

CAPITULO I

INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Introducción

El software HDM-4 es un programa computacional con una documentación asociada, que servirá como la principal herramienta para el análisis, la planificación, gestión y evaluación del mantenimiento; el software se ha desarrollado mediante la gestión del Banco Mundial, el banco asiático de desarrollo, el departamento de desarrollo internacional de reino unido y el TRRL , basado en los antecedentes directos del HDM-III y el RTIM-3 por lo tanto utiliza varias características de sus predecesoras para predecir el comportamiento de los pavimentos en un futuro. Razón por la cual se busca evaluar el deterioro de vías urbanas críticas en la ciudad de Tarija aplicando el software HDM-4, a través de las condiciones de estado que tiene el pavimento para la calibración del modelo dentro del análisis de restauración y/o mantenimientos para avenidas de pavimento flexible; mediante una concepción mixta de la evaluación previa a la calibración en las avenidas de pavimento flexibles, específicamente en los tramos seleccionados que son la avenida Colon, avenida panamericana y avenida Integración por medio de la evaluación cuantitativa de PCI y cálculo del IRI realizado por el método de Merlín y verificado mediante el método de Mira y Nivel.

Con los espesores de pavimentos, verificados mediante la extracción de núcleo, y los datos obtenidos mediante la evaluación PCI e IRI se expresa que el software HDM-4, es posible utilizarlo a nivel gerencial para establecer estrategias de mantenimiento, conservación y rehabilitación de carreteras urbanas flexibles, siempre y cuando la base de datos de los parámetros entrantes sean verificados, para no poner en riesgo los resultados finales o distorsión de estrategias de mantenimiento al momento de tomar decisiones pertinentes de manera personal y/o empresarial.

1.2. Justificación

1.2.1. Teórica

El presente trabajo de investigación, realizo un análisis en función al software HDM-4 con el fin de hacer una aportación innovadora y tecnológica dentro de la formación académica integral de los nuevos profesionales en el área de la ingeniería civil, más propiamente direccionado en el área de vías y comunicación; para optimizar los procesos de diseño, proyección, análisis y restauración de las vías urbanas. Ya que en la actualidad y en nuestro medio la poca información disponible en el idioma español dificulta el uso de dicho programa, como otros programas innovadores que se van desarrollando con los años; sin embargo, este trabajo busca superar las limitaciones que se puedan presentar para reestablecer las condiciones del deterioro a través de su calibración analizando tramos urbanos estratégicos.

1.2.2. Metodológica

Se selecciono tres tramos de la zona urbana en la ciudad de Tarija, tomando en cuenta la variabilidad de cargas de diseño, su uso cotidiano y la importancia para el departamento de Tarija, con el fin de realizar una evaluación parcial en sus elementos y composición de las vías junto a su comportamiento en diferentes situaciones críticas y la comparación de los resultados del programa con los datos que se realizaron de manera tradicional.

1.2.3. Aplicativa

El propósito es porque nuestro país se utiliza el método ASHTOO 93 en diseño de pavimentos, mientras el HDM-4 basa su análisis de resultados para rehabilitación y mantenimiento en la misma A-93, haciendo teóricamente un enganche perfecto.

En cuanto al análisis que se planteara dentro de la calibración del software, se proyectara a 5 años por diferentes motivos, entre ellos, las vías seleccionadas tienen entre ellas una diferencia de ejecución mayores a 3 años y menores a 5 años, el programa realiza estimaciones de mediano y largo plazo en periodos de 5 a 40 años, por lo cual si proyectamos en un período de 5 años se tendrá resultados observables en unos años al tiempo de estar dentro de los años de vida útil de todos los tramos seleccionados.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación Problemática

Las carreteras con pavimentos flexibles en todos los países como el nuestro tienen espesores variables de la carpeta asfáltica las cuales están sometidos a cargas de vehículos que al pasar los años el número de uso y la variación de cargas vehiculares; por lo cual se escogerá un parque motorizado como referencia para la variación de cargas en los pavimentos que inciden en el deterioro de los pavimentos flexibles de la vía urbana de la ciudad de Tarija, logrando ocasionar fisuras, grietas, baches, piel de cocodrilo, hundimientos, entre otras dependiendo del espesor del pavimento; que avanzan más rápido en comparación de la vida útil prevista por lo que se hace necesario en todas las redes de carretera realizar evaluaciones del estado superficial y estructural de manera que se puedan evaluar las condiciones de estado actuales y pronosticar el comportamiento en los próximos años de su vida útil, para ello el Banco Mundial ha desarrollado un programa informático que en los últimos 10 años han sido utilizados en los países en desarrollo y con el tiempo introduciéndose a países como el nuestro para el diseño, evaluación y mejoramiento de las vías terrestres.

El propósito de incursionar en la evaluación del deterioro de pavimentos flexibles de vías urbanas, es porque en nuestra ciudad los registros de calles y avenidas son insuficientes para realizar un plan de mantenimientos y restauración de las vías de manera tradicional y más aún por la circunstancia mundial de salubridad (COVID19), que impidieron la actualización de datos y planeamientos regulares de nuestras vías.

Por las situaciones mencionadas y otras superfluas más, se ve estratégico y conveniente la incursión de nuevas metodologías digitales para optimizar y facilitar los trabajos de mantenimiento y rehabilitación en calles deterioradas sin colocar a muchas personas en riesgo al momento de planificar y evaluar nuestras vías urbanas, al tiempo de optimizar tiempo, dinero y nuevos datos para futuros proyectos.

1.3.2. Problema

¿La utilización del software HDM 4 permitirá evaluar las condiciones del deterioro de un pavimento flexible de vías urbanas en la ciudad de Tarija proyectando las acciones de mantenimiento y/o conservación del mismo?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el deterioro de vías urbanas críticas en la ciudad de Tarija aplicando el software HDM-4, a través de las condiciones de estado que tiene el pavimento para la calibración del modelo dentro del análisis de restauración y/o mantenimientos para los tramos de estudio seleccionados.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar los procedimientos y metodología del software HDM-4 en el módulo de deterioro de pavimentos flexibles.
- Seleccionar la red de estudio para los parámetros requeridos del programa HDM-4, tal como el diseño geométrico-estructural y el estado del pavimento.
- Realizar trabajo de campo de los métodos de evaluación de IRI, PCI y PSI en los tramos seleccionados.
- Evaluar el deterioro de los tramos seleccionados aplicando la metodología del software HDM-4.
- Evaluar los resultados del proceso del HDM-4 para los tramos de estudio tanto y plantear una rehabilitación en caso de ser necesario.

1.5. Diseño metodológico

1.5.1. Componentes

1.5.1.1. Unidades de estudio

La unidad de estudio de este proyecto de aplicación será los pavimentos flexibles.

1.5.1.2. Población

La población a ser objeto de estudio serán los pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija, más propiamente, una vía urbana con alto tonelaje como vehículo muestra de usuario.

1.5.1.3. Muestra

Como muestra en este trabajo consideraremos dos tramos de pavimentos flexibles de análisis en la ciudad de Tarija.

Tramo N°1: Avenida Colon

Tramo N°2: Avenida Panamericana

Tramo N°3: Avenida Integración

1.5.2. Métodos y técnicas empleadas

1.5.2.1. Método

Se englobo una concepción mixta, ya que se realizó una inspección de las condiciones físicas de los tramos evaluados al tiempo de realizar la evolución de PCI e IRI para los mismos, contando con respuestas tanto cuantitativas como cualitativas.

Método que emplearemos a través del programa computarizado HDM-4 mediante los tres pasos del mismo:

Recopilación de datos

Todo tramo se considerará independiente, por lo cual sus características particulares serán obtenidas de las instituciones encargadas de su elaboración y mantenimiento. De las mismas se espera obtener datos del diseño geométrico, diseño estructural y estándares de conservación; los datos no recopilados, se realizarán en trabajo de campo de ser necesarios para el paso siguiente.

Calibración y Aplicación del software HDM-4

Se introducirá los datos al programa computarizado, Se calibrar los parámetros para la ciudad de Tarija para determinar las acciones a corto, mediano y largo plazo, complementados con una optimización de costos sugeridos de acuerdo al informe generado por el software en pavimentos flexibles.

Análisis del informe generado por el software HDM-4

Se realizará un análisis detallado de los resultados arrojados por el programa computarizado HDM-4 y se planteará con los mismo acciones en beneficio para nuestra ciudad y sus vías urbanas; así como las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

1.5.2.2. Técnica a emplear

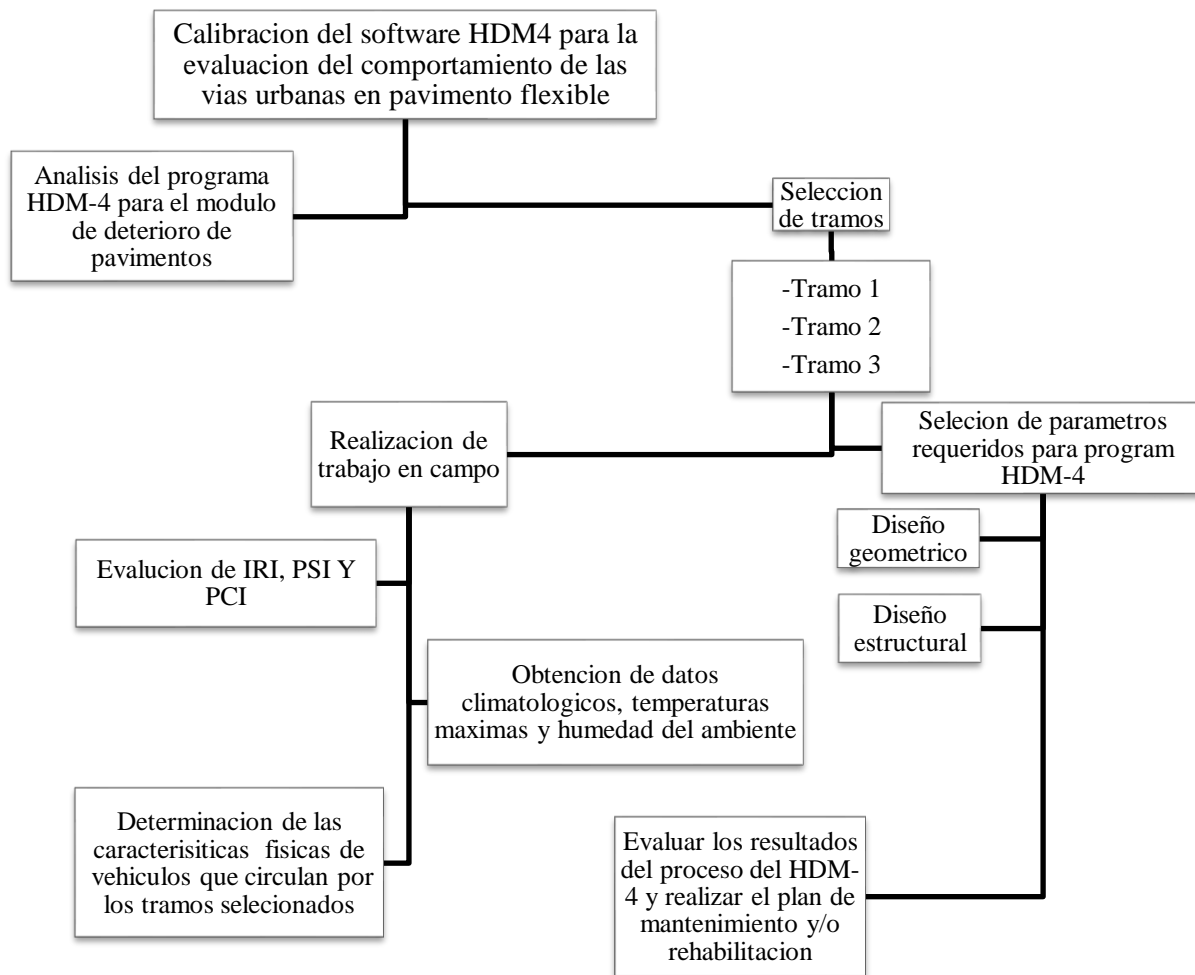
Técnica

Se utilizará documentos de inspección, evaluación, calibración y ajustes referidos a pavimentos flexibles y el software HDM-4.

Descripción de los instrumentos para obtención de datos

- Mira y nivel
- GPS
- Flexómetro
- Huincha
- Regla
- Vernier
- Cámara fotográfica
- Planillas de Excel

Proceso de aplicación



1.5.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

1.5.3.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la rama de la estadística que recolecta, analiza y caracteriza un conjunto de datos, con el objetivo de describir las características y comportamiento de este conjunto mediante medidas de resumen, tablas o gráficos.

1.5.3.2. Variables estadísticas

Una variable estadística es el conjunto de valores que puede tomar una cierta característica de la población sobre la que se realiza el estudio estadístico y sobre la que es posible su medición. Las variables estadísticas se pueden clasificar por diferentes criterios. Según su medición existen dos tipos de variables: Cualitativas y cuantitativas.

1.6. Alcance

Mediante las condiciones de estado que tiene el pavimento flexible se realizó la calibración del software HDM-4 pretendiendo evaluar el deterioro de las vías urbanas en la ciudad de Tarija dentro del análisis de restauración y/o mantenimientos, esta calibración se realizó para los tramos de estudio de la avenida colon, avenida panamericana y la avenida integración, tramos que fueron seleccionados por sus años de servicio a la población, importancia en transitividad y distancias entre ellas.

Para proceder con la calibración, se realizó trabajo de campo necesario para los datos entrantes en el software, como la evaluación de PCI mediante el método que demanda la ABC en Bolivia, determinación del IRI mediante el método de Merlín y respaldado con el método de mira y nivel, y la verificación de espesores en cada tramo junto a su geometría. Una vez cuantificado cada dato y verificado como corresponde se procede a calibrar con el fin que los resultados sean confiables para su utilización, tanto en nuestra prestigiosa universidad en beneficio al aporte académico de los estudiantes que estén interesados en la utilización del programa en su formación; como a las instituciones de nuestra ciudad Tarija y apliquen dicha calibración a las vías urbanas que vean convenientes y necesarias para brindar un amplio servicio a nosotros los usuarios.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES

SOBRE MÉTODO HDM 4 EN LA

EVALUACION DE DETERIORO

DE LOS PAVIMENTOS

URBANOS

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE MÉTODO HDM 4 EN LA EVALUACION DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS URBANOS

2.1. Conceptos generales de los pavimentos

Un pavimento lo podemos definir como una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas construidas sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial; y donde la circulación se hace de manera rápida, confortable, segura y económica.

El número y el espesor de las diferentes capas que integran un pavimento varía según su tipo (rígido o flexible, por ejemplo) y los resultados del diseño, pero el principio básico es el mismo. (Tolaba Gaspar, 2018)

2.2. Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, base y sub base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra. (Montejo Fonseca, 2002)

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. (Rodríguez Velasquez, 2009)

Gráfica N°1. Capas de un pavimento flexible



Fuente: ICI-180

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. (Rodríguez Velasquez, 2009)

2.2.1. Conformación de capas

Los pavimentos flexibles están generalmente conformados por la carpeta de rodamiento en la superficie, apoyada sobre dos capas no rígidas denominadas base y sub base; y todo este paquete estructural descansa sobre la sub rasante, como se muestra en la figura N°1. A continuación, se describen las principales características y funciones para cada una de las capas que componen los pavimentos flexibles. (Torres Ziri6n, 2007)

2.2.2. Subrasante

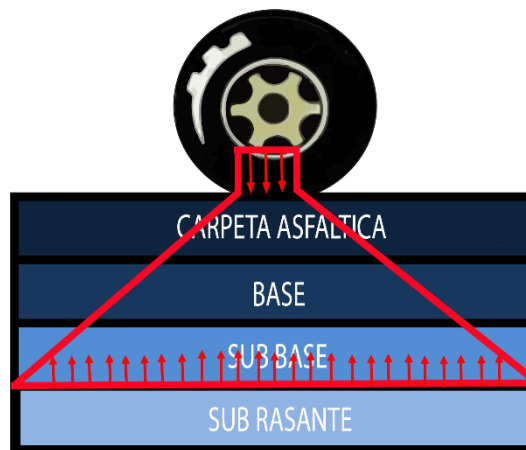
Se conceptualiza como el plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos espec6ficos de geometr6a y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las solicitudes que genera el tr6nsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las banquetas. (Gottret Arce, Juan Carlos , 2011)

La subrasante es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito.

Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad. (Rodriguez Velasquez, 2009)

Gráfica N°2. Comportamiento del pavimento flexible frente a cargas de tránsito



Fuente: ICI-180

2.2.3. Sub base

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la subrasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica.

Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento. (Rodriguez Velasquez, 2009)

2.2.4. Base

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior.

La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada.

Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural. (Rodríguez Velasquez, 2009)

2.2.5. Capa de rodadura

Es la capa que se coloca en la parte superior del paquete estructural, sobre la base, y es la que le proporciona la superficie de rodamiento a la vía.

Cumple la función de impermeabilizar la superficie evitando el ingreso de agua que podría saturar las capas inferiores. También evita la desintegración de las capas subyacentes y contribuye al resto de capas a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos, cuando se construye con espesores mayores a 2.5 cm.

La carpeta es elaborada con material pétreo seleccionado y un aglomerante que es el asfalto. Es de gran importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que la carpeta resista las cargas a la que será sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede provocar pérdida de estabilidad, e incluso hacer resbalosa la superficie.

Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los vehículos, por lo que necesita de mantenimientos periódicos para garantizar su adecuada performance. (Rodríguez Velasquez, 2009)

2.2.6. Vías urbanas

Es una vía de comunicación destinada específicamente a servir de comunicación en el interior de las ciudades, basados en tres criterios: Primero, atendiendo al PERÍMETRO URBANO, en cuanto implica un núcleo de población asentado en un marco geográfico determinado. Segundo, considerando la vía urbana como núcleo de SERVICIOS PÚBLICOS ESENCIALES. Tercero, por su susceptibilidad de recibir EDIFICACIONES como consecuencia del asentamiento de población en su trazado. (Rey, 1994)

2.2.7. Carreteras

La carretera o ruta es un camino público pavimentado que está dispuesto para el tránsito de vehículos. Por lo general se trata de vías anchas que permiten fluidez en la circulación. De las cuales encontramos con diversos tipos de carreteras. Así, por ejemplo, están las nacionales que, como su propio nombre indica, son aquellas que dependen directamente del Estado y se identifican porque cuentan con dos carriles y doble sentido de circulación. En ellas la velocidad máxima permitida es de 100 kilómetros por hora.

Luego, estarían las carreteras comarcales que son las que se encuentran bajo la jurisdicción de una departamental. Se caracterizan porque disponen de calzada única, con dos carriles, o calzada doble. Asimismo, permiten la circulación en doble sentido de vehículos y en ellas no se puede superar una velocidad de 100 kilómetros por hora.

Las terceras carreteras más frecuentes son las llamadas locales, que dependen directamente del ayuntamiento de un municipio y disponen de calzada única con dos carriles. Cuentan además con arcenes estrechos, de no más de medio metro, y la velocidad máxima a la que se puede circular por ellas es de 90 kilómetros por hora. (Rey, 1994)

2.3. Comportamiento de los pavimentos flexible

2.3.1. Diseño mediante método AASHTO 93

Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa con las capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. La capa superior es de

concreto asfáltico. Un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante. Por debajo de la capa de concreto asfáltico se coloca una base que puede ser de piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados². Por debajo de esta base se coloca una capa de menor calidad denominada subbase. (Diseño de Pavimentos AASHTO 93, 2006)

2.3.2. Etapa constructiva

Un pavimento puede haber tenido una buena construcción o haber presentado algunos defectos durante la misma etapa, o bien haber sido claramente deficientes tanto la etapa de diseño como la de ejecución. De cualquier forma, cuando la estructura entra en servicio, esta suele encontrar en excelentes condiciones, satisfacción plenamente las necesidades de los usuarios. (Tolaba Gaspar, 2018)

2.3.3. Etapa deterioro

2.3.3.1. Concepto de deterioro

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo.

La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. (Vasquez Varela, 2002)

2.3.3.2. Causas del deterioro de los pavimentos

El deterioro tiene diversos orígenes y produce imperfecciones, las cuales afectan desfavorablemente la comodidad, la seguridad y los costos de operación de los usuarios de las carreteras.

² Estabilización con cemento, cal, asfalto, etc

Todo proceso de mantenimiento o rehabilitación busca corregir, según el caso, estas alternativas, de manera que se conserve o recupere el índice de servicio durante un lapso determinado que compense apropiadamente las inversiones realizadas para tal fin. Principales causas de los deterioros prematuros de los pavimentos:

- Deficiencias de diseño.
- Deficiencias constructivas.
- Incrementos imprevistos en el tránsito vehicular.
- Factores ambientales desfavorables.
- Agotamiento del periodo de diseño. (Martínez Alarcón, 2015)

2.3.4. Conservación de pavimentos

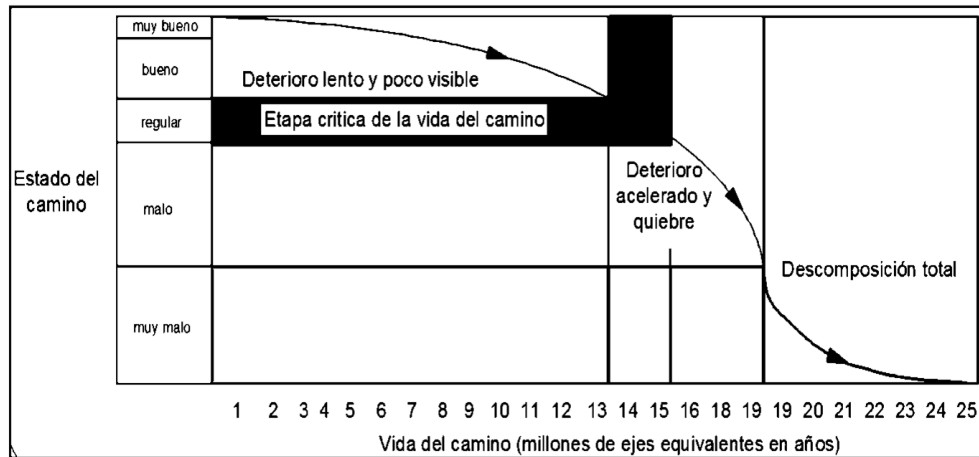
Los pavimentos tienen como propósito prestar un servicio al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es muy importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos. El concepto de conservación de pavimentos significa la acción de cuidar que su servicio se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importante por parte de la agencia responsable.

El patrimonio vial del país se ha enriquecido considerablemente y sigue creciendo en una progresión importante, con ello se pone de manifiesto la necesidad de disponer de una completa información del estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente. Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar a la decisión, seccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, dentro de las disponibilidades económicas de la entidad administradora, sea esta pública o privada. (De Solminihac T., 1998)

Se entiende por gestión de pavimentos todas aquellas acciones de conservación que aplicadas en el tiempo mantienen un nivel de servicio adecuado, tanto en el aspecto funcional como estructural.

En la Figura N°3 se presenta un gráfico que representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, en él se puede observar que en los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente el término de la vida útil del camino.

Gráfica N°3. Deterioro de un pavimento a través del tiempo (CEPAL)



Fuente: ABC

2.4. Tipos de damnificación en los asfaltos flexibles

2.4.1. Fisuras longitudinales y transversales

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

Gráfica N°4. Fotografía de Fisura longitudinal



Fuente: Manual de evaluación PCI

Gráfica N°5. Fotografía de Fisura Transversal



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

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

- Reagudización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler³, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).

³ material de origen mineral, no arcilloso, que pasa tamiz No. 200.

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

Otra causa para la conformación de Fisuras Longitudinales es:

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

Otras causas para la conformación de Fisuras Transversales son:

- Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

Severidades:

- Baja: Abertura de la fisura menor que 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.
- Media: Abertura de la fisura entre 1 mm y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar destornillamientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.
- Alta: Abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar destornillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.

Tipo de intervención:

Para cualquier nivel, reparar las grietas en mantenimiento rutinario, calafateándola⁴.

⁴ Sellado de grietas y fisuras con textiles o geotextiles que se adhieran a los pavimentos.

2.4.2. Fisuras en juntas de construcción

Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Se localizan generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zonas de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico.

Gráfica N°6. Fotografía Fisura longitudinal en junta de construcción



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

- Carencia de ligante en las paredes de la junta.
- Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.
- Deficiencias de compactación en la zona de la junta.
- Unión entre materiales de diferente rigidez.

Tipo de intervención:

Ase puede aplicar lo correspondiente al tipo de deterioro y su categoría, por lo general se adecua a una intervención para grietas longitudinales y se soluciona con calafateadora.

2.4.3. Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto

Este tipo de daño se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido; tales fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando existen grietas en las placas de concreto rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.

Gráfica N°7. Fisuras por reflexión de juntas en placas de concreto



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

Son generadas por los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígido o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque éstas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.

Tipo de intervención:

En cualquier nivel, reparar las grietas en mantenimiento rutinario, calafateándola.

2.4.4. Fisuras en medialuna

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.

Gráfica N°8. Fisura en medialuna



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- Ausencia o falla de obras de contención de la banca.
- Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca al borde de la vía.
- Consolidación de los rellenos que acompañan las obras de contención.

Tipo de intervención:

- Baja y media; Reparación en mantenimiento rutinario, calafateándolas.
- Alta; Sustitución de la capa de rodadura (carpeta) o recapeado (rencarpetado) con espesor suficiente.

2.4.5. Fisuras de borde

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.

Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con ancho de hasta 0,6 m.

Gráfica N°9. Fisuras de borde



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,3 m a 0,6 m del borde de la calzada.

Tipo de intervención:

En cualquier nivel, reparar las grietas en mantenimiento rutinario, calafateándola.

2.4.6. Fisuras en bloque

Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito. Por otra parte, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.

Gráfica N°10.Fisuras en bloque



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

- La fisuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo - deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado para las condiciones climáticas de la zona.
- Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.

- Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.
-

Tipo de intervención:

- Baja; Calafateo de cada fisura individual en mantenimiento rutinario.
- Media; Lechada superficial o microcarpeta, en toda el área afectada.
- Alta, Recapeado (rencarpetado) con nueva capa de rodadura con espesor > 5 cm.

2.4.7. Piel de cocodrilo

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo. Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm.

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y subrasantes expansivas, entre otras. Este tipo de daño no es común en capas de material asfáltico colocadas sobre placas de concreto rígido.

Gráfica N°11.Piel de cocodrilo



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- Espesor de estructura insuficiente.
- Deformaciones de la subrasante.
- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).
- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).
- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos estos factores pueden reducir la capacidad estructural o inducir esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

Tipo de intervención:

- Baja; Lechada superficial en cada área afectada.
- Media; Lechada superficial en todo el tramo
- Alta, Recuperación de la capa de rodadura (carpeta) y parte de base para estabilización como refuerzo. Nueva capa de rodadura

2.4.8. Hundimiento

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

Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidroplaneo. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna, en cualquier caso, el reporte del daño debe incluir la orientación o la forma del hundimiento, si es fácilmente identificable en campo.

Gráfica N°12.Hundimiento



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento:

- Asentamientos de la subrasante.
- Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- Diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante en los sectores de transición entre corte y terraplén.
- Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.
- Inestabilidad de la banca.
- Circulación de tránsito muy pesado.

Tipo de intervención:

- Baja; No requiere
- Media; Sustitución local de la capa de rodadura en mantenimiento rutinario.
- Alta; Recuperar la capa de rodadura más parte de la base para estabilizar de 15 a 20 cm, con asfalto o cemento Portland y reforzar la estructura. Colocar nueva capa de rodadura del espesor necesario.

2.4.9. Ahuellamiento

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

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

Gráfica N°13.Ahuellamiento



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

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

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

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

Tipo de intervención:

- Baja; Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
- Media; Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario.
- Alta; Fresar la capa de rodadura (carpeta) y sustituirla en la banda de circulación afectada.

2.4.10. Descascaramiento

Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Gráfica N°14.Descascaramiento



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

- Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales.
- Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica.
- Riego de liga deficiente.
- Mezcla asfáltica muy permeable.

Severidades:

- Baja: Profundidad menor que 10 mm.
- Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- Alta: Profundidad mayor que 25 mm.

Tipos de intervención:

- Baja: Tratamiento aislado en mantenimiento preventivo Media: profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.

- Media y alta;
Base sin tratar: Recuperación, Re perfilado y Re compactación de la base.
Base tratada: Colocación de una capa correctiva (carpeta Re niveladora) y una nueva capa de rodadura (carpeta o tratamiento superficial)

2.4.11. Bache

Gráfica N°15. Bache



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

Este tipo de deterioro puede presentarse por la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. Este deterioro ocurre siempre como evolución de otros daños, especialmente de piel de cocodrilo.

También es consecuencia de algunos defectos constructivos (por ejemplo, carencia de penetración de la imprimación en bases granulares) o de una deficiencia de espesores de capas estructurales. Puede producirse también en zonas donde el pavimento o la subrasante son débiles.

Severidades:

Se pueden clasificar por profundidad, así:

- Baja: profundidad de afectación menor o igual que 25 mm, corresponde al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.
- Media: profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.
- Alta: profundidad de afectación mayor que 50 mm, que llega a afectar la base granular.

Tipo de intervención:

- Baja: Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario. Bacheo
- Media: Tratamiento aislado y nueva capa de rodadura (carpeta) para refuerzo en el tramo afectado.
- Alta: Recuperar la capa de rodadura más parte de la base para estabilizar de 15 a 20 cm, con asfalto o cemento Portland y reforzar la estructura. Colocar nueva capa de rodadura del espesor necesario.

2.4.12. Perdida de Agregado

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.

Gráfica N°16. Perdida de agregado



Fuente: Manual de evaluación PCI

Causas:

- Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- Endurecimiento significativo del asfalto.
- Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

Severidades:

- Baja: Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.
- Media: Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
- Alta: Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.

Tipo de intervención:

- Baja; mantenimiento rutinario.
- Media; Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.
- Alta; Los tramos afectados, sí corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm, se fresan de inmediato. Si corresponden a un tratamiento superficial o microcarpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con áridos (agregados) duros.

(Ministerio de transporte instituto nacional de vías, 2003)

2.5. Evaluación estructural de pavimentos flexibles

La evaluación estructural de pavimentos asfálticos consiste, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función. Las necesidades de evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

Ante un problema de evaluación estructural, el ingeniero vial tradicionalmente ha recurrido a la perforación, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes⁵ por separado, para incorporarlos luego en el sistema⁶ y deducir acerca de las características estructurales del mismo. Esta metodología es cara, lenta, altera el equilibrio del sistema al perforar y es "destructiva". (Martínez Alarcón, 2015)

⁵ Materiales

⁶ Pavimento

2.5.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididas a su vez en secciones. Cada sección es nuevamente dividida en unidades de muestreo, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

- Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$.
- 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.

Todas las unidades de muestra en una sección pueden inspeccionarse para determinar el valor PCI promedio de la sección. Sin embargo, esta posibilidad se limita normalmente por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo. El muestreo total es recomendable para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación necesarias.

Debe calcularse un número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad).

Uno de los mayores inconvenientes del método aleatorio es la exclusión del proceso de inspección y evaluación de algunas unidades de muestreo en muy mal estado. También puede suceder que unidades de muestreo que tienen daños que sólo se presentan una vez (por ejemplo, “cruce de línea férrea”) queden incluidas de forma inapropiada en un muestreo aleatorio.

Para evitar lo anterior, la inspección deberá establecer cualquier unidad de muestreo inusual e inspeccionarla como una “unidad adicional” en lugar de una “unidad representativa” o aleatoria. Cuando se incluyen unidades de muestreo adicionales, el cálculo del PCI es ligeramente modificado para prevenir la extrapolación de las condiciones inusuales en toda la sección. (ABC, 2011)

2.6. Sistemas de gestión de pavimentos

Uno de los principales activos de un país es su red de carreteras. Es fundamental que la red se encuentre en un estado óptimo para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo tanto a nivel económico como social y medioambiental. Por tanto, la importancia del mantenimiento de la red vial debería ser reconocida por las administraciones competentes de manera que se le dote de un presupuesto adecuado y esté correctamente gestionado.

En este sentido, varias administraciones alrededor del mundo han desarrollado y utilizan un Sistema de Gestión de Pavimentos (SGP) para analizar el ciclo de vida de la red de carreteras y gestionar y planificar de la mejor manera posible las actividades de mantenimiento y rehabilitación. En este contexto, juega un papel esencial la predicción del estado del pavimento, es decir, conocer cómo se va a deteriorar el pavimento a lo largo de los años.

Cabe destacar que existen diferentes investigaciones que han tratado de identificar qué factores son clave en el proceso de deterioro del pavimento. No obstante, la mayoría de estos estudios se han centrado en la calibración de modelos para predecir el estado del pavimento de carreteras interurbanas, los cuales no pueden aplicarse a una red vial urbana debido, fundamentalmente, a que existen importantes diferencias en cuanto a las características del tráfico, la estructura del firme, las propiedades de la sección transversal y la influencia del propio deterioro en la funcionalidad. Asimismo, muchos de los modelos calibrados han sido desarrollados en áreas muy concretas donde no existen apenas variaciones climáticas.

2.6.1. Pavement Condition Index-PCI

El PCI es un indicador numérico que califica el estado de la superficie del pavimento.

El PCI proporciona una medida de la condición actual del pavimento basada en el deterioro observado en la superficie del pavimento, que también indica la integridad estructural y la condición operativa de la superficie⁷.

⁷ rugosidad localizada y seguridad

El PCI fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la US Army con fondos provistos por la US Air Force, para pavimentos de aeropuertos. Posteriormente fue verificado y adoptado por la FAA y la US Naval Facilities Engineering Command. La metodología PCI esta descrita en la norma ASTM 5340-98, la cual da los lineamientos para determinar el Índice de Condición del Pavimento.

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

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En la Figura N°17 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento. (ABC, 2011)

Tabla N°1. Niveles cualitativos de PCI

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

Fuente: Manual de evaluación PCI

2.6.1.1. Metodología

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona. Debe seguirse estrictamente la definición de los daños que establece la Norma ASTM 5340–98 para obtener un valor del PCI confiable.

Pavimentos asfálticos⁸:

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación o sangrado
3. Agrietamiento en bloque
4. Bombeo y hundimiento
5. Corrugación
6. Depresiones
7. Agrietamiento de borde
8. Agrietamiento reflejo de juntas
9. Caída externa de vía u hombrera
10. Agrietamiento longitudinal y transversal
11. Parches
12. Agregados pulidos
13. Baches
14. Cruce de ferrocarril
15. Ruteo
16. Empellones
17. Agrietamiento media luna
18. Protuberancia
19. Interperismo

Una hoja de datos se requiere por cada unidad de muestra. El inspector llena el formulario de datos caminando por cada unidad de muestra y registrando los deterioros medidos. El deterioro se clasifica como gravedad baja, media o alta. Con la suma total de cada falla se obtiene el porcentaje de la densidad por cada tipo de falla. A través de curvas para cada tipo de falla y el valor de densidad, se obtienen los Valores de Reducción (VR) para cada tipo de deterioro y gravedad. Se calcula gráficamente o a través de ecuaciones el “Número máximo admisible de Valores Reduidos” (m) y con este valor, se pasa a calcular el máximo Valor de Reducción Corregido (VRC) sumando los valores individuales y

⁸ Definiciones explicadas en el subtítulo de fallas de este documento

utilizando curvas de correlación. Obtenido el máximo VRC se obtiene el valor del PCI con la ecuación:

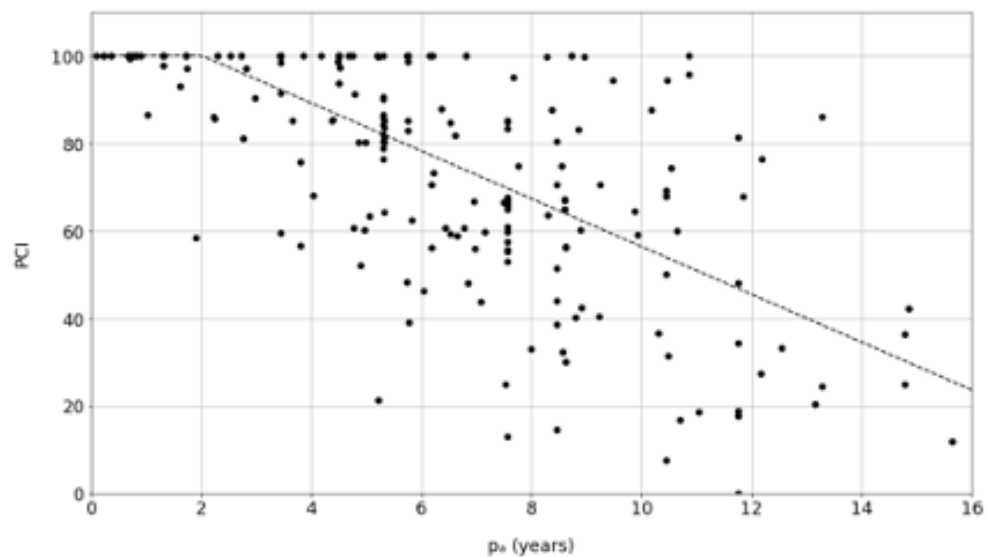
$$PCI = 100 - \text{MáximoVRC}$$

El valor de PCI de toda una sección se calculó promediando los valores de PCI de cada unidad de muestra. (ABC, 2011)

2.6.2. Influencia de la edad del pavimento

El principal factor en el proceso de deterioración del pavimento, que se considera un fenómeno estocástico, es la edad del pavimento. Aunque en este estudio se consideraron tramos de carretera con muy distintos niveles de tráfico y condiciones climáticas, PA fue la variable que mayor relación mostró con el fenómeno de deterioro. Esta relación fue modelada a través de un análisis de regresión empleando técnicas de validación cruzada indicando que la condición del pavimento (PCI) decrece alrededor de 5 unidades por año a partir del primer año y medio de su construcción.

Gráfica N°17.Influencia de la edad del pavimento



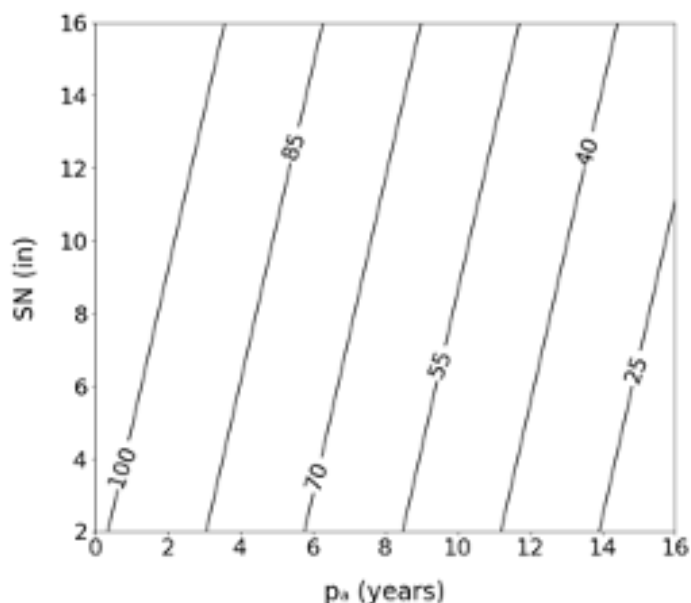
Fuente: Manual de evaluación PCI

2.6.3. Influencia de la capacidad estructural

El Structural Number (SN) requerido en un tramo de carretera depende de la variable de tráfico KESAL. Sin embargo, el coeficiente de correlación entre estas variables fue muy bajo (-0,3), reflejando que realmente no existía una importante relación entre ambos parámetros. Para determinar la influencia de la capacidad estructural en el proceso de deterioro del pavimento se partió del modelo que había sido calibrado anteriormente a partir de la edad del pavimento. En este sentido, se concluyó que esta variable no tenía un impacto significativo en el fenómeno estudiado, pues los residuos del modelo frente a SN se comportaron de forma homocedástica y con forma rectangular.

No obstante, para valores de SN mayores a 10 pulgadas, los residuos eran positivos. Esto significa que el PCI predicho para aquellos pavimentos con una alta capacidad estructural era subestimado. Por el contrario, el PCI era sobreestimado en aquellos pavimentos con bajos valores de SN. Aunque se necesita de una mayor investigación en este aspecto para obtener conclusiones más robustas, estos resultados apuntan que un aumento de la capacidad estructural del pavimento retrasa su proceso de deterioro

Gráfica N°18.Influencia de la capacidad estructural.



Fuente: Manual de evaluación PCI

2.6.4. Índice de rugosidad internacional – IRI

La rugosidad se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de operación del vehículo. La rugosidad es la característica que más influye en la sensación de confort y seguridad que experimenta un usuario al circular por una carretera.

La regularidad superficial es un fenómeno que depende primordialmente del perfil longitudinal de la carretera, pero también depende de las características mecánicas de los vehículos y la velocidad de circulación de estos. Existen dos tipos en general, de medidas de regularidad superficial: los que basan su medida en la evaluación del perfil longitudinal y los que miden la respuesta de un vehículo determinado al circular por un tramo de carretera.

La gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial y los numerosos índices y escalas existentes para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, llevaron a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único".

En 1982, el Banco Mundial inició un experimento en Brasil para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. El Índice Internacional de Rugosidad es el primer índice de perfil ampliamente utilizado, donde el método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad y se puede decir que es una propiedad del perfil de un camino. (ABC, 2011)

El IRI, también llamado por su nombre técnico RARS8, debe cumplir con las siguientes cinco condiciones:

- Es calculado a partir de un solo perfil. El intervalo de muestreo del perfil debería ser inferior a 300 mm para cálculos precisos. La resolución requerida depende del nivel de rugosidad, necesitándose resoluciones más finas para pavimentos más lisos. Una resolución de 0.5 mm en la obtención del perfil es apropiada para todas las condiciones.

- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre puntos contiguos de elevación.
- El perfil es primero suavizado mediante el uso de medias móviles cuyo largo base es de 250 mm. Esto es realizado por dos motivos; la idea es simular el comportamiento de la envolvente de los neumáticos y reducir la sensibilidad de la simulación el cuarto de carro al espaciamiento de muestreo del perfil longitudinal.
- El perfil suavizado es filtrado utilizando la simulación del cuarto de carro, RQCS (Reference Quarter Car Simulation), con sus parámetros específicos, a una velocidad de 80 km/h.
- El movimiento de la suspensión simulada es acumulada y dividida por el largo del perfil para así obtener el valor de IRI, es de esta forma que el IRI es expresado, generalmente en unidades de m/km o in/mm. (ABC, 2011)

2.6.4.1. Método de Merlín

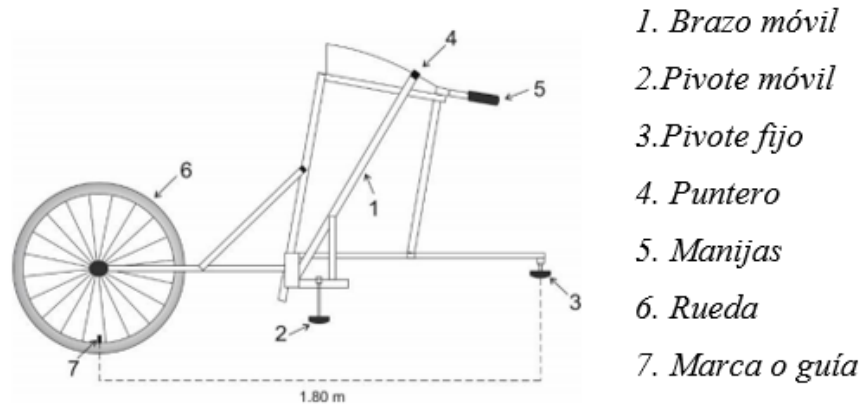
El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal del autor en 1993 (8), existiendo en la fecha (junio 1999) más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

De acuerdo con la clasificación del Banco Mundial los métodos para la medición de la rugosidad se agrupan en 4 clases, siendo los de Clase 1 los más exactos (Mira y Nivel, TRRL Beam, perfilómetros estáticos). La Clase 2 agrupa a los métodos que utilizan los perfilómetros estáticos y dinámicos, pero que no cumplen con los niveles de exactitud que son exigidos para la Clase 1. Los métodos Clase 3 utilizan ecuaciones de correlación para derivar sus resultados a la escala del IRI (Bump integrator, Mays meter). Los métodos Clase 4 permiten obtener resultados meramente referenciales y se emplean cuando se requieren únicamente estimaciones gruesas de la rugosidad.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el

MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2 = 0.98$). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros. (MERLINER)

Gráfica N°19.Equipo Merlín



Fuente: Manual MERLINER

Determinación de la rugosidad

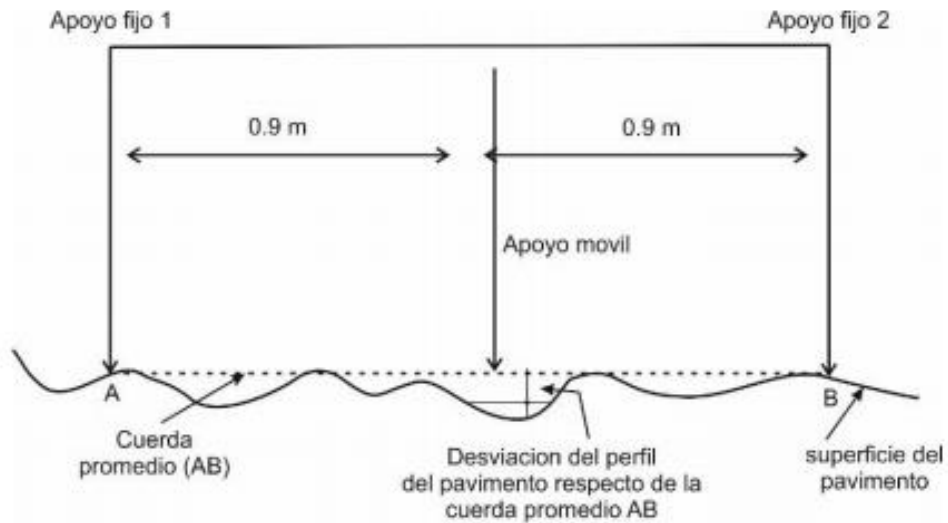
La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio.

La longitud de la cuerda tiene un promedio de 1.80m, ya que es la proporcionan té de los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerando un intervalo constante entre cada medición.

Por tal, se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad.

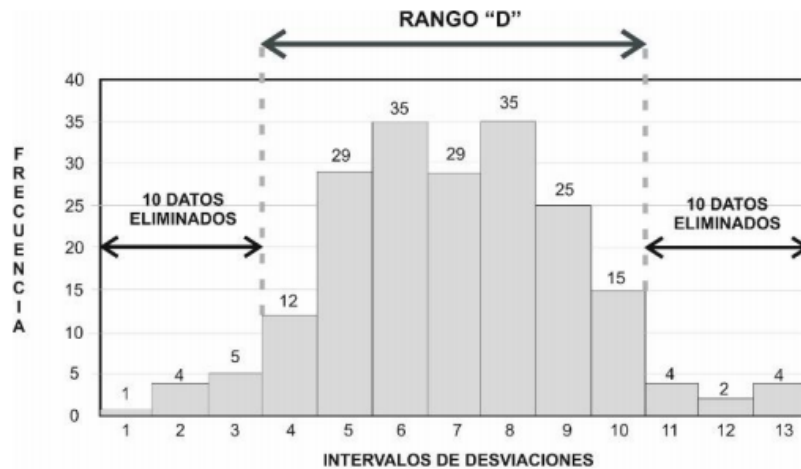
El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depreciación del 10% de observaciones (10 datos en cola del histograma), el valor D es la rugosidad del pavimento en unidad de Merlín.

Gráfica N°20.Desviación de la superficie de pavimentos respecto al promedio



Fuente: Manual MERLINER

Gráfica N°21.Histograma de frecuencia, desviación y eliminación de datos



Fuente: Manual de uso MERLINER

2.6.5. Índice de servicialidad presente - PSI

Un criterio para valorar el estado de un camino es el de la “calificación actual” o como se lo denomina servicialidad. Existen en la actualidad diversos indicadores, todos, tienen

en común la preponderancia de las irregularidades (rugosidad) por sobre todos los otros factores utilizados en el cálculo de tales indicadores (grietas, ahuellamientos, deformaciones, etc.).

La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural. En la figura 2.5-1 se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja cómo se va deteriorando un pavimento en el tiempo. (ABC, 2011)

La escala de calificaciones AASHTO es la siguiente:

Tabla N°2. Escala PSI del método AASHTO

Calificación	Estado del pavimento
4.5 – 5.0	Excelente
3.1 – 4.4	Bueno
2.6 – 3.0	Regular a bueno
2.1 – 2.5	Regular a malo
1.1 – 2.0	Malo
0.0 – 1.0	Muy malo

Fuente: Manual de la ABC

2.6.6. El HDM-4 en la gestión de pavimentos

El HDM-4 es una herramienta de gestión vial, incorpora nuevas alternativas para los análisis y toma en cuenta una variedad de variables por el hecho que entidades financieras internacionales lo utilizan, tal como el Banco Mundial y el Banco Internacional de Desarrollo.

Dentro de las funciones del software tenemos:

2.6.6.1. Planificación

Consiste en el análisis de un sistema de vías en su conjunto, definiéndose presupuestos a mediano y largo plazo, estimándose gastos de desarrollo y conservación de carreras bajo distintos escenarios.

2.6.6.2. Programación

Consisten en el desarrollo de programas plurianuales de obras tanto de construcción como de conservación de tramos de una red, que generalmente están condicionadas por limitaciones presupuestales, teniendo que definirse las actuaciones a realizados en función de análisis costo-beneficio.

2.6.6.3. Preparación

Se define en detalle cómo se llevará a cabo los distintos tipos de obras a ejecutar sobre un tramo de vía.

2.6.6.4. Operación

Consiste en el desarrollo de las tareas definidas en los pasos definidos anteriormente y realizados de un seguimiento detallado de los trabajos realizados.

El software HDM-4 es una herramienta de ayuda al gestor de una red de vía, que le permite de una manera analítica identificar donde resulta más rentable invertir, para conseguir maximizar el beneficio de la red.

así, a través de las distintas funcionalidades de la herramienta se pueden analizar los resultados de distintas alternativas en la planificación de redes de carreteras. Se pueden analizar los resultados de diferentes programas de actuación en una determinada red y se pueden llegar a definir trabajos óptimos. (Tolaba Gaspar, 2018)

2.7. Modelos de pavimentos HDM-4

2.7.1. Antecedentes

Los primeros estudios para el desarrollo de un sistema de evaluación de inversiones de carreteras fueron financiados por el Banco Mundial en 1968. Varias instituciones estadounidenses en colaboración con el Transport Research Laboratory (TRL) del Reino Unido emprendieron un proyecto para evaluar los efectos que la construcción y las actuaciones de conservación tienen sobre los costes de operación de los vehículos en carreteras de bajo tráfico. Estos estudios dieron lugar al primer modelo denominado Highway Cost Model (HCM) desarrollado por el instituto tecnológico de Massachussets (MIT).

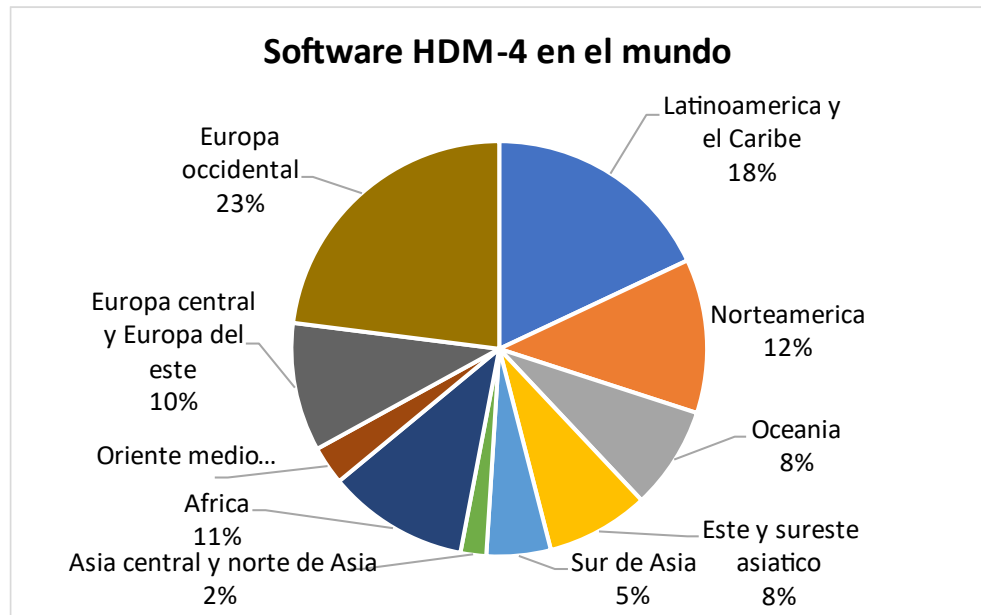
Desde entonces el modelo se ha ido mejorando, a partir de diversos trabajos realizados fundamentalmente en países en vías de desarrollo. Uno de los más importantes trabajos de campo se llevó a cabo en Kenia, con el objetivo de elaborar los modelos que evalúan el deterioro del firme y los costes para los usuarios.

En Brasil, entre 1982 y 1986, se desarrollaron nuevas relaciones respecto al comportamiento del firme y los efectos de la operación de los vehículos. El HDM-III incorpora los resultados de estudios posteriores realizados en Kenia, India y el Caribe. La última versión del programa, el HDM4, ha permitido ampliar el campo de aplicación del mismo, tras la actualización de los modelos y la incorporación de nuevos aspectos en el análisis como la modelización del comportamiento de firmes rígidos, los efectos de la congestión, el consumo de energía y otros efectos medioambientales.

Según datos de la PIARC⁹, que gestiona y difunde el programa desde 1998, éste se está aplicando ya en más de 100 países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo. La distribución mundial de su utilización se muestra en la figura siguiente.

⁹ Asociación mundial de la carretera

Gráfica N°22.Utilización internacional del software HDM4



Fuente: Revista PIARC

Como puede observarse un gran porcentaje de administraciones de carreteras de países con economías no desarrolladas utilizan el modelo HDM. Si bien es muy significativo el 23% y el 12% de administraciones que lo utilizan en Europa occidental y en Norteamérica respectivamente. La intención de la PIARC es la de fomentar su uso en países en vías de desarrollo y con economías en fase de transición. (Perez Perez, 2015)

2.7.2. Descripción general del software

El objetivo del programa es el de optimizar el coste del transporte por carretera, entendido éste como la suma de los costes asumidos por el estado y los costes generados sobre los usuarios. Dentro de los costes de la administración hay que incluir los derivados de la construcción de la carretera y su posterior conservación y mantenimiento. Para el usuario, los costes se avalúan en términos de costes de operación del vehículo: consumo de combustible, coste del tiempo de viaje, costes derivados de accidentes, etc.

En el HDM-4 mediante un primer módulo se introducen los datos de partida, cualquier error a la hora de imponer las hipótesis de partida es detectado a este nivel e interrumpe el análisis.

El segundo módulo evalúa los deterioros de la carretera y una serie de efectos. Este particular se realiza una serie de análisis a partir de los modelos siguientes:

- Deterioro de la carretera (RD): Predice el deterioro del firme.
- Efectos de las actuaciones (WE): Implementa programas de actuaciones y determina sus costes.
- Efectos sobre los usuarios (RUE): Determina los costes de circulación de los vehículos, accidentes y el tiempo de viaje.
- Efectos sociales y medioambientales (SEE): Determina los efectos producidos por emisiones y ruidos y predice el número de accidentes y la cantidad de consumo de energía.

Un tercer módulo realiza el análisis económico. Calcula los indicadores económicos de las distintas alternativas de conservación planteadas. Por último, el cuarto módulo, de generación de resultados, proporciona una serie de informes sobre el estado del firme, los costes de operación de los vehículos y el análisis económico.

Por otra parte, es importante aclarar que el programa admite tres niveles de aplicación: planificación, programación y proyecto. El nivel de planificación estratégica permite un análisis global del sistema de carreteras, para la preparación de estimaciones a largo plazo sobre las necesidades de la red y las inversiones necesarias bajo distintos escenarios presupuestarios. El nivel de programación identifica y prioriza las actuaciones en distintos tramos de la red, según las disponibilidades presupuestarias en cada caso. Por último, el nivel de proyecto sería la etapa final, en la que se evalúan para un tramo en concreto los beneficios económicos de las distintas opciones de actuación para así seleccionar la más adecuada.

El modelo HDM-4 no permite la realización de la asignación y distribución del tráfico en una red de carreteras. Además, es muy importante tener en cuenta que para poder utilizar los modelos anteriormente mencionados es imprescindible disponer de una base de datos, que no está incluida en el programa.

Ésta será tan completa como se quiera en función del grado de complejidad del análisis que se vaya a realizar. Deberá considerar, como mínimo, los siguientes aspectos:

- Sistema de referenciación.
- Tráfico.
- Clima.
- Inventario.

El sistema de referenciación debe permitir definir todas las carreteras de la red, su localización y en ellas el emplazamiento de cualquier punto. Debe tratarse de un sistema biunívoco, universal e independiente.

El programa establece una clasificación para cada región de estudio según el tipo de clima predominante, teniendo en cuenta:

- la temperatura
- la humedad
- la pluviometría.

En cuanto al inventario es imprescindible para abordar un sistema de gestión y dependerá de su coste, la precisión exigida y la posibilidad de ser mejorado a largo plazo. La información para su elaboración se puede obtener de distintas fuentes, datos históricos, proyectos originales o reformados, datos de campo e incluso de la memoria del personal que participó en la obra y en las tareas de conservación.

- El contenido básico de un inventario de carreteras se compone de los siguientes aspectos: Características geométricas: anchuras, curvaturas, pendientes y la ramificación correspondiente.
- Características del suelo, drenaje natural y obras específicas de evacuación y canalización de aguas.

- Datos de la sección de firme: características de los materiales de cada capa y espesores.
- Historial del firme y rehabilitaciones efectuadas. Si se dispone de datos suficientes el análisis histórico puede ser muy fructífero al poder tratar y comprobar la evolución de los modelos.

2.8. Modelo de deterioro en HDM-4 para pavimentos flexibles

El HDM-4 es un modelo computarizado capaz de predecir la evolución del estado de diversos tipos de pavimentos, en función de una serie de condiciones y actividades que se esperan a lo largo del período de análisis, el cual es definido por el encargado del estudio. Cuando el HDM-4 se aplica a nivel de proyecto, este lapso de tiempo ¹⁰ generalmente coincide con el período de diseño de la obra, por lo que este tipo de análisis se conoce como un “análisis de ciclo de vida”.

Las predicciones del modelo incluyen las implicaciones económicas generadas como resultado de la aplicación de tareas de mantenimiento y/o mejora, programadas de acuerdo a los estándares que implementa el administrador de la red vial, las cuales, al modificar el estado del pavimento, afectan también los costos de los usuarios de los caminos. (Ciudad universitaria El Salvador, 2015)

2.8.1. Origen y desarrollo del software HDM-4

El HDM-4 es la última versión de una cadena de modelos creados para la evaluación de inversiones en pavimentos, surgió a partir de un constante proceso de mejoramiento y perfeccionamiento de modelos anteriores, con el objetivo de adecuarse a las condicionantes actuales en la planificación y desarrollo de sistemas viales, así como a las nuevas normativas referentes a la protección del medio ambiente que están siendo aplicadas en diversos lugares. (Cuaresma, 2003)

¹⁰ Selección del período de análisis

El primero de estos modelos para la evaluación de proyectos de carreteras surgió en el año 1968, siendo producido por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) del Reino Unido, juntamente con el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) de Francia, bajo el patrocinio del Banco Mundial y como respuesta a los términos de referencia de un estudio para el diseño de carreteras.

Tiempo después, el mismo Banco Mundial encargó la elaboración de un nuevo modelo basado en la literatura e información disponible al Massachusetts Institute of Technology (MIT), así surgió el Highway Cost Model (HCM), el cual significó un gran avance sobre otros modelos de esa época utilizados para analizar las interacciones entre los costos de los trabajos en las carreteras y los costos de operación vehicular. Posteriormente, el TRRL realizó un estudio en Kenya para investigar el deterioro de las carreteras pavimentadas y no pavimentadas, y su relación con los costos de operación vehicular en los países en desarrollo. A partir de este estudio surgió la primera versión del Road Transport Investment Model (RTIM), para países en desarrollo. En 1976 apareció la primera versión del Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM), siendo este una versión más potente del HCM desarrollada por el MIT. A partir de los estudios elaborados por el TRRL surgió el RTIM2, a la vez que el Banco Mundial impulsó la creación del HDM-III (1987), incorporando de mejor forma todos los resultados de trabajos previos. Hasta ese entonces, los planificadores tenían serias limitantes para usar los modelos, ya que estos sólo se podían correr ¹¹en las “supercomputadoras” de esos días. Fue una versión del RTIM2, producida por la Universidad de Birmingham en 1985, la primera que pudo emplearse en una computadora personal, luego el Banco Mundial produjo el HDM-PC, una versión para microcomputadoras del HDM-III.

¹¹ “Correr” término empleado en este caso para referirse al proceso interno de un programa de computadora, mediante el cual se llevan a cabo los cálculos necesarios para brindar los resultados que de él se esperan partiendo de una serie de datos de entrada.

En 1994 aparecieron dos versiones más potentes del HDM, producidas siempre por el Banco Mundial, se denominaron HDM-Q y HD Manager, e incorporaban entre otras cosas, el análisis de los efectos de los congestionamientos.

En el período 1993-2000 se realizó el estudio denominado “International Study of Highway Development and Management” (ISOHDM), con el objetivo de ampliar los alcances del modelo HDM-III, creando un sistema acorde a las necesidades de los administradores de redes viales, con un software que brindara las herramientas de trabajo necesarias y fuera amigable con los usuarios. Dicho estudio fue patrocinado por muchos gobiernos e instituciones internacionales, entre las cuales cabe destacar:

- Asian Development Bank (ADB)
- Overseas Development Administration (ODA)
- Swedish National Roads Administration (SNRA)
- World Bank

Como parte de la metodología de trabajo se formaron cuatro grupos encargados de diversos aspectos del desarrollo del nuevo modelo, estos grupos fueron:

- El “Highway Development and Management Technical Relationships Study” (TRS) tuvo su sede en Malasia, encargándose de investigar los efectos en los costos de los usuarios y el impacto de las actividades de mantenimiento en la condición de los pavimentos flexibles.
- En la Universidad de Birmingham, en el Reino Unido, se instaló la secretaría del proyecto, y también allí se desarrolló el software para dar soporte al modelo.
- El Swedish Road and Transport Research Institute tuvo a su cargo un grupo, el cual analizó algunos elementos de los costos de los usuarios y del deterioro de los pavimentos.
- En Chile se desarrolló el trabajo para la incorporación de los pavimentos rígidos como opción en los análisis, contando con el

financiamiento de la Federación Interamericana de Productores de Cemento (FICEM).

El producto final obtenido a partir de dicho estudio fue lo que ahora conocemos como el modelo Highway Development and Management (HDM-4), del cual, una vez concluida su etapa de desarrollo, la Federación Internacional de Carreteras (World Road Association, PIARC) asumió la conducción de la fase de implementación.

El HDM-4 ha tenido un gran éxito como herramienta de gestión vial, porque incorpora nuevas alternativas para los análisis y toma en cuenta una mayor diversidad de variables, lo cual vuelve más fácil su implementación en diversas realidades. De hecho, entidades financieras internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, lo usan para la evaluación de factibilidades en los países sujetos de créditos. (Kerali, 2003).

2.8.2. Factores de análisis del software HDM-4

Dentro de un análisis con el modelo HDM-4 se toman en cuenta los siguientes factores:

- a. Características de los materiales del pavimento
- b. Estructura del pavimento
- c. Geometría de la vía
- d. Condición actual
- e. Volumen y carga del tráfico sobre la vía en estudio
- f. Condiciones climatológicas en la zona
- g. Frecuencia, cantidad y tipo de actividades de mantenimiento
- h. Tipo y año de las intervenciones mayores (refuerzo y rehabilitación)

(Kerali, 2003)

2.8.3. Aplicaciones

Una de las mayores virtudes del modelo HDM-4 dentro de la gestión vial, es la amplitud de sus campos de aplicación, los cuales se pueden dividir de la siguiente manera: Planificación, Evaluación Técnica y Evaluación Económica.

2.8.3.1. Planificación

Dentro de esta etapa, la importancia del modelo se manifiesta al servir como herramienta para la justificación de inversiones mediante un proceso analítico, ya que permite prever las necesidades físicas y financieras para las actividades futuras de conservación, sirviendo como ayuda en la elaboración de estrategias de desarrollo y/o mantenimiento cuando existen restricciones presupuestarias.

2.8.3.2. Evaluación Técnica

Se utiliza para comparar alternativas de diseño y planes de mantenimiento, calcular el tipo y extensión del deterioro en los pavimentos, así como los efectos que se obtienen en la condición de éstos mediante la aplicación de las actividades de conservación. Es posible también estudiar el nivel de servicio que el camino prestará a los automovilistas durante el período de diseño, mediante el análisis de capacidad que efectúa el modelo. Este aspecto es importante, ya que permite asegurar no solo una adecuada condición estructural de la vía, sino que también la funcionalidad de ésta. El HDM-4 proporciona información del comportamiento del IRI a través del tiempo, lo cual está muy relacionado con el confort de los automovilistas y sus costos de operación.

2.8.3.3. Evaluación Económica

Mediante la aplicación de indicadores económicos como la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), se puede conocer la alternativa con mayores beneficios para un proyecto, mientras que, a nivel de red, se logra

seleccionar estrategias de desarrollo y mantenimiento, acordes a las políticas del administrador vial y a la disponibilidad de recursos (Cuaresma, 2003).

2.9. Base de datos para la realización de la aplicación del programa HDM-4

La ampliación de las capacidades lograda en el HDM-4 ha traído consigo la necesidad de una mayor cantidad y calidad de datos para la realización de los procesos de cálculo y predicción, éste hecho sin embargo, no debe constituirse como un obstáculo para su implementación, ya que todo administrador de redes viales que cuente con una organización y recursos razonablemente apropiados, debiera poder recolectar periódicamente los datos de campo necesarios para mantener actualizadas las bases de datos del sistema.

Asimismo, cuando se trata de un estudio a nivel de proyecto, realizado por una empresa privada, gran parte de los datos requeridos son similares a los que se recolectan, o que son determinados para efectuar el diseño geométrico de la vía, y el de espesores de la estructura del pavimento. Los datos requeridos por el HDM-4 pueden ser agrupados en tres grandes áreas que son: la carretera, los vehículos y los costos

2.9.1. Datos de la carretera/camino

Los datos de la carretera que deben ser obtenidos tienen que ver con los siguientes aspectos:

- Geometría: longitud de sección, ancho de hombros, ancho de calzada, etc.
- Ambiente: precipitación, temperatura, altitud sobre el nivel del mar, etc.
- Estructura: tipo de base, tipo de rodadura, espesores, compactación, etc.
- Condición superficial y drenaje: baches, área agrietada, tipo drenaje, etc.
- Nivel de rugosidad expresada mediante el IRI.

2.9.2. Datos de vehículos

Para cada tipo de vehículo incluido dentro de un análisis deben especificarse datos como número de llantas, vida útil, utilización anual, peso, etc., la tabla N°1 detalla con mayor amplitud la información requerida.

Tabla N°3. Datos necesarios para vehículos en el programa HDM-4

Datos físicos y de utilización	
Ítem	Descripción.
Nombre de vehículo	Definido por el usuario.
Tipo base	Selección entre 20 alternativas
Peso de operación	En toneladas.
Numero de llantas	Suma de las llantas distribuidas en los ejes.
Tipo de llantas	Radial o convencional.
Numero de ejes	Es el total de ejes contados individualmente sin importar la combinación en que se encuentren (sencillo, tándem, etc.).
Ejes equivalentes	Se puede introducir directamente o calcularlo con el modelo.
Kilometraje anual promedio	Depende del uso que recibe el vehículo dentro del sistema de transporte (uso colectivo, particular, de carga, etc.).
Porcentaje de uso privado	Porcentaje de la utilización del vehículo que se emplea en viajes privados.
Tiempo de utilización anual	Total, de horas del año durante las cuales se usa el vehículo.
Vida útil promedio	Cantidad de años que se espera circule el vehículo.
Número de pasajeros	Es el promedio que se espera según el uso del vehículo (particular, colectivo, familiar, etc.).

Fuente: Elaboración propia, basada en el manual HDM-4

2.9.3. Datos de costos

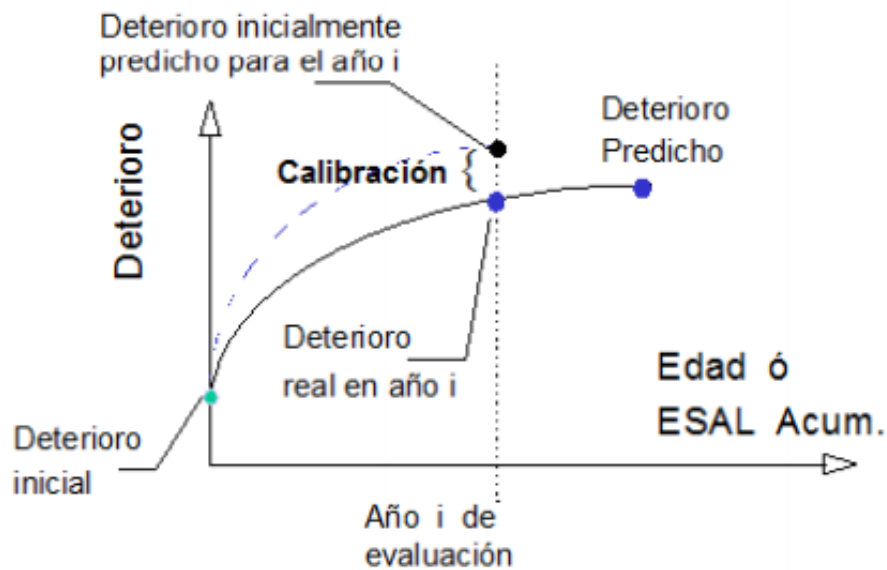
Entre los costos unitarios que el programa necesita que se le especifiquen se encuentran unos que sirven para determinar los costos de operación vehicular como, por ejemplo: valor de cada tipo de vehículo nuevo, valor de una llanta nueva, valor del tiempo de viaje de los usuarios, precio de los combustibles, lubricantes, costos de mantenimiento, etc. En cambio, existen otros costos que se utilizan en el cálculo de las inversiones en mantenimiento y mejoras, estos son los de las intervenciones rutinarias y periódicas, así como las de tipo especial. Entre éstas tenemos el bacheo, sellado de grietas, recarpeteo, tratamiento superficial, ensanchamiento de la rodadura, etc. (Ciudad universitaria El Salvador, 2015)

2.10. Modelo de deterioro en pavimentos flexibles del software HDM-4

El modelo de deterioro tiene una estructuración básica empírica, donde los deterioros individuales han sido modelados por separado mediante la relación de incrementos anuales modeladas en forma secuencial hacia la rugosidad. (HDM-4, 2000)

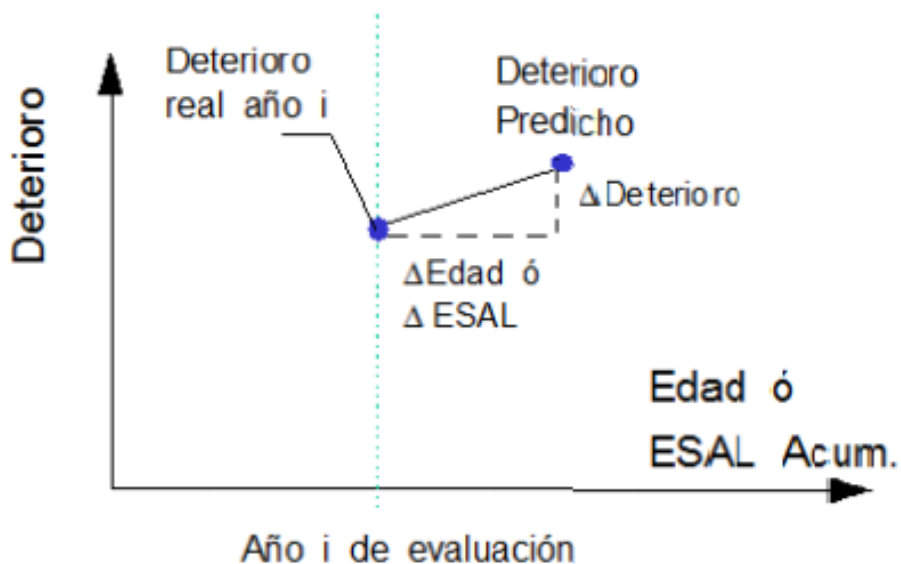
Las intervenciones de mantenimiento se aplican si corresponden:

Gráfica N°23. Modelo absoluto



Fuente: Elaboración basada en el manual HDM-4

Gráfica N°24. Modelo incremental



Fuente: Elaboración basada en el manual HDM-4

2.10.1. Resistencia del pavimento

Depende del espesor del pavimento, sus CBRs, subrasante, drenaje y estacionalidad.

Donde los efectos estacionales y drenaje se aplican dentro de software mediante la siguiente formula: (HDM-4, 2000)

$$f = K_f \left\{ 1 - \frac{[1 - \exp(a_0MMP)]}{a_1} (1 - a_2DF_a)(1 + a_3ACRA_a + a_4APOT_a) \right\}$$

Donde:

- f: SNPw/SNPd
- SNPw: temporada húmeda
- SNPd: temporada seca
- MMP: Precipitación media mensual (mm)
- DFa: Factor de drenaje del año inicial

- ACRAa: Total de área de fisuras del análisis anual (%)
- Kf: Factor de calibración para temporada húmeda7seca (0.1-10)
- ai: Coeficiente estructural

Tabla N°4. Tabla de valores por default (a_i)

Coeficiente	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Valor por default	-0.01	10	0.25	0.02	0.05

Fuente: HDM-4 volumen 5

2.10.2. Agrietamiento

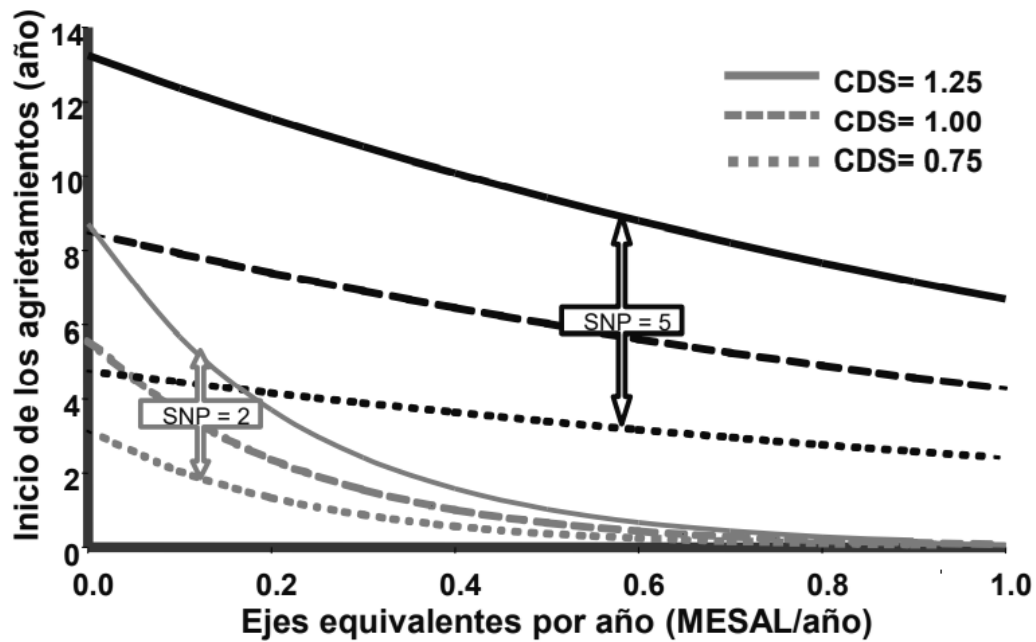
Los agrietamientos se consideran bajo dos formas, un agrietamiento estructural y un agrietamiento térmico transversal bajo los factores de tiempo, evolución y condición de equilibrio, mediante la siguiente formula: (HDM-4, 2000)

$$ICA = K_{cia} \left\{ CDS^2 * a_0 \exp \left[a_1 SNP + \frac{a_2 YE^4}{SNP^2} \right] + CRT \right\}$$

Donde:

- ICA: Índice de agrietamiento
- CDS: Calidad de construcción
- SNP: Numero estructural ajustado o deflexiones
- CRT: Retardo de la fisura por mantenimiento
- ai: Coeficiente estructural
- Kcia: Coeficeinte del índice de agrietamiento

Gráfica N°25. Grafica referencial del comportamiento del agrietamiento



Fuente: Elaboración basado en el HDM-4

2.10.3. Pérdida de áridos

La pérdida de áridos se da poco frecuente en mezclas asfálticas en caliente, por lo cual el año de inicio de las peladuras depende del tráfico (total de ejes), la calidad de construcción y el tipo de pavimento. (HDM-4, 2000)

Donde el modelo de pérdida de áridos sigue la siguiente fórmula:

$$IRV = K_{vi} * CDS^2 * a_0 * RRF \exp(a_1 * YAX)$$

Donde:

IRV: Tiempo hasta el inicio de la pérdida de áridos (años)

K_{vi} : Coeficiente de la pérdida de áridos

CDS: Indicador de defectos de construcción para superficies bituminosas

RRF: Factor de retardo de pérdida de áridos

YAX: Numero total de ejes de vehículos en el año

2.10.4. Baches

El modelo de baches, predice el N° de baches por kilómetro, tomando en cuenta los baches originados por grietas y por peladuras. Por lo cual el tiempo de inicio está en función de los espesores de capa superficiales, numero de ejes vehiculares, precipitación media mensual y el tipo de pavimento. (HDM-4, 2000)

Su fórmula en el software es la siguiente:

$$IPT = K_{pi} * a_0 [(1 + a_1 HS) / (1 + a_2 CDB) * (1 + a_3 YAX) (1 + a_4 MMP)]$$

Donde:

IPT: Inicio del incremento de numero de baches (años)

K_{pi}: Coeficiente de baches

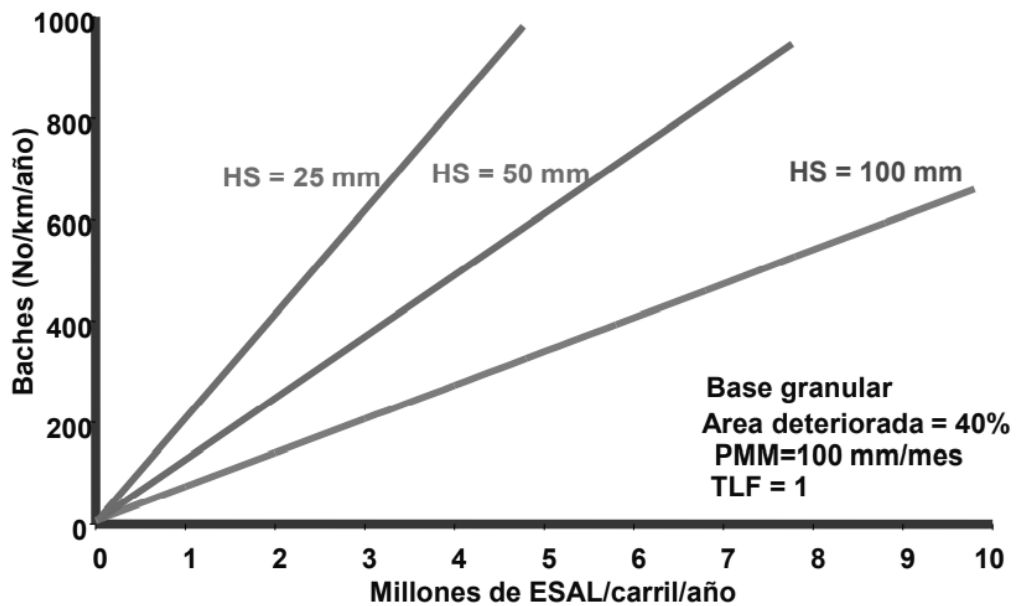
CDB: Indicador de defectos de construcción

YAX: Número total de ejes de vehículos en el año

a_i: Coeficiente estructural

MMP: Precipitación mensual promedio (mm/mes)

Gráfica N°26. Grafica referencial de la evolución de grietas



Fuente: Elaboración basada en el manual HDM-4

2.10.5. Rotura de borde

La rotura de borde es la pérdida de material de la capa superficial y base en el borde externo de la calzada, típico en vías donde los vehículos transitan cerca del borde.

VARIABLES CONSIDERABLES:

- Tipo de pavimento
- Ancho de calzada
- Tránsito vehicular
- Precipitación media mensual (HDM-4, 2000)

2.10.6. Ahuellamiento

Los ahuellamientos son considerados como deformaciones no recuperables del pavimento, canalizada en las huellas de los vehículos

COMPONENTES CONSIDERABLES:

- ESALs
- Precipitación media mensual
- Capa superficial
- Espesores. (HDM-4, 2000)

Su fórmula en el software es la siguiente:

$$RDW = Krst(0.0000248 * SNP^{-0.84} * YAX^{0.14} * MMP^{1.07} * ACXa^{1.11})$$

Donde:

RDW: Inicio del incremento del ahuellamiento (años)

Krst: Coeficiente de ahuellamiento

YAX: Número total de ejes de vehículos en el año

MMP: Precipitación mensual promedio (mm/mes)

ACXa: Total de área de fisuras del análisis anual (%)

2.11. Calibración del software HDM-4

Hay que tener en cuenta que los modelos en los que se fundamenta el programa han sido desarrollados en países con condiciones tecnológicas, medioambientales y económicas muy concretas. Por ello para su utilización será necesario la adaptación de dichos modelos a las circunstancias particulares de cada país. La fiabilidad de los resultados dependerá por tanto de dos aspectos. Por un lado, la entrada de datos, es decir la correcta interpretación de los datos necesarios para llevar a cabo el análisis y el ajuste de los mismos a las condiciones reales de partida. Por otra parte, habrá que evaluar si los resultados se corresponden con el comportamiento real del firme observado.

En el caso de España la adaptación y calibración de los modelos es fundamental. Ello requiere la recopilación de una gran cantidad de datos sobre el comportamiento de los firmes de cada región. Está claro que existirán diferencias muy obvias entre la evolución de un firme en el norte de España, en donde el régimen de lluvias es muy abundante y por lo tanto la presencia agua es un factor fundamental a la hora de evaluar el fallo de una sección de carretera, que en Andalucía donde las altas temperaturas que se alcanzan en los meses de verano tienen una gran influencia en los deterioros.

Asimismo, es evidente que influirán en los modelos del HDM-4 las características de los materiales y los terrenos de las diferentes zonas peninsulares.

Para llevar a cabo esta calibración serán necesarios, como mínimo, datos de deflexiones, índice de regularidad superficial y estado del drenaje. Estos datos deben extenderse a varios años de evaluación para poder comparar los resultados predichos con los modelos del HDM4 y el comportamiento real del firme observado. De todas formas, el programa admite distintos niveles de detalle a la hora de calibrar los parámetros en función del tipo de análisis que se pretende acometer. (Perez Perez, 2015)

CAPITULO III
APLICACIÓN
PRACTICA

CAPITULO III

APLICACIÓN PRACTICA

3.1. Antecedentes

El presente proyecto se realizó en las vías urbanas de la provincia Cercado, capital del departamento de Tarija, del Estado Plurinacional de Bolivia.

3.2. Ubicación

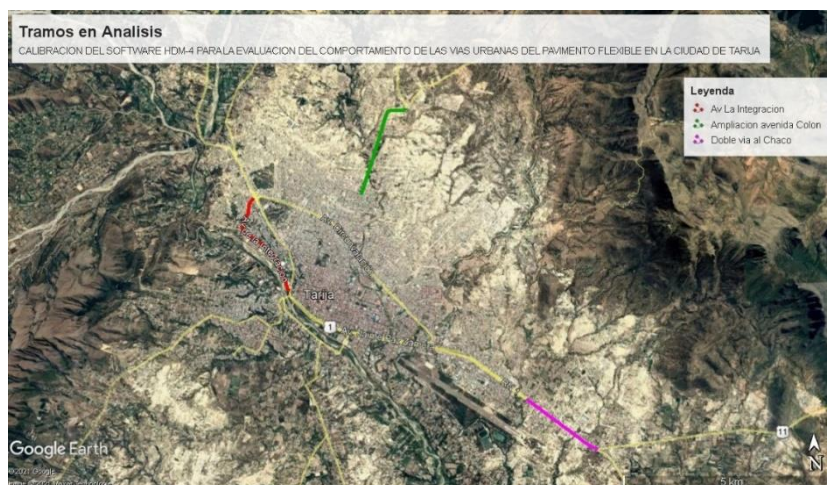
El área de estudio del proyecto, comprende las vías de pavimento flexible en la ciudad de Tarija, las cuales fueron seleccionadas por año de ejecución, su variedad de tráfico y ubicación, Trayectos que detallaremos a continuación:

Tabla N°5. Áreas de estudio

Tramo	Año de ejecución
Avenida Colon	2017
Avenida Panamericana	2014
Avenida La Integración	2011

Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N°27. Avenidas Consideradas

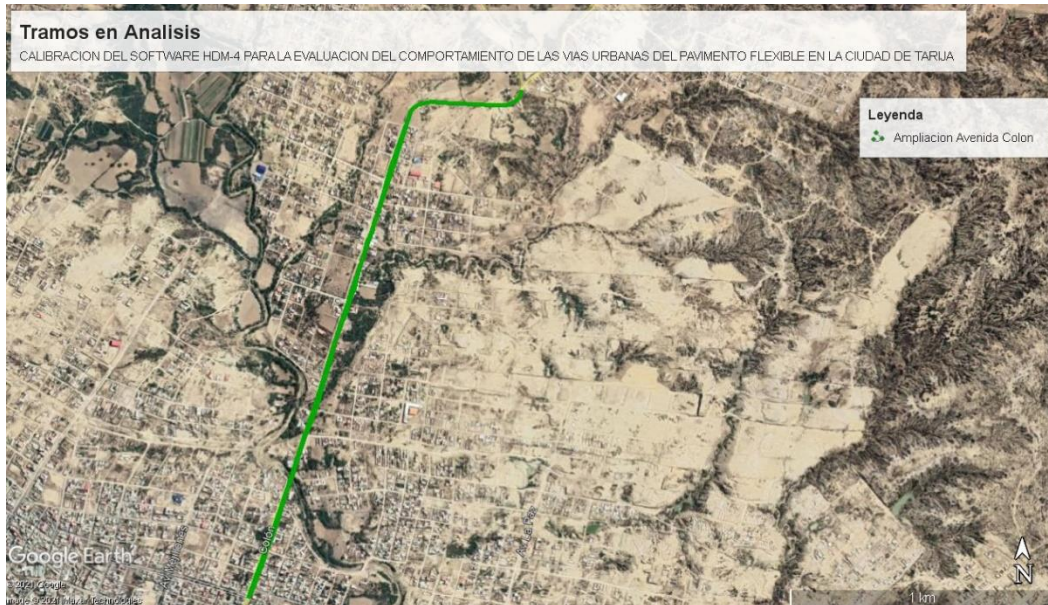


Fuente: Google heart

3.3. Descripción de las áreas en estudio

3.3.1. Avenida Colon

Gráfica N°28.Avenida Colon



Fuente: Google heart

3.3.1.1. Características generales

La Avenida Colon, o como se la conoce a nivel de obra civil **“Ampliación paquete estructural para asfaltado camino Sella Cercado Tarija”**, Ubicado en la final de la Avenida Colon, iniciando de la Avenida 11 de febrero ubicado en el barrio Lourdes, con coordenadas UTM 321448.71 m E, 7620285.01 m S; continuando su trayecto dentro de los barrios Los Laureles, El Trigal, Universo, La huerta, Valle hermosos, Japón y finalizando en el barrio Monte Sud en las coordenadas UTM ; con un recorrido aproximado de 2,00 Km. En el norte de nuestra ciudad 322551.09 m E, 7622299.50 m S y supervisada en el periodo de 2016-2017 por la empresa ADA S.R.L.

Es una avenida doble carril asfaltada desde la avenida circunvalación hasta la intercepción con la quebraba El Monte cuenta con jardineras centrales en la separación de carriles, pero pasando el puente de la quebrada El Monte la avenida de doble carril no posee jardineras centrales.

El tramo en estudio abarcara toda la ampliación de la avenida Colon por ser una de las ampliaciones con menos mantenimiento y de gran longitud en nuestra ciudad.

3.3.1.2. Características geométricas

Tabla N°6. Características geometrías avenida Colon

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Carril	3.40	m	Medición propia
Berma	0.10	m	Medición propia
Longitud	2.00	km	Medición propia

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.3. Características estructurales

Tabla N°7. Características estructurales avenida Colon

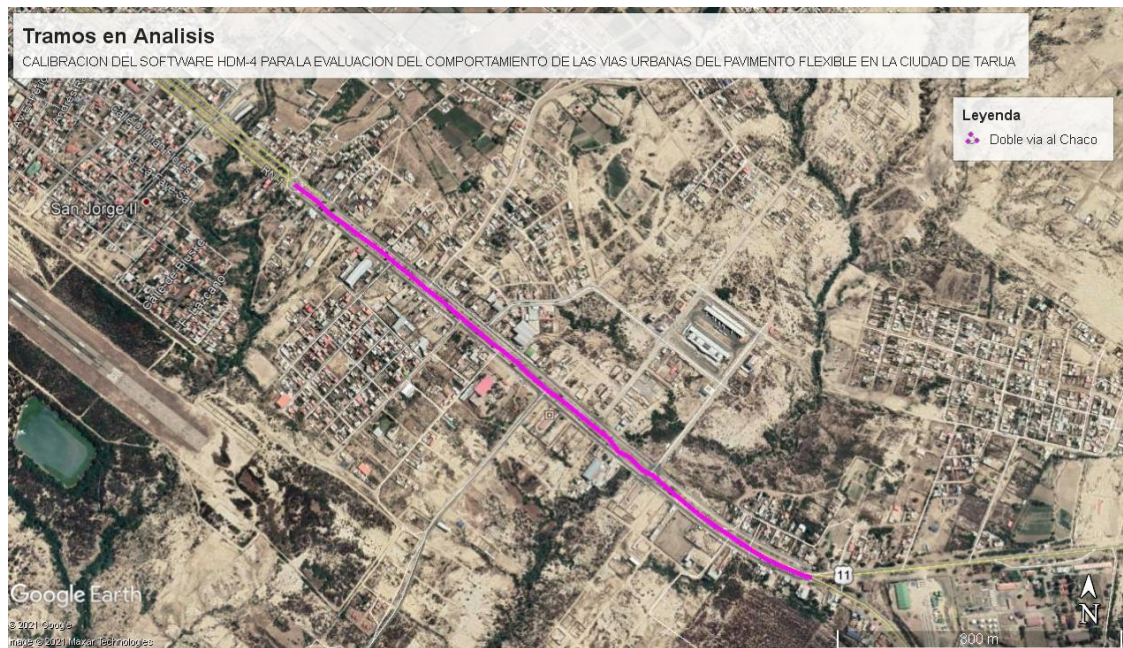
Característica	Valor	Unidad	Fuente
Espesor subrasante	25.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor base	20.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor subbase	30.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor bituminoso	6.90	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
	3.72	cm ¹²	Extracción de núcleo
CBR base	93.30	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subbase	54.99	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subrasante	11.01	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

Fuente: Elaboración propia

¹² Dato obtenido desde una extracción de núcleo (Anexo N°4)

3.3.2. Avenida Panamericana

Gráfica N°29. Avenida Panamericana



Fuente: Google heart

3.3.2.1. Características generales

La Avenida Panamericana, conocida a nivel de obra civil como **“Construcción paquete estructural de dos vías Panamericana que vincula la zona de Torrecillas con el Portillo de la ciudad de Tarija”**, Ubicado desde la rotonda del Barrio San Jorge II ubicado en la coordenada UTM 325324.21 m E, 7615375.00 m S, hasta el control del Portillo ubicado en la coordenada UTM 326902.30 m E, 7614241.34 m S; con un recorrido aproximado de 2,00 Km. En el este de nuestra ciudad y construida en el periodo de 2013-2015 por la empresa contratista INCOTAR S.R.L.

Es una avenida doble carril; en todo su trayecto cuenta con jardineras centrales para la separación de carriles, hasta llegar a la bifurcación de la avenida en el control del Portillo.

3.3.2.2. Características geométricas

Tabla N°8. Características geometrías avenida Panamericana

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Carril	4.20	m	Medición propia
Berma	0.30	m	Medición propia
Longitud	2.00	km	Medición propia

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3. Características estructurales

Tabla N°9. Características estructurales avenida Panamericana

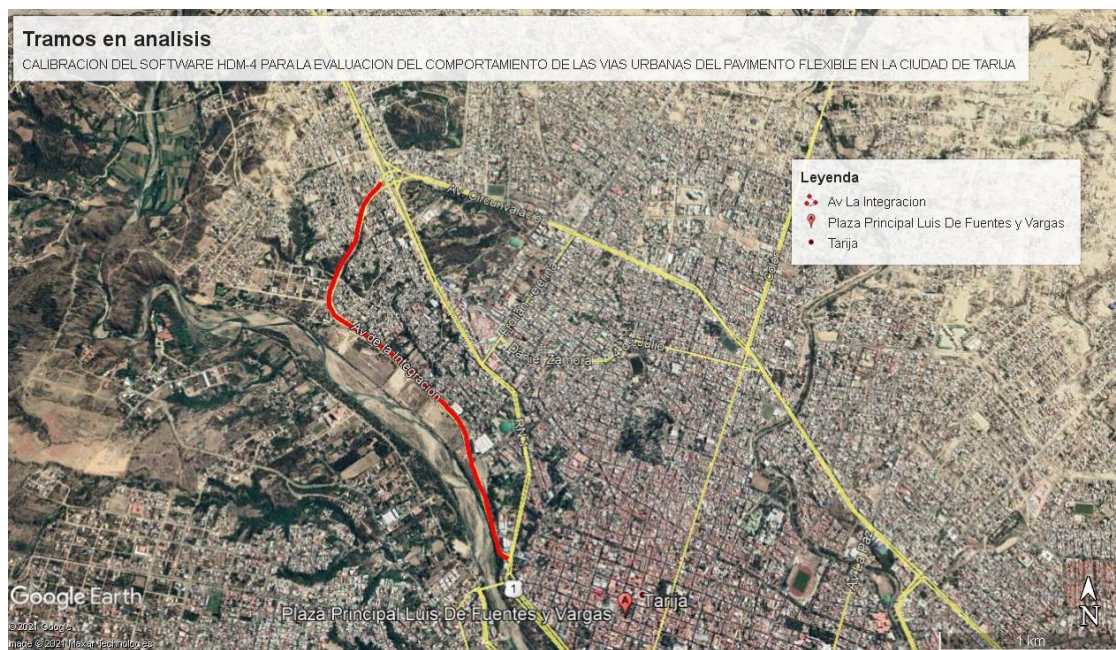
Característica	Valor	Unidad	Fuente
Espesor subrasante	30.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor base	20.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor subbase	15.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor bituminoso	11.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
	10.31	cm ¹³	Extracción de núcleo
CBR base	90.37	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subbase	66.42	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subrasante	3.5	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

Fuente: Elaboración propia

¹³ Dato obtenido desde una extracción de núcleo (Anexo N°4)

3.3.3. Avenida Integración

Gráfica N°30. Avenida Integración



Fuente: Google heart

3.3.3.1. Características generales

La Avenida Integración, o como se la conoce a nivel de obra civil **“Construcción vía prolongación avda. circunvalación hasta camino río Guadalquivir de la ciudad de Tarija”**, Inicia en la rotonda que interceptan las avenidas circunvalación y RN1 con coordenada UTM 319730.21 m E, 7618032.67 m S, recorriendo los barrios 15 de noviembre, virgen de Chaguaya, Libertad, Juan Pablo II, Luis Pizarro y Guadalquivir, Barrio donde finaliza con las coordinas UTM 318847.80 m E, 7620165.27 m S; con un recorrido aproximado de 2,74 Km. Esta se ubica en el oeste de nuestra ciudad y construida en el periodo de 2009-2011 por la empresa contratista ASOCIACION ACCIDENTAL PROCASUR Y ASOCIADOS. Es una vía de doble carril, sin jardineras centrales en la separación de carriles, pero si cuenta con áreas delimitadas en el centro de la misma, recorriendo parta de la costa del Río Guadalquivir.

El tramo en estudio abarcara toda la avenida debido a su longitud, su importancia y utilización en tráfico.

3.3.3.2. Características geométricas

Tabla N°10. Características geometrías avenida Integración

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Carril	3.50	m	Medición propia
Berma	0.20	m	Medición propia
Longitud	2.74	km	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
	2.00	km	Medición propia para aplicación de proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.3.3.3. Características estructurales

Tabla N°11. Características estructurales avenida Integración

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Espesor subrasante	25.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor base	15.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor subbase	20.00	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
Espesor bituminoso	8.99	cm	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
	8.95	cm ¹⁴	Extracción de núcleo
CBR base	82.70	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subbase	58.8	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija
CBR subrasante	10.05	%	Informe de la Honorable Alcaldía Municipal de Tarija

Fuente: Elaboración propia

3.4. Evaluación del estado de la vía

Se realizó la inspección y evaluación de condición en los tres tramos en evaluación del presente proyecto, más su respectivo inventario y procesamiento de datos.

¹⁴ Dato obtenido desde una extracción de núcleo (Anexo N°4)

El primer paso a seguir