

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCION

Desde nuestros antepasados o mejor dicho , en el principio de la existencia del ser humano, se ha tenido la necesidad de comunicarse, motivo por el cual se ha venido abriendo desde una brecha hasta las grandes avenidas de hoy en día, junto con el desarrollo de diversas técnicas y métodos para la más adecuada construcción de los caminos. Desde las construcciones a base de piedras y aglomerantes hasta hoy en día que hay métodos muy perfeccionados.

En esta tesis también se entrega una descripción resumida de los principales elementos que conforman las carreteras, de las fallas más importantes que los afectan y de las causas que más comúnmente las originan.

Es por ello que la tesis que se presenta , desarrolla el tema sobre uno de estos pavimentos, el cual se refiere a una evaluación de vida útil de un pavimento flexible sobre empedrado lo cual se va realizar un conjunto de operaciones y métodos y así analizar los grados de deterioro y estado de la misma.

1.2 JUSTIFICACION

Como ya es de conocimiento hace muchos años atrás en el desarrollo de la ciudad de Tarija se realizaron empedrados en diferentes barrios, mismos que con el pasar del tiempo fueron pavimentados por las autoridades pero se desconoce la evaluación de los mismos y su grado de deterioro, actualmente la ejecución de estos pavimentos lo realizan con una sub rasante que vendría a ser el terreno del lugar compactado , una capa de piedra y por encima de esta una carpeta de rodadura , este método de ejecución se ha mantenido hasta la actualidad.

Por lo cual en la actualidad en la ciudad de Tarija no se cuenta con una evaluación de la vida útil de pavimento flexible sobre empedrado, considerando el grado de deterioro,

estado de la vía en función al tiempo y así poder determinar cuál es la intervención oportuna que se debe dar a ese pavimento, con el afán de evitar mayores deterioros y costos en el mismo.

1.3 DISEÑO TEÓRICO

1.3.1 Planteamiento del problema

1.3.1.1 Situación problemática

En los últimos años en todo el país se ha tenido un importante avance al incremento de pavimentos flexibles sobre empedrado tanto en el área urbana y peri urbanas de la ciudad de Tarija.

Consecuente con ese incremento de pavimentos es necesario cada vez más el análisis del comportamiento de estos pavimentos flexibles sobre empedrado con respecto al grado de deterioro en función al tiempo, tipo de fallas y costo del mismo, de manera que esté garantizado su durabilidad.

Los pavimentos flexibles sobre empedrado de las áreas peri urbanas están permanentemente sometidos a fallas superficiales, para estimar cuáles son esas fallas y es necesario su evaluación, lamentablemente su análisis matemático es complicado y poco usual, basándose continuamente en el empirismo y la experiencia de campo.

1.3.2 Problema

¿Es posible evaluar las condiciones superficiales de un pavimento flexible sobre empedrado a través de la aplicación de los métodos convencionales de evaluación de pavimentos flexibles, que nos permitan hacer una comparación de pavimentos en función al estado y grado de deterioro que se encuentran en función al tiempo, aplicado en zonas peri urbanas de la ciudad de Tarija?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Evaluar el tiempo de vida útil de pavimentos flexibles sobre el empedrado, mediante la aplicación de métodos convencionales que permitan determinar el estado superficial de calles, aplicados a las zonas peri urbana de la ciudad de Tarija.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información teórica sobre pavimentos flexibles.
- Ubicar calles de zonas peri urbanas de la ciudad de Tarija que fueron asfaltadas sobre empedrado.
- Determinar las condiciones de estado superficial de las calles en estudio.
- Determinar según el IRI y PCI el estado superficial de las calles, en función al tiempo que tienen de servicio.
- Determinar el volumen de tráfico de las calles en estudio.
- Establecer conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos del tramo en estudio.

1.5 HIPÓTESIS

Si aplicamos métodos convencionales de evaluación de pavimentos flexibles, entonces podremos evaluar el estado del pavimento flexible sobre empedrado de manera superficial y evaluar su comportamiento dentro de su vida útil en vías periurbanas de la ciudad de Tarija.

1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.6.1 Variable dependiente

Estado superficial del pavimento flexible sobre empedrado

1.6.2 Variable independiente

Pavimento flexible sobre empedrado

1.6.3 Conceptualización y operacionalización de variables

Tabla 1.6:1 Conceptualización y operacionalización de variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
Variable dependiente Estado superficial del pavimento flexible sobre empedrado	Es evaluar en qué condiciones se encuentra la carpeta de rodadura que fue construida sobre una capa empedrada.	Calles peri urbanas de Tarija	Clasificación del estado superficial de la calle	Ensayo de PCI, IFI, IRI, macha de arena y péndulo británico
		Calles antiguas y nuevas	Los años que tienen desde su construcción	Vida útil

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.6:2 Conceptualización y operacionalización de variables independiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción
Variable independiente Pavimento flexible sobre empedrado	Es una carpeta asfáltica que fue construida sobre un camino empedrado en una rasante estabilizada.	Evaluación superficial	Estado de la carretera	Rango de calificación (0-100)
			IRI (Rugosidad de la carretera)	Bueno, regular, malo, muy malo
			Micro textura	Malo(deslizamiento del vehículo) regular, bueno, Malo (desgaste de los neumáticos)
			Macro textura	Calificación; Muy fina, fina, media, gruesa, muy gruesa
			IFI (fricción y textura)	Velocidad máxima segura

Fuente: Elaboración propia

1.7 DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1 Tipo de diseño de investigación

Considerando que el procedimiento de la presente tesis es evaluar de manera superficial del asfaltado de calles sobre empedrados de las zonas peri urbanas de la ciudad de Tarija con diferentes métodos convencionales y luego comparar los resultados obtenidos entre cada calle según su año de construcción.

Para el presente proyecto de diseño de investigación será de tipo de investigación descriptivo. Ya que se usará para pronosticar los resultados esperados mediante la realización de los ensayos.

1.7.1.1 Unidad de estudio

Consideramos como unidad de estudio las calles periurbanas de la ciudad de Tarija para la evaluación de Fallas Superficiales del Pavimento a objeto de establecer indicadores de estado de un pavimento sobre empedrado.

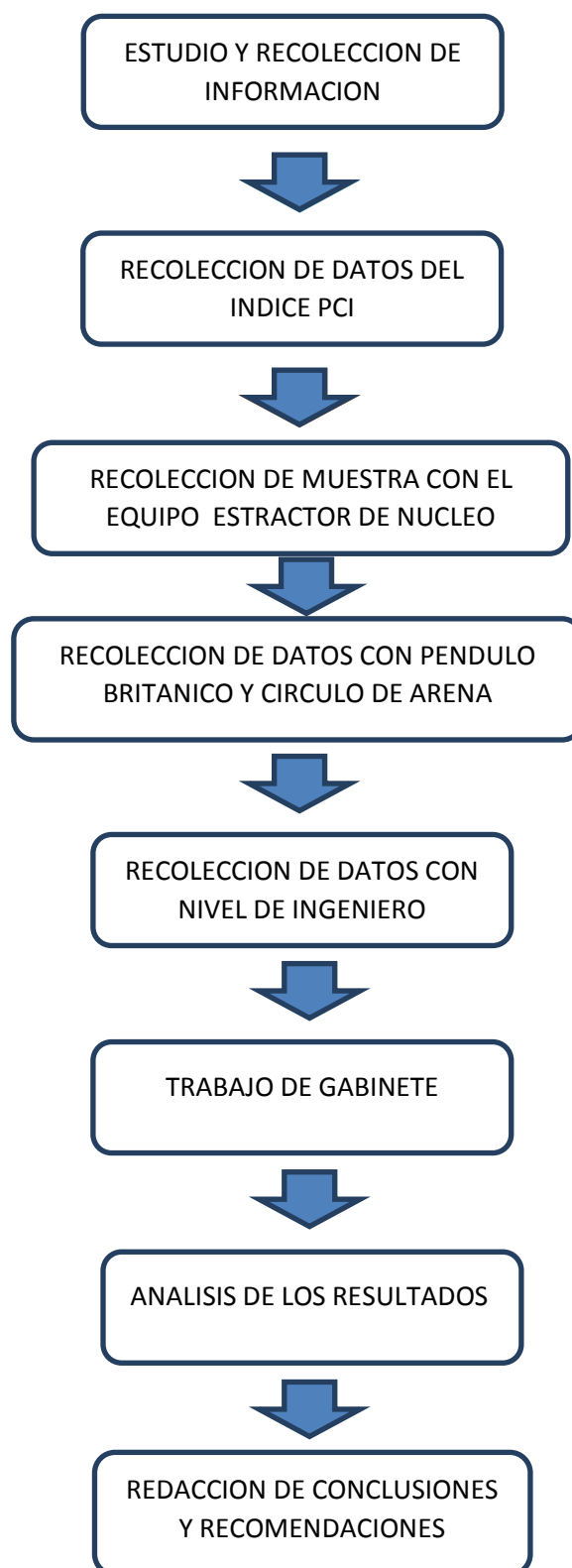
1.7.1.2 Población

Para la presente investigación la población está dada por todas las calles de zonas peri urbana de la ciudad de Tarija que fueron asfaltadas con pavimento flexible sobre empedrados.

1.7.1.3 Muestra

Una unidad de muestra es convenientemente definida por una porción de un pavimento de sección elegida solamente para la inspección del pavimento. De acuerdo al tipo de pavimento que cuenta la vía a evaluar se verán elegidas 30 calles de zonas peri urbanas de la ciudad de Tarija.

1.7.2 METODOLOGIA



1.7.3 Medios

Imagen 1.7:1 Flexómetro de 8 m



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1.7:2 Cinta métrica de 50 m



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.7:1 Planillas para método PCI

Nombre de la vía: Ejecutor:		Sección: Fecha:		Unidad de muestra: Área:						
1. Piel de cocodrillo		6. Depresión		11. Parches y cortes util		16. Fisura parabólica o por deslizamiento				
2. Exudación		7. Fisura de borde		12. Agregado pulido		17. Hinchamiento				
3. Fisuras en bloque		8. Fisura de reflexión de junta		13. Baches		18. Peladura por interperismo y desprendimiento de agregados				
4. Abult. y hund.		9. Deseñivel carril-berma		14. Ahuellamiento						
5. Corrugación		10. Fisuras long. y transv.		15. Desplazamiento						
Falla	Severidad	Cantidad						Total	Densidad	Valor deducido

Fuente: Elaboración propia

Imagen 1.7:3 Péndulo británico (IFI)



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1.7:4 Ensayo mancha de arena



Fuente: Elaboración propia

Imagen 1.7:5 Estación total (IRI)



Fuente: Elaboración propia

1.8 ALCANCE

Mediante la presente investigación se pretende realizar la evaluación superficial del estado de las calles asfaltadas sobre empedrado mediante los métodos convencionales de medición IRI y PCI que nos indicaran el estado de la calle. Como complemento para la evaluación se realizara la macro y micro textura de las calles asfaltadas sobre empedrado.

Evaluar calles asfaltadas sobre empedrado de diferentes años de construcción que tengan cinco, diez, quince o más años de servicio, para poder ver su comportamiento según los años de servicio que ya tengan y buscar que estas calles sean de las zonas peri urbanas de la ciudad de Tarija.

Es importante explicar que el presente proyecto no busca calcular o estimar el tiempo de vida útil de los pavimentos asfaltados sobre empedrado, sino más bien se quiere ver en qué estado se encuentra la calle según la edad que tenga desde que se construyó.

Siendo que se usara diferentes métodos lo que se quiere ver es si existe o no relación entre los diferentes resultados que se obtendrá.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CONSTRUIDOS SOBRE EMPEDRADO

2.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE

También llamado pavimento asfáltico, el pavimento flexible está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle. Luego, debajo de la carpeta, se encuentran la base granular y la capa de subbase, destinadas a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Finalmente está la subrasante que sirve de soporte a las capas antes mencionadas.

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

Gráfico 2.1:1 Estructura del pavimentó flexible



Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible

2.1.1.1 La sub-base granular

Función económica

Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o

menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.

Capa de transición

La sub base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.

Disminución de las deformaciones

Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

Resistencia

La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante.

Drenaje

En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

2.1.1.2 La base granular

Resistencia

La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

Función económica

Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

2.1.1.3 Carpeta de rodadura

Superficie de rodamiento

La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Impermeabilidad

Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Resistencia

Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

2.1.2 Características de un Pavimento

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

Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tráfico.

Resistir ante los agentes del intemperismo.

Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto 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, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios en función a las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de diseño.

Debe ser durable.

Debe presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.

La sonoridad en el interior del vehículo que afecta al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser moderada.

Debe ser económico.

Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.2 CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

Construcción: El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural

Deterioro imperceptible: El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual esta alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

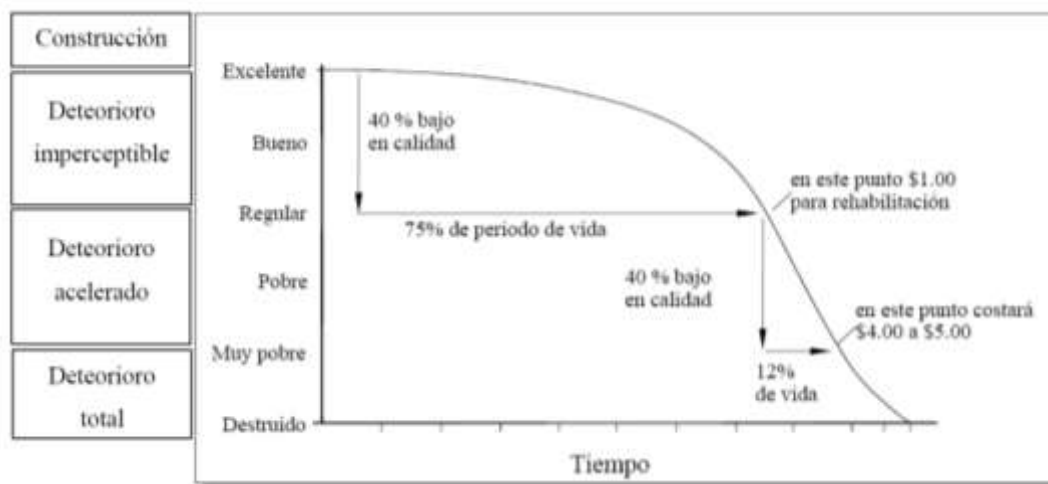
Deterioro acelerado: Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie

de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Deterioro total: Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumenta y la vía se hace intransitable para autos.

Según lo descrito líneas arriba los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las solicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la siguiente figura se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

Gráfico 2.2:1 Ciclo de vida de los pavimentos

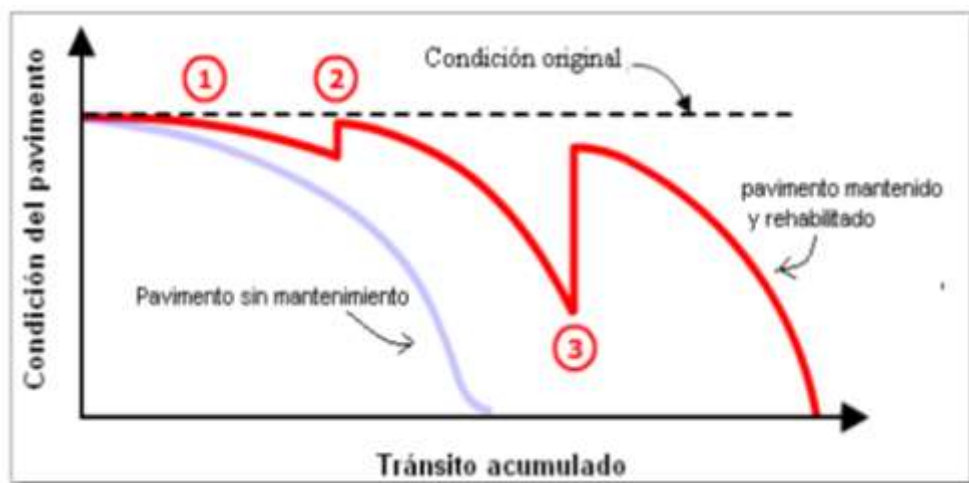


Fuente: Sánchez 2012

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento. Asimismo el ciclo de vida de los

pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Gráfico 2.2:2 Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación



Fuente: Sánchez 2012

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por ultimo en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento

En el siguiente punto se desarrollara el tema de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

2.3 EMPEDRADOS EN BOLIVIA, ECUADOR Y PERÚ

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

Estos sistemas constructivos emplean una gran cantidad de mano de obra, especialmente no calificada, lo que garantiza el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes, quienes son contratados como parte de las cuadrillas de construcción, con la consecuente transferencia de tecnología y conocimiento, así como el mejoramiento de los niveles de ingreso por las remuneraciones que reciben.

Las redes viales del Perú, Bolivia y Ecuador, especialmente de tercer orden y de caminos vecinales, poseen un elevado número de caminos empedrados, estimándose que en estos 3 países existen 4865 km de vías con esta clase de capa de rodadura.

El Ecuador es el país que más empedrados, llegando a un total de 3415 km¹, aproximadamente el 8% de la red vial, siguiéndole Bolivia con 1250 km y Perú con 200 km.

En el Ecuador es donde existe la mayor experiencia de caminos empedrados, aproximadamente un 8% del total de la red vial nacional; el Ministerio de Obras

Públicas ha establecido una normativa sobre la construcción de empedrados, a través de las Especificaciones para la Construcción de Caminos y Puentes MOP 001-F 2002, en el numeral 405-1 “Empedrados”. Debido a que el Ministerio de Obras Públicas no dispone de normativa para ejecutar cunetas empedradas, la Unidad de Caminos

Vecinales, perteneciente a este Ministerio, ha establecido la especificación 405-1 UCV para ejecutar este trabajo.

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

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

Muchos Gobiernos Seccionales y Municipales de los países Andinos priorizan en sus planes de inversión para el desarrollo de la infraestructura vial los caminos empedrados.

2.3.1 Empedrado

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

Esta superficie, al estar constituida de cantos rodados o piedra partida, debe cumplir condiciones mínimas que garanticen la eficiencia del empedrado.

2.3.1.1 Especificaciones técnicas de construcción

La secuencia constructiva de un empedrado, implica considerar algunas actividades claves que deben aplicarse. Así, para la construcción de un empedrado, se consideran como rubros los siguientes:

Explotación de material

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

Si el procedimiento de explotación se realiza mecánicamente, el equipo necesario se constituirá por una cargadora frontal, excavadora o retroexcavadora, volqueta de al menos 6 m³, zaranda con paso máximo de 15 cm, y zaranda con paso máximo de 8 cm. En caso de que la explotación sea manual se requerirá exclusivamente una retroexcavadora o cargadora frontal para efectuar la carga en la volqueta.

Imagen 2.3:1 Explotación con maquinaria y explotación manual



Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

Transporte de material

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

Cuando la distancia de la mina al centro de gravedad del camino en construcción sea inferior a 200 metros, se procurará realizar un transporte manual mediante el empleo de carreterillas y con la participación de la comunidad; si el transporte fuese menor al señalado, el material clasificado será transportado en volquetes hasta el proyecto, y se distribuirá de tal manera que la distancia entre cada montón de piedra permita una correcta utilización del material.

Imagen 2.3:2 Transporte y Acopio de Material en el Proyecto



Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

Acabado de obra básica (preparación de sub-rasante)

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

El equipo mínimo deberá constar de una motoniveladora, un rodillo vibratorio liso de al menos 10 toneladas, y un camión cisterna para hidratación, acompañados por sus respectivos ayudantes de maquinaria.

2.3.1.2 Construcción de un Empedrado

Este trabajo consistirá en construir una superficie de rodadura con una capa de cantos rodados o de piedra partida. Esta superficie se la elaborará de acuerdo a los requerimientos de los documentos y las instrucciones del fiscalizador.

El empedrado se realizará con cantos rodados o con piedra partida (triturada), en concordancia con lo establecido en los documentos contractuales y con la disponibilidad de los mismos.

La piedra partida o canto rodado será colocada a mano, para lo cual requiere de un martillo o combo de 2 kg, que servirá para hincar las piedras. Adicionalmente, una vez terminada la capa de empedrado, se deberá compactar la piedra mediante el paso sin vibración de un rodillo liso de 4 a 8 toneladas. A la subrasante terminada y compactada, se la disgregará en un espesor de 2 cm aproximadamente, que servirá como cama de apoyo para la colocación de la piedra; este trabajo se efectuará con herramientas manuales, esto es picos y rastrillos.

Imagen 2.3:3 Disgregación de Subrasante



Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

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

Imagen 2.3:4 Colocación de Maestras o cordones maestros y empedrado



Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

Imagen 2.3:5 Terminado del empedrado



Fuente: Manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

2.4 PAVIMENTO FLEXIBLE SOBRE EMPEDRADO

Los pavimentos flexibles sobre empedrado ha crecido considerablemente en las zonas urbanas y peri urbanas de la ciudad de Tarija, lo cual dicha estructura se caracteriza por tener una capa sub rasante una capa de piedra que actúa como una capa base y una carpeta de rodadura de pavimento flexible, este tipo de estructura sale más económico y presenta gran durabilidad y resistencia para el usuario.

Habitualmente un pavimento flexible sobre empedrado está compuesto de las siguientes capas: una sub rasante, una capa o cama de arena ripiosa, una capa de piedra estaquilla y maestra y finalmente la capa de rodadura formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y cemento asfáltico.

Gráfico 2.4:1 Estructura de un pavimento flexible sobre empedrado



Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Pavimentado

Luego de realizado el empedrado de la calzada y aun con el propósito de seguir mejorando las condiciones de transitabilidad de la vía y calidad de vida de las personas que viven y transitan por la misma, se procede a realizar el pavimentado de la vía para lo cual se hace el tendido de una carpeta asfáltica.

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

Una carpeta asfáltica también llamada capa de rodadura, es la capa que soporta directamente las solicitudes del tráfico.

Para una mejor caracterización de la descripción del proceso que se sigue para el pavimentado se dividirá este en 4 diferentes partes para lograr una mejor comprensión de este proceso. Estos son los pasos que se sigue para pavimentar una calle antes empedrada:

- Imprimación o riego asfáltico
- Mezcla en plata o en caliente
- Transporte y extendido del material
- Compactación
- Imprimación o riego asfáltico

Para la realización de la imprimación o riego asfáltico primeramente se tiene que verificar que el empedrado se encuentre uniforme, o sea en condiciones ópticas de transitabilidad además que para el pavimentado es un requisito muy importante que la calle tenga cordones en ambos lados de la calzada.

Después de la verificación del estado del empedrado de la calzada se tiene que hacer una limpieza total de la misma, eliminando las impurezas como ser limo, hierbas y otras para luego realizar la imprimación o riego asfáltico.

