \times 10)}{(LI - LF) \times 5}$$

Donde:

EP = Espesor de la pastilla = 6

LI = Posición inicial del puntero = 25

LF = Posición final del puntero = 15

$$F.C. = \frac{(6 \times 10)}{(25 - 15) \times 5}$$

$$F. C. = 1,20$$

Cálculo del rango "D"

Se depuran un total del 10% de los datos siendo 5% por cada extremo del histograma

Lado izquierdo:

Lado derecho:

N° de intervalos

Total, int. = 5

Total int. = 4

N°= 13

Falta red = 1

Falta red = 4

CI= 0,20

CD= 1,00

Entonces “D” viene a ser

$$D = (CI + CD + N^{\circ}) \times 5$$

$$D = (0,20 + 1,00 + 13) \times 5$$

$$D = 71 \text{ mm}$$

Por el factor de corrección

$$D_c = D \times F.C.$$

$$D = 71 \times 1.20$$

$$D = 85,20 \text{ mm}$$

Cálculo del IRI

Cuando $IRI < 2,4$ $R = 0,0485 * D$

Cuando $2,4 < IRI < 15,9$ $R = 0,593 + 0,0471 * D$

$$IRI = 0,593 + 0,0471 \times 85,20$$

$$IRI = 4,61 \text{ m/km}$$

Resultados del IRI de los tramos en estudio por Merlin

Tabla 42. Resultados del tramo 1

IRI m/km		
Prog.	Ida	Vuelta
0+400	4,61	3,60
0+800	5,15	3,67
1+200	5,44	3,15
1+600	4,80	3,68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Resultados del tramo 2

IRI m/km		
Prog.	Ida	Vuelta
2+000	4,68	4,36
2+400	5,04	4,01
2+800	3,63	4,23
3+200	4,90	3,18
3+600	5,34	3,54
4+000	4,71	3,82
4+400	3,65	4,08
4+800	3,62	4,07
5+200	3,40	3,43

Fuente: Elaboración propia

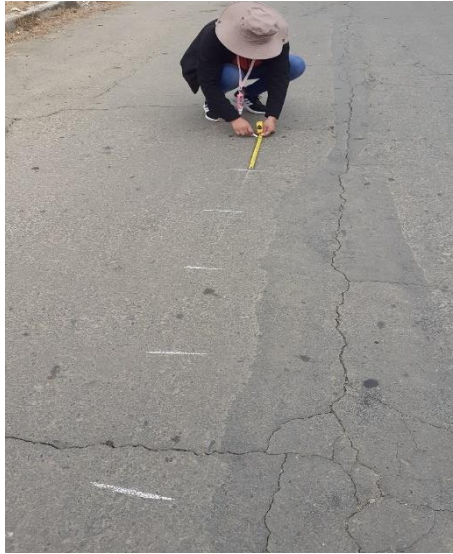
3.6.2. Método tradicional de medición IRI nivel de ingeniero y mira

En este método se usa el nivel de ingeniero y la mira, mediante cotas en un tramo seleccionado el cual por este método se verificará los subtramos de los tramos de estudio los cuales serán los subtramos más representativos, el cual se realiza de la siguiente manera su aplicación en campo:

Determinación del tramo: Se determina los subtramos más representativos de los tramos de estudio.

Se mide la distancia de medición: Se pasa el rayado del tramo a cada 0,50 m. De distancia para poder lecturas en dicho rango.

Figura 73. Marcado del pavimento a cada 0,50 m



Fuente: Elaboración propia

Se procede al levantamiento de alturas: Una vez determinado y marcado del pavimento se dispone al armado del equipo de nivel de ingeniero.

Figura 74. Levantamiento de lecturas



Fuente: Elaboración propia

Se determina la cota del primer punto, mediante GPS. Y se lectura colocando la mira en el punto.

Determinación de las cotas: Después de haber lecturado las alturas correspondientes a cada punto, encontramos las cotas de cada punto aplicando las ecuaciones de topografía. (ANEXO D)

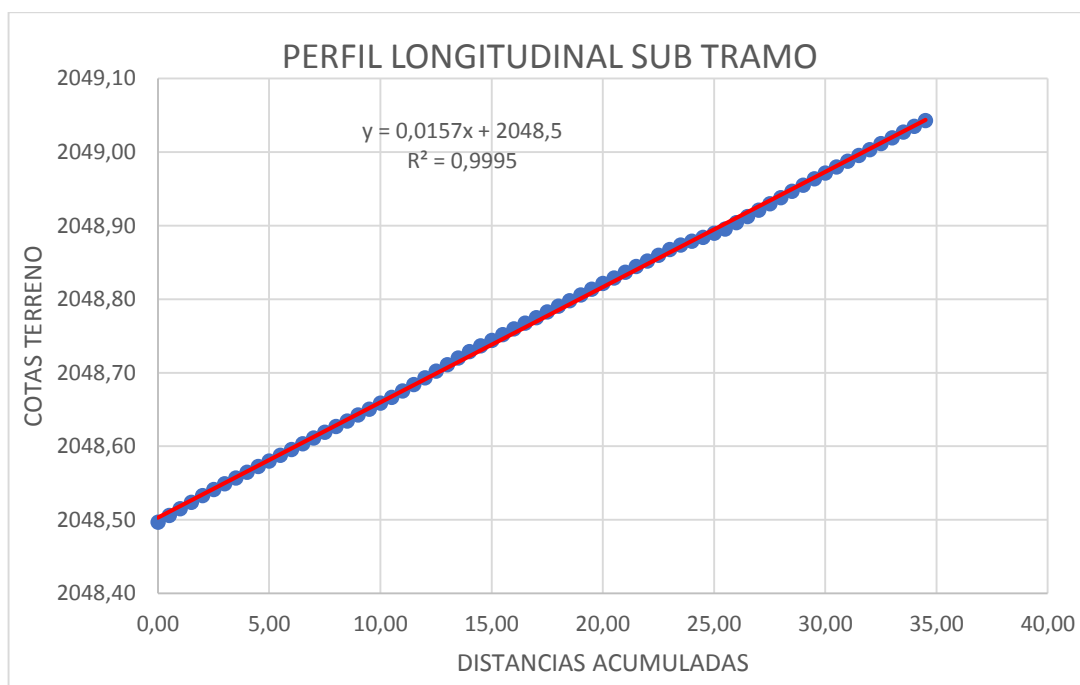
Tabla 44. Cálculo del IRI por nivel y mira topográfico

Punto	Cota terreno	Acumulada	Ajuste Lineal	Diferencia	IRI	IRI máx. a 5 m	Promedio
1	2048,50	0,00	2048,50	0,00	6,40	0,64	1,00
2	2048,51	0,50	2048,51	0,00	4,10		
3	2048,51	1,00	2048,52	0,00	1,80		
4	2048,52	1,50	2048,52	0,00	0,30		
5	2048,53	2,00	2048,53	0,00	2,60		
6	2048,54	2,50	2048,54	0,00	3,50		
7	2048,55	3,00	2048,55	0,00	3,40		
8	2048,56	3,50	2048,55	0,00	3,30		
9	2048,56	4,00	2048,56	0,00	3,00		
10	2048,57	4,50	2048,57	0,00	2,90		
11	2048,58	5,00	2048,58	0,00	2,80	0,28	
12	2048,59	5,50	2048,59	0,00	2,50		
13	2048,60	6,00	2048,59	0,00	2,40		
14	2048,60	6,50	2048,60	0,00	2,30		
15	2048,61	7,00	2048,61	0,00	2,20		
16	2048,62	7,50	2048,62	0,00	1,90		
17	2048,63	8,00	2048,63	0,00	1,80		
18	2048,63	8,50	2048,63	0,00	1,70		
19	2048,64	9,00	2048,64	0,00	2,00		
20	2048,65	9,50	2048,65	0,00	2,30		
21	2048,66	10,00	2048,66	0,00	2,80	1,74	
22	2048,67	10,50	2048,66	0,00	3,10		
23	2048,67	11,00	2048,67	0,00	4,40		
24	2048,68	11,50	2048,68	0,00	6,70		
25	2048,69	12,00	2048,69	0,00	9,00		
26	2048,70	12,50	2048,70	0,01	11,10		
27	2048,71	13,00	2048,70	0,01	13,40		
28	2048,72	13,50	2048,71	0,01	15,70		
29	2048,73	14,00	2048,72	0,01	17,40		
30	2048,74	14,50	2048,73	0,01	17,10		
31	2048,74	15,00	2048,74	0,01	16,80	1,68	
32	2048,75	15,50	2048,74	0,01	16,50		

33	2048,76	16,00	2048,75	0,01	16,40	
34	2048,77	16,50	2048,76	0,01	16,10	
35	2048,77	17,00	2048,77	0,01	15,80	
36	2048,78	17,50	2048,77	0,01	15,50	
37	2048,79	18,00	2048,78	0,01	15,20	
38	2048,80	18,50	2048,79	0,01	14,90	
39	2048,81	19,00	2048,80	0,01	14,60	
40	2048,81	19,50	2048,81	0,01	14,50	
41	2048,82	20,00	2048,81	0,01	14,20	1,42
42	2048,83	20,50	2048,82	0,01	13,90	
43	2048,84	21,00	2048,83	0,01	13,60	
44	2048,84	21,50	2048,84	0,01	13,30	
45	2048,85	22,00	2048,85	0,01	13,00	
46	2048,86	22,50	2048,85	0,01	12,70	
47	2048,87	23,00	2048,86	0,01	12,40	
48	2048,87	23,50	2048,87	0,00	9,10	
49	2048,88	24,00	2048,88	0,00	4,00	
50	2048,88	24,50	2048,88	0,00	1,10	
51	2048,89	25,00	2048,89	0,00	6,20	1,01
52	2048,90	25,50	2048,90	0,01	10,10	
53	2048,90	26,00	2048,91	0,00	8,80	
54	2048,91	26,50	2048,92	0,00	7,30	
55	2048,92	27,00	2048,92	0,00	6,00	
56	2048,93	27,50	2048,93	0,00	4,70	
57	2048,94	28,00	2048,94	0,00	3,20	
58	2048,95	28,50	2048,95	0,00	1,90	
59	2048,96	29,00	2048,96	0,00	0,60	
60	2048,96	29,50	2048,96	0,00	0,90	
61	2048,97	30,00	2048,97	0,00	1,00	0,25
62	2048,98	30,50	2048,98	0,00	1,30	
63	2048,99	31,00	2048,99	0,00	1,40	
64	2049,00	31,50	2048,99	0,00	150	
65	2049,00	32,00	2049,00	0,00	1,80	
66	2049,01	32,50	2049,01	0,00	1,90	
67	2049,02	33,00	2049,02	0,00	2,00	
68	2049,03	33,50	2049,03	0,00	2,30	
69	2049,04	34,00	2049,03	0,00	2,40	
70	2049,04	34,50	2049,04	0,00	2,50	

Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Perfil longitudinal



Fuente: Elaboración propia

Resultados del IRI de los tramos en estudio por nivel de ingeniero

Tabla 45. Resultados del tramo 1

IRI m/km		
Prog.	Ida	Vuelta
0+800	5,62	4,03
1+200	5,72	3,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Resultado del tramo 2

IRI m/km		
Prog.	Ida	Vuelta
2+400	5,32	4,32
3+600	5,64	3,87

Fuente: Elaboración propia

3.7. Determinación del Índice de Fricción Internacional (IFI)

3.7.1. Ensayo péndulo británico

Se coloca el equipo sobre el pavimento.

Se procede a nivelar con ayuda de la burbuja del nivel del equipo.

Se calibra el equipo comprobando “el cero” del aparato.

Figura 76. Nivelación y calibración del equipo



Fuente: Elaboración propia

Se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal.

Figura 77. Colocación de la posición inicial del equipo



Fuente: Elaboración propia

Se humedece el pavimento con agua.

Se suelta el brazo del péndulo y se espera a que se detenga para obtener la medida.

Figura 78. Humedecimiento del pavimento



Fuente: Elaboración propia

Figura 79. Soltando el brazo del péndulo



Fuente: Elaboración propia

Esto se repite cinco veces en el mismo lugar. Finalmente se obtiene el coeficiente de fricción o coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido en ese punto.

Figura 80. Toma de datos del (CRD)



Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Ensayo círculo de arena

Limpiar el área de ensayo con una escobilla o brocha

Figura 81. Limpieza del área de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Colocar 50 ml de arena calibrada (100-200) en una probeta y pesar

Figura 82. Pesaje de la arena calibrada



Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Formación del círculo de arena



Fuente: Elaboración propia

Colocar con el cono en el punto de ensayo en el pavimento y esparcir formando un círculo lo más preciso posible con el disco espaciador

Medir cinco diferentes diámetros del círculo con flexómetro

Figura 84. Medición diámetro horizontal



Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Medición diámetro vertical



Fuente: Elaboración propia

Anotar los datos en planilla y promediar

Figura 86. Anotación de los diámetros medidos



Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Cálculo del IFI

A continuación, se describe el cálculo del IFI (índice de fricción internacional), a través de un modelo sugerido por la AIPCR (asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras), que se desarrolló a partir de un experimento donde se determinaron las constantes y parámetros para el cálculo del IFI. (Ver ANEXO E).

Para el cálculo neto es necesario contar con los datos de entrada los cuales se obtienen a partir de las lecturas en cada tramo, estos datos son los siguientes:

- 1.- BPN = Numero de Péndulo (determinado directamente del péndulo de fricción).
- 2.- Dm = Diámetro medio del ensayo del círculo de arena.

Obtención de datos de campo a través del círculo de arena para macro textura y el péndulo británico para la fricción.

Se tomará como ejemplo la primera lectura del tramo 1 de ida de la vía de estudio.

Tabla 47. Datos de campo del círculo de arena y péndulo británico del tramo 1

Prog.	Medidas con el Círculo de arena					Prom.	T °C	Medidas de BPN con péndulo de fricción					Prom.
0+000	24,00	25,00	24,00	23,50	25,50	24,40	32,00	61,00	69,00	69,00	67,00	65,00	66,20

Fuente: Elaboración propia

Se verifica el ajuste estadístico mediante la teoría de errores, para determinar el ajuste de los datos.

Tabla 48. Análisis estadístico de los datos

Prog.	Círculo de arena					DV	E %	Péndulo británico					DV	E %
	Error absoluto							Error absoluto						
0+000	0,40	0,60	0,40	0,90	1,10	0,68	2,79	5,20	2,80	2,80	0,80	1,20	2,56	3,74

Fuente: Elaboración propia

Error máximo según Norma AASHTO M-261-(96) Péndulo de Fricción 10%

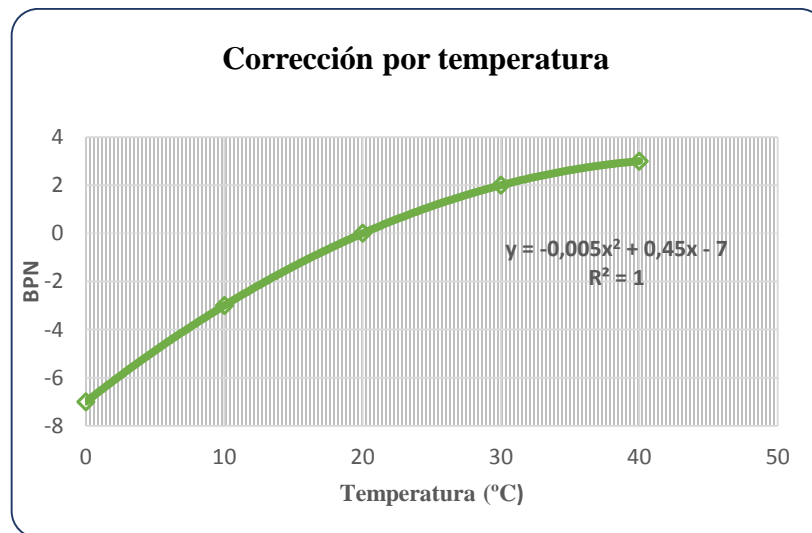
Error máximo según Norma NLT 335/87 ensayo Círculo de Arena 5%

Todos los valores medidos en campo con los dos métodos se ajustan a los valores máximos establecidos según norma.

Corrección por temperatura de las lecturas realizadas con el péndulo de fricción

Se corrige por la temperatura usando la ecuación del gráfico. De acuerdo a los valores medidos del número de péndulo británico (BPN) a temperaturas establecidas en el manual del equipo. Estos valores estándares de temperatura hacen que la fricción varíe en función del cambio de temperatura del pavimento, incrementando el valor de la fricción en caso de temperaturas elevadas y reduciendo el valor de la fricción en caso de temperaturas bajas.

Figura 87. Gráfica para la corrección por temperatura de la fricción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Datos de fricción corregidos por temperatura del pavimento

Prog.	T °C	Corr.	datos corregidos					prom	Dp (cm)	V (cm3)
0+000	32,00	2,28	63,28	71,28	71,28	69,28	67,28	68,48	24,40	25

Fuente: Elaboración propia

El valor corregido del péndulo de fricción es de 68,48 y el diámetro del círculo de arena es de 24,40 cm, el volumen utilizado para el ensayo del círculo de arena es de 25 cm³.

Luego de obtener los datos de entrada a partir de las lecturas en campo se debe seguir los siguientes puntos para obtener el valor de IFI a partir de los cálculos.

a) Determinación de la textura media del pavimento, mediante la siguiente ecuación

$$H = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Donde:

H = Textura media del pavimento

V= Volumen de arena utilizado = 25000 mm³

D= 24,40 cm (dato obtenido del anterior punto correspondiente al tramo)

$$H = \left(\frac{4 \times 25 \text{ cm}^3}{\pi \times (24,40)^2} \right) \times 10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}}$$

$$H = 0,53 \text{ mm}$$

b) Determinación de la constante “Sp”

$$Sp = a + b \times Tx$$

Donde:

Sp = Constante de velocidad

Tx = H o altura de macrotextura del pavimento

a y b son las constantes según Norma ASTM E 695 SON (a = -11,5981; b = 113,6325)

Aplicando la ecuación se obtiene.

$$Sp = -11,5981 + 113,6325 \times 0,53$$

$$Sp = 48,63 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

c) Determinación del parámetro “F60”

$$FR60 = FRs \times e^{\left(\frac{s-60}{Sp}\right)}$$

Donde:

FR60 = Fricción de referencia a una velocidad de 60 km/h.

FRs = 68,48 (dato obtenido del anterior punto correspondiente al tramo 1)

S= Velocidad de operación del péndulo = 10 km/hr

Sp= Constante de velocidad (km/hr) = 48,63

$$FR60 = 68,48 \times e^{\left(\frac{10-60}{48,63}\right)}$$

$$FR60 = 24,49$$

Se prosigue con el cálculo de F60 con la siguiente ecuación.

$$\mathbf{F60 = A + B \times FR60}$$

Donde:

F60 = Estimado de la fricción en la curva idealizada a 60 km/h

A y B son las constantes según Norma ASTM E 274 son (A= 0,078 y B = 0,0107)

FR60 = Fricción de referencia a una velocidad de 60 km/h.

$$F60 = 0,078 + 0,017 \times 24,49$$

$$F60 = 0,49$$

d) Finalmente se puede calcular la fricción para cualquier velocidad de circulación de los vehículos con el modelo

$$\mathbf{F(S) = F60 \times e^{\left(\frac{60-S}{Sp}\right)}}$$

Donde:

F(S) = Fricción de una velocidad estimada

F60 = Estimado de la fricción en la curva idealizada a 60 km/h

S= Velocidad de operación del equipo

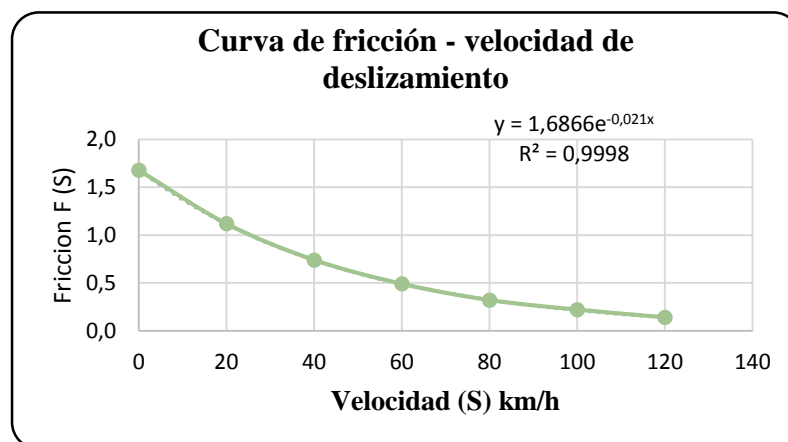
Sp= Constante de velocidad (km/hr)

Tabla 50. Valores para graficar la curva " Fricción vs Velocidad"

S	0	20	40	60	80	100	120
	F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
F (S)	1,68	1,12	0,74	0,49	0,32	0,22	0,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Variación de la fricción en función de la velocidad



Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Graficas de aceptación o rechazo como valuator de una carretera, estableciendo si requiere o no mejoramiento de la micro o macrotextura

Considerando los valores mínimos de fricción y textura según el manual de carreteras V4A de la ABC son: altura de la arena igual 1 mm para pavimentos flexibles y BPN del péndulo británico igual a 0,45. Se procede a calcular la constante de velocidad y el parámetro de fricción para expresar en valores de IFI los datos obtenidos en el manual de carreteras de la ABC.

Además, se tiene que $a = -11,598$, $b = 113,63$, $A = 0,078$ y $B = 0,0107$

Se procede al cálculo de los parámetros del IFI según la norma boliviana para pavimentos:

Cálculo de la gráfica de aceptación o rechazo

Determinación de la constante de velocidad:

$$Sp = a + (b \times Tx) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Sp = Constante de velocidad

Tx = Textura de pavimento (mm) = 1

a = Constante de la norma = -11,589

b = Constante de la norma = 113,632

$$Sp = 102 \text{ km/h}$$

Determinación de la fricción de referencia

$$\mathbf{FR60 = FR(S) \times e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)} \quad \text{Ecuación 2}}$$

Donde:

FR60 = Fricción de referencia a 60 km/h

FR(S) = Fricción obtenida en campo = 0,45

S = Velocidad de operación del equipo (km/h) = 10

$$FR60 = 27,563$$

Determinación de la fricción a 60 km/h

$$\mathbf{F60 = A + B \times FR60 \quad \text{Ecuación 3}}$$

$$\mathbf{Tx_{min} = (Sp - a)/b}$$

Donde:

F60= Fricción a 60 km/h

A= Constante de la norma = 0,078

B= Constante de la norma = 0,0107

$$F60= 0,373$$

Los valores mínimos de IFI requeridos según la norma boliviana serán:

$$IFI = (0,373; 102)$$

Determinación de la curva “F” y la línea “T”, para la gráfica de aceptación o rechazo, obtenida despejando Tx de la constante de velocidad y así tener la textura mínima con la cual se grafica la línea “T”, como se muestra a continuación:

$$T_{x_{\min}} = 1 \text{ mm}$$

Para obtener la curva “F”, se introduce la ecuación 1 y 2 en la ecuación 3, obteniendo:

$$FR_{60} = A + B \times FR_{\min} \times e^{\left(\frac{S-60}{a+bTx}\right)} \quad \text{Ecuación 4}$$

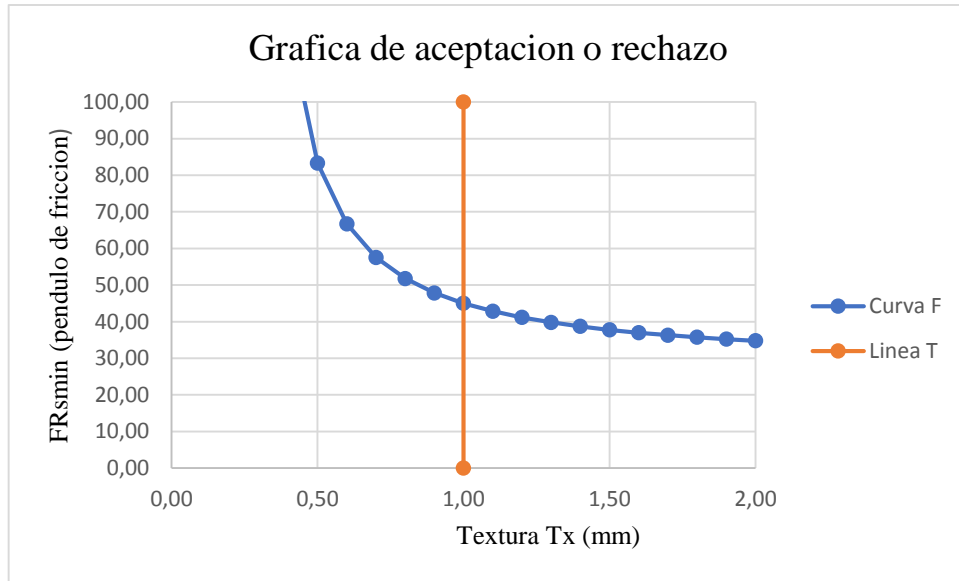
De la ecuación 4 se debe despejar la FRmin y así obtener la ecuación de la curva “F2”

$$FR_{\min} = \frac{[(F60 - A)]}{B \times e^{\left(\frac{S-60}{a+bTx}\right)}}$$

Finalmente se debe dar valores de macro textura para obtener valor de fricción mínimos para realizar la gráfica de aceptación o rechazo.

Tabla 51. Grafica de aceptación o rechazo para pavimentos flexibles de la AIPCR

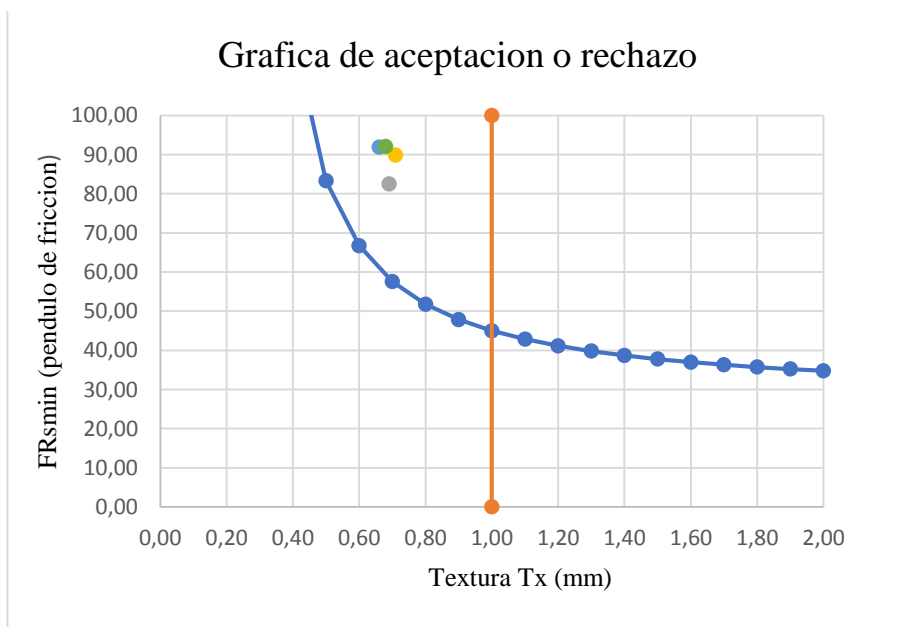
Tx	FR min
0,00	0,37
0,10	0,00
0,20	2464,49
0,30	254,62
0,40	120,74
0,50	83,30
0,60	66,71
0,70	57,55
0,80	51,79
0,90	47,86
1,00	45,00
1,10	42,85
1,20	41,16
1,30	39,81
1,40	38,70
1,50	37,77
1,60	36,98
1,70	36,31
1,80	35,73
1,90	35,21
2,00	34,76



Fuente: Elaboración propia

Al realizar la evaluación del pavimento mediante el modelo de IFI se determinó la gráfica de aceptación o rechazo recomendada por la AIPCR, luego de graficar la curva F y línea T que nos sirven de referencia para evaluar la macrotextura y la fricción del pavimento, se procede a graficar de los valores de fricción y textura promedios obtenidos en cada tramo evaluado, que se presentan en la figura.

Figura 89. Grafica de valores de fricción textura del pavimento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Resultado de IFI y requerimiento del pavimento

Resultado de la evaluación IFI				
Tramo	F 60	Sp	Vmax	Requiere el pavimento
Tramo 1 de ida	0,47	66,48	75,63	Mejorar macrotextura
Tramo 1 de vuelta	0,52	69,24	86,12	Mejorar macrotextura
Tramo 2 de ida	0,46	63,93	71,54	Mejorar macrotextura
Tramo 2 de vuelta	0,5	65,14	80,71	Mejorar macrotextura

Fuente: Elaboración propia

3.8. Cálculo de la capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles

3.8.1. Características geométricas de la vía

A continuación, se describe las características de los tramos de estudio:

Esta carretera conecta a la ciudad de Tarija, y está construida con pavimento flexible, actualmente la carpeta asfáltica se encuentra en buen estado, pero con necesidad de mantenimiento.

Figura 90. Medición geométrica tramo 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Medición geométrica tramo 2



Fuente: Elaboración propia

Ancho de carril y ancho de berma

a) Tramo 1 de estudio de la vía

De acuerdo al tramo en estudio desde la prog: 00+000 a la prog: 01+665 el ancho de la calzada es de 10,00 m, tiene dos carriles con un ancho de 5,00 m, con bermas de 1,00 m en el carril de ingreso y de salida respectivamente.

b) Tramo 2 de estudio de la vía

De acuerdo al tramo en estudio desde prog: 01+665 a la prog: 05+000 el ancho de la calzada es de 7,00 m tiene dos carriles con 3,50 m de ancho, con bermas de 0,00 m de ingreso y de salida respectivamente.

Tabla 53. Características Geométricas de la vía de estudio

Características Geométricas	El Cadillac - La Victoria	
	Tramo 1	Tramo 2
Ancho de Calzada	10,00 m	7,00 m
Ancho de Carril	5,00 m	3,50 m
Ancho de Berma Ingreso	1,00 m	0,00 m
Ancho de Berma Salida	1,00 m	0,00 m
% Zonas de No-Rebase	0,00%	20,00%
Pendiente Promedio	2,70%	2,60%

Fuente: Elaboración propia

Tipo de terreno

De acuerdo al levantamiento topográfico con el equipo NIVEL DE INGENIERO se obtiene la pendiente como muestra la tabla 53, la cual se considera una pendiente media entre de 2% a 3%, considerando un tipo de terreno plano en los tramos de estudios respectivamente.

Estado de la superficie de rodadura

El estado de la superficie fue estudiado anteriormente, el cual para los posteriores cálculos se utiliza los resultados calculados por el método de MERLIN:

Tramo 1: IRI: 4,31 mm/m

Tramo 2: IRI: 4,04 mm/m

Porcentajes de zonas de no rebase

Medida en campo a partir de la observación de la demarcación en la vía, con pequeños ajustes a criterio del autor en los casos donde no existe demarcación, así como apoyado en la parte III del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles, del INVIAS. El cual para el primer tramo de estudio es un 0 % zona de no rebase y el segundo tramo 20% de zona de no rebase.

Tabla 54. Porcentajes de zonas de no rebase según tipo de terreno

Tipo de terreno	Porcentajes de zonas de no rebase %
Plano	0 - 20
Ondulado	20 - 40
Montañoso y Escarpado	40 - 100

Fuente: INVIAS

3.8.2. Características del tráfico

Para determinar las horas de mayor circulación vehicular se entrevistó a los residentes aledaños a las rutas, los que manifestaron que el flujo vehicular se da en distintas horas del día, por lo que se optó por realizar el aforo durante 14 horas continuas de 6:00 am a 8:00 pm. El conteo vehicular se realizó en tramo El Cadillac - La Victoria pertenecientes a la red vial municipal tal como se muestra en la Figura 92 con un aforador por vía durante el horario establecido.

Aforo vehicular y composición del tráfico

Las estaciones de conteo se ubicaron tal como se muestra en la Tabla 55, en ella se especifica las coordenadas de cada estación en los tramos de estudio. El conteo manual de cada uno de los vehículos se realizó siguiendo el formato de conteo vehicular del MTC, especificando el tipo de vehículo en intervalos de 1 hora.

Figura 92. Aforo Vehicular



Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Ubicación de estaciones de conteo

Vía	Dirección	Coordenadas		Elevación (msnm)	Descripción
		Este	Sur		
TRAMO 1	SURESTE	316071	7621483	1.992	Estación 1 En carril de ingreso
TRAMO 2	SURESTE	314665	7620601	2.031	Estación 2 En carril de ingreso

Fuente: Elaboración propia

La intensidad vehicular establece el número de vehículos que circula por la vía en un periodo de tiempo determinado; generalmente este periodo es de una hora. De esta manera, se puede determinar la hora de mayor demanda, el día de mayor volumen y el volumen total semanal en cada vía en estudio, tal como se muestra a continuación:

a) Tramo 1 de la vía de estudio Estación A

De acuerdo a los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 1 hora. (ANEXO F).

Tabla 56. Volumen vehicular horario por vehículos mixtos estación A

	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Hora	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.
06:00	30	54	58	37	49	45	51
07:00	18	98	89	66	63	71	75
08:00	31	99	103	85	98	106	108
09:00	42	77	82	108	105	104	104
10:00	44	98	87	95	99	99	85
11:00	49	103	99	101	101	111	121
12:00	78	99	78	104	96	105	107
13:00	67	89	90	94	103	100	97
14:00	70	79	95	94	102	101	101
15:00	43	52	79	73	91	90	99
16:00	73	64	73	98	78	101	93
17:00	67	60	52	91	98	101	79
18:00	68	82	75	96	88	96	103
19:00	33	63	58	67	65	39	29

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la Tabla 56, presenta los volúmenes horarios por vehículos mixtos considerando ambos carriles, sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 1 hora para cada día, con el fin de obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

Se puede apreciar en la Tabla 57, el resumen vehicular semanal y el porcentaje de vehículos por día, según lo cual podemos determinar que la intensidad vehicular es constante y proporcional en toda la semana.

Tabla 57. Resumen vehicular por vehículo mixtos

Sentido	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
E	438	537	554	643	640	640	633	4085
S	275	580	564	566	596	629	619	3829
Ambos	713	1117	1118	1209	1236	1269	1252	7914
%	9,01%	14,11%	14,13%	15,28%	15,62%	16,03%	15,82%	100,00%

Fuente: Elaboración propia

b) Tramo 2 de la vía de estudio Estación B

De acuerdo a los aforos vehiculares realizados durante el período de estudio, se obtuvo el volumen horario sumando el total de vehículos que pasan por cada carril sin importar la clase durante períodos de 1 hora. (ANEXO F).

Tabla 58. Volumen vehicular horario por vehículos mixtos estación B

	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Hora	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.	N° de Veh.
06:00	30	54	58	37	49	43	51
07:00	18	90	89	66	63	71	73
08:00	31	92	86	83	98	104	106
09:00	42	74	82	103	102	102	102
10:00	44	95	83	95	97	94	85
11:00	47	100	97	99	98	105	119
12:00	76	99	78	103	94	105	103
13:00	65	89	90	94	103	100	94
14:00	68	79	93	94	102	101	100
15:00	43	52	79	71	91	90	97
16:00	69	64	73	100	78	101	93
17:00	65	60	52	88	98	98	79
18:00	67	82	75	92	83	90	94
19:00	31	63	58	67	65	39	29

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la Tabla 58, presenta los volúmenes horarios por vehículos mixtos considerando ambos carriles, sumando los respectivos volúmenes en intervalos de 1 hora

para cada día, con el fin de obtener los volúmenes horarios máximos y el día de máxima demanda.

Se puede apreciar en la Tabla 59, el resumen vehicular semanal y el porcentaje de vehículos por día, según lo cual podemos determinar que la intensidad vehicular es constante y proporcional en toda la semana.

Tabla 59. Resumen vehicular por vehículos mixtos

Sentido	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total
E	421	527	536	623	628	621	606	3962
S	275	566	557	569	593	622	619	3801
Ambos	696	1093	1093	1192	1221	1243	1225	7763
%	8,97%	14,08%	14,08%	15,35%	15,73%	16,01%	15,78%	100,00%

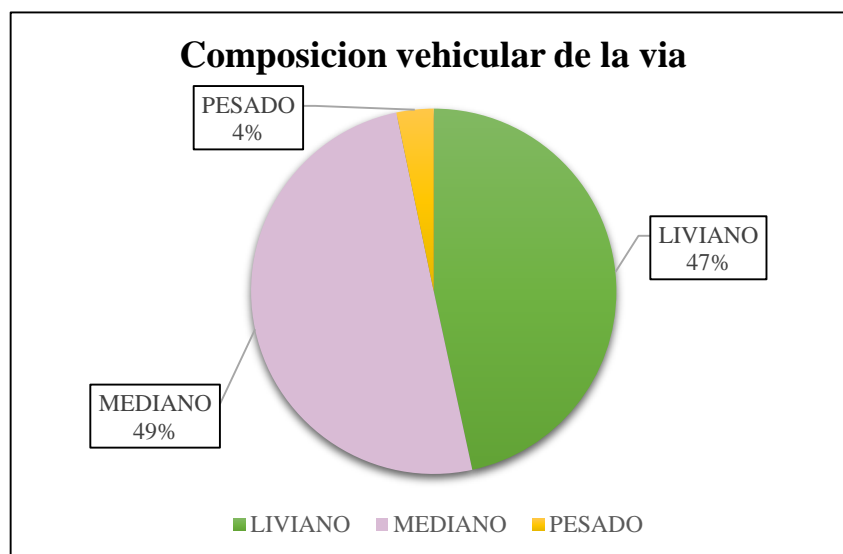
Fuente: Elaboración propia

Composición vehicular

La Figura 93 y 94 muestra la composición vehicular registrada en la hora de máxima demanda tomando en cuenta los dos carriles en función al formato establecido por el MTC

a) Tramo 1 de la vía de estudio

Figura 93. Composición vehicular de la vía del tramo 1

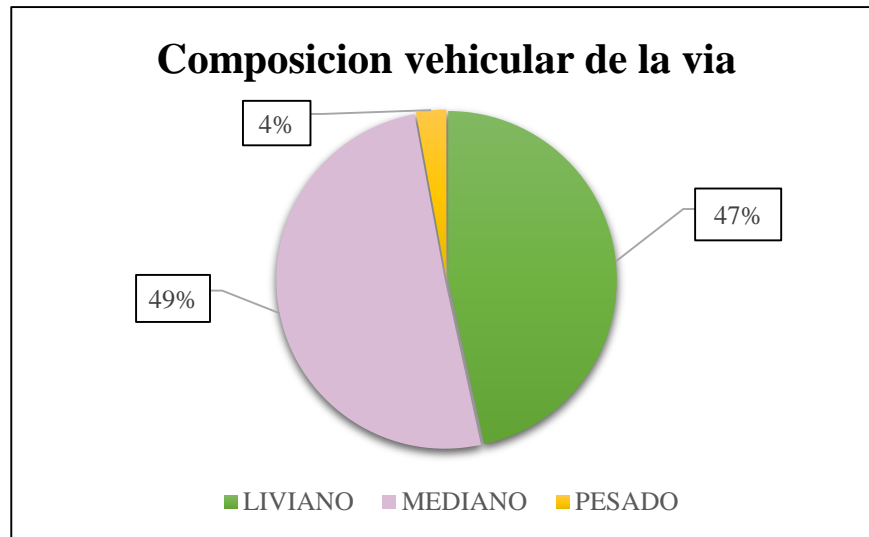


Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar entonces, que los tipos de vehículos predominantes son los vehículos medianos con (49,42%) los livianos (47,01%) y los pesados con (3,58%).

b) Tramo 2 de la vía de estudio

Figura 94. Composición vehicular de la vía en el tramo 2



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar entonces, que los tipos de vehículos predominantes son los vehículos medianos con (49,32%) los livianos (47,03%) y los pesados con (3,64%).

Distribución del tráfico por carril

Para el cálculo del nivel de servicio se debe tomar en cuenta la distribución del tráfico por cada carril. Esta distribución se obtiene de los aforos vehiculares semanales y permiten la comparación del volumen vehicular por cada carril.

1. Tramo 1 de la vía de estudio

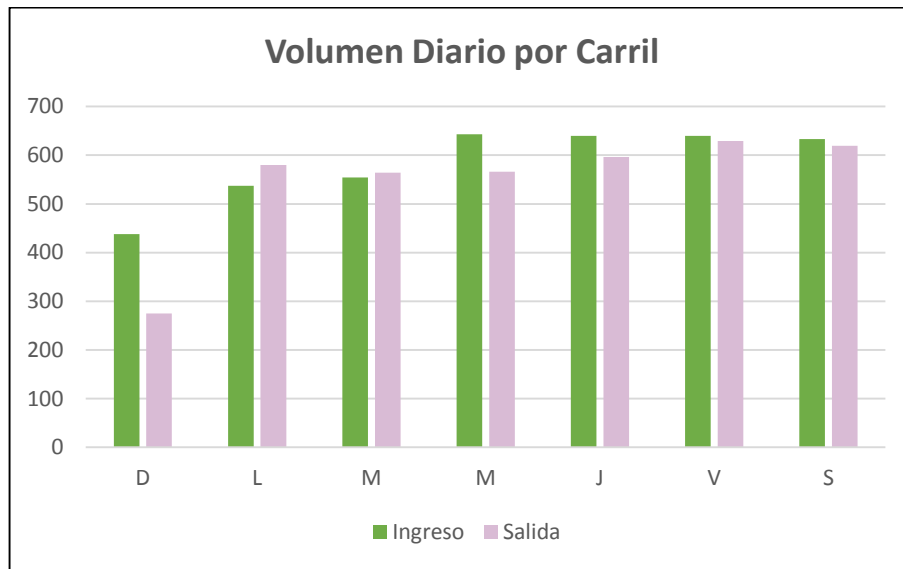
Tabla 60. Distribución direccional del tramo 1

Carril	D	L	M	M	J	V	S	Total, x carril	Total	%	Asumido
Ingreso	438	537	554	643	640	640	633	4085	7914	51,62%	50%
Salida	275	580	564	566	596	629	619	3829		48,38%	50%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 60, el carril de ingreso tiene el 51,62% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 48,38% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles. De igual manera, la Figura 95, nos permite establecer que existe mayor flujo de vehículos ingresando a la comunidad de la victoria por la zona sureste, sin embargo, las proporciones de vehículos que ingresan y salen por esta zona es similares durante toda la semana.

Figura 95. Volumen diario por carril



Fuente: Elaboración propia

2. Tramo 2 de la vía de estudio

Tabla 61. Distribución direccional del tramo 2

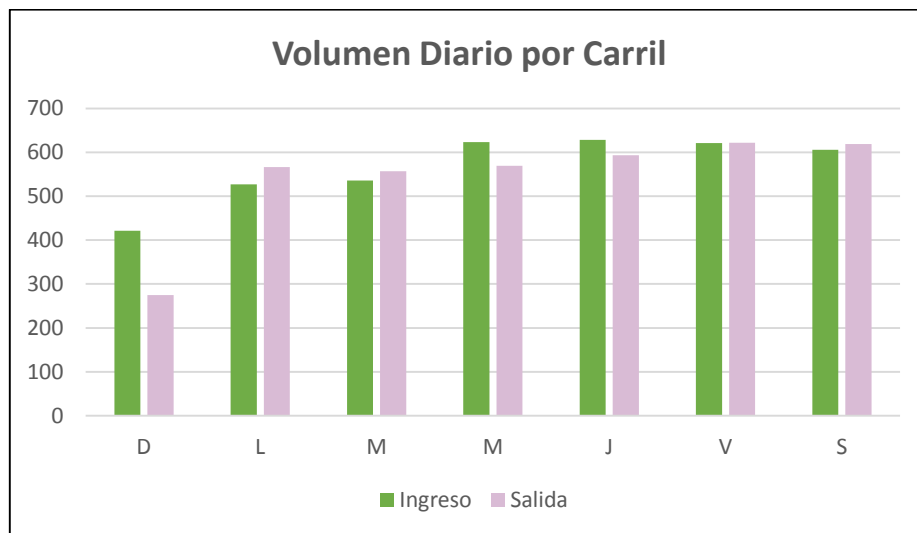
Carril	D	L	M	M	J	V	S	Total, x carril	Total	%	Asumido
Ingreso	421	527	536	623	628	621	606	3962	7763	51,04%	50%
Salida	275	566	557	569	593	622	619	3801		48,96%	50%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 61, el carril de ingreso tiene el 51,04% del volumen total de vehículos y el carril de salida el 48,96% del volumen restante, por lo tanto, se asume una distribución de 50/50 para ambos carriles. De igual manera, la Figura 96, nos permite establecer que existe mayor flujo de vehículos ingresando a la comunidad de la

victoria por la zona sureste, sin embargo, las proporciones de vehículos que ingresan y salen por esta zona son similares durante toda la semana.

Figura 96. Volumen diario por carril



Fuente: Elaboración propia

3.8.3. Procedimiento de cálculo de capacidades y niveles de servicio

De acuerdo a los datos obtenidos previamente, la siguiente tabla presenta el resumen de los datos de entrada necesarios para la determinación de la capacidad y el nivel de servicio de esta vía, el cual tomaremos como ejemplo el tramo 1.

Tabla 62. Datos de entrada

Datos de entrada	
Ancho de Carril	5,00 m
Ancho de berma	1,00 m
Tipo de Terreno plano	2,32 %
Longitud Total del tramo	1,665 km
Volumen horario total ambos sentidos Q	106 veh/h
% Distribución de Volumen por Carril	50%
Radio de la curva más cerrada	0,00 m
% Automóviles	47,01%
% Buses y camiones	3,58%
% Zonas de No-Rebase	0,00%
Estado de la superficie de rodadura IRI	4,31 mm/m
Deflexión de la curva	0,00

Fuente: Elaboración propia

1. Cálculo de la capacidad

Capacidad en condiciones ideales (C_i) en ambos sentidos = 3200 veh/hora

- a) $F_{pe} = 0,98$ (tabla 14, pendiente 2,32%, longitud del sector 1,665 km)
- b) $F_d = 1,00$ (tabla 15, zonas de no rebase 0,00%, distribución por sentido 50%)
- c) $F_{cb} = 1,08$ (tabla 16, ancho berma 1,00 y ancho de carril 5,00 m)
- d) $F_p = 0,94$ (tabla 17, pendiente 2,32%, longitud del sector 1,665 km, porcentaje vehículos pesados 3,58%)

Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos sin tener en cuenta variables aleatorias

$$e) \quad C_{60} = C_i * F_{pe} * F_d * F_{cb} * F_p$$
$$C_{60} = 3200 * 0,98 * 1,00 * 1,08 * 0,94 = 3.183,67 \text{ veh/h}$$

Capacidad del sector en vehículos mixtos por hora en ambos sentidos, teniendo en cuenta las variaciones del volumen durante el periodo de cinco minutos de la hora pico

- f) $C_5 = C_{60} * FHP$
 $FPH = 0,97$ (tabla 18, volumen horario $C_{60} = 3.183,67$ veh/h)
 $C_5 = 3.183,67 * 0,97 = 3.088,16$ veh/h
- g) $Q / C_{60} = 106 / 3.183,67 = 0,033$
- h) $Q / C_5 = 106 / 3.088,16 = 0,034$

2. Cálculo del nivel de servicio

- a) $V_i = 81$ km/h (tabla 19, pendiente 2,32%, longitud del sector 1,665 km)
- b) $f_u = 1,00$ (tabla 20, $Q/C_{60} = 0,033$)
Volumen total en ambos sentidos (Q) = 106 veh/h
Capacidad $C_{60} = 3.183,67$ veh/h, entonces:
$$Q/C_{60} = 106 / 3.183,67 = 0,033$$
- c) $V_1 = V_i * f_u$
 $V_1 = 81 * 1,00 = 81,00$ km/h
- d) $f_{sr} = 0,82$ (tabla 21, IRI = 4,31 mm/m, velocidad $V_1 = 81,00$ Km/h)

e) $f_{cb} = 1,22$ (tabla 22, ancho berma 1,00 m y ancho de carril 5,00 m)

f) $V_2 = V_1 * f_{sr} * f_{cb}$

$$V_2 = 81,00 * 0,82 * 1,22 = 81,09 \text{ Km/h}$$

g) $f_{p1} = 0,84$ (tabla 23, velocidad $V_2 = 81,09$ km/h, longitud del sector 1,665 km y pendiente 2,32%)

h) $f_{p2} = 1,09$ (tabla 24, 3,58% vehículos pesados, volumen en ambos sentidos = 106veh/h)

i) $f_p = f_{p1} * f_{p2}$; si $f_p > 1$ entonces $f_p = 1$

$$f_p = 0,84 * 1,09 = 0,92$$

j) $V_3 = V_2 * f_p$

$$V_3 = 81,09 * 0,92 = 74,25 \text{ km/h}$$

k) $V_c = 77$ km/h (tabla 25, radio de la curva más cerrada del sector)

l) Se compara V_3 con V_c

Si $V_3 > V_c$, calcular V siguiendo el procedimiento indicado en la hoja de trabajo N. 2.

(ANEXO G) si $V_3 < V_c$, entonces $V = V_3$

Nivel de servicio de la carretera

m) Entrando a la tabla 26, conociendo tipo de terreno (plano) y velocidad media

$$V = 74,25 \text{ km/h, se obtiene un nivel de servicio B.}$$

Tramo 2

De acuerdo a lo establecido en el capítulo II, la capacidad de la vía del tramo 2, se determina utilizando la siguiente hoja de trabajo 2, de igual manera para la determinación del nivel de servicio. (Ver ANEXO G).

CARRETERAS DE DOS CARRILES DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

HOJA DE TRABAJO N° 1

TRAMO: ...2... **SECTOR:** La victoria **NOMBRE:** ...El cadillar – La victoria...

CALCULO: ... **FECHA:** marzo 23/2021. **SECTOR:** TÍPICO:.....X...

1. DATOS GEOMÉTRICOS Y DE TRANSITO

..... m TIPO DE TERRENO (P, O, M, E): ...O...
 PENDIENTE (%): ...2,60...
 m LONGITUD (km):...3,34...
 RADIO DE LAS CURVA MÁS CERRADA: ...N/A.....
 m DEFLEXIÓN DE LA CURVA (grados): ...N/A...

ESTADO SUPERFICIE RODADURA: IRI...4,04... (mm/m)

VOLUMEN TOTAL EN AMBOS SENTIDOS (Q): ...101... veh/h

DISTRIBUCIÓN POR SENTIDOS (Ascenso/Descenso): ...50.../...50... %

COMPOSICIÓN DEL TRANSITO: A: 47,03 % B: 49, 32 % C: 3, 64 % B+C: 52,96 %

ZONAS DE NO REBASE: ...20... %

2. CALCULO DE LA CAPACIDAD (C_{60} y C_5)

F_{pe} (TABLA 1)	F_d (TABLA 2)	F_{cb} (TABLA 3)	F_p (TABLA 4)	C_i = (veh/h)	C_{60} (veh/h)
0,97	1,00	0,96	0,92	3.200	2.741,45

C_{60} (veh/h)	FPH = (TABLA 5)	C_5 (veh/h)
2.741,45	0.97	2.659,21

Q ÷	C_{60} =	Q/ C_{60}	Q ÷	C_5 =	Q/ C_5
101	2.741,45	0,037	101	2.659,21	0,038

3. CALCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

V_i (TABLA 6)	f_u = (TABLA 7)	V_1 (km/h)	f_{sr} (TABLA 8)	f_{cb} (TABLA 9)	V_1 = (km/h)	V_2 ① (km/h)
78	1,00	78,00	0,86	0,85	78,00	57,02

f_{p1} (TABLA 10)	f_{p2} = (TABLA 11)	f_p	V_2 = de ①	V_3 ② (km/h)	V_c (km/h) (TABLA 12)
0,99	1,10	1,00	57,02	62,05	77

Si $f_p > 1.00$ hacer $f_p = 1.00$

COMPARAR

Si $V_3 = V_c$, $V = V_3$ (de ②)	V (de ② ó ③)
Si $V_3 > V_c$, Calcular V con la hoja de trabajo No.2 ③	62

NIVEL DE SERVICIO (TABLA 13)
C

En la tabla 63, se ilustra un resumen de los resultados obtenidos de acuerdo al manual INVIAS.

Tabla 63. Resultados según método INVIAS

Tramo	C ₆₀	C ₅	Q/C ₆₀	Q/C ₅	V	Nivel de Servicio
Tramo 1	3.183,67	3.088,16	0,033	0,034	74,25	B
Tramo 2	2.741,45	2.659,21	0,037	0,038	62,05	C

Fuente: Elaboración propia

3.9. Análisis de los resultados de la evaluación superficial del pavimento

3.9.1. Análisis de resultados de la serviciabilidad PSR

En la tabla 64, se presenta la respuesta a la clasificación de serviciabilidad de la vía. El cadillar - La victoria, esta respuesta se obtuvo promediando las notas de las 8 preguntas realizadas en los 2 tramos dentro de la vía. Se observa que en la vía de estudio posee un PSR de 2,82 con el que califica como regular el estado de la vía.

Tabla 64. Resultado del PSR y su calificación

Vía	PSR	Calificación
El Cadillar-La Victoria	2,82	Regular

Fuente: Elaboración propia

Desde un enfoque del usuario; la variable movilidad no se ve afectada por la falta de capacidad, el congestionamiento y la inadecuada geometría en algunas de sus vías; por otro lado, la variable seguridad indica que existe un bajo porcentaje de accidentalidad ocasionado por el estado de sus vías; y por último la variable comodidad que tanto para la sensación de manejo como para la percepción visual es de un nivel medio.

3.9.2. Análisis de los resultados de la evaluación del PCI

Realizando el análisis nos dio como resultado la obtención del Índice de condición del pavimento para el tramo en estudio de:

Tabla 65. Resultado del PCI y su calificación

Vía	PCI	Calificación
El Cadillar-La Victoria	46,50	Regular

Fuente: Elaboración propia

Este valor encontrado, según la escala o rango corresponde a un Índice de Condición del pavimento **REGULAR**.

3.9.3. Análisis de los resultados de la evaluación PSI

De acuerdo a los resultados la obtención del Índice de Serviciabilidad para el tramo en estudio es:

Tabla 66. Resultado del PSI y su clasificación

Vía	PSI	Calificación
El Cadillar-La Victoria	2,33	Regular

Fuente: Elaboración propia

Este valor encontrado, según la escala o rango que se muestra en la tabla 8 corresponde a, **“El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro”**.

3.9.4. Análisis de los resultados de la evaluación IRI

Por los resultados obtenidos por ambos métodos, nos muestra que en los diferentes subtramos donde se aplicó el método de medición con el equipo de Merlin se encuentra por debajo del IRI hallado por el método de mira y nivel.

Según la teoría de índice de rugosidad internacional, define que el método de mira y nivel es de clase 1 con variaciones menores a 0,25 y que el método de Merlin es de clase 2 con variaciones hasta de 0,50 por lo cual realizamos la diferencia entre los datos obtenidos:

Prog: 0+0800

$$4,83 - 4,41 = 0,42$$

El valor es de 0,42 entrando dentro de los márgenes aceptables de variación, por lo cual es posible utilizar los datos obtenidos mediante el Método de Merlin.

En la tabla 67, se presenta los resultados de la medición del IRI con el equipo de MERLIN:

Tabla 67. Resultado del IRI del tramo en estudio

Tramo	Pavimento asfáltico IRI (m/km)
Tramo 1	4,31
Tramo 2	4,04

El valor promedio del IRI es de 4,18 m/km

Fuente: Elaboración propia

Este valor encontrado según la escala que se muestra en la tabla 10, corresponde a, “**El pavimento muestra tramos con los primeros vestigios de deterioro**”.

3.9.5. Análisis de los resultados de la evaluación IFI

Realizando el análisis nos dio como resultado la obtención del Índice de Fricción Internacional del pavimento para el tramo en estudio de:

Tabla 68. Resultado del IFI del tramo en estudio

Resultado de la evaluación IFI						
Vía	H=Tx	F60	Sp	Requiere el pavimento	Calificación de textura	Calificación de la fricción
El Cadillac-La Victoria	0,69	0,51	66,20	Mejorar macrotextura	Media	De regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

Mediante el ensayo del péndulo británico se pudo evidenciar que los resultados obtenidos para dicha evaluación estuvieron en el rango (0,51 a 0,60), parámetros indicados en la tabla 12. La cual correspondería a una calificación de regular a buena; por lo tanto, nos lleva a concluir que la capa de rodadura cuenta con una buena adherencia entre el neumático de vehículo y la superficie, es decir que el vehículo se desplaza de buena manera y que los neumáticos no sufren desgaste por fricción.

En cuanto a los resultados obtenidos para la calificación de la textura nos indica una textura media de acuerdo a la tabla 13.

3.9.6. Análisis de resultados de la capacidad y niveles de servicio de la vía

Tramo 1

De acuerdo al resultado obtenido en el tramo 1 corresponde a un nivel B, el cual corresponde a una transitabilidad del vehículo estable, es decir que no se produce cambios de velocidades bruscas, los conductores pueden mantener velocidades de servicio razonables.

Tramo 2

De acuerdo al resultado obtenido en el tramo 2 corresponde a un nivel C, corresponde también a una circulación estable, pero la velocidad y la maniobrabilidad están ya considerablemente condicionadas, aunque las condiciones de circulación son todavía muy tolerables.

3.10. Análisis y correlación de resultados de evaluación superficial

La calidad de servicio que ofrece una carretera al medirse en función del Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), se establece que la Rugosidad Admisible para una carretera es de 40 QI, lo que equivale a un PSI de 2, y que para valores mayores o igual a este su “mantenimiento es de rutina permanente”, y para valores mayores a 40 QI su PSI equivale a valores menores al PSI admisible, por consiguiente, teniéndose “Un mantenimiento periódico o una rehabilitación”.

De acuerdo a los rangos de relación entre la rugosidad y PSI , el resultado del método de evaluación es de PSI igual a 2,33, nos muestra que: “El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”, y que correspondería al rango o intervalo de rugosidad de (30 a 35) QI, y (2.51 a 2.24) PSI, por lo cual podemos decir que como el resultado encontrado está próximo al intervalo superior del PSI, corresponderá efectuar a la carretera en estudio de: **“Un mantenimiento rutinario permanente”**.

El resultado obtenido utilizando el método de evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), es de PCI igual a 46,50, corresponde a un PCI de REGULAR, lo cual nos muestra que estaría en los intervalos de (40 a 60) PCI, y (1.0 a 2.5) PSI, tabla 9, teniéndose que el estado de la carretera según el Índice de Serviciabilidad Presente, relacionado con el PCI sería: “El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”, su rango o intervalo de rugosidad estaría entre (35 a 65) QI, pues si el PCI se quiere expresar en PSI, sólo se debe realizar una división del PCI entre 20 como el método lo establece, realizando esta operación obtenemos un PSI igual a 2,33, este valor al estar próximo al rango superior del PSI tabla 9, se tendría que efectuarse: **“Un mantenimiento rutinario permanente”**.

El resultado alcanzado mediante el método de evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), nos ha dado un valor del IRI igual a 4.18 m/Km, corresponde a un IRI del pavimento: **“El pavimento tiene algunos tramo con vestigios de deterioro, corresponde a pavimentos viejos”**, si se quiere expresar el IRI en PSI recurriremos a los rangos de relación de equivalencia de la tabla 10, veremos que el valor del IRI se encuentra en el intervalo (2.8 a 5.2)IRI, y en los rangos de rugosidad de (35 a 65)QI y (1.0 a 2.5)PSI, teniéndose que el estado de la carretera según el Índice de Serviciabilidad Presente, relacionado con el IRI sería: **“El pavimento muestra algunos sub tramos con los primeros vestigios de deterioro”**.

3.11. Evaluación por el método Nivel de Servicio por indicadores

3.11.1. Medición de niveles de servicio

El procedimiento para el cálculo del porcentaje del incumplimiento se detalla a continuación:

1.- La evaluación se hará cada 10 Km., tomándose como muestra un kilómetro al azar el cual se subdividirá en segmentos de 100 m cada uno (una planilla por cada 10 kilómetros).






2.- En el caso de puentes se evaluará al menos uno de los puentes en estudios emplazados en el tramo de 10 km.






3.- El supervisor evaluará las variables en cada uno de los segmentos de 100 m. de acuerdo a los indicadores y tolerancias preestablecidas, procediendo a colocar un aspa (X) en los lugares donde se incumple los indicadores.

4.-El supervisor calculará el porcentaje de incumplimiento de cada una de las evaluaciones, procediendo posteriormente a obtener promedio de toda la muestra obtenida, con lo cual se calculará el porcentaje de incumplimiento o descuento total.

Tramo I: El Cadillac - La Victoria (km. 3+000 al km. 4+000):

Tabla 69. Evaluación por Nivel de Servicio

3+000	3+100		<p>Bacheo en la calzada del pavimento. Falta de desbroce de maleza en las zonas laterales.</p>
3+100	3+200		<p>Falta de desbroce de maleza en las zonas laterales. Presencia de hueco en la calzada.</p>
3+200	3+300		<p>Presencia de maleza en las zonas laterales. Fisuras en la calzada</p>
3+300	3+400		<p>Falta de desbroce de maleza en las zonas laterales. Presencia de material suelto en las bermas</p>
3+400	3+500		<p>Calzada obstruida por maleza. Falta de limpieza en la calzada</p>

3+500	3+600		Presencia de maleza en las zonas laterales. Fisuras en la calzada
3+600	3+700		Falta desbroce de maleza. Bacheo en la calzada.
3+700	3+800		Falta de desbroce de maleza. Falta de limpieza en la calzada
3+800	3+900		Falta de desbroce de maleza en las zonas laterales. Puentes sin limpiar y sin pintado.
3+900	4+000		Falta de limpieza y presencia de roce. Puentes sucios y oxidados

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Medición de Niveles de Servicio

SUPERVISOR: PATRICIA JEREZ CESPEDES		FECHA: 15/10/2021											
MES: OCTUBRE		TRAMO: 1											
PROGRESIVA EN ESTUDIO: 3+000 al 4+000													
		SEGMENTOS DE 100 m. C/U											
ASPECTO INSPECCIONADO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	NUMERO SECTORES CON FALLAS	FACTOR DE PESO	PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO
Calzada	X	X	X	X	X	X	X	X			8,00	50.00	40,00
Bermas											0,00	10.00	0,00
Zonas Laterales, Roce (Derecho de Vía)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10,00	5.00	5,00
Drenaje											0,00	15.00	0,00
Estructuras Viales									X	X	2,00	10.00	2,00
Señalización											0,00	10.00	0,00
PORCENTAJE DE INCUMPLIMIENTO EN EL Km.												47,00	
1.- CADA 10 Km. SE ESCOGE AL AZAR 1 Km. Y ESTE SE SUBDIVIDE EN SEGMENTOS DE 100 m. 2.- LUEGO SE EVALÚA Y SE COLOCA UNA "X" EN CASO QUE INCUMPLA.													

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú.

3.11.2. Análisis de resultado del Nivel de Servicio

Podemos señalar que la gestión de conservación vial tiene un nuevo rumbo, donde las entidades y las microempresas pueden aprender a manejarse dentro de esta nueva forma, que mejorar sustancialmente el estado actual de las carreteras municipales.

Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad.

Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

Dentro de la experiencia de medición de niveles de servicio, se debe reflejar un equilibrio entre las exigencias de confort seguridad y menores costos por parte del usuario, y el estándar de la carretera en relación a su funcionalidad, demanda y condiciones orográficas, de tal manera que los recursos sean eficientemente utilizados, y no se malgasten en lograr estándares cuyo beneficio es mínimo al confort y la seguridad aún falta mejorar algunos aspectos, como la cantidad de parámetros, la objetividad en las mediciones sobre todo en aquellos de inspección visual y los criterios de medición, pero podremos encontrarlos en un buen camino con esta implementación.

3.12. Ventajas de los contratos en Niveles de Servicio

Los organismos viales han optado por los contratos basados en niveles de servicio porque ofrece las siguientes ventajas con respecto a los sistemas tradicionales:

- **Mejores condiciones de las redes viales**, ya que se pueden asegurar niveles de servicio óptimos en todo momento, a través de la aplicación de una adecuada gestión a mediano y largo plazo, así como de la definición e inspección detallada de los indicadores del CNS.
- **Incentivos al sector privado para la innovación y aumento de la productividad.** Los contratistas se motivan a utilizar nuevas tecnologías constructivas y de control de calidad, ya que estas medidas redundan en ahorros, mayor eficiencia y mejor servicio a los usuarios.
- **Mayor satisfacción de los usuarios acerca del servicio y el estado de las carreteras.** El buen estado de las vías ayuda a bajar los costos de operación vehicular y se evitan atrasos por rehabilitaciones.
- **Reducción de los gastos administrativos y gastos generales del organismo vial**, debido a una mejor preparación de los contratos, y que se requiere menos personal para su administración y supervisión.

- **Reducción (o eliminación) de alteraciones en el contrato**, ya que existe una disminución sustancial de transacciones financieras (lo que facilita la auditoría) y como el enfoque se basa en los resultados del nivel de servicio, en lugar de ejecutar proyectos específicos, la intervención política también se reduce en gran medida.

Los contratos basados en niveles de servicio pueden permitir ahorrar por los siguientes medios:

- Incentivos al sector privado para la innovación y aumento de la productividad.
- Reducción de los gastos administrativos y gastos generales del organismo vial, debido a una mejor preparación de los contratos, que requieren menos personal para su administración y supervisión.
- Flexibilidad notablemente mayor en el sector privado (que en el público) para recompensar los buenos resultados y reaccionar rápidamente cuando los resultados no son satisfactorios.

Los contratos basados en niveles de servicio (CNS) permiten reducir las órdenes de cambio y que se pague al contratista en plazos mensuales iguales mientras dure el contrato. El riesgo de que los costos sean superiores a los previstos se transfiere al contratista y el organismo vial tiene menos costos imprevisibles.

3.13. Diferencias entre método tradicional y método por nivel de servicio

Tabla 71. Diferencias entre contratos por niveles de servicios vs contratos tradicionales de mantenimiento

Contrato basado en niveles de servicio (CNS)	Contrato tradicional
Responsabilidades y riesgos tiene el contratista.	Responsabilidades recaen en la institución o entidad licitante.
El Contratista Tiene libertad para innovar utilizando nuevas técnicas y tecnologías a fin de reducir sus propios costos, siempre que se consiga el nivel de servicios especificado en los documentos de licitación.	El Contratista No tiene libertad para innovar utilizando nuevas técnicas y tecnologías a fin de reducir sus propios costos, siempre que se consiga el nivel de servicios especificado en el expediente técnico.

<p>El contratista carga con todo el riesgo con respecto a las posibilidades de gestión e innovación, a saber, sus errores en cuanto</p> <p>a) la previsión del deterioro de los activos contratados</p> <p>b) la determinación del diseño, especificaciones y materiales adecuados</p> <p>c) la planificación de las intervenciones de mantenimiento necesarias</p> <p>d) la estimación de las cantidades.</p>	<p>El Contratista se limita a la ejecución de las obras de acuerdo al expediente técnico, que a veces puede estar mal elaborado, pero debe cumplir con dicho diseño y especificaciones técnicas.</p>
<p>El proceso de selección está basado normalmente en " el mayor valor ", que quizá no sea necesariamente " la oferta más baja ". Como el contratista tiene más riesgos y responsabilidades de gestión.</p>	<p>El proceso de selección está basado normalmente en " el menor valor ", del presupuesto total y que quizá sea necesariamente " la oferta más baja ". Como el contratista no tiene muchos riesgos y responsabilidades de gestión y más aún si son empresas consorciadas.</p>
<p>El proceso de selección implica la elección de un contratista que tenga la capacidad de evaluar la situación de los activos, determinar la cronología de las intervenciones, seleccionar los materiales y los métodos de trabajo y un plan de trabajo adecuado, y encargarse de la supervisión de sus propios servicios</p>	<p>El proceso de selección No implica la elección de un contratista que tenga la capacidad de evaluar la situación de los activos, determinar la cronología de las intervenciones, seleccionar los materiales y los métodos de trabajo y un plan de trabajo adecuado, y encargarse de la supervisión de sus propios servicios. Se le asigna un supervisor.</p>
<p>El pago consiste en una suma fija distribuida en varios plazos, condicionados al cumplimiento de los niveles de servicio previsto. Al contratista no se le paga por la labor física realizada, sino por los resultados finales (o niveles de servicio) conseguidos.</p>	<p>El pago consiste en una suma variable de acuerdo al avance de la obra Al contratista se le paga por la labor física realizada, y No por los resultados finales (o niveles de servicio) conseguidos.</p>

<p>La duración suele ser más larga que la de los contratos tradicionales, ya que el contratista tiene mayor riesgo y responsabilidad y se ve obligado a realizar determinadas intervenciones de mantenimiento cada varios años.</p>	<p>La duración suele ser de acuerdo al tiempo de culminación de la obra, ya que el contratista no tiene mayor riesgo y responsabilidad y se ve obligado a realizar determinadas intervenciones de reconstrucción o rehabilitación por el tiempo estipulado en el reglamento de contrataciones (7 años).</p>
<p>Es esencial la buena comunicación entre el cliente, los contratistas y el supervisor/ingeniero, para facilitar las conversaciones y la resolución de las cuestiones y preocupaciones, con el fin de reducir el riesgo de futuros conflictos y reclamaciones.</p>	<p>No Es esencial la buena comunicación entre el cliente, los contratistas y el supervisor/ingeniero, para facilitar las conversaciones y la resolución de las cuestiones y preocupaciones, con el fin de reducir el riesgo de futuros conflictos y reclamaciones.</p>

Fuente: Elaboración propia

La Investigación revela que, para una aplicación eficaz del concepto de contratos basados en niveles de servicio (CNDS), son fundamentales los siguientes factores:

- Compromiso de instancias superiores de gobierno o Conocimientos y personal especializado dentro del organismo vial
- Capacidad adecuada de los sectores de la contratación y la consultoría
- Entorno favorable para la contratación y el establecimiento de asociaciones
- Financiamiento estable durante varios años
- Adaptación de los principios genéricos y el formato del contrato basado en niveles de servicio (CNS) al contexto local específico de cada país.

Los países en desarrollo y en transición que tienen experiencia en la contratación basada en el método pueden considerar que el concepto de contratos basados en niveles de servicio (CNS), es útil para la prestación de determinados servicios y la gestión de algunos activos viales. No obstante, el grado de complejidad de los contratos basados en niveles de servicio (CNS) debería basarse en el nivel de desarrollo del sector vial de cada país.

Los países que se encuentran en una fase inicial de desarrollo, con un sector de la contratación relativamente débil, quizá puedan experimentar formas más sencillas de contratos basados en niveles de servicio (CNS), por ejemplo, el mantenimiento rutinario durante un año. Las economías en transición y los países de ingreso mediano con un sector vial más desarrollado y una legislación mejor definida podrían pasar directamente a formas de contratos basados en niveles de servicio (CNS) más complejas.

4.1. Conclusiones

En función a los resultados expuestos en el capítulo anterior, se puede articular las siguientes conclusiones:

- Se definió conceptos claros de lo que comprende el mantenimiento y conservación de una carretera municipal.
- Se evaluó superficialmente el tramo en estudio de acuerdo a las normas y estándares que rige el determinado proceso de los ensayos requeridos para determinar el estado actual de la carretera, logrando establecer que el tramo El Cadillac – La Victoria se encuentra en condiciones regulares.
- Se definió y describió los parámetros de medición del Nivel de Servicio por indicadores de acuerdo al ministerio de transporte y comunicación de Perú.
- Se procedió a evaluar por el método Nivel de Servicio el tramo en estudio El Cadillac-La Victoria obteniendo como resultado de la evaluación un 47 % de incumplimiento dentro de lo que rigen los estándares de tolerancia de los indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad.
- Verificamos que el municipio de San Lorenzo no cuenta con un documento establecido que se tome de base para el monitoreo y ejecución del mantenimiento, motivo por el cual actualmente no se realiza la conservación de manera correcta, esta metodología muestra que esta propuesta es un método eficaz para que las entidades y microempresas encargadas de la gestión vial pueden implementarla a nuestro medio.

4.2. Recomendaciones

- Se debe implementar la conservación por niveles de servicio en caminos municipales del municipio de San Lorenzo en procura de preservar recursos económicos, realizando la conservación y el mantenimiento rutinario y correctivo con una verdadera gestión vial, para evitar elevados costos de rehabilitación.
- Es importante que las instituciones encargadas de la conservación vial cuenten con personal altamente capacitado para estar al frente de estos trabajos y sobre todo tenga bien claro los objetivos de la conservación vial.
- Los Niveles de Servicio, deben reflejar un equilibrio entre las exigencias de confort, seguridad y menores costos por parte del Usuario, y el estándar de la carretera en relación a su funcionalidad, demanda y condiciones orográficas, de tal manera que los recursos sean eficientemente utilizados, y no se malgasten en lograr estándares cuyo beneficio es mínimo al confort y la seguridad.