Para realizar la imprimación o riego asfáltico se utiliza una mezcla de cemento asfáltico diluido con querosén que es denominado emulsión MC (curado medio), o también puede utilizarse una mezcla de cemento asfáltico con gasolina llamado RC (curado rápido), cuando la imprimación o riego asfáltico se hace con la emulsión MC se tiene que esperar 72 horas para realizar el asfalto, pero cuando se utiliza la emulsión RC se puede hacer el pavimento luego de 1 horas, esta emulsión llamada emulsión RC (curado rápido) se usa cuando hay razones de costo y tiempo, cuando la zona a pavimentar son varias calles y no se puede estar yendo de un lugar a otro por las razones que ya se indicó antes.

La mezcla para la emulsión de curado medio o curado rápido se lo hace a razón de 1 litro de gasolina o querosén para un metro cuadrado de zona a pavimentar.

2.4.2 Mezcla en planta o en caliente

Luego de realizar la imprimación o riego asfáltico se procede a hacer el control en la planta para preparar la mezcla asfáltica suelta.

La dosificación que se usa para la mezcla asfáltica esta estandarizada y se hace a razón de 25% de grava de entre 3/4 de pulgada hasta 3/8 de pulgada, 35% de gravilla de entre 3/8 de pulgada hasta N° 4 y 45% de arena de entre N°4 hasta N°200 retenido.

La planta consta de tres silos (depósitos cónicos) que tienen su cinta transportadora mediante la cual el material granular es llevado al “tambor” donde está para su secado. El “tambor de secado” funciona con gas natural, el sentido de las llantas de este es el mismo sentido que tiene la provisión de los áridos teniendo paletas en el interior que sirven para

el mezclado de los materiales pétreos, después de este proceso el material pasa a otra cámara donde se mezcla con el cemento asfáltico el cual es inyectado a presión.

Antes de que el cemento asfáltico sea mezclado con el material pétreo pasa por un proceso de calentamiento donde primero es colocado en un depósito calentado con quemadores que funcionan con gas natural a 150° C el cual al llegar a esta temperatura es recién mezclado con los áridos.

Para terminar el proceso de mezcla en planta o en caliente una vez mezclado el cemento asfáltico con el material pétreo, mediante una cinta transportadora la mezcla es llevada a un silo (depósito cónico) elevado para esperar el cargado a las volquetas.

2.4.3 Transporte y extendido del material

Una vez que la mezclas encuentra en el silo (depósito cónico) elevado es cargada a volquetas que se encargan de transportar el material al lugar de la obra.

Las volquetas vacían la mezcla en la terminadora la cual tiene un depósito de entre dos a tres cubos de capacidad. Esta operación la podemos observar en la fotografía

La máquina terminadora cuenta con unas cadenas las cuales sirven para transportar el material desde el depósito hasta la parte posterior de esta, en esta parte de la terminadora se tiene una plancha vibro-compactadora la cual es calentada a gas y un eje sinfín para la distribución del material dependiendo del ancho de la calzada se puede ajustar el tamaño del eje sinfín de entre 2.5 metros hasta 3.5 metros, pero lo que se quiere es trabajar en dos franjas para mayor facilidad de esta manera se denomina con el proceso del extendido del material.

2.4.4 Compactación

Luego del que el material ha sido extendido por la máquina terminadora se procede al verificado de la textura del asfalto, el cual se hace a simple vista.

Si la textura del asfalto es buena se pasa a realizar la compactación per si se nota que dicha textura esta algo rugosa o como comúnmente se dice áspera se le hecha material fino que

sería una mezcla de arena con cemento asfáltico, entonces recién se pasa el rodillo liso vibro-compactador que pesa más o menos 11000 kilogramos (11 Tn), una vez hecha las pasadas respectivas con el rodillo liso vibro-compactador se vuelve a verificar la textura del asfalto y si este aun presenta deficiencia se vuelve a repetir el proceso, caso contrario se vuelve a realizar las pasadas, pero, ahora con el rodillo neumático.

El rodillo neumático pesa cerca de los 13000 kilogramos (13Tn), en el centro cuenta con un deposito el cual se llena con agua o algún otro líquido, este depósito tiene el único propósito de proporcionarle un peso apropiado al equipo, en la parte de adelante tiene otro depósito de agua que sirve únicamente para enfriar y limpiar los neumáticos mientras el equipo está funcionando, así de esta manera se evita que el asfalto se levante y se pegue a las llantas ya que aún se encuentra con una elevada temperatura.

Las pasadas con los rodillos sobre el asfaltado se deberían hacer de acuerdo a norma, pero, en la práctica esto se respeta, sino que se hace de 5 a 7 pasadas el rodillo liso y de 4 a 6 pasadas con el rodillo neumático.

2.5 EVALUACION DEL PAVIMENTO

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil. La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima. Asimismo con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. Por último la evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

Es resumen la evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas, ahorrando costos, para cumplir objetivos de serviciabilidad.

Existen diferentes tipos y métodos de evaluación de pavimentos. En muchos casos los resultados de varios ensayos pueden compararse entre sí con el objeto de confirmar las razones del deterioro o de la falla y, de esta manera, entender mejor el comportamiento del mismo.

2.5.1 Evaluación estructural

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta y realizar ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizarse las tareas de rehabilitación y mejoramiento. Los trabajos suministran información adicional como los espesores de las capas conformantes, contenidos de humedad, posible causa del deterioro de la capa, densidad de cada capa y la capacidad de soporte en el material subrasante.

Por otro lado se pueden realizar perforaciones con la ayuda de equipos de calado, saca muestras; esta alternativa, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad “in situ” por cuestiones de espacio.

2.5.2 Evaluación superficial

Se entiende por evaluación superficial o funcional, aquella evaluación realizada en una vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.

Existen diferentes métodos para la evaluación superficial de los pavimentos. Estos métodos son sencillos de aplicar y no requieren de equipos experimentados. La evaluación visual que se realiza, es una de las herramientas más importantes en la aplicación de estos

métodos, y forma parte esencial de toda la investigación. La evaluación se realiza generalmente en dos etapas, una inicial y otra detallada. (Gutiérrez, 1994)

La evaluación inicial se realiza con el fin de hacer una inspección general del proyecto. Esta tarea se realizara recorriendo el camino ya sea mediante un desplazamiento personal o por vehículo para determinar la serviciabilidad que está brindando el pavimento, finalmente será abarcando toda el tramo de vía a evaluar.

2.6 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

La evaluación superficial del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía.

La evaluación detallada consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella y realizando la recopilación de datos necesarios, en donde es necesario describir a todo tipos de falla encontrados en función a su severidad, frecuencia y ubicación, así como otra información que se considere necesaria.

La evaluación superficial debe ser definida de manera de periódica, con el fin de determinar la naturaleza y extensión de los deterioros en el pavimento; ya que tales datos son extremadamente importantes debido al impacto directo que tienen sobre el comportamiento del pavimento existente y sobre aquellas capas de refuerzo posteriores.

Este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que requiere la superficie del pavimento antes de colocar la sobrecapa de refuerzo.

La evaluación superficial comprende los siguientes pasos: primero, identificar las fallas y las posibles causas de las mismas. Después, se ubican las fallas en una hoja de evaluación de acuerdo al método a aplicar. Luego, se determina el grado de severidad y la extensión de las fallas Seguidamente, se cuantifica en gabinete la información recogida en el campo.

Inmediatamente, se emite un informe con el análisis del tramo evaluado. Finalmente, se determinan los tratamientos y reparaciones adecuados. (Gutierrez, 1994)

2.7 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.7.1 Índice de Condición de Pavimento (PCI)

El método PCI (Pavement Condition Index) 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.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

Índice de condición del pavimento (PCI). Es un grado numérico de la condición del pavimento. Varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Grado de la condición del pavimento. Es una descripción cualitativa de la condición del pavimento, como una función del valor de PCI que varía entre “fallado” hasta “excelente”, como se aprecia en la tabla.

Tabla 2.7:1 Rangos de clasificación del PCI

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

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD y CANTIDAD de cada daño presenta. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie.

La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima. Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por las cargas de tráfico, factores ambientales, deficiencias constructivas, o una combinación de estas causas.

2.7.2 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin. Las Figuras ilustran los formatos para la inspección de pavimentos asfálticos y de concreto, respectivamente. Las figuras son

Carreteras con capa de rodadura en losas de concreto de cemento Pórtland y losas con longitud inferior a 7,60 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 20 ± 8 losas.

Se recomienda tomar el valor medio de los rangos y en ningún caso definir unidades por fuera de aquellos. Para cada pavimento inspeccionado se sugiere la elaboración de esquemas que muestren el tamaño y la localización de las unidades ya que servirá para referencia futura.

2.7.4 Determinación de las unidades de muestreo para evaluación

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

En la “Evaluación de un proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 2, la cual produce un estimado del $PCI \pm 5$ del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

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

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

e = Error admisible en el estimado del PCI de la sección ($e = \pm 5\%$).

σ = Desviación estándar del PCI entre unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar (s) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de

la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ($n < 5$), todas las unidades deberán evaluarse.

2.7.5 Selección de las unidades de muestreo para inspección

Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas esté definido, calcular el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección seleccionando la primera muestra al azar. El intervalo del espaciamiento “ i ” de las unidades a ser muestreadas debe ser calculado mediante la siguiente formula redondeando el resultado al próximo número entero menor:

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 3:

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

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 $i = 3$, la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S) , $(S + 1)$, $(S + 2)$, 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 3, las subsiguientes unidades de muestreo a inspeccionar serían 5, 8, 11, 14, etc.

Sin embargo, si se requieren cantidades de daño exactas para pliegos de licitación (rehabilitación), todas y cada una de las unidades de muestreo deberán ser inspeccionadas.

2.7.6 Selección de las unidades de muestreo adicionales

Una desventaja del método aleatorio es que en algunos casos excluye de la evaluación algunas unidades de muestreo en muy mal estado, también puede darse que queden excluidas unidades de muestreo que presenten fallas que se encuentren solo una vez, por ejemplo cruce de rieles. Para evitar este tipo de situación la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como a una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el PCI es ligeramente modificado para evitar la extrapolación las condiciones inusuales en toda la sección.

2.7.7 Procedimiento de evaluación de la condición

El procedimiento varía de acuerdo al tipo de pavimento que se inspeccione, en este caso estudiaremos el procedimiento para pavimentos flexibles. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños del manual de evaluación para obtener un valor de PCI confiable.

La evaluación de condición incluye los siguientes aspectos:

Equipo

Huinchas de 50 m. para medir las longitudes y las áreas de los daños.

Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

Manual de daños del PCI con los formatos correspondientes y en cantidad suficiente para el desarrollo de la actividad.

Procedimiento

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de acuerdo con el manual de daños y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de la medida de los daños.

Seguridad

El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo acompañante y para el personal en la vía.

Metodología para el cálculo del PCI en las unidades de muestreo

El cálculo del PCI debe realizarse con la información obtenida en la inspección de campo. El cálculo puede realizarse de manera manual o computarizada, el cálculo está basado en los valores deducidos de acuerdo a la densidad y severidad de cada falla encontrada.

Etapas 1. Cálculo de los valores deducidos.

Totalizar cada tipo y nivel de severidad de daño y registrarlo como total, el daño puede medirse en área, longitud o por número según el tipo de falla.

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

Determinar el valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante el uso de las curvas denominadas “Valor deducido del daño”.

Etapas 2. Cálculo 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” en lugar del “Valor deducido corregido”, CDV, obtenido en la etapa 3. De lo contrario deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.

Listar los valores deducidos individuales de mayor a menor.

Determinar el número máximo admisible de valores deducidos (m), utilizando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

Dónde:

Mi = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo fracción, para la unidad de muestreo i.

HDVi = Es el mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i.

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

Etapas 3. Calculo del “máximo valor corregido”, CDV

Determinar el número de valores deducidos, q, mayores que 2.0.

Determinar el “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

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

Reducir a 2.0 el menor de los “valores deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repetir las etapas 3.a a 3.c. hasta que q sea igual a 1.

El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso.

Etapas 4. Calcular el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la etapa 3.

2.7.8 Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento

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

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

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

Dónde:

PCIs = PCI de la sección del pavimento.

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

PCIA = PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N = número de unidades de muestreo en la sección.

A = número de unidades de muestreo adicionales.

2.8 CRITERIOS DE INSPECCIÓN

A continuación se detallan algunos criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

Si el agrietamiento tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurren en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.

Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.

El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.

Si una fisura no tiene un mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con diferente nivel de severidad debe ser registrada en forma separada. Sin embargo, si los diferentes niveles de severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.

Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, ésta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.

Se dice que una falla está desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

2.9 FALLAS, NIVELES DE SEVERIDAD Y UNIDAD DE MEDIDA

A continuación se describen los tres niveles de severidad: Low (**L**), Medium (**M**) y High (**H**); correspondiente a cada tipo de falla y que representan los efectos que éstas tienen sobre la calidad del tránsito. Además, se indica la unidad de medida con la que las fallas deben ser evaluadas durante la inspección visual.

1. Piel de cocodrilo

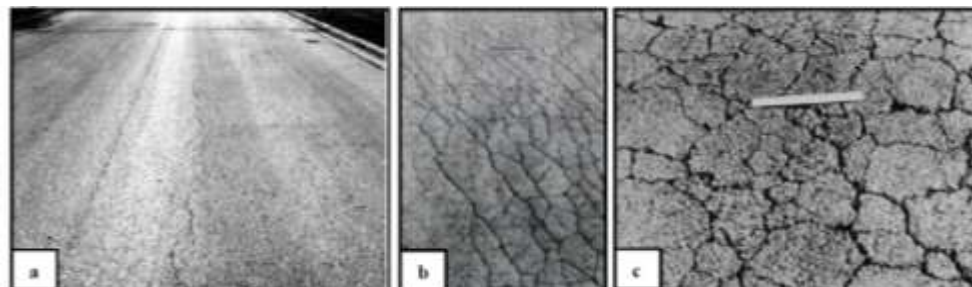
L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas.

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas.

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico.

Unidad de medida – La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla éstas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

Imagen 2.9:1 Piel de cocodrilo de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

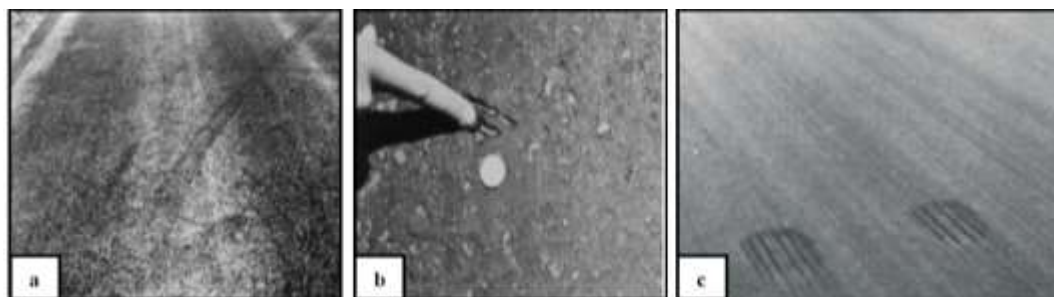
2. Exudación

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos.

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año.

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año.

Imagen 2.9:2 Exudación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrados.

3. Fisuras en bloque

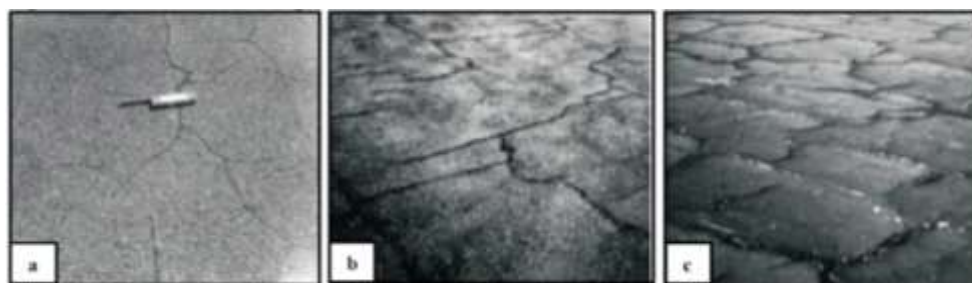
L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad.

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad.

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad.

Unidad de medida – Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un sólo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

Imagen 2.9:3 Fisuras en bloque de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

4. Abultamientos y hundimientos

L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad.

M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad.

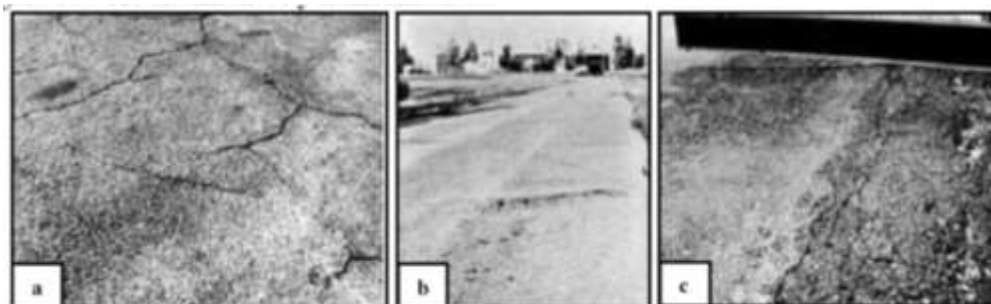
H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo.

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales.

Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

Imagen 2.9:4 Abultamientos y hundimientos de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

5. Corrugación

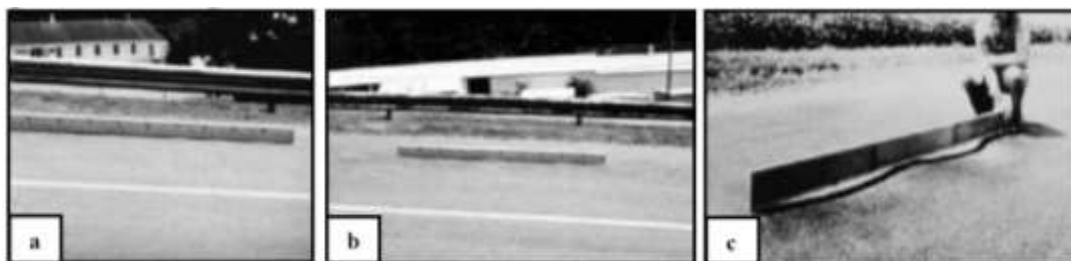
L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad.

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad.

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

Imagen 2.9:5 Corrugación de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

6. Depresión

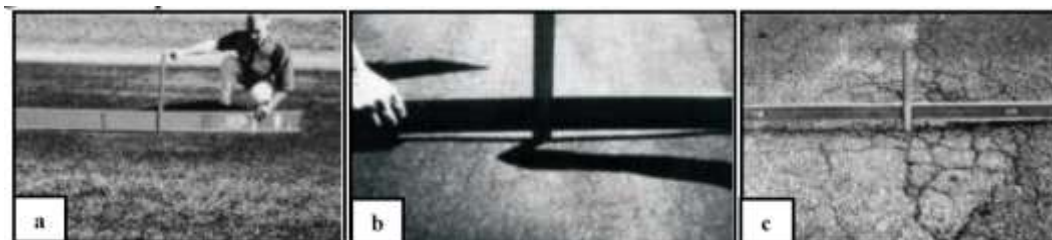
L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm.

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm.

H – La depresión tiene más de 50 mm.

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadrados.

Imagen 2.9:6 Depresión de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

7. Fisura de borde

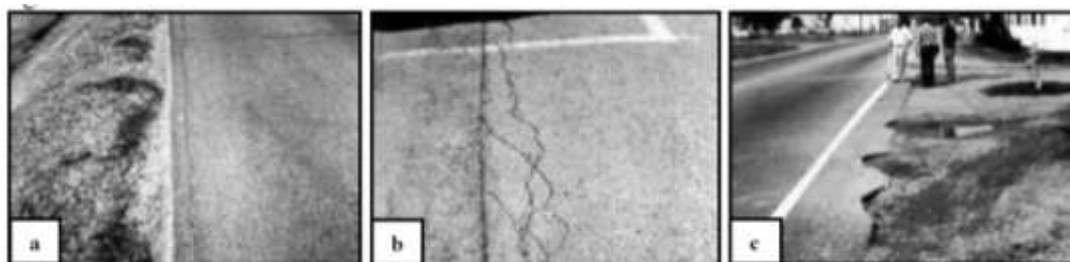
L – Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento.

M – Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde.

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

Imagen 2.9:7 Fisura de borde de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

8. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones).

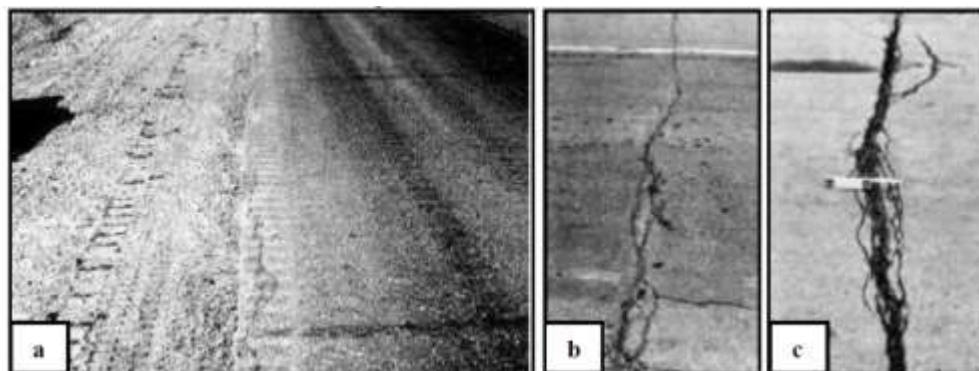
M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado.

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado.

Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

Imagen 2.9:8 Fisura de reflexión de junta de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

9. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm.

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm.

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm.

Unidad de medida – El desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

Imagen 2.9:9 Desnivel carril - berma de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

10. Fisuras longitudinales y transversales

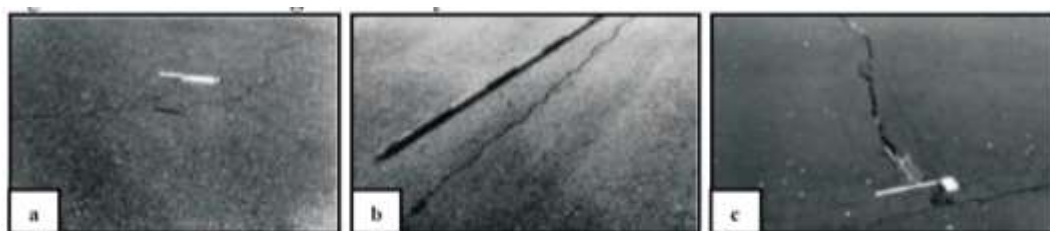
L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones).

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado.

Unidad de medida – Las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

Imagen 2.9:10 Fisuras de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

11. Parches y parches de cortes utilitarios

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad.

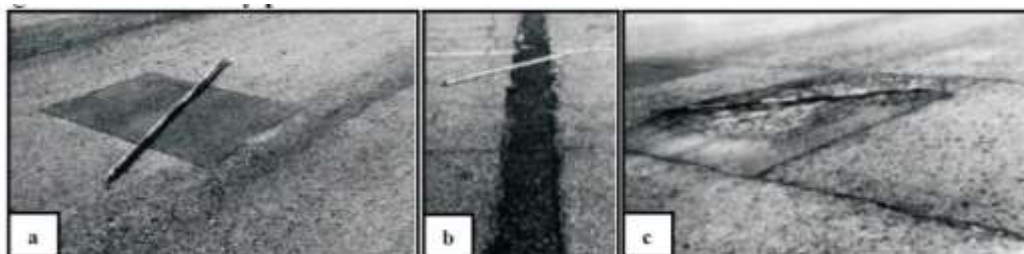
M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad.

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad.

Unidad de medida – Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, éstas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

Imagen 2.9:11 Parches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



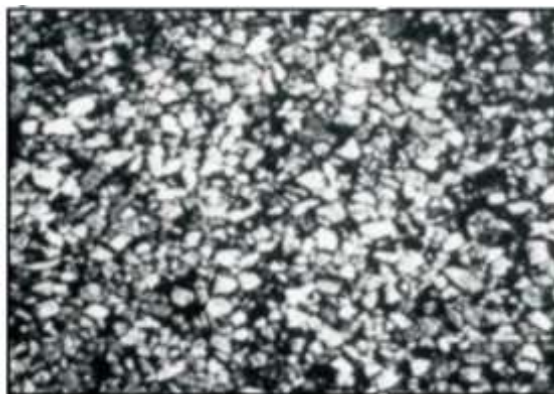
Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

12. Agregado pulido

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto.

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

Imagen 2.9:12 El agregado pulido no tiene niveles de severidad definidos.



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

13. Baches

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro están determinados de acuerdo a la tabla. En la figura. A se puede apreciar un bache de severidad baja.

Tabla 2.9:1 Niveles de severidad para baches de diámetro menor a 750 mm.

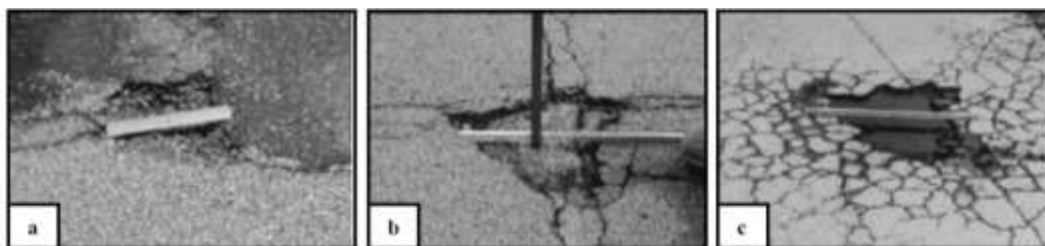
Profundidad máxima del hueco	Diámetros medio (mm)		
	102 a 203 mm	203 a 457 mm	457 a 762 mm
12,7 a 25,4 mm	B	B	M
> 25,4 a 50,8 mm	B	M	A
> 50,8 mm	M	M	A

Fuente: Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03.

Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad.

Unidad de medida – Los baches no son medidos sino contados y registrados por separado de acuerdo a su nivel de severidad bajo, mediano o alto.

Imagen 2.9:13 Baches de niveles de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

14. Ahuellamiento

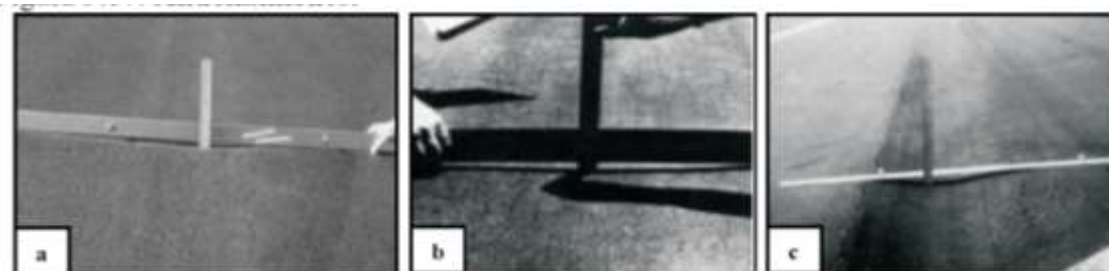
L – La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm.

M – La depresión va entre 13 y 25 mm.

H – La depresión es mayor a 25 mm.

Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

Imagen 2.9:14 Ahuellamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

15. Desplazamiento

L –El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad.

M – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad.

H – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad.

Unidad de medida – Los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado.

Imagen 2.9:15 Desplazamiento de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

16. Fisura parabólica o por deslizamiento

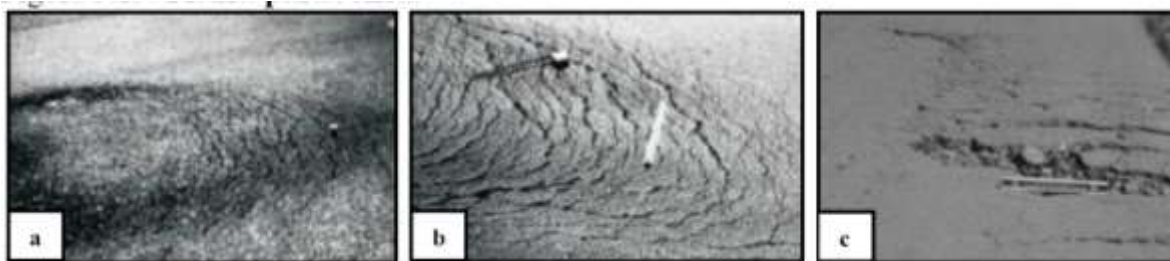
L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas.

Unidad de medida – Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

Imagen 2.9:16 Fisura parabólica de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

17. Hinchamiento

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta.

Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

Imagen 2.9:17 Hinchamiento de alta severidad.



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados

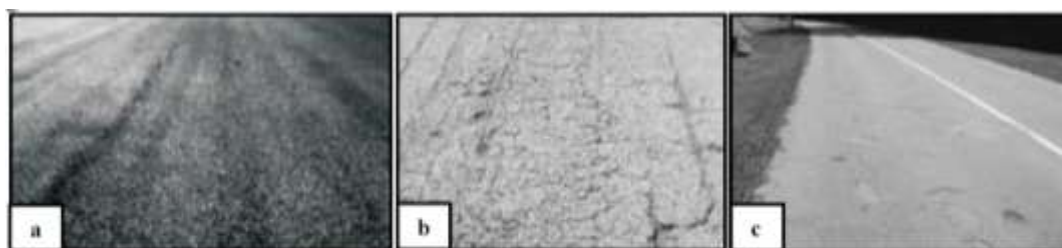
L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda.

M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite, la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda.

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los derrames de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse.

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

Imagen 2.9:18 Peladura de nivel de severidad bajo (a), medio (b) y alto (c).



Fuente: Cálculo del índice de condición del pavimento flexible de Edgar Daniel Rodríguez Velásquez.

2.10 ENSAYOS Y/O EQUIPOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO (SEGURIDAD)

En la actualidad se dispone de varios procedimientos de evaluación de la resistencia al deslizamiento basados en ensayos puntuales o en mediciones continuas. A continuación describen los procedimientos de evaluación de uso generalizado a nivel mundial.

2.10.1 Evaluación Puntual

La textura de la superficie del pavimento. Es el único factor que puede ser controlado por el Ingeniero de pavimentos, ya que el mismo está relacionado con el origen mineralógico de la fuente de agregados (préstamos) y con la composición porcentual de los diferentes agregados seleccionados para la producción de las mezclas a ser empleadas en la capa de rodamiento. La textura se sub-divide en dos elementos:

La Microtextura. Depende de la naturaleza mineralógica de los áridos, de su textura superficial, aspereza y resistencia al pulimento. La longitud de onda (λ) de las irregularidades superficiales originadas por la microtextura oscila entre 0 y 0,5 mm. Y la amplitud (A) ó altura de onda o profundidad, oscila entre 0 y 0,2 mm., aproximadamente.

La microtextura gruesa o áspera aumenta la resistencia al deslizamiento, ya que facilita el rompimiento de la película fina de agua remanente en la superficie, luego que el neumático, por su paso especialmente a bajas velocidades, ha eliminado el exceso de agua

(capa gruesa). La microtextura influye significativamente en el desgaste en los neumáticos y en alguna medida en la generación de ruido en las altas frecuencias del espectro acústico.

Por su parte **la Macrotextura** depende de la composición de la mezcla de agregados y ligante y está definida por el espaciamiento entre las partículas de agregado superficial. La longitud de onda (λ) de las irregularidades superficiales originadas por la macrotextura oscila entre 0,5 y 50 mm. Y la amplitud (A) oscila entre 0,2 y 10 mm., aproximadamente.

La macrotextura favorece la resistencia al deslizamiento a velocidades superiores a 60 Km/hora en el caso de pavimentos mojados.

2.10.2 Determinación del IFI (Índice de fricción internacional)

En el año 1992 la AIPCR (Asociación mundial de carreteras) realizó un experimento cuyo resultado más importante fue el parámetro IFI (Índice de fricción internacional), que es una referencia de aplicación internacional de la fricción y la textura de un pavimento. Este parámetro surge como una respuesta para armonizar la práctica internacional y prevenir errores de interpretación ante la existencia de muchos equipos para la medición de la textura y fricción de pavimentos, cada uno con sus propias escalas de referencia.

El Índice IFI se expresa, como se indicó, en base a un par de valores: uno asociado con la fricción correspondiente a 60 km/hora (F60) y el otro asociado con la macrotextura (Sp), relacionada con la velocidad de deslizamiento del vehículo sobre el pavimento. Dichos valores son expresados entre paréntesis y separados por una coma: (F60, Sp)

$$F(s) = F(60) * e^{(60-s)/Sp}$$

2.10.2.1 Parámetro a determinar: Macrotextura

Medición de la textura por medio de la prueba del círculo de arena

Nombre del Ensayo: Parche o Círculo de Arena (Ensayo ASTM E965).

Descripción:

El ensayo consiste en extender en forma circular sobre la superficie del pavimento un volumen conocido (normalmente 50 cm³) de arena fina de granulometría uniforme o esferas de vidrio (90% en peso pasante por el Tamiz N°60 y retenido en el Tamiz N°80), cubriendo todas las irregularidades de la superficie (rellenando todas las depresiones) quedando enrasada la arena con los “picos” o “proyecciones” de la superficie. Finalmente es medido el diámetro del círculo logrado a fin de evaluar la siguiente expresión:

$$T = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

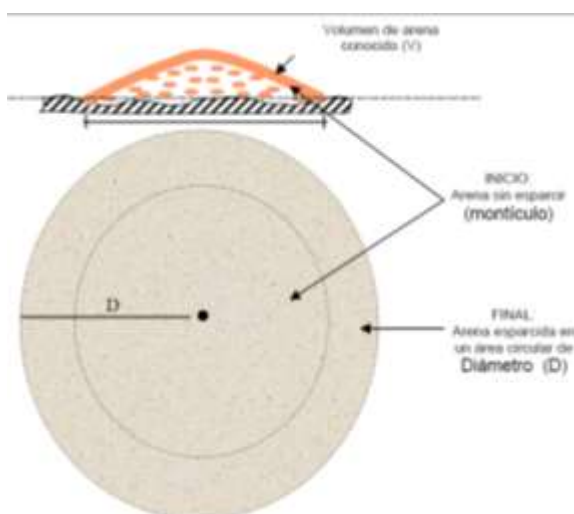
Donde:

T = Macrotextrura superficial (mm.). Profundidad media del marco de textura superficial.

V = Volumen de arena utilizado (mm³).

D = Diámetro medio del círculo de arena (mm).

Imagen 2.10:1 El Ensayo del Parche de Arena proporciona la Profundidad Media de la Textura o Mean Texture Depth (MTD).



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.10:1 Rangos de macro textura para el circulo de arena

País	Macro textura (T) mínima (mm)
Holanda	0,5
Francia y mayoría de países europeos	1
USA-Estado de Michigan	Dureza de los agregados - Escala de Mohs min 5,5

Fuente: Jugo b., a. Carta técnica nº21: pavimento resbaladizo ¿existe una mejor solución? Ministerio de obras públicas. Dirección general de vialidad, división de control de obras división de laboratorio vial. (Agosto 1974). Venezuela.

Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macro textura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. Este método de prueba no intenta proporcionar una calificación completa de las características de la textura superficial.

Los valores del espesor de la macror textura superficial en el pavimento determinados por este método, con el material y procedimientos establecidos aquí, no necesariamente concuerdan o se correlaciona directamente con otras técnicas de medición de textura superficial. Este método también es adecuado para propósitos de investigación y desarrollo, en donde se realizan comparaciones entre superficies de pavimento en la misma evaluación.

Cálculo

Volumen del cilindro – Calcule el volumen interno del cilindro de prueba como sigue:

$$V = \frac{\pi * d^2 * H}{4}$$

Donde:

V = Volumen interno del cilindro, plg³ (mm³),

d = Diámetro del cilindro de prueba, plg (mm), y

H = Altura del cilindro, plg (mm)

Espesor promedio de la macrotextura del pavimento.

Calcule el promedio de la macrotextura de la superficie utilizando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

Donde:

H = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie, plg (mm),

V = Volumen de la muestra, plg³ (mm³), y

d = Diámetro promedio del área cubierta por el material plg, (mm)

2.10.2.2 Medición de la fricción por medio del péndulo inglés

Descripción

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

Imagen 2.10:2 Péndulo británico



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

El método de ensaye se puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

Calculo

El coeficiente de resistencia al deslizamiento es obtenido de la siguiente manera:

$$c.d.r = \frac{\text{Lectura Efectiva}}{100}$$

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor (fig.) a la lectura efectiva. Por ejemplo, si obtenemos una lectura de promedio de 78 y tenemos una temperatura de 30°C, le adicionaremos a 78 el factor de 2 y tendremos 80.

2.10.3 Rangos de fricción

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

Tabla 2.10:2 Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento

Fricción, valor de CDR, adimensional	Calificación
> 0,5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0,51 - 0,6	De regular a bueno
0,61 - 0,8	Bueno
0,81 - 0,9	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Elaboración propia

2.11 ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Definición

El IRI se define como la acumulación del movimiento vertical que sufre la suspensión de una rueda (un cuarto de carro) cuando este recorre la superficie a una velocidad de referencia de 80 km/h. En este sentido, es un índice de comodidad de rodadura, y constituye el parámetro de la vía que percibe el usuario. (Caro Rivera, Fernando; Peña Castro, Germán A., 2012).

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

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, Figura 7), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km. o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/h. Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino.

2.11.1 Escala y características del IRI

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

Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi

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

Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.

Tabla 2.11:1 Valores del IRI

IRI	
Categoría	Rango (m/km)
Bueno	0 - 3,6
Regular	3,6 - 6,4
Malo	6,4 - 10
Muy malo	10 en adelante

Fuente: Ingeniería de pavimentos (ingepav)

La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y los factores climáticos, entre otros.

A nivel de red, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo.

2.11.2 Métodos para la medición de la rugosidad

Clasificación de los métodos

Los diversos métodos para medir la rugosidad que existe en el mundo pueden agruparse, de acuerdo a la clasificación dada por el Banco Mundial, en cuatro clases genéricas, con relación a cuán directa sea la correlación que emplean para relacionar sus medidas con el Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

2.11.2.1 Perfilógrafos

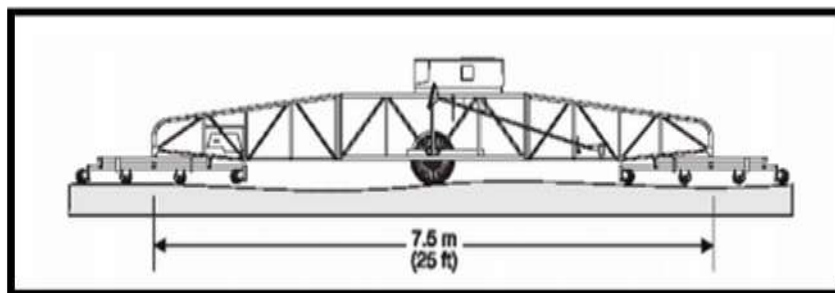
Existen perfilógrafos en distintas marcas, configuraciones y diseños. Debido a su tamaño no son prácticos, su uso más común es el de control de calidad y recepción de obras.

Están conformados por un marco montado sobre ruedas en cuyo centro se ubica una rueda de movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia establecido por el

marco del perfilógrafo, se registra en papel de acuerdo al movimiento de la rueda de movimiento vertical.

Pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6 m. de longitud.

Imagen 2.11:1 Vista lateral del perfilógrafo de California



Fuente: Final report approach to measuring the ride quality of highway bridges

2.11.2.2 Estación total

Definición

Se denomina estación total a un aparato electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz, y cálculo de acimuts y distancias.

Funcionamiento

Vista como un teodolito, una estación total se compone de las mismas partes y funciones. El estacionamiento y virtualización son idénticos, aunque para la estación total se cuenta con niveles electrónicos que facilitan la tarea. Los tres ejes y sus errores asociados también están presentes: el de verticalidad, que con la doble compensación ve reducida su influencia sobre las lecturas horizontales, y los de colimación e inclinación del eje secundario, con el mismo comportamiento que en un teodolito clásico, salvo que el primero puede ser corregido por software, mientras que en el segundo la corrección debe realizarse por métodos mecánicos.

Las lecturas de distancia se realizan mediante una onda electromagnética portadora (generalmente microondas o infrarrojos) con distintas frecuencias que rebota en un prisma ubicado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Este instrumento permite la obtención de coordenadas de puntos respecto a un sistema local o arbitrario, como también a sistemas definidos y materializados. Para la obtención de estas coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador. Las lecturas que se obtienen con este instrumento son las de ángulos verticales, horizontales y distancias. Otra particularidad de este instrumento es la posibilidad de incorporarle datos como coordenadas de puntos, códigos, correcciones de presión y temperatura, etc.

La precisión de las medidas es del orden de la diezmilésima de gradián en ángulos y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usada. Para el óptimo desempeño de las estaciones totales es necesario que el equipo esté calibrado; para ello se debe dar mantenimiento y ajustes mediante el uso de un colimador.

Imagen 2.11:2 Estación total Sokkia



Fuente: Elaboración propia

La obtención de los puntos para la determinación de la condición del pavimento se realizara con el equipo de estación total, en las muestras ya determinadas por el método PCI en intervalo de 50 cm, pero el cálculo del IRI se realizara mediante el programa ProVAL detallando el mismo a continuación.

2.11.3 ProVAL

ProVAL es un software de ingeniería que permite analizar perfiles. Este software fue aprobado por el FHWA (Federal Highway Administration), el programa de desempeño de pavimentos a largo plazo (LTPP) y el departamento de transportes de los Estados Unidos. De igual manera, fue utilizado para demostrar la semejanza que existe entre el IRI calculado (cIRI) proporcionado con el Roadroid y el IRI.

Asimismo, dispone de los filtros necesarios para eliminar los datos muy por encima de la media o innecesarios (low pass y high pass), y el filtro del cuarto de carro, que nos permite simular el movimiento de un automóvil

2.11.3.1 Filtros del ProVAL

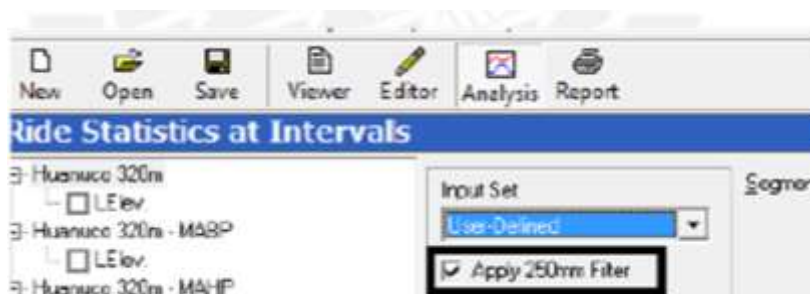
Como se mencionó anteriormente, existen dos filtros que son necesarios para la obtención del IRI. El primero descarta aquellos valores muy por encima de la media y suaviza el perfil, mientras el otro se encarga de simular el movimiento de un automóvil a 80 Km/h

sobre el perfil analizado. Estos filtros en el programa ProVAL son denominados “250mm filter” (primer filtro), y el “IRI filter” (segundo filtro), explicados a detalle a continuación.

Primer filtro

En el Programa ProVAL existe una opción al momento de calcular el IRI que es la aplicación del filtro de 25 cm, la cual se debe de realizar si es que los datos recolectados por el equipo (mayormente perfilómetros) fueron obtenidos en un rango menor a 25 cm (por ejemplo, 5, 10, 15 cm). Si es que las cotas del perfil fueron obtenidas en un intervalo mayor o igual al de 25 cm, ya no es necesario aplicar el “250mm filter”. Asimismo, cabe recalcar el este filtro promedia los valores de las cotas adyacentes en el rango de 25 cm, como lo muestran las ecuaciones 2 y 3.

Imagen 2.11:3 250 mm filter



Fuente: Elaboración propia

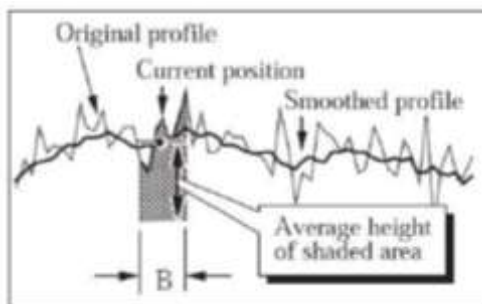
De igual manera, en el programa ProVAL se encuentran en los filtros Low Pass y High Pass. El primero sirve para suavizar las irregularidades que se presentan en el perfil, eliminando de esta manera el efecto de las ondas pequeñas mediante la determinación de una cota que sea igual al promedio de todas las cotas de las irregularidades adyacentes en un rango “B”.

En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento del low pass filter sobre el perfil estudiado.

En la figura se ve un área sombreada y una recta horizontal con un ancho B. Si nos encontramos en cualquier punto de nuestro perfil y nos ubicamos en el perfil suavizado,

la altura de este tiene que ser tal que al multiplicarlo por el ancho B , el área obtenida debe de ser igual al área del perfil original en un intervalo “ B ”, tal como lo muestra la figura.

Figura 42. Filtro low pass



Fuente: Montoya, 2013

El high pass filter funciona de manera parecida al low pass, sin embargo, en este caso el filtro se encarga de eliminar aquellas longitudes de onda que debido a su gran longitud, ya no son perceptibles por el vehículo al momento de desplazarse, por lo que no se toma en cuenta en el cálculo del IRI.

La unión de ambos filtros se conoce como el “Band pass filter”, que restringe ondas menores y mayores a un intervalo escogido.

Cabe recalcar que los métodos de clase 1 captan en sus perfiles ondas con longitudes menores a 1.3 m y mayores a 30 m. Esto no es muy beneficioso al momento de calcular el IRI pues, según el Banco Mundial, valores fuera de este rango (1.3-30 m) no son perceptibles por el vehículo a 80 Km/h.

Los filtros ya mencionados (Low, high y band pass) se encuentran agrupados en los Butterworth y Moving Average filters. Los primeros son filtros de sexto orden, aprobados por un estudio efectuado el año 2004 por el FHWA. Los otros filtros (moving average) están basados en un algoritmo realizado para una vía en ambos sentidos.

Segundo filtro

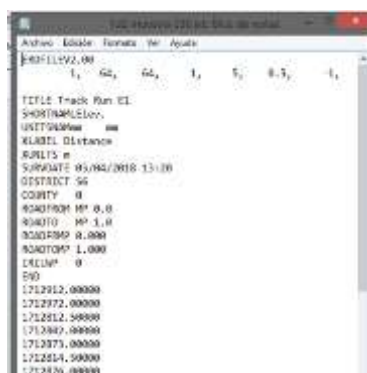
De igual manera existe otro filtro, denominado el IRI filter, el cual sirve para simular el modelo del cuarto de carro. Este se aplica automáticamente al momento de calcular el IRI.

2.11.3.2 Archivos aceptados por el ProVAL

Algunos de los tipos de archivo aceptados por el ProVAL son los de terminación ERD, KjLaw, ppf (profile pavement profile), rsp (Dynatest RSP file), etc. Como se puede observar, la mayoría de las terminaciones indica que los datos aceptados son aquellos recolectados por equipos dinámicos, y algunos del tipo estático, como el face dipstick.

Esto quiere decir que si recolectamos los datos con el uso de la Estación Total, las cotas obtenidas y transcritas al Excel no podrán ser aceptadas por ProVAL, a menos que se realice una modificación. Para ello se tiene que realizar una conversión del archivo excel a un archivo .ERD a partir del programa bloc de notas.

Imagen 2.11:4 Archivo en bloc de notas



Fuente: Elaboración propia

2.11.3.3 Formas de exportación del ProVAL

Este programa puede exportar los resultados de los perfiles analizados en tres formatos: PDF, Excel, y en un archivo de texto. Asimismo, los resultados obtenidos se muestran a cabalidad en un cuadro o en una gráfica proporcionada por el programa.

2.12 VOLÚMENES DE TRANSITO

Se denomina volumen de transito al número de unidades de transito que pasan por un punto dado en un periodo específico de tiempo.

2.12.1 Unidades y definiciones

Unidades

Las unidades de tránsito son los vehículos de todas clases: automóviles, ómnibus, camiones, bicicletas, motocicletas, etc., y los peatones. Sin embargo a fin de emplear la nomenclatura que es habitual, entenderemos que el “volumen” a secas se compone solamente de vehículos y cuando se trate de peatones lo indicaremos explícitamente. Para abreviar la palabra vehículo o vehículos emplearemos el símbolo “v”, y usaremos “p” para peatón o peatones.

El volumen de tránsito se expresa generalmente en número de vehículos por unidad de tiempo que es generalmente el día o la hora. En las determinaciones de volúmenes pueden considerarse todos los vehículos que circulan por una vía, en un solo sentido o en ambos, o bajen, los que van por un solo carril.

Tránsito promedio (TPD)

El TPD es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre 1 a 365 días. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

Tránsito promedio diario anual (TPDA).-

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

Tránsito promedio diario mensual (TPDM).-

$$TPDM = \frac{TA}{30}$$

Tránsito promedio diario semanal (TPDS).-

$$TPDS = \frac{TA}{7}$$

2.12.1.1 Volúmenes horarios

Son los que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo entre el valor de ese periodo de tiempo en horas.

Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular.

El volumen de tránsito horario es la cantidad de movilidades que pasan en una hora, dependiendo del tipo de tráfico para su determinación se deben realizar aforos los cuales indicaran la cantidad de vehículos que pasan en una determinada hora.

CAPITULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 SELECCIÓN DE LAS CALLES PARA EL ESTUDIO DE SU EVALUACIÓN SUPERFICIAL

Para realizar la evaluación superficial de las calles asfaltadas sobre empedrado, se eligió calles de zonas peri urbana de la ciudad de Tarija. La alcaldía municipal de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija ha optado como una medida económica y de fácil elaboración asfaltar calles empedradas. Primero se empiedran las calles de los barrios según su necesidad y se deja la calle empedrada durante unos 3 a 5 años esto con la finalidad que sea más transitada y se estabilice su rasante, al pasar los años, se procede a hacer limpieza de la calle para luego realizar el asfaltado.

3.1.1 Criterios de selección de muestreo

Como criterio fundamental de la selección de las calles, se realizó por muestreo por conveniencia. Ya que se escogió calles de fácil acceso, calles que tenían más de 15 años de servicio, calles que fueron construidas entre el año 2012 al 2016.

3.1.2 Ubicación de las calles en estudio

Tabla 3.1:1 Calles de zonas peri urbana de Tarija

Nombre de calles	Coordenadas			
	Coordenadas UTM		Coordenadas geográficas	
	Coordenada " X "	Coordenada "Y"	Longitud (O)	Latitud (S)
26 de mayo	320824,000	7619746,000	64°43'47,46"	21°30'57,77"
19 de septiembre	321065,000	7619910,000	64°43'39,02"	21°30'52,53"
General trigo	321105,000	7619754,000	64°43'37,69"	21°30'57,61"
Daniel campos	321188,000	7619704,000	64°43'34,83"	21°30'59,27"
Suipacha	321367,000	7619603,000	64°43'28,65"	21°31'2,62"
Municipal	320948,000	7619253,000	64°43'43,34"	21°31'13,84"
Gran Chaco	322016,000	7617913,000	64°43'6,74"	21°31'57,79"
Aniceto Arce	322031,000	7617748,000	64°43'6,28"	21°32'3,16"
Julio Delio Echazu	321934,000	7617732,000	64°43'9,66"	21°32'3,65"
11 de febrero	321040,387	7620419,566	64°43'39,68"	21°30'35,95"
Mejillones	321131,624	7620374,246	64°43'36,53"	21°30'37,46"

24 de junio	320945,578	7620616,066	64°43'42,9"	21°30'29,53"
Mocoi	320858,675	7620628,639	64°43'45,91"	21°30'29,09"
Camargo	320859,946	7620276,382	64°43'46"	21°30'40,54"
Santa María	320893,029	7620169,807	64°43'44,9"	21°30'44,02"
Cristalinas	319784,399	7620438,217	64°44'23,31"	21°30'34,89"
Lazareto	319782,085	7620444,503	64°44'23,39"	21°30'34,69"
San mateo	319683,935	7620638,211	64°44'26,72"	21°30'28,35"
Orgiria Coca	321792,104	7619933,130	64°43'13,75"	21°30'52,04"
Santa Bernardina	321690,588	7619867,955	64°43'17,3"	21°30'54,12"
17 de agosto	321334,974	7619134,668	64°43'29,94"	21°31'17,83"
Pasaje 1	321419,928	7619016,799	64°43'27,03"	21°31'21,69"
Hernando Siles	322171,793	7619453,651	64°43'0,74"	21°31'7,76"
La Paz	322247,226	7619420,288	64°42'58,13"	21°31'8,87"
Colón	321178,200	7619409,282	64°43'35,28"	21°31'8,85"
Colón	321364,462	7620019,915	64°43'28,57"	21°30'49,06"
Lourdes	320928,472	7620280,491	64°43'43,62"	21°30'40,43"
Psje. 1	320970,507	7620381,929	64°43'42,12"	21°30'37,15"
Kilómetro 7	320429,158	7620703,519	64°44'0,81"	21°30'26,5"
1613	320426,894	7620825,468	64°44'0,84"	21°30'22,53"

Fuente: Elaboración propia

3.2 EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE CALLES ASFALTADAS SOBRE EMPEDRADO

Para realizar la evaluación se realizó mediante los ensayos de péndulo británico, macha de arena, IRI, PCI y el IFI. Para determinar qué estado tiene cada calle ya que fueron asfaltadas sobre empedrados. Como un complemento también se realizó un aforo del volumen de tráfico.

3.2.1 Parche o Círculo de Arena (Ensayo ASTM E965)

Imagen 3.2:1 El Ensayo del Parche de Arena proporciona la Profundidad Media de la Textura o Mean Texture Depth (MTD).



Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo del círculo de arena para cada calle se dividió en cada 20 metros para sacar la macro textura, donde de cada punto se izó cinco mediciones, para después sacar un promedio total de la textura final. Este procedimiento se realizó para las 30 cuadras en estudio. Por ejemplo la calle 11 de febrero del barrio Lourdes tiene una longitud de 102 metros donde dividiendo cada 20 metros tenemos seis puntos donde cada punto se realizó cinco mediciones.

Tabla 3.2:1 Rango de textura

MTD	Textura
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2:2 mediciones del círculo de arena de la calle 11 de Febrero

Progresiva	Diámetro de los círculos (mm)					Promedio	MTD	Textura parcial
	1	2	3	4	5			
0+000	270	280	260	280	300	278,00	0,41	Media
0+020	310	280	300	280	290	292,00	0,37	Fina
0+040	250	250	240	260	270	254,00	0,49	Media
0+060	280	280	290	290	290	286,00	0,39	Fina
0+080	250	250	300	310	280	278,00	0,41	Media
0+102	250	290	290	300	290	284,00	0,39	Fina

Fuente: Elaboración propia

Para sacar el MTD se usó un volumen de arena de 25000 mm³

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

$$H = \frac{4 * 25000}{\pi * 278^2}$$

$$H = 0,41$$

Después de sacar el valor de MTD para cada progresiva se calculó del valor promedio dando resultado en el siguiente:

MTD	Textura final
0,41	Media

Tabla 3.2:3 Resultados promedio de cada calle del ensayo de la mancha de arena

Nº	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	MTD	Textura final
14	Camargo	Lourdes	2004	100	0,89	Gruesa
15	Santa María	Lourdes	2004	118	0,83	Gruesa
25	Colón	La Florida	1998	101	1,02	Gruesa
26	Colón	Lourdes	2002	106	1,1	Gruesa

12	24 de junio	24 de junio	2008	90	0,88	Gruesa
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	0,81	Gruesa
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	1,2	Gruesa

6	Municipal	Avaroa	2012	87	1,02	Gruesa
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	0,76	Media
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	0,41	Media
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	0,85	Gruesa
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	1,06	Gruesa

1	26 de mayo	La Florida	2013	69	0,64	Media
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	0,41	Media
3	General trigo	La Florida	2013	116	0,82	Gruesa
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	0,81	Gruesa
5	Suipacha	La Florida	2013	63	0,79	Media
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	0,59	Media
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	0,93	Gruesa
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	0,63	Media

22	Pasaje 1	La Florida	2014	98	0,62	Media
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	0,62	Media
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	0,69	Media
30	1613	102 Familias	2014	70	0,61	Media

17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	0,44	Media
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	0,62	Media
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	0,7	Media
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	0,53	Media
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	0,77	Media
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	0,69	Media

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Resistencia al deslizamiento (Fricción) péndulo británico (Portable pendulum tester o portable resistance Tester) (Ensayo ASTM E303)

Para la medición del péndulo se dividió cada calle en 20 m y en cada punto se izó cinco mediciones tomando en cuenta la temperatura en cada punto. Sacando todas las mediciones de cada calle se realizó un promedio total para tener un valor promedio de la resistencia al deslizamiento de cada calle. Este procedimiento se realizó para las 30 cuadras en estudio.

Imagen 3.2:2 Ensayo del péndulo británico



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.2:3 Lecturación del péndulo y la temperatura del pavimento



Fuente: Elaboración propia

Por ejemplo la calle 11 de febrero del barrio Lourdes tiene una longitud de 102 metros donde dividiendo cada 20 metros tenemos seis puntos donde cada punto se realizó cinco mediciones.

Tabla 3.2:4 Rango de calificación del péndulo

RD	Calificación
0,5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2:5 Resultados de mediciones del péndulo británico de la calle 11 de Febrero

Progresiva	Temp (°C)	FA	Lecturas					Prom.	BPNA	RD	Calificación parcial
			1	2	3	4	5				
0+000	27	1,038	53	55	56	54	55	54,60	56,7	0,57	Regular a bueno
0+020	27	1,038	54	54	55	56	57	55,2	57,3	0,57	Regular a bueno
0+040	27	1,038	52	53	53	53	52	52,6	54,6	0,55	Regular a bueno
0+060	27	1,038	56	57	57	56	58	56,8	59,0	0,59	Regular a bueno
0+080	27	1,038	54	55	54	56	55	54,8	56,9	0,57	Regular a bueno
0+102	27	1,038	57	56	58	58	57	57,2	59,4	0,59	Regular a bueno

Fuente: Elaboración propia

$$c.d.r = \frac{\text{Lectura Efectiva}}{100}$$

$$c.d.r = \frac{0,57}{100}$$

Después de sacar el valor de RD para cada progresiva se calculó del valor promedio dando resultado en el siguiente:

RD	Calificación final
0,57	Regular a bueno

Tabla 3.2:6 Resultados promedio de cada calle del ensayo del péndulo británico de las
30 cuadras

Nº	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Calificación parcial	RD
14	Camargo	Lourdes	2004	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91
15	Santa María	Lourdes	2004	118	Buena a regular	0,85
25	Colón	La Florida	1998	101	Malo (desgaste de neumáticos)	0,94
26	Colón	Lourdes	2002	106	Malo (desgaste de neumáticos)	0,98
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	Buena a regular	0,82
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	Malo (desgaste de neumáticos)	0,93
6	Municipal	Avaroa	2012	87	Malo (desgaste de neumáticos)	0,96
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	Bueno	0,69
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	Regular a bueno	0,57
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,92
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,93
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	Bueno	0,67
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	Bueno	0,72
3	General trigo	La Florida	2013	116	Buena a regular	0,89
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91
5	Suipacha	La Florida	2013	63	Bueno	0,68
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	Bueno	0,68
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	Bueno a regular	0,83
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	Bueno a regular	0,82
22	Pasaje 1	La Florida	2014	98	Bueno	0,66
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	Regular a bueno	0,58
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	Regular a bueno	0,71
30	1613	102 Familias	2014	70	Bueno a regular	0,82
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	Bueno	0,71
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	Bueno a regular	0,83
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	Bueno	0,65
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	Regular a bueno	0,52
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	Buena a regular	0,83
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	Regular a bueno	0,61

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Determinación del Índice de fricción internacional (IFI)

Para la medición del I.F.I. se realizó con los datos obtenidos del círculo de arena y los datos del péndulo británico que también se dividió cada cuadra en 20 metros y así aplicar las formulas necesarias.

Tabla 3.2:7 Medición del IFI

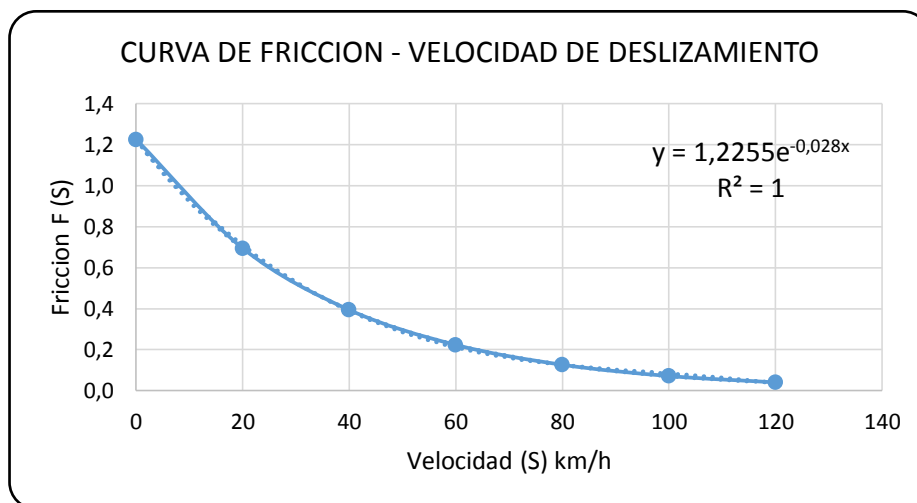
Progr.	FRs	Dp	H = Tx	Sp	FR60	F60
0+000	56,11	27,80	0,412	35,22	13,57	0,223
0+020	56,71	29,20	0,373	30,79	11,18	0,198
0+040	54,11	25,40	0,493	44,42	17,56	0,266
0+060	58,31	28,60	0,389	32,60	12,58	0,213
0+080	56,31	27,80	0,412	35,22	13,61	0,224
0+102	58,71	28,40	0,395	33,29	13,07	0,218
Promedio =				35,256		0,223

Fuente: Elaboración propia

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,225	0,695	0,394	0,223	0,127	0,072	0,041

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC = 0,373

Gráfico 3.2:1 Curva de fricción



Fuente: Elaboración propia

Velocidad máxima segura = 42,48 km/hr

Tabla 3.2:8 Resumen de resultados de IFI

Nº	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Velocidad máxima segura (km/hr)
14	Camargo	Lourdes	2004	100	106,36
15	Santa María	Lourdes	2004	118	94,55
25	Colón	La Florida	1998	101	116,33
26	Colón	Lourdes	2002	106	95,62

12	24 de junio	24 de junio	2008	90	104,94
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	90,01
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	141,86

6	Municipal	Avaroa	2012	87	117,97
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	76,06
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	42,48
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	97,22
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	129,09

1	26 de mayo	La Florida	2013	69	62,11
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	46,83
3	General trigo	La Florida	2013	116	98,19
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	100,48
5	Suipacha	La Florida	2013	63	74,2
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	67,56
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	94,36
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	69,2

22	Pasaje	La Florida	2014	98	55,84
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	53,57
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	64,19
30	1613	102 Familias	2014	70	69,29

17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	46,3
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	70,17
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	64,03
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	43,06
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	87,47
28	Psje. 1	Lourdes	2016	104	60,16

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Para la medición del IRI lo realizamos mediante la estación total, que para cada calle con ayuda de una cinta métrica se midió cada 0,5 m y en cada medida se medía su cota de elevación.

Imagen 3.2:4 Wincha para medir cada 0,5 m y GPS para la ubicación de la estación total



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.2:5 Equipo estación total, con el prisma utilizado para sacar las cotas de cada calle



Fuente: Elaboración propia

Como ejemplo tenemos la calle 11 de febrero la cual mide 102 m, que sacamos una cota a cada 0,5 m donde se tuvieron 205 puntos en toda la calle.

Tabla 3.2:9 Datos de la calle 11 de Febrero para el cálculo del IRI

Cuadra 10 "11 de febrero /B/ Lourdes "					
N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)	N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)
1	0	1915,8147	36	17,5	1915,16785
2	0,5	1915,7909	37	18	1915,1509
3	1	1915,7671	38	18,5	1915,13685
4	1,5	1915,74725	39	19	1915,1228
5	2	1915,7274	40	19,5	1915,1075
6	2,5	1915,70845	41	20	1915,0922
7	3	1915,6895	42	20,5	1915,07875
8	3,5	1915,67075	43	21	1915,0653
9	4	1915,652	44	21,5	1915,04345
10	4,5	1915,63535	45	22	1915,0216
11	5	1915,6187	46	22,5	1915,00835
12	5,5	1915,5989	47	23	1914,9951
13	6	1915,5791	48	23,5	1914,97615
14	6,5	1915,56005	49	24	1914,9572
15	7	1915,541	50	24,5	1914,94405
16	7,5	1915,52295	51	25	1914,9309
17	8	1915,5049	52	25,5	1914,9133
18	8,5	1915,48635	53	26	1914,8957
19	9	1915,4678	54	26,5	1914,8815
20	9,5	1915,4486	55	27	1914,8673
21	10	1915,4294	56	27,5	1914,84765
22	10,5	1915,4052	57	28	1914,828
23	11	1915,381	58	28,5	1914,8124
24	11,5	1915,366	59	29	1914,7968
25	12	1915,351	60	29,5	1914,77675
26	12,5	1915,3361	61	30	1914,7567
27	13	1915,3212	62	30,5	1914,73835
28	13,5	1915,3015	63	31	1914,72
29	14	1915,2818	64	31,5	1914,70015
30	14,5	1915,26395	65	32	1914,6803
31	15	1915,2461	66	32,5	1914,6614
32	15,5	1915,2312	67	33	1914,6425
33	16	1915,2163	68	33,5	1914,6269
34	16,5	1915,20055	69	34	1914,6113
35	17	1915,1848	70	34,5	1914,59355

Fuente: Elaboración propia

Cuadra 10 "11 de febrero /B/ Lourdes "					
N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)	N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)
71	35	1914,5758	106	52,5	1914,03415
72	35,5	1914,55635	107	53	1914,0193
73	36	1914,5369	108	53,5	1914,00215
74	36,5	1914,5223	109	54	1913,985
75	37	1914,5077	110	54,5	1913,9642
76	37,5	1914,4909	111	55	1913,9434
77	38	1914,4741	112	55,5	1913,926
78	38,5	1914,45535	113	56	1913,9086
79	39	1914,4366	114	56,5	1913,89315
80	39,5	1914,43675	115	57	1913,8777
81	40	1914,4369	116	57,5	1913,8595
82	40,5	1914,4209	117	58	1913,8413
83	41	1914,4049	118	58,5	1913,8244
84	41,5	1914,386	119	59	1913,8075
85	42	1914,3671	120	59,5	1913,78975
86	42,5	1914,3496	121	60	1913,772
87	43	1914,3321	122	60,5	1913,7544
88	43,5	1914,31675	123	61	1913,7368
89	44	1914,3014	124	61,5	1913,71965
90	44,5	1914,285	125	62	1913,7025
91	45	1914,2686	126	62,5	1913,68395
92	45,5	1914,25015	127	63	1913,6654
93	46	1914,2317	128	63,5	1913,64655
94	46,5	1914,2161	129	64	1913,6277
95	47	1914,2005	130	64,5	1913,61065
96	47,5	1914,18445	131	65	1913,5936
97	48	1914,1684	132	65,5	1913,57235
98	48,5	1914,14995	133	66	1913,5511
99	49	1914,1315	134	66,5	1913,5315
100	49,5	1914,11	135	67	1913,5119
101	50	1914,0885	136	67,5	1913,49365
102	50,5	1914,0686	137	68	1913,4754
103	51	1914,0487	138	68,5	1913,4535
104	51,5	1914,04885	139	69	1913,4316
105	52	1914,049	140	69,5	1913,4096

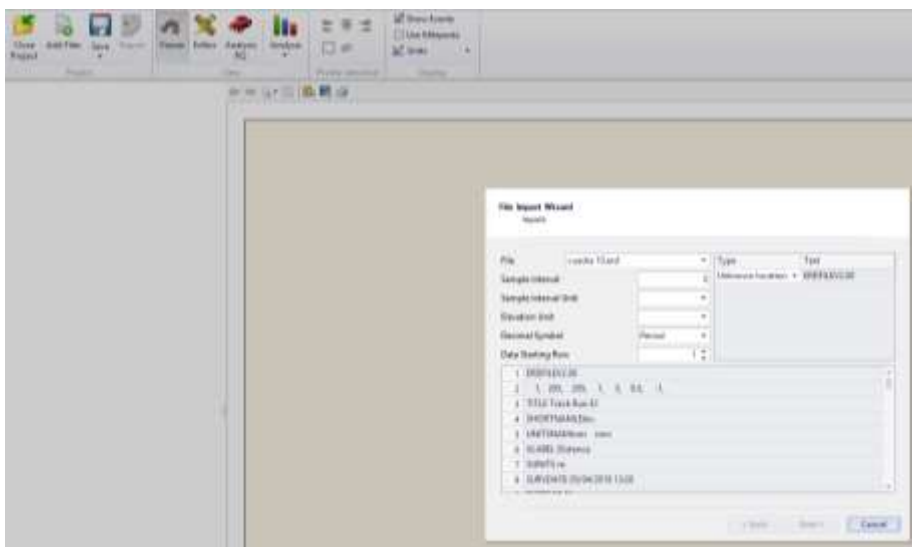
Fuente: Elaboración propia

Cuadra 10 "11 de febrero /B/ Lourdes "					
N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)	N°	Longitud (m)	Cota (m.s.n.m.)
141	70	1913,3876	176	87,5	1912,65395
142	70,5	1913,3667	177	88	1912,6382
143	71	1913,3458	178	88,5	1912,62035
144	71,5	1913,32765	179	89	1912,6025
145	72	1913,3095	180	89,5	1912,5854
146	72,5	1913,2884	181	90	1912,5683
147	73	1913,2673	182	90,5	1912,5477
148	73,5	1913,2479	183	91	1912,5271
149	74	1913,2285	184	91,5	1912,5052
150	74,5	1913,2065	185	92	1912,4833
151	75	1913,1845	186	92,5	1912,4612
152	75,5	1913,1624	187	93	1912,4391
153	76	1913,1403	188	93,5	1912,41505
154	76,5	1913,1162	189	94	1912,391
155	77	1913,0921	190	94,5	1912,36685
156	77,5	1913,06855	191	95	1912,3427
157	78	1913,045	192	95,5	1912,3216
158	78,5	1913,0229	193	96	1912,3005
159	79	1913,0008	194	96,5	1912,28145
160	79,5	1912,9805	195	97	1912,2624
161	80	1912,9602	196	97,5	1912,24235
162	80,5	1912,93965	197	98	1912,2223
163	81	1912,9191	198	98,5	1912,20395
164	81,5	1912,89925	199	99	1912,1856
165	82	1912,8794	200	99,5	1912,1677
166	82,5	1912,85805	201	100	1912,1498
167	83	1912,8367	202	100,5	1912,1349
168	83,5	1912,81455	203	101	1912,12
169	84	1912,7924	204	101,5	1912,10375
170	84,5	1912,7723	205	102	1912,0875
171	85	1912,7522			
172	85,5	1912,732			
173	86	1912,7118			
174	86,5	1912,69075			
175	87	1912,6697			

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos obtenidos en campo introducimos en el Software denominado ProVAL versión 3.61 donde se realiza el cálculo del IRI. Primero se debe convertir los datos a una extensión que pueda leer el ProVAL en nuestro caso esta extensión será .ERD.

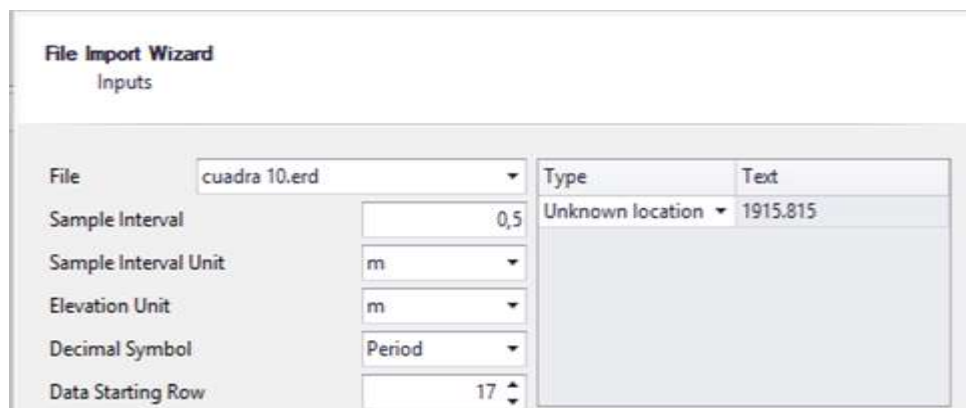
Imagen 3.2:6 Ingreso de datos ProVAL



Fuente: Elaboración propia

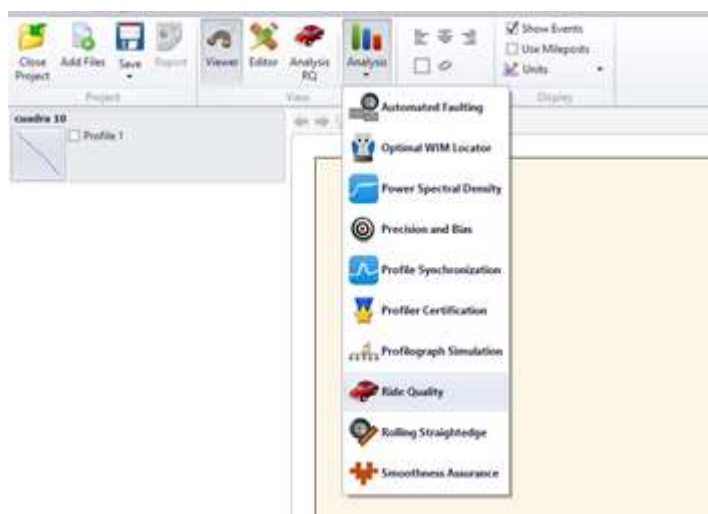
Se configura los parámetros según la siguiente imagen y clic en Next

Imagen 3.2:7 Configuración de inicial de ProVAL



Fuente: Elaboración propia

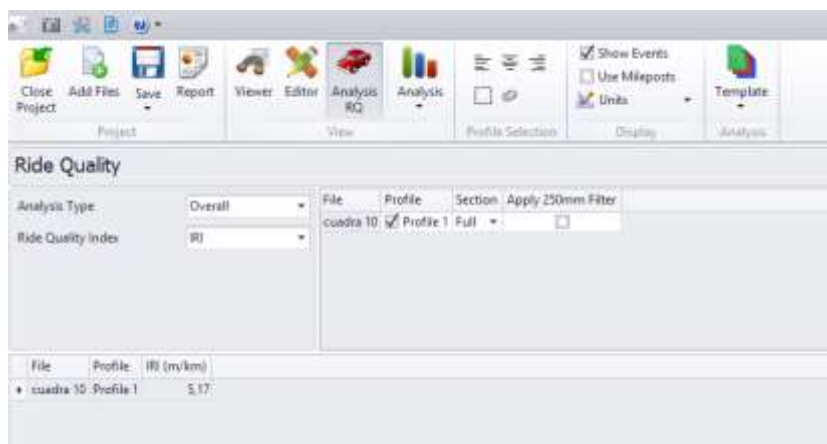
Imagen 3.2:8 Selección de la herramienta IRI



Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos Ride Quality, desactivamos el filtro de 250 mm, y clic en Analyze

Imagen 3.2:9 Calculo del IRI



Fuente: Elaboración propia

El Valor del IRI para la calle 11 de febrero de muestra 10 es:

Tabla 3.2:10 Rangos de categoría IRI

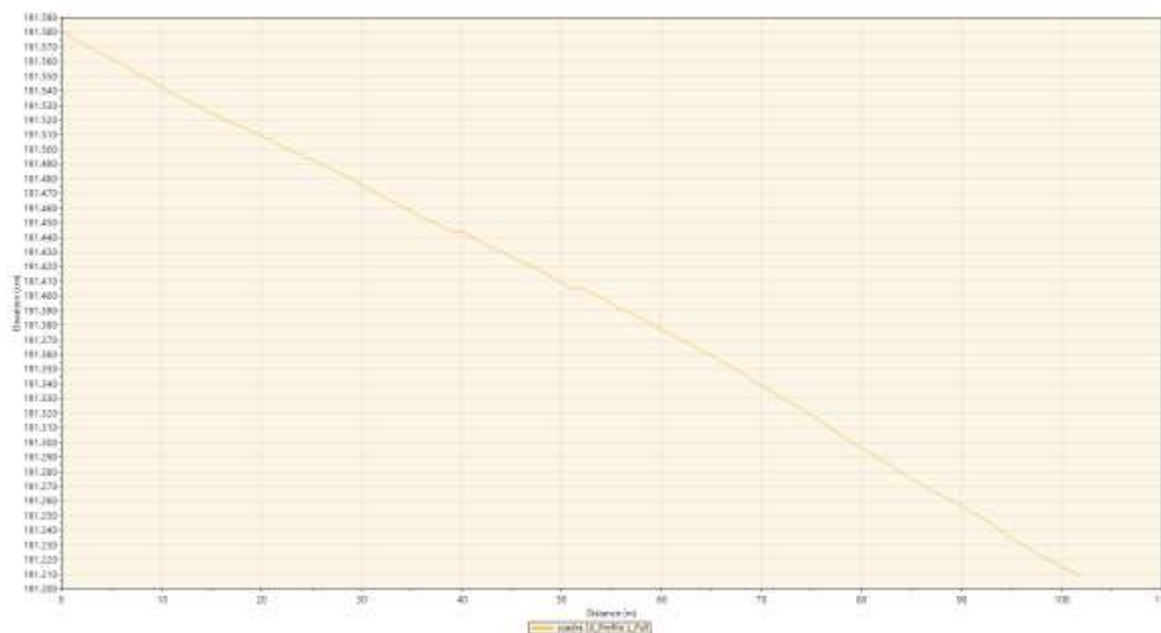
IRI	
Categoría	Rango (m/km)
Bueno	0 - 3,6
Regular	3,6 - 6,4
Malo	6,4 - 10
Muy malo	10 en adelante

Fuente: Elaboración propia

Este valor encontrado, según la escala rango del IRI que se muestra en la correspondiente Tabla: Regular

IRI= 5,17 m/km **Regular**

Imagen 3.2:10 Perfil longitudinal del carril de la muestra 10



Fuente: Pro VAL

Este proceso es reiterativo para cada una de las calles en estudio, el cálculo del IRI de todas las unidades de muestra se detalla en los anexos.

Tabla 3.2:11 Resultados del IRI de las 30 calles en estudio

	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Calificación
14	Camargo	Lourdes	2004	100	7	8,39	Malo
15	Santa María	Lourdes	2004	118	7	8,99	Malo
25	Colón	La Florida	1998	101	7	11,2	Muy malo
26	Colón	Lourdes	2002	106	7	8,66	Malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	7	6,4	Malo
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	7	7,89	Malo
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	7	6,44	Malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
6	Municipal	Avaroa	2012	87	7	6,63	Malo
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	7	6,8	Malo
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	7	5,17	Regular
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	7	5,64	Regular
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	7	4,73	Regular

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	6	4,56	Regular
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	6	5,96	Regular
3	General trigo	La Florida	2013	116	7	7,56	Malo
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	7	6,39	Regular
5	Suipacha	La Florida	2013	63	7	4,53	Regular
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	7	5,84	Regular
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	7	3,6	Regular
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	7	8,08	Malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
22	Pasaje	Florida	2014	98	7	4,47	Regular
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	7	7,61	Malo
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	7	5,21	Regular
30	1613	102 Familias	2014	70	7	3,88	Regular

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	7	5,95	Regular
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	7	4,8	Regular
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	7	4,33	Regular
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	7	5,93	Regular
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	7	4,67	Regular
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	7	5,87	Regular

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Índice de Condición de Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad.

La medición de cada una de las fallas o deterioros, se la realiza de acuerdo a su forma individual de medición, y el nivel de su severidad o grado de daño en el pavimento, ambos estarán basados en lo descrito en el Capítulo II. La cuantificación de cada tipo de falla, se la debe realizar minuciosamente, de esta forma se controle mejor la cuantificación de las fallas.

Se inspecciona minuciosamente cada una de las unidades de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de las fallas de acuerdo con el manual de daños del método PCI, se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida de los daños, los datos se registran en una planilla para cada unidad de muestreo, debiendo registrarse el tipo de falla, su extensión y severidad, a continuación se presenta un modelo de la planilla de recolección de datos con un ejemplo ilustrativo.

Como ejemplo desarrollaremos la cuadra o calle 11 de Febrero del barrio Lourdes que tiene una longitud de 102 metros.

Haciendo la revisión podemos tener cualquier tipo de estas fallas de la tabla siguiente:

Tabla 3.2:12 Tipos de fallas para pavimento flexible

Tipos de fallas para pavimento flexible			
1. Piel de cocodrilo	m ²	11. Parche	m ²
2. Exudación	m ²	12. Agregado pulido	m ²
3. Fisuramiento en bloque	m ²	13. Baches	m ²
4. Desniveles localizados	m ²	14. Cruce de ferrocarril	m ²
5. Corrugación	m ²	15. Ahuellamiento	m ²
6. Depresión	m ²	16. Desplazamiento	m ²
7. Fisuramiento en borde	m	17. Fisura de resbalamiento	m ²
8. Fisuramiento de reflexión	m	18. Hinchamiento	m ²
9. Desnivel carril/espaldón	m ²	19. Desmoronamiento / Intemperismo	m ²
10. Fisuras long. y/o transv.	m	Severidad: <i>b= Baja</i> <i>m= Media</i> <i>a= Alta</i>	

Fuente: Elaboración propia

Realizamos un inventario de todas las fallas que existen en esta cuadra para tener un producto total de la falla tomando en cuenta su severidad. Los daños pueden ser medidos en área o longitud según el tipo de falla.

Tabla 3.2:13 Inventario de fallas

Inventario de fallas existentes						
Falla	Unidad	Severidad	Largo (m)	Ancho (m)	Prof. (m)	Total
Depresión	m ²	a	2,5	2,6		6,5
Depresión	m ²	m	4,2	1,6		6,72
Fisuras Longit. y/o trans.	m	a	28,9			28,9
Piel de cocodrilo	m ²	m	8,9	3,1		27,59
Parche	m ²	m	3,4	3,3		11,22

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores sumados del inventario según su tipo de severidad que tiene cada falla se calculó el valor de la densidad % teniendo la severidad total, luego la dividimos entre el total del área de la muestra y la multiplicamos por 100 para que el resultado quede en porcentaje.

Repetimos el mismo procedimiento para el resto de fallas, en función a la información registrada. Luego procedemos a calcular el número máximo admisible de valores deducidos, para lo cual podemos hacer uso de formula o gráfica, para calcular m y q.

Tabla 3.2:14 Los valores deducidos de las fallas existentes

Valores deducidos de fallas existentes					
Falla	Unidad	Severidad	Total	Densidad %	VD
Depresión (a)	m ²	a	6,5	0,91	18
Depresión (m)	m ²	m	6,72	0,94	9
Fisuras Longit. y/o trans. (m)	m	a	28,9	4,05	21
Piel de cocodrilo. (m)	m ²	m	27,59	3,86	37
Parche. (m)	m ²	m	11,22	1,57	14
					m = 6,79
					q = 5

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procede a seleccionar el máximo valor deducido, el cual para el ejemplo que se viene desarrollando tiene como valor 37 (HDV) correspondiente a la falla piel de cocodrilo, en nivel de severidad medio. Por ultimo hacemos uso de la ecuación obtenemos como resultado $m = 6,79$, tal como se muestra a continuación. Se recomienda hacer uso de la formula debido a que al hacer uso de la gráfica se corre el riesgo de obtener un resultado poco preciso. Se procede a ordenar de menor a mayor los valores deducidos. El ejemplo solo cuenta con cinco valores deducidos por lo cual trabajaremos con todos.

Tabla 3.2:15 Calculo del PCI

Cálculo del PCI											
Valores deducidos								CDT	Q	CDV	
37	21	18	14	9				99	5	52	
37	21	18	14	2				92	4	58	
37	21	18	2	2				80	3	51	
37	21	2	2	2				64	2	47	
37	2	2	2	2				45	1	45	

Fuente: Elaboración propia

Luego de ordenar los cuatro primero valores deducidos se sumaran y se ingresaran en la gráfica valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos, para el primer caso $q = 5$, ya que contamos con cinco valores deducidos en un inicio, obteniendo como valor deducido corregido (CDV) de 52.

Se repetirá lo mismo, reemplazando el último valor reducido por 2 y reduciendo el valor de “q” en una unidad, hasta que “q” sea igual a 1, hallando los valores deducidos corregidos para cada valor de “q”. Luego de calcular todos los valores deducidos corregidos se escoge el mayor para el cálculo del PCI de la unidad de muestra, haciendo uso de la formula descrita en la teoría, obteniendo como resultado para el ejemplo el siguiente:

$$PCI = 100 - \max CDV$$

$$PCI = 100 - 58$$

$$PCI = 42$$

La clasificación correspondiente para un PCI de 42, se obtiene de la tabla, donde la clasificación de la muestra es:

Tabla 3.2:16 Rangos de clasificación del PCI

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

Fuente: Elaboración propia

HDV	58
PCI	42
Clasificación	Regular
Color	

Tabla 3.2:17 Resumen de resultados del PCI

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
14	Camargo	Lourdes	2004	100	7	19	Muy malo
15	Santa María	Lourdes	2004	118	7	15	Muy malo
25	Colón	La Florida	1998	101	7	8	Fallado
26	Colón	Lourdes	2002	106	7	11	Muy malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	7	29	Malo
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	7	26	Malo
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	7	17	Muy malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
6	Municipal	Avaroa	2012	87	7	20	Muy malo
7	Av.Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	7	53	Regular
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	7	42	Regular
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	7	27	Malo
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	7	27	Malo

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	6	45	Regular
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	6	42	Regular
3	General trigo	La Florida	2013	116	7	37	Malo
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	7	38	Malo
5	Suipacha	La Florida	2013	63	7	48	Regular
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	7	46	Regular
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	7	44	Regular
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	7	42	Regular

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
22	Pasaje 1	La florida	2014	98	7	41	Regular
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	7	52	Regular
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	7	42	Regular
30	1613	102 Familias	2014	70	7	43	Regular

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	7	43	Regular
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	7	42	Regular
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	7	42	Regular
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	7	45	Regular
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	7	60	Bueno
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	7	46	Regular

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Volumen de tráfico vehicular

Para el ensayo del volumen de tráfico se realizó de cada calle en los siguientes horarios de siete a ocho de la mañana de doce a una de la tarde y de seis a siete de la tarde considerando como horarios picos esos horarios donde se aforo durando una hora.

Como una lista de los vehículos aforados se tiene como ejemplo la calle 11 de febrero donde en la siguiente tabla se tiene los tres horarios de aforo donde haciendo la sumatoria y sacando el promedio de cada clase de vehículo se tiene que el volumen total de tráfico es de 431 vehículos.

Tabla 3.2:18 Aforo del volumen de vehículos y su cantidad en porcentaje

Clase	07:00 a 08:00	12:00 a 13:00	18:00 a 19:00	Promedio (Veh/hr)	Porcentaje de vehículos
	Ingreso (Veh/hr)	Ingreso (Veh/hr)	Ingreso (Veh/hr)		
Automóvil	212	284	164	220	51,04
Moto	68	112	128	103	23,82
Camioneta	20	28	32	27	6,19
Jeep	4	12	4	7	1,55
Vagoneta	12	24	20	19	4,33
Microbús	4	12	20	12	2,78
Bus	12	28	28	23	5,26
Volqueta 4m3	4	12	4	7	1,55
Volqueta 8m3	0	8	12	7	1,55
Camión	12	8	4	8	1,86
Tracto-Camión	0	0	0	0	0,00
Cisterna	0	0	1	0	0,08
Tractores	0	0	0	0	0,00
TOTAL				431	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2:19 Resumen de los resultados del volumen de tráfico vehicular

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de tráfico horario
14	Camargo	Lourdes	2004	100	7	289
15	Santa María	Lourdes	2004	118	7	227
25	Colón	La Florida	1998	101	7	604
26	Colón	Lourdes	2002	106	7	587

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de trafico horario
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	7	98
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	7	59
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	7	28

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de trafico horario
6	Municipal	Avaroa	2012	87	7	373
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	7	304
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	7	431
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	7	218
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	7	231

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de trafico horario
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	6	242
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	6	127
3	General trigo	La Florida	2013	116	7	195
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	7	152
5	Suipacha	La Florida	2013	63	7	59
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	7	63
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	7	149
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	7	159

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de trafico horario
22	Pasaje	Florida	2014	98	7	105
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	7	64
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	7	61
30	1613	102 Familias	2014	70	7	58

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Vol. de trafico horario
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	7	40
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	7	224
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	7	52
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	7	39
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	7	28
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	7	118

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LA MACRO TEXTURA Y MICRO TEXTURA

4.1.1 Resultados del ensayo de círculo de arena

Como se mencionó anteriormente este ensayo se realizó a un asfaltado sobre empedrado de varias calles y para poder realizar un mejor análisis de las 30 calles en estudio las veremos según su año de construcción. Tomando en cuenta nuestro cuadro de rangos de textura se puede analizar nuestros resultados.

Tabla 4.1:1 Rangos de texturas

MTD	Textura
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro siguiente se tiene el resumen de los resultados de la textura y del PCI donde se puede ver que tiene relación los valores, porque calles con PCI de clasificación fallado o malo presentan texturas gruesas que indican que se tiene ya una calle desgastada porque tienen varios años de servicio.

Existe otras calles que los valores del círculo de arena son media y presentan un PCI de clasificación regular que nos indican que son calles que aún tienen un estado superficial estable para su uso vehicular, y aun son calles que no tienen más de 6 o 7 años de uso.

Tabla 4.1:2 Resultado de MTD de calles antiguas

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	MTD	Textura final	PCI (Clasificación)	Rango
14	Camargo	Lourdes	2004	100	0,89	Gruesa	Muy malo	19
15	Santa María	Lourdes	2004	118	0,83	Gruesa	Muy malo	15
25	Colón	La Florida	1998	101	1,02	Gruesa	Fallado	8
26	Colón	Lourdes	2002	106	1,1	Gruesa	Muy malo	11

12	24 de junio	24 de junio	2008	90	0,88	Gruesa	Malo	29
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	0,81	Gruesa	Malo	26
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	1,2	Gruesa	Muy malo	17

6	Municipal	Avaroa	2012	87	1,02	Gruesa	Muy malo	20
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	0,76	Media	Regular	53
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	0,41	Media	Regular	42
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	0,85	Gruesa	Malo	27
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	1,06	Gruesa	Malo	27

1	26 de mayo	La Florida	2013	69	0,64	Media	Regular	45
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	0,41	Media	Regular	42
3	General trigo	La Florida	2013	116	0,82	Gruesa	Malo	37
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	0,81	Gruesa	Malo	38
5	Suipacha	La Florida	2013	63	0,79	Media	Regular	48
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	0,59	Media	Regular	46
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	0,93	Gruesa	Regular	44
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	0,63	Media	Regular	42

22	Pasaje 1	La Florida	2014	98	0,62	Media	Regular	41
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	0,62	Media	Regular	52
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	0,69	Media	Regular	42
30	1613	102 Familias	2014	70	0,61	Media	Regular	43

17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	0,44	Media	Regular	43
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	0,62	Media	Regular	42
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	0,7	Media	Regular	42
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	0,53	Media	Regular	45
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	0,77	Media	Bueno	60
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	0,69	Media	Regular	46

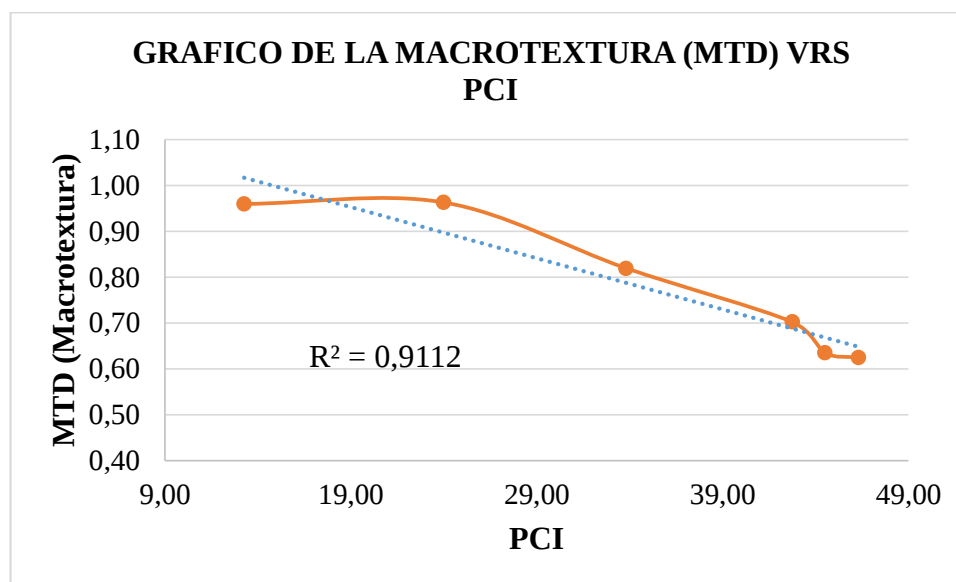
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1:3 Edades del MTD y el PCI

Edad en años	Edad de construcción	MTD	PCI
18	2002	0,96	13,25
16	2004	0,96	24,00
12	2008	0,82	33,80
7	2013	0,70	42,75
6	2014	0,64	44,50
4	2016	0,63	46,33

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.1:1 valor MTD promedio del circulo de arena versus el PCI



Fuente: Elaboración propia

Como se observa el grafico de la macro textura vs. PCI se puede ver que se tiene una relación positiva y a medida que las calles tienen más años de servicio se tiene valores desfavorables o resultados malos, por ejemplo en el año 2002 el MTD promedio es de 0,96 que es una textura gruesa lo cual indica una rodadura desgastada, que provoca mucho ruido y el PCI del mismo punto es un resultado promedio de 9,5 que corresponde a una clasificación de fallado indicando una calle muy destruida.

4.1.2 Resultados del péndulo británico

Como bien sabemos este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas previsto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

En el presente proyecto se realizó el ensayo de las 30 cuadras y sacando los valores promedios de cada calle y haciendo una comparación agrupadas con años iguales se tiene una calificación casi similar entre ellas.

Analizando los resultados del péndulo británico se observa similitudes de resultados según los años de antigüedad y las diferentes calles de cada grupo.

Tabla 4.1:4 Rangos de fricción

Fricción, valor de CDR, adimensional	Calificación
> 0,5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0,51 - 0,6	De regular a bueno
0,61 - 0,8	Bueno
0,81 - 0,9	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1:5 Resultados del péndulo británico

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Calificación parcial	RD	PCI (Clasificación)	Rango
14	Camargo	Lourdes	2004	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91	Muy malo	19
15	Santa María	Lourdes	2004	118	Buena a regular	0,85	Muy malo	15
25	Colón	La Florida	1998	101	Malo (desgaste de neumáticos)	0,94	Fallado	8
26	Colón	Lourdes	2002	106	Malo (desgaste de neumáticos)	0,98	Muy malo	11

12	24 de junio	24 de junio	2008	90	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91	Malo	29
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	Buena a regular	0,82	Malo	26
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	Malo (desgaste de neumáticos)	0,93	Muy malo	17
6	Municipal	Avaroa	2012	87	Malo (desgaste de neumáticos)	0,96	Muy malo	20
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	Bueno	0,69	Regular	53
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	Regular a bueno	0,57	Regular	42
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,92	Malo	27
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	Malo (desgaste de neumáticos)	0,93	Malo	27
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	Bueno	0,67	Regular	45
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	Bueno	0,72	Regular	42
3	General trigo	La Florida	2013	116	Buena a regular	0,89	Malo	37
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	Malo (desgaste de neumáticos)	0,91	Malo	38
5	Suipacha	La Florida	2013	63	Bueno	0,68	Regular	48
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	Bueno	0,68	Regular	46
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	Bueno a regular	0,83	Regular	44
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	Bueno a regular	0,82	Regular	42
22	Pasaje 1	La Florida	2014	98	Bueno	0,66	Regular	41
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	Regular a bueno	0,58	Regular	52
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	Regular a bueno	0,71	Regular	42
30	1613	102 Familias	2014	70	Bueno a regular	0,82	Regular	43
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	Bueno	0,71	Regular	43
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	Bueno a regular	0,83	Regular	42

20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	Bueno	0,65	Regular	42
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	Regular a bueno	0,52	Regular	45
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	Buena a regular	0,83	Bueno	60
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	Regular a bueno	0,61	Regular	46

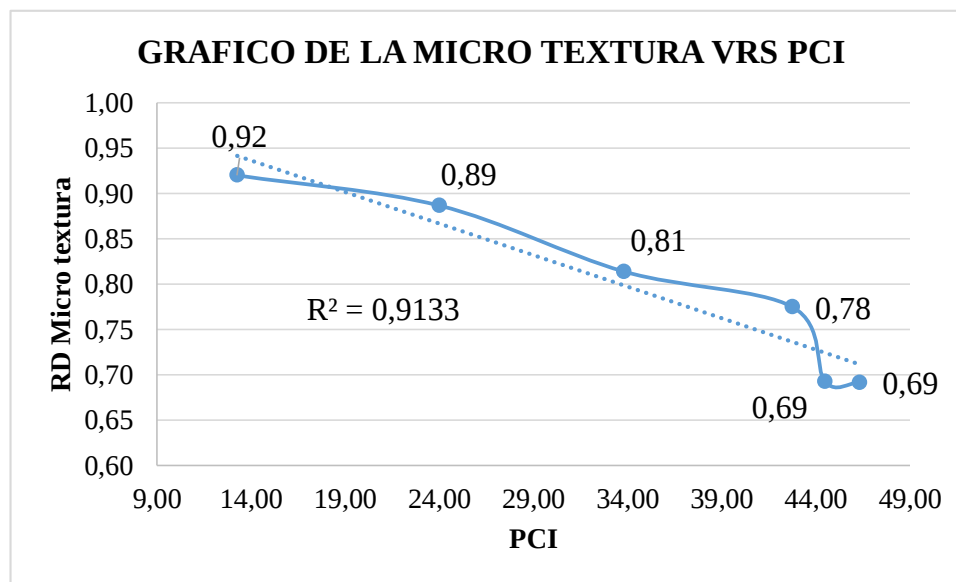
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.1:6 Edades del RD y el PCI

Edad en años	Edad de construcción	PCI	RD
18	2002	13,25	0,92
16	2004	24,00	0,89
12	2008	33,80	0,81
7	2013	42,75	0,78
6	2014	44,50	0,69
4	2016	46,33	0,69

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.1:2 Valores promedio de RD del péndulo Británico vs. PCI



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las gráficas, se puede ver que existe una relación entre el péndulo británico y el PCI donde tiene una correlación $R = 0,913$ y a mayor cantidad de años de

servicio, también se deteriora las calles asfaltadas sobre empedrado en su rugosidad. Por ejemplo en el punto del año 2014 el resultado del RD es de 0,69 que es una calificación de bueno y el valor del PCI es 44,5 que es una clasificación de regular que indica que aun la calle se encuentra en buen estado. Ambos resultados indican una calle que aún conserva buenas características para su uso.

4.1.3 Resultados del IFI

En el diseño y administración de pavimentos para carreteras es fundamental tener un parámetro que mida la fricción en el pavimento, de ahí la importancia de homologar la forma de interpretación de los resultados.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI. Para el análisis de resultados es necesario realizar mediciones de la textura y la resistencia al deslizamiento (o fricción).

Como se observa en el resumen de resultados de la velocidad máxima segura se puede observar que tenemos buenos resultados, analizando según su año de construcción tenemos valores aceptables tomando en cuenta que las 30 cuadras en estudio tienen una velocidad máxima segura mayores a 40km/h

Tabla 4.1:7 Resultados de IFI

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Velocidad máxima segura (km/hr)
14	Camargo	Lourdes	2004	100	106,36
15	Santa María	Lourdes	2004	118	94,55
25	Colón	La Florida	1998	101	116,33
26	Colón	Lourdes	2002	106	95,62

12	24 de junio	24 de junio	2008	90	104,94
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	90,01
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	141,86

6	Municipal	Avaroa	2012	87	117,97
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	76,06
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	42,48
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	97,22
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	129,09

1	26 de mayo	La Florida	2013	69	62,11
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	46,83
3	General trigo	La Florida	2013	116	98,19
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	100,48
5	Suipacha	La Florida	2013	63	74,2
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	67,56
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	94,36
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	69,2

22	Pasaje	La Florida	2014	98	55,84
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	53,57
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	64,19
30	1613	102 Familias	2014	70	69,29

17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	46,3
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	70,17
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	64,03
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	43,06
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	87,47
28	Psje. 1	Lourdes	2016	104	60,16

Fuente: Elaboración propia

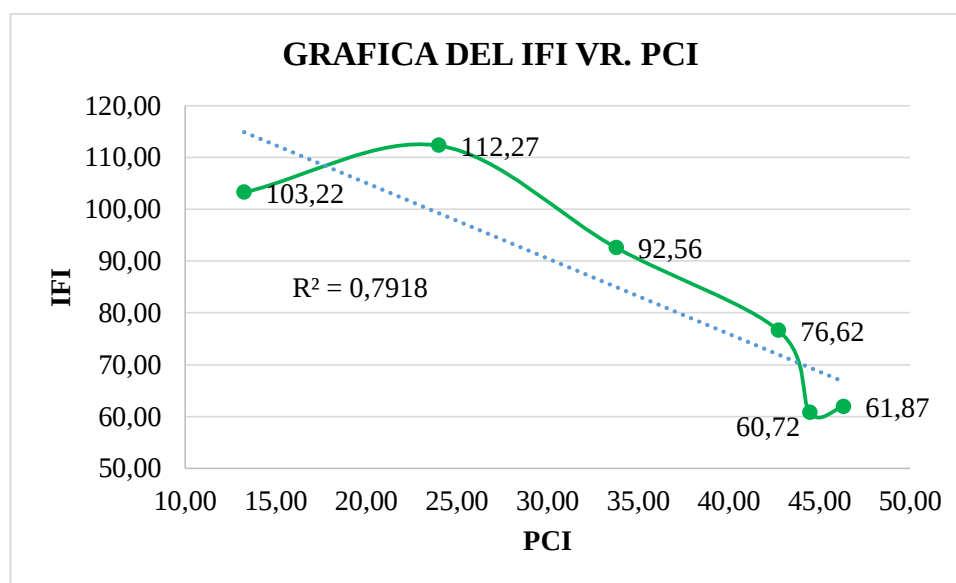
Tabla 4.1:8 Edades del IFI y el PCI

Edad en años	Edad de construcción	IFI	PCI
18	2002	103,215	13,25
16	2004	112,27	24,00
12	2008	92,564	33,80
7	2013	76,61625	42,75
6	2014	60,7225	44,50
4	2016	61,865	46,33

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la gráfica del IFI y del PCI se relacionan, porque se puede ver que a medida que el valor del IFI es elevado, también se tiene un PCI alto o desfavorable haciendo notar que ambos muestran el desgaste que tiene la calle y coinciden en decir que la calle está o no en mal estado.

Gráfico 4.1:3 Relación del IFI vs. PCI



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Análisis de resultados del índice de rugosidad internacional (IRI)

Como bien se ve en el capítulo III este ensayo se realizó con ayuda de la estación total y se izó el cálculo del IRI con el programa Pro Val, para las 30 calles en estudio, que según sus años de haber sido construidas tenemos diferentes tipos de IRI. El índice de regularidad internacional (IRI) es un parámetro que se utiliza en firmes, para determinar su regularidad y la comodidad en la conducción. El índice internacional de rugosidad y el índice de condición del pavimento son dos de los indicadores de desempeño más populares en el modelado del desempeño del pavimento, por tanto los resultados mostrados son variados tomando en cuenta que se evaluó un asfaltado hecho sobre empedrados.

Analizando las calles según sus años que se ejecutaron podemos ver que en las calles antiguas de nuestras muestras tenemos como resultados una clasificación de estado del pavimento como malo tomando en cuenta que son calles con más de 15 años de vida útil.

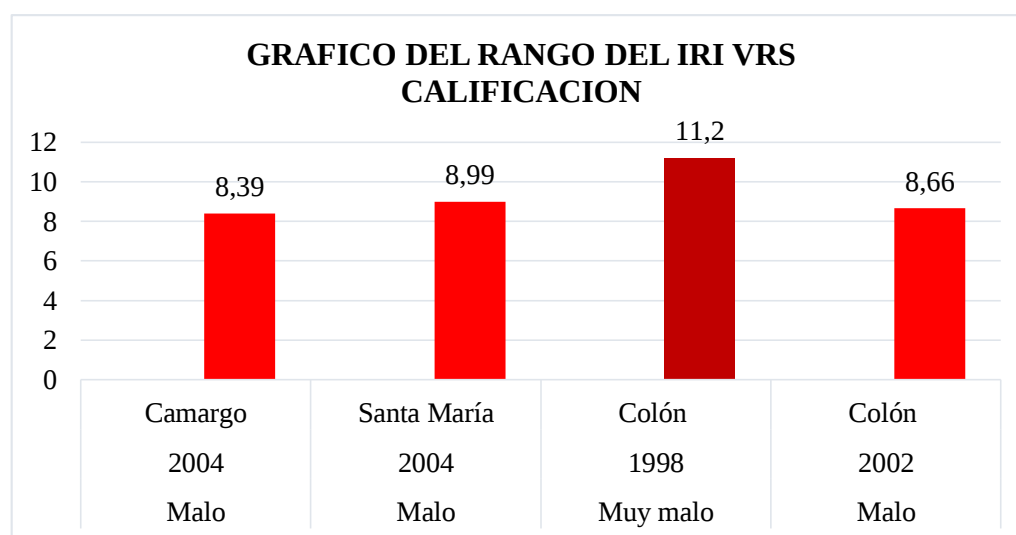
Tabla 4.1:9 Resultados del IRI de las calles antiguas

Nº	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	IRI
14	Camargo	Lourdes	2004	100	7	8,39	Malo
15	Santa María	Lourdes	2004	118	7	8,99	Malo
25	Colón	La Florida	1998	101	7	11,2	Muy malo
26	Colón	Lourdes	2002	106	7	8,66	Malo

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente grafica se puede ver como calles pavimentadas sobre empedrados que ya tienen una edad desde sus su construcción de más quince años, ya presentan una calificación según el método IRI de malo y una calle que es más antigua en estudio, presenta una calificación de muy mala. Esto hace notar que las calles de este grupo en estudio ya se encuentran muy deterioradas.

Gráfico 4.1:4 Rango del IRI vs. Categoría



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de calles que están cerca a cumplir los quince años de servicio tenemos una categoría de malo lo cual no es apta para el tránsito y una moderada conducción.

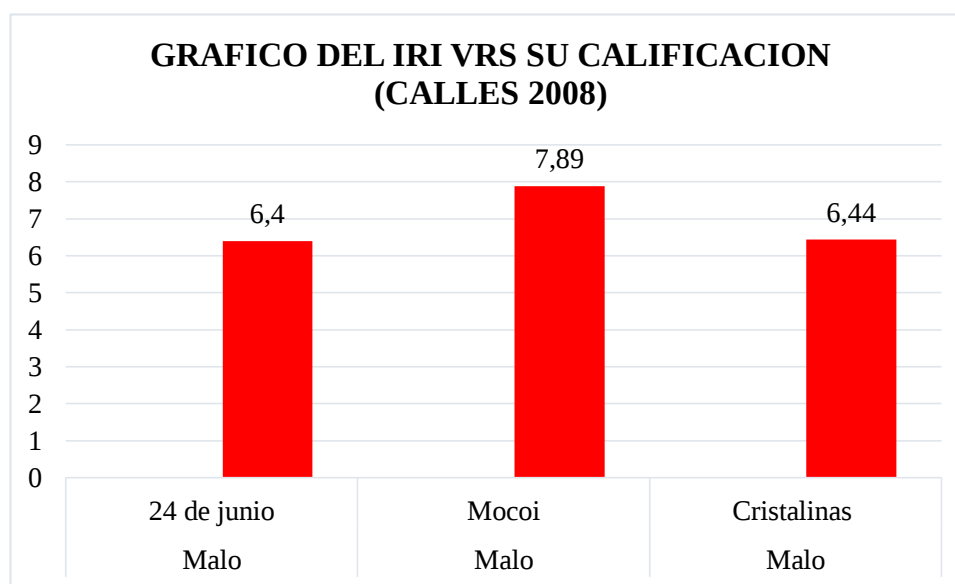
Tabla 4.1:10 Resultados del IRI de las calles del año 2008

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Categoría
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	7	6,4	Malo
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	7	7,89	Malo
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	7	6,44	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en el grafico las calles del año 2008, teniendo 12 años de servicio, se indica según la categorización por el método IRI, que se encuentran en mal estado haciendo que estas calles ya son muy dificultosas para la circulación del tránsito vehicular.

Gráfico 4.1:5 Rango del IRI vs. Categoría (calles 2008)



Fuente: Elaboración propia

En el grupo de calles del año 2012 tienen una clasificación más predominante como regular lo cual indica que según el método de evaluación del IRI tienen una moderada regularidad de conducción.

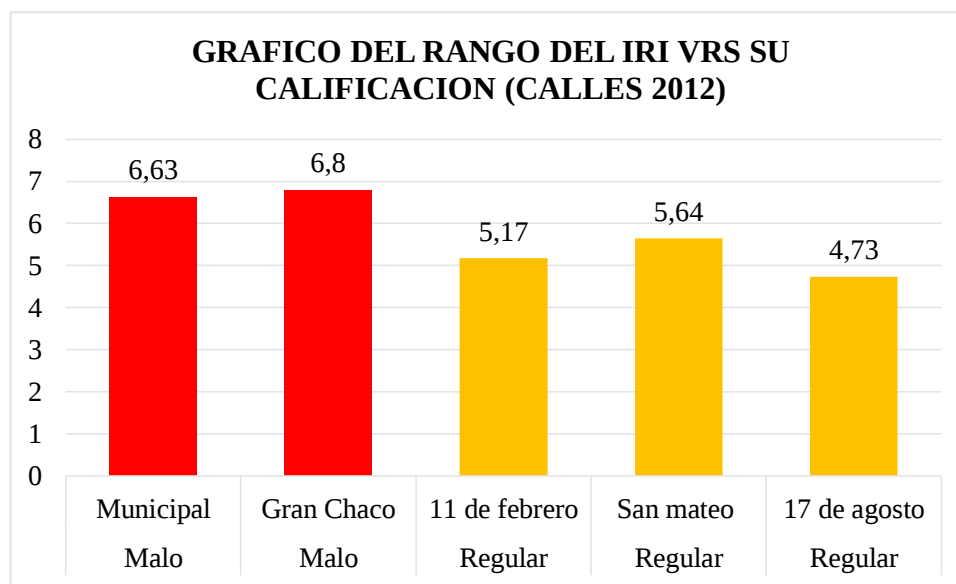
Tabla 4.1:11 Resultados del IRI de las calles del año 2012

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Calificación
6	Municipal	Avaroa	2012	87	7	6,63	Malo
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	7	6,8	Malo
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	7	5,17	Regular
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	7	5,64	Regular
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	7	4,73	Regular

Fuente: Elaboración propia

En este grafico se puede ver que los valores de IRI son de rangos diferentes pero con calificaciones similares. También se puede observar que esta muestra de calles del año 2012 se tiene dos calles de categoría malo, esto muestra que no por ser construidas un mismo año pueden tener un desgaste igual ya que pueden afectar otros factores como el tráfico. Dando que un 60% son calles de categoría regular y un 40% son de categoría malas.

Gráfico 4.1:6 Rango del IRI vs. Categoría (calles 2012)



Fuente: Elaboración propia

Para la agrupación de calles que comprenden su construcción el año 2013 tenemos una categoría entre malo y regular. Viendo que aún tienen la mitad de la vida útil que debe cumplir un pavimento convencional, que son 15 años como mínimo.

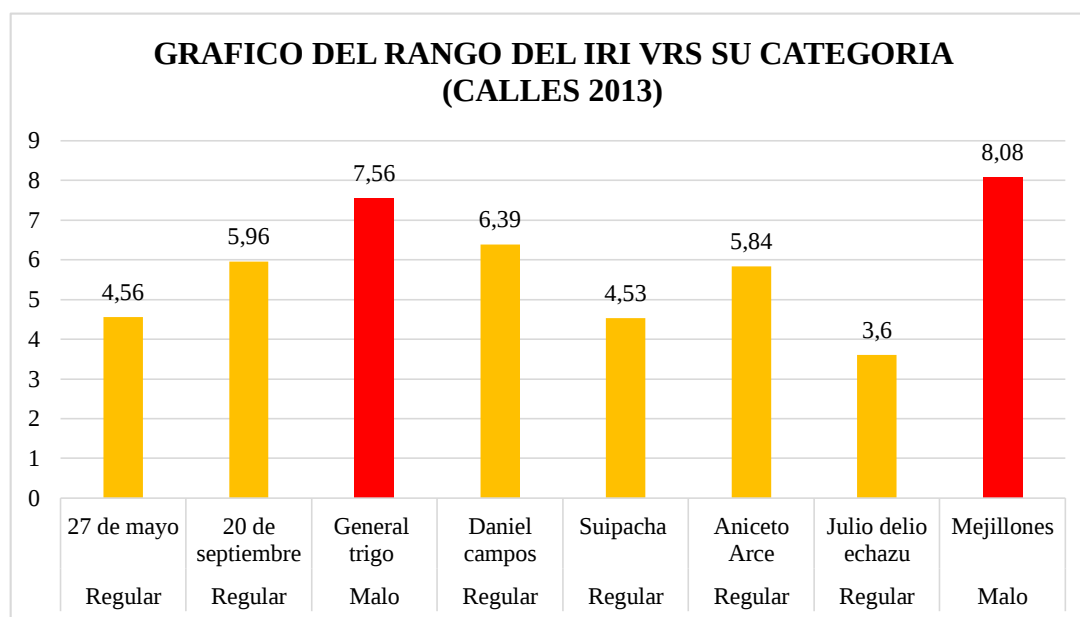
Tabla 4.1:12 Resultados del IRI de las calles del año 2013

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Categoría
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	6	4,56	Regular
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	6	5,96	Regular
3	General trigo	La Florida	2013	116	7	7,56	Malo
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	7	6,39	Regular
5	Suipacha	La Florida	2013	63	7	4,53	Regular
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	7	5,84	Regular
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	119	7	3,6	Regular
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	7	8,08	Malo

Fuente: Elaboración propia

Según el grafico de calles del año 2013 se observa que predomina la categoría regular y se observa que su rango es muy variado, aun siendo valores que están dentro de los regulares tenemos calles con valores de rangos elevados, algunos valores como de la calle 20 de Septiembre y la Daniel Campos que aun corto tiempo ya podrían tener una categoría de malo. Otros casos como las calles de la Gral. Trigo y Mejillones que tienen una categorización de malo podrían aumentar su deterioro y estar en una categoría de muy malo. Por esta razón aún se tiene 75%, una categoría regular y un 25% la categoría mala.

Gráfico 4.1:7 Rango del IRI vs. Categoría (calles 2013)



Fuente: Elaboración propia

El tener resultados de clasificación regular y malo en las calles de los años 2014 es motivo de alarma porque nos muestra que con 6 años de servicio una calle asfaltada sobre empedrado podría ser el límite de su vida de servicio y las calles aumentarían su deterioro.

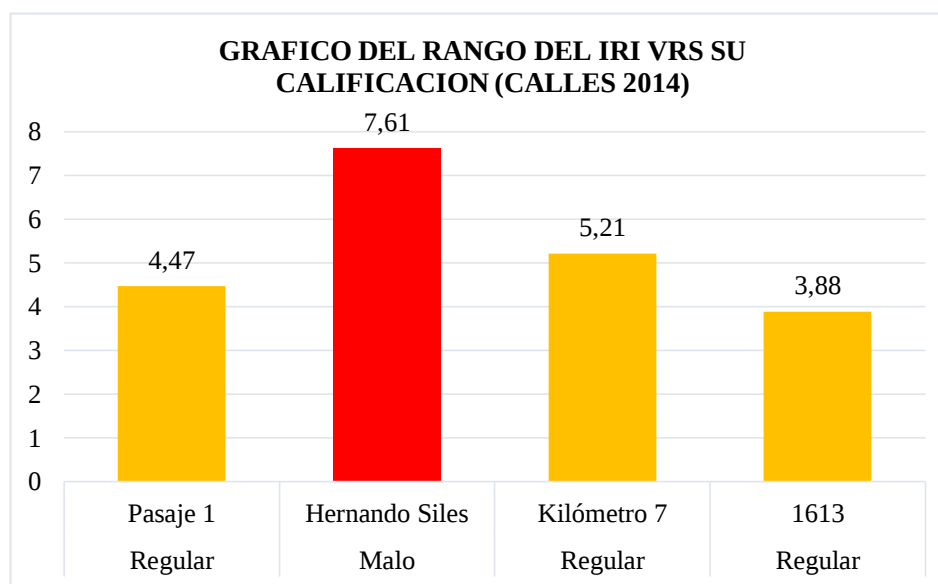
Tabla 4.1:13 Resultados del IRI de las calles del año 2014

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Categoría
22	Pasaje 1	Florida	2014	98	7	4,47	Regular
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	7	7,61	Malo
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	7	5,21	Regular
30	1613	102 Familias	2014	70	7	3,88	Regular

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de calles del año 2014 se tiene mayor cantidad de rango de categoría regular siendo una cuadra que tiene 6 años de servicio, no deja de existir cuerdas con categoría malo. Esto nos muestra que un 75% son calles de categoría regular y un 25% de categoría malo

Gráfico 4.1:8 Rango del IRI vs. Categoría (calles 2014)



Fuente: Elaboración propia

De igual forma vemos la categoría regular en las calles del año 2016, donde se esperaba un mejor resultado de IRI o se vea calles de categoría bueno, ya que son calles mucho más nuevas. Según información de gente del lugar mencionan que estas calles a pesar de haber sido empedradas ya presentaban deformaciones que no fueron corregidas al momento de ser pavimentadas.

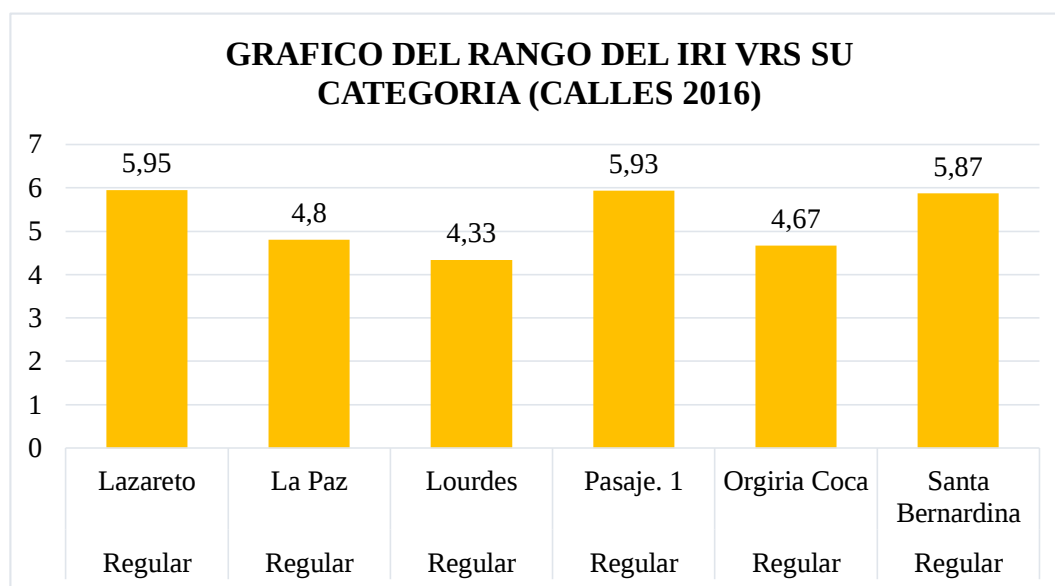
Tabla 4.1:14 Resultados del IRI de las calles del año 2016

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango (m/km)	Categoría
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	7	5,95	Regular
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	7	4,8	Regular
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	7	4,33	Regular
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	7	5,93	Regular
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	7	4,67	Regular
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	7	5,87	Regular

Fuente: Elaboración propia

Observando el grafico se puede ver que estas calles teniendo 4 años de servicio tenemos una categorización de regular, indicando que se encuentran según sus valores de los rangos aun en un estado aceptable para su circulación vehicular. Es muestra clara que las calles asfaltadas sobre empedrado soportan cuatro años de servicio sin problemas.

Gráfico 4.1:9 Rango del IRI vs. Categoría (calles 2016)



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Análisis de resultados del índice de condición del pavimento PCI

Como ya sabemos el PCI se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación de carreteras dentro de los modelos de gestión vial disponibles en la actualidad. PCI es un índice numérico entre 0 y 100, cuando es nuevo tiene 100 y luego se deteriora y llega a 0 con el tiempo.

Al analizar las 30 calles en estudio podemos ver diferentes valores de PCI tomando en cuenta sus año de vida de servicio.

Analizando el PCI de las 30 calles en estudio se tiene diferentes resultados y para un mejor entendimiento se agrupo las calles según los años de haberse construido tomando en cuenta que son calles asfaltadas sobre empedrado.

En la tabla siguiente de las calles que tienen más de 15 años de construcción se presenta un PCI de clasificación muy malo y peor el caso de la calle Colon del barrio La Florida que clasifica como fallado.

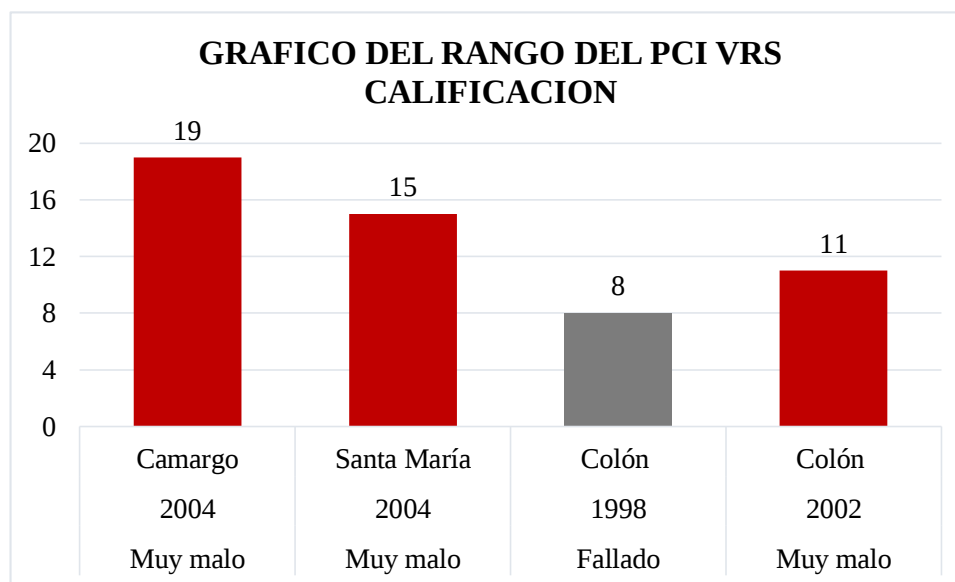
Tabla 4.1:15 Resultados del IRI de las calles más antiguas

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
14	Camargo	Lourdes	2004	100	7	19	Muy malo
15	Santa María	Lourdes	2004	118	7	15	Muy malo
25	Colón	La Florida	1998	101	7	8	Fallado
26	Colón	Lourdes	2002	106	7	11	Muy malo

Fuente: Elaboración propia.

En el grafico se puede observar que estas calles nos muestran una clasificación muy mala y fallada. Es razonable tener este tipo de rangos porque las calles ya sobre pasaron la vida útil de una carretera convencional, cosa que un asfaltado sobre empedrado no llegaría a alcanzar ese tiempo.

Gráfico 4.1:10 Rango del PCI vs. Clasificación



Fuente: Elaboración propia.

Para las calles del año 2008 se tiene un PCI de clasificación malo y muy malo siendo ya doce años de servicio.

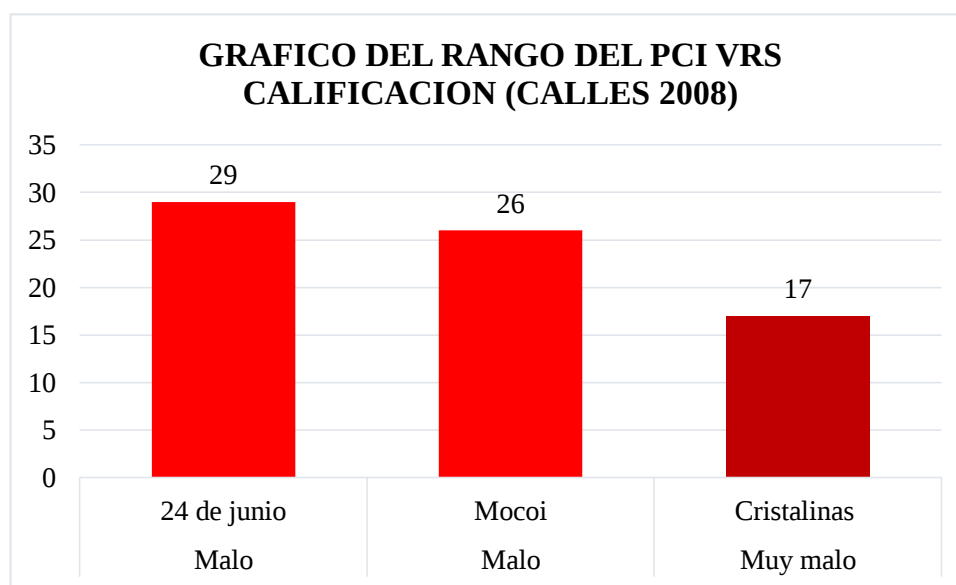
Tabla 4.1:16 Resultados del IRI de las calles del año 2008

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
12	24 de junio	24 de junio	2008	90	7	29	Malo
13	Mocoi	24 de junio	2008	102,5	7	26	Malo
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	85	7	17	Muy malo

Fuente: Elaboración propia.

Observando la gráfica se puede definir que toda calle construida en el año 2008 está en mal estado para una buena circulación vehicular, porque presentan una clasificación de malo para abajo. Considerando así que una calle realizada sobre empedrado no cumpliría 15 años de vida útil y tampoco podría aguantar unos doce años de uso.

Gráfico 4.1:11 Rango del PCI vs. Clasificación (Calles 2008)



Fuente: Elaboración propia.

Para las calles del año 2012 la clasificación es variada porque tiene calles desde muy malo, malo y regular. Tomando en cuenta que ya se tiene 8 años de servicio.

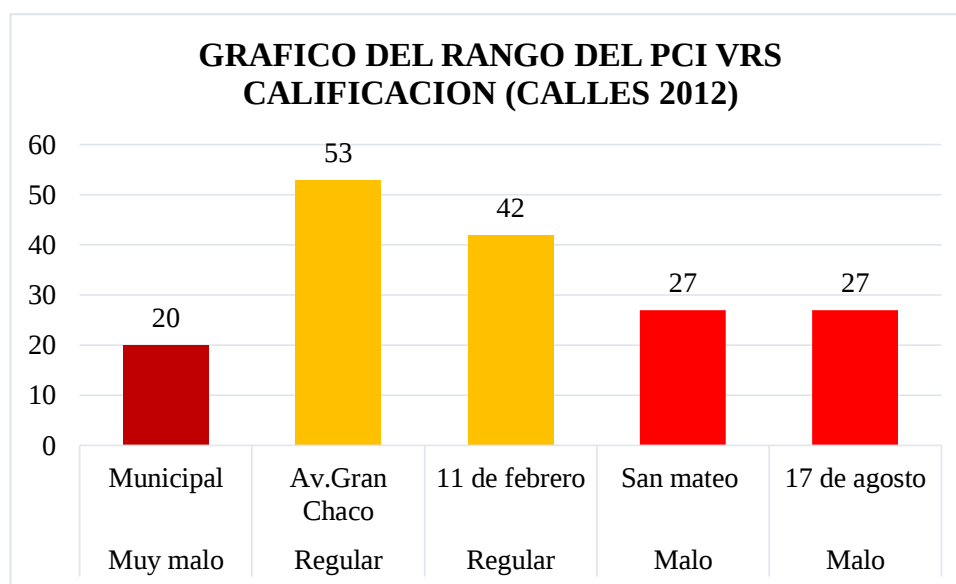
Tabla 4.1:17 Resultados del IRI de las calles del año 2012

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
6	Municipal	Avaroa	2012	87	7	20	Muy malo
7	Av.Gran Chaco	Palmarcito	2012	87	7	53	Regular
10	11 de febrero	Lourdes	2012	102	7	42	Regular
18	San mateo	Los Chapacos	2012	100	7	27	Malo
21	17 de agosto	La Florida	2012	100	7	27	Malo

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la gráfica de las calles del año 2012 se puede observar que puede existir un 20% de calles muy malas, un 40% de calles malas y un 40% de calles regulares. Viendo así que una calle con ocho años de servicio para una calle asfaltada sobre empedrado es mucho tiempo de uso y se tendrá por seguro que con este tiempo de servicio la calle presentaran un estado de circulación muy inestable para los vehículos.

Gráfico 4.1:12 Rango del PCI vs. Calificación (Calles 2012)



Fuente: Elaboración propia.

Las calles del año 2013 presentan una clasificación más predominante como regular, considerando que se tienen 7 años de servicio.

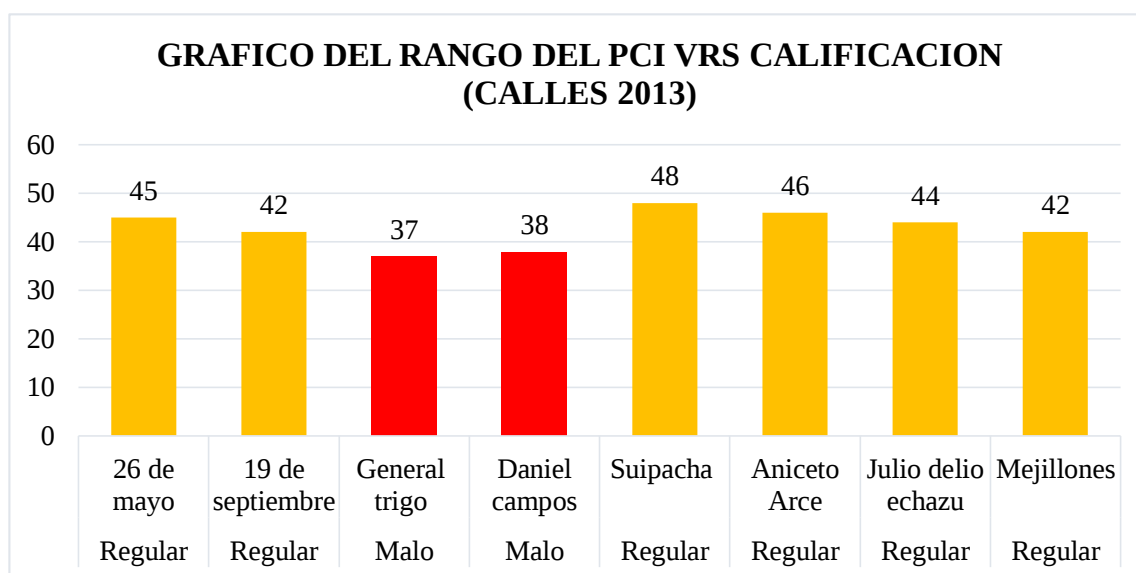
Tabla 4.1:18 Resultados del IRI de las calles del año 2013

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
1	26 de mayo	La Florida	2013	69	6	45	Regular
2	19 de septiembre	La Florida	2013	125	6	42	Regular
3	General trigo	La Florida	2013	116	7	37	Malo
4	Daniel campos	La Florida	2013	134	7	38	Malo
5	Suipacha	La Florida	2013	63	7	48	Regular
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	199	7	46	Regular
9	Julio delio Echazu	Palmarcito	2013	119	7	44	Regular
11	Mejillones	Lourdes	2013	111	7	42	Regular

Fuente: Elaboración propia.

En este grafico se observa que de todas las muestras el 25% son de clasificación mala y un 75% son de clasificación regular, siendo que en su mayoría presentan aun una condición estable, esto nos da una muestra que un pavimento sobre empedrado teniendo siete años de servicio se tendrán condiciones aceptables para una buena circulación de los vehículos.

Gráfico 4.1:13 Rango del PCI vs. Calificación (Calles 2013)



Fuente: Elaboración propia.

Para las calles del año 2014 se tiene la clasificación regular, considerando que se tiene 6 años de servicio.

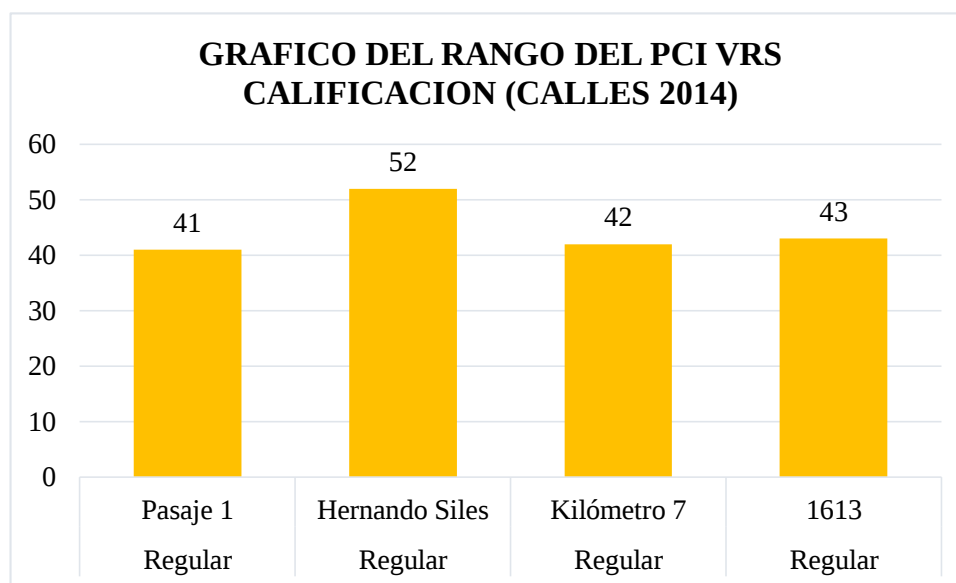
Tabla 4.1:19 Resultados del IRI de las calles del año 2014

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
22	Pasaje 1	La florida	2014	98	7	41	Regular
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	76	7	52	Regular
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	93	7	42	Regular
30	1613	102 Familias	2014	70	7	43	Regular

Fuente: Elaboración propia.

La grafica nos muestra que las calles del año 2014 presentan un comportamiento diferente que las calles del año 2013 como solo se tiene un año de diferencia, porque se tiene que un 100% son de clasificación regular. Mostrándonos así que una calle pavimentada sobre empedrado puede llegar a una vida útil de 6 o 7 años con una clasificación regular.

Gráfico 4.1:14 Rango del PCI vs. Calificación (Calles 2014)



Fuente: Elaboración propia.

En las calles del año 2016 se tiene como un valor más predominante la clasificación regular, siendo calles con 4 años de servicio.

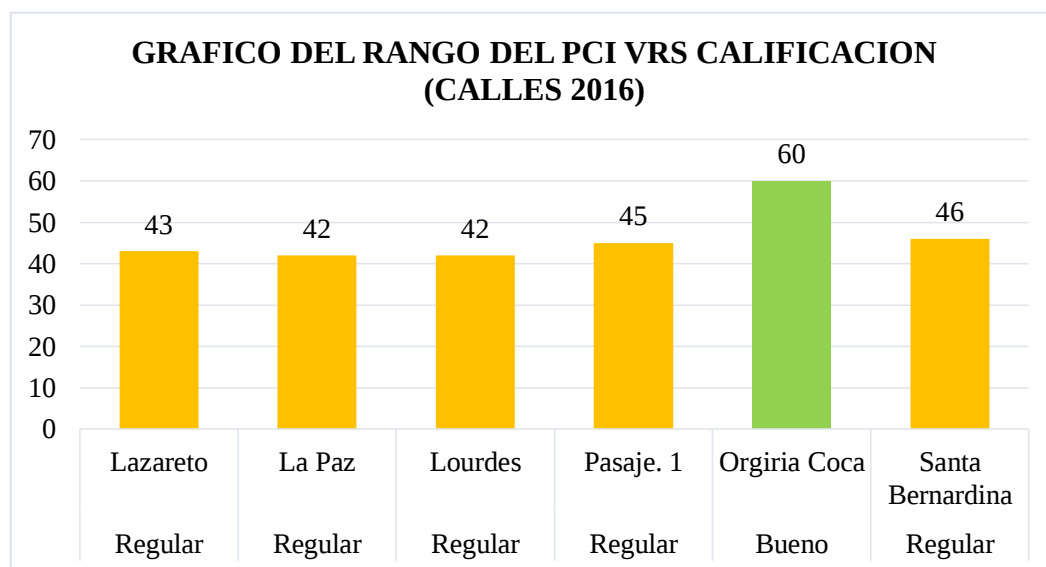
Tabla 4.1:20 Resultados del IRI de las calles del año 2016

N°	Cuadra	Barrio	Año	Longitud (m)	Ancho Carril (m)	Rango	PCI (Clasificación)
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	105	7	43	Regular
24	La Paz	San Bernardo	2016	151	7	42	Regular
27	Lourdes	Lourdes	2016	99	7	42	Regular
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	104	7	45	Regular
19	Orgiria Coca	Lourdes	2016	70	7	60	Bueno
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	88	7	46	Regular

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica se observa que las calles del año 2016 se tiene un 83,33% son de clasificación regular y un 16.67 % son de clasificación bueno. Al tener un porcentaje alto de regular se puede decir que un pavimento sobre empedrado puede llegar en una condición aceptable en cuatro años de servicio. Viendo la calle Orgiria Coca como valor más alto, y de categoría bueno se puede ver que cuatro años de servicio de estas calles se mantendrán para tener una buena circulación vehicular

Gráfico 4.1:15 Rango del PCI vs. Calificación (Calles 2016)



Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Análisis de resultados del volumen de tráfico

Analizando los resultados de los volúmenes de tráfico de cada calle, se puede ver que existe diversidad de volúmenes en cada muestra, y no están definidos según sus años de servicio ya que se tienen calles como la calle Colon del barrio Lourdes que tiene 18 años de servicio con un volumen de tráfico de 587 vehículos. Al ser una calle bastante usada presente un mal estado y a esto se suma que tiene 4,44% de tráfico pesado y 95,56 % de tráfico liviano, este tipo de tráfico aumento su deterioro a esta cuadra.

Como también se puede analizar que en la calle del año 2012 que ya tienen 8 años de servicio vemos que su volumen tráfico son diferentes, pero podemos hacer notar que todas las calles de este grupo de años presentan tráfico pesado y esto hace que sume al deterioro de las cuadras, como en la calle 11 de febrero vemos que su volumen de tráfico es 431 vehículos y tiene 5,04 % de tráfico pesado y un 94,96% es de tráfico liviano.

Y analizando la calles del año 2016 que tienen 4 años de servicio, se ve que el volumen de tráfico es menor que en los otros años, pero cabe decir que en todas las cuadras de este grupo de años tienen un pequeño porcentaje de tráfico pesado, como en la calle Santa Bernardita que tiene un volumen horario de 118 vehículos, donde 2,5 % es tráfico pesado y 97,5 % es tráfico liviano.

Tabla 4.1:21 Volumen de tráfico según la clase de vehículo

Clase de vehículos																	
N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
14	Camargo	Lourdes	2004	289	50,23	27,65	6,11	2,53	0,46	3,80	4,26	0,81	0,58	1,96	0,35	1,04	0,23
15	Santa María	Lourdes	2004	227	47,43	28,63	6,90	3,23	1,32	5,43	3,38	0,59	0,29	1,76	0,44	0,59	0,00
25	Colón	La Florida	1998	604	62,47	18,10	6,62	2,21	3,75	1,10	0,66	1,16	0,72	2,04	0,55	0,33	0,28
26	Colón	Lourdes	2002	587	61,90	17,94	6,93	2,27	3,92	1,36	1,25	1,14	0,57	1,70	0,57	0,23	0,23

N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
12	24 de junio	24 de junio	2008	98	46,78	20,68	9,49	3,73	2,37	3,05	7,46	2,37	0,34	2,71	1,02	0,00	0,00
13	Mocoi	24 de junio	2008	59	50,56	22,47	8,43	1,69	1,12	3,37	6,74	1,69	0,56	2,25	1,12	0,00	0,00
16	Cristalinas	Los Chapacos	2008	28	49,40	19,28	8,43	2,41	2,41	2,41	8,43	2,41	0,00	2,41	0,00	1,20	1,20

N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
6	Municipal	Avaroa	2012	373	58,94	17,89	12,34	1,07	3,13	2,59	2,42	0,45	0,09	0,81	0,00	0,27	0,00
7	Gran Chaco	Palmarcito	2012	304	53,24	25,36	6,59	1,87	4,61	2,63	2,96	1,65	0,55	0,33	0,00	0,22	0,00
10	11 de febrero	Lourdes	2012	431	51,04	23,82	6,19	1,55	4,33	2,78	5,26	1,55	1,55	1,86	0,00	0,08	0,00
18	San mateo	Los Chapacos	2012	218	64,98	19,27	4,28	1,22	7,65	0,61	0,15	0,46	0,00	1,07	0,00	0,15	0,15
21	17 de agosto	La Florida	2012	231	56,85	24,10	7,22	3,46	4,33	1,15	1,30	0,87	0,00	0,43	0,00	0,14	0,14

N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
1	26 de mayo	La Florida	2013	242	56,81	31,22	6,60	1,38	1,10	1,24	1,10	0,41	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
2	19 de septiembre	La Florida	2013	127	56,28	31,68	6,02	2,36	2,36	0,00	0,00	1,05	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00
3	General trigo	La Florida	2013	195	60,96	23,12	3,94	1,20	2,23	6,34	0,00	1,37	0,34	0,17	0,00	0,17	0,17
4	Daniel campos	La Florida	2013	152	45,49	25,93	7,91	2,86	13,41	0,00	0,00	3,30	0,22	0,66	0,00	0,00	0,22
5	Suipacha	La Florida	2013	59	52,27	17,05	11,36	8,52	8,52	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	Aniceto Arce	Palmarcito	2013	63	57,98	26,60	10,64	2,66	1,60	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	Julio Delio Echazu	Palmarcito	2013	149	63,62	18,30	6,25	2,01	3,35	2,68	1,56	1,56	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00
11	Mejillones	Lourdes	2013	159	51,36	24,11	6,29	2,10	6,71	3,56	1,26	1,89	0,21	2,52	0,00	0,00	0,00

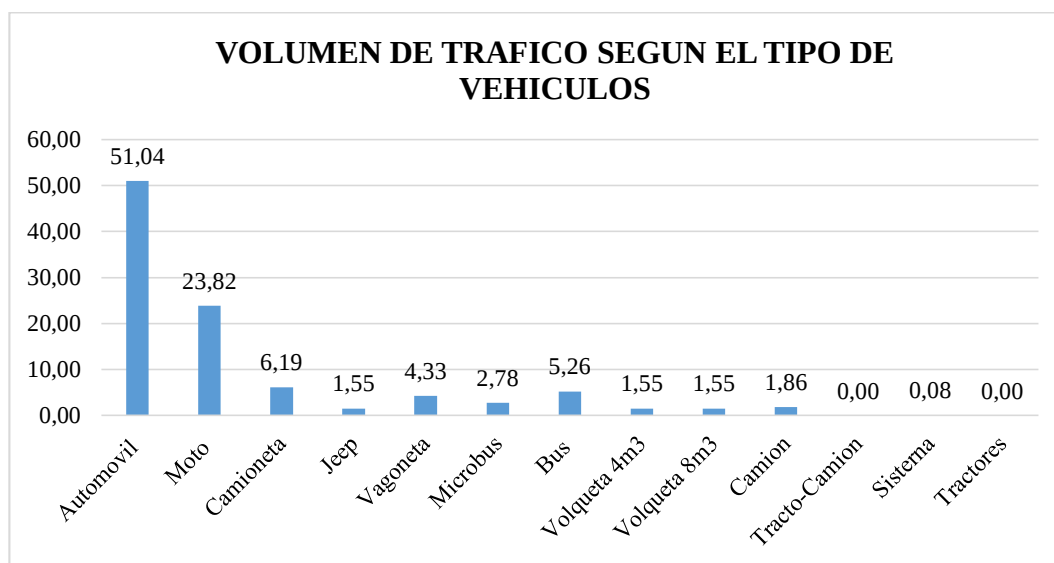
N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
22	Pasaje	Florida	2014	105	51,58	25,63	6,65	2,85	5,06	0,95	4,43	0,95	0,32	1,58	0,00	0,00	0,00
23	Hernando Siles	San Bernardo	2014	64	59,07	22,80	4,15	1,55	9,84	0,00	0,00	1,55	0,52	0,52	0,00	0,00	0,00
29	Kilómetro 7	101 Familias	2014	61	47,28	31,52	7,07	1,63	10,33	1,63	0,00	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	1613	102 Familias	2014	58	47,70	30,46	5,75	2,87	9,77	2,87	0,00	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

N°	Cuadra	Barrio	Año	Vol. de tráfico horario	Automóvil	Moto	Camioneta	Jeep	Vagoneta	Microbús	Bus	Volqueta 4m3	Volqueta 8m3	Camión	Tracto- Camión	Cisterna	Tractores
17	Lazareto	Los Chapacos	2016	40	47,50	30,00	5,83	2,50	14,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	La Paz	San Bernardo	2016	224	56,04	26,08	2,68	1,49	5,22	2,98	1,04	1,49	0,89	1,49	0,15	0,15	0,30
27	Lourdes	Lourdes	2016	52	51,92	24,36	8,97	5,13	8,33	0,00	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	Pasaje. 1	Lourdes	2016	39	53,39	24,58	5,93	3,39	11,86	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Orgiia Coca	Lourdes	2016	28	49,41	35,29	3,53	3,53	7,06	0,00	0,00	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Santa Bernardina	Lourdes	2016	118	52,12	22,66	9,07	2,27	1,13	2,27	7,93	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Es importante hacer notar que existen calles en mal estado a pesar de no ser muy antiguas y viendo que se tiene cargas de tráfico considerables puede ser una de las causantes de su envejecimiento. Como se puede ver en la tabla anterior se tiene porcentajes de vehículos de equipo pesado. Tal es el ejemplo de la calle 11 de Febrero.

Gráfico 4.1:16 Volumen de tráfico según el tipo de vehículos



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en el grafico el porcentaje de vehículos pesados es 5,04 % (volqueta de 4 m3, 8 m3, Camión y Cisterna), que es un volumen que suma al deterioro actual que tiene la calle. Y un 94,96 % pertenece a un volumen de tráfico de vehículos livianos que de igual forma acortan su vida de servicio.

4.2 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO SOBRE EMPEDRADO A TRAVES DE LOS AÑOS DE VIDA UTIL

4.2.1 Análisis del total de resultados

Analizando cada uno de los ensayos que se realizó para la evaluación superficial de mezclas asfálticas sobre empedrado se puede ver diferentes resultados lo cual nos muestra que el método que utiliza la alcaldía del municipio de Cercado no es tan malo ya que asfaltar sobre empedrado es un método económico para pavimentar calles.

Según la evaluación que se izó en este trabajo se puede decir que la vida útil de pavimentos sobre empedrados puede llegar a ser considerada entre 6 o 7 años por que según los resultados de PCI y del IRI muestran un estado promedio aceptable de regular.

Importante resaltar que no se afirma que seis o siete años es la vida útil de estos asfaltados pero si llegan a ese tiempo en unas condiciones aceptables según el criterio del investigador.

4.2.2 Análisis grafico del IRI del comportamiento del pavimento sobre empedrado a través de los años de vida útil

Como se observa en la gráfica se tiene cada punto de los valores promedio de cada grupo de año, el comportamiento aun principio con las calles que tiene 18 años servicio se tiene un IRI elevado y es entendible porque son calles con más de 15 años de servicio, la gráfica desciende más con las calles que tienen 12 años, y continua mejorado el IRI hasta las calles que tienen 8 años, teniendo ya un rango de categoría regular. A partir de este año los valores están dentro lo regular que es una categoría aun con buena conducción para el usuario. Se tiene un IRI elevado en el punto de las que tienen 7 años a comparación de las que tienen 6 y 4 años. Esto puede ser porque sea un grupo de calles que se ve afectada por un alto tránsito.

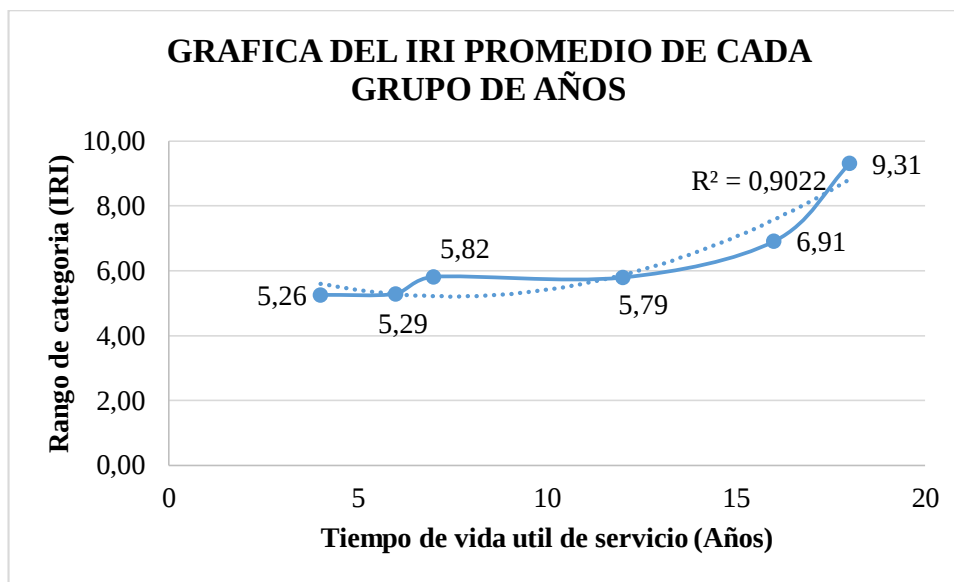
A mayor rango del IRI la categoría es denominada malo o muy malo y a menor rango de IRI la categoría es regular lo cual indica que es una calle aun estable.

Tabla 4.2:1 Edad de las calles y valores del IRI

Edad en años	Edad de construcción	IRI valores promedio
18	2002	9,31
16	2004	6,91
12	2008	5,79
7	2013	5,82
6	2014	5,29
4	2016	5,26

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2:1 Curva del IRI promedio de los años en estudio



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis grafico del PCI del comportamiento del pavimento sobre empedrado a través de los años de vida útil

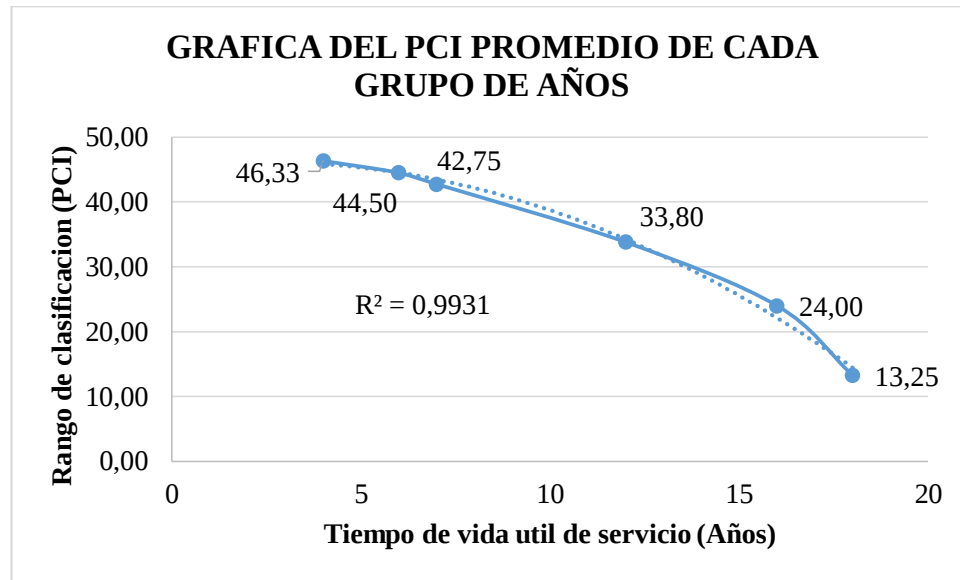
Analizando la siguiente grafica del método PCI el comportamiento de los rangos de clasificación es ascendente, a menor tiempo de vida de servicio se tiene un PCI más alto y a mayor tiempo de servicio se tiene un PCI más bajo, lo cual el tener una calificación más alta se tendrá unas clasificaciones que pase una clasificación regular que son las más aceptables para definir que nuestras calles están aún en buen estado. Desde las calles que tienen 7 años se tiene un valor promedio de 42,75 de clasificación regular, este valor sube en las calles que tienen 6 y 4 años.

Tabla 4.2:2 Edad de las calles y valores del PCI

Edad en años	Años	PCI valores promedio
18	2002	13,25
16	2004	24,00
12	2008	33,80
7	2013	42,75
6	2014	44,50
4	2016	46,33

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 4.2:2 Curva del PCI promedio de los años en estudio



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se puede concluir que se cumplió con el objetivo general de la “Evaluación de pavimentos flexibles sobre el empedrado mediante la aplicación de métodos convencionales que permitan comparar el estado superficial, considerando aspectos técnicos aplicado en las zonas peri urbana de la ciudad de Tarija”.

Es importante hacer notar que un pavimento sobre empedrado puede durar entre 6 o 7 años llegando a tener aún una categoría o clasificación regular que es una condición aun estable tanto para el IRI como el PCI. Tal es el caso de las calles del año 2013 donde se presentan un 75% de calles regulares y un 25% de calles malas.

A partir del grupo de calles construidas el año 2012 se tiene un 60% de clasificación regular y 40 % de clasificación de malas, haciendo notar que mientras menos años de servicio tenga la calle en estudio, se encuentra en mejores condiciones y se va encontrando mejores resultados.

En las calles evaluadas superficialmente vemos que el pavimento flexible sobre empedrado disminuye su calidad de transitabilidad con el transcurso del tiempo, por el motivo que se va produciendo el pulimiento de los agregados modificándose así la macro y micro textura del mismo, y también aparecen fallas superficiales que hacen que el mismo pavimento sobre empedrado no sea transitable como sucede en la calle colon florida que tiene 22 años de servicio, su macro textura es de 1,02 (textura gruesa) y su micro textura es de 0,94 (malo desgaste de neumáticos).

El comportamiento de los pavimentos sobre empedrado a través de los años de vida útil vemos que según los métodos de evaluación IRI tenemos como resultado una curva ascendente, lo que nos indica que a mayor cantidad de años de servicio se tiene un IRI más alto como en las cuadras del año 2002 tienen 18 años de servicio y su valor del IRI

es de 9,31 (malo), mientras que en las calles del año 2016 que ya tienen 4 años de servicio su valor del IRI es de 5,26 (regular)

El comportamiento de la gráfica 4.2:2 la curva del método de evaluación del PCI es de forma descendente, donde a mayores años de servicio se tiene un PCI más bajo o desfavorable, y a menor año de servicio se tiene un PCI de valor más alto, como se ven las calles del año 2002 que tienen 18 años de servicio y tiene un valor de PCI de 13,05 (muy malo) y en las calles del año 2016 que tienen 4 años de servicio tiene un valor de PCI de 46,33 (regular).

También se puede concluir que según la tabla 4.1:21 los volúmenes de tráfico realizados a las 30 cuadras en estudio se tienen una misma visión de acuerdo a sus años de serviciabilidad, como en las calle colon del barrio la florida que ya tiene 22 años de servicio, tienen un volumen de tráfico de 604 vehículos donde el 5,08 % es tráfico pesado y 94,92 % es tráfico liviano mientras la calle Lourdes del barrio Lourdes que tiene 4 años de servicio tiene un volumen de tráfico de 52 vehículos, donde 1,28 % es tráfico pesado y 98,72% es trafico liviano.

De acuerdo a la evaluación del PCI concluimos que las calles estudiadas muestran que el PCI varía entre una calificación de 8 y 60, lo que quiere decir que existen calles en estado fallado a bueno.

Entre las calles del estudio se concluye que la vida útil es mayor en aquellas que su PCI es más bajo entre valores de 10 a 20, tienen una vida útil de 15 a 20 años, en cambio para calles con PCI de 40 a 50 la vida útil servicio esta de 4 a 6 años.

Como conclusión de nuestro estudio se muestra que cuanto más alto el IRI mayor tiempo de vida tienen los pavimentos por lo que su vida útil remanente es menor siendo IRI mayores a 6 que ya han tenido más de 8 años de vida útil y con IRI menores a 6 han tenido más de 1º años de vida útil.

5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo al grado de fallas superficiales obtenido de la evaluación del PCI, se debe realizar un estudio detallado de la estructura del pavimento para saber las condiciones de cada una de las capas de la misma.

Se recomienda que una vez ejecutado un pavimento sobre empedrado se debe desarrollar un mantenimiento periódico y de rehabilitación con el fin de prolongar la vida del pavimento.

Una vez realizado el tratamiento correspondiente sobre la superficie del pavimento es recomendable realizar mediciones de la macrotextura cada año y así tener un mejor control para futuras intervenciones.

Se recomienda que antes de realizar un pavimento sobre empedrado se debe realizar un estudio de suelos, de tal manera que se verifique si son apropiadas para la ejecución de la misma o si se requiera de suelos de mejores propiedades.

Se recomienda a la Alcaldía Municipal de Tarija que se debe hacer una evaluación superficial a las calles asfaltadas sobre empedrado de la ciudad de Tarija de acuerdo a su sus años de servicio, así poder realizar los mantenimientos requeridos y poder ahorrarse gastos mayores a futuro.

Antes de ejecutar un asfaltado sobre empedrado se debe tomar en cuenta el tipo de tráfico que pasa por la calle y así poder realizar un mejor diseño y ejecución del mismo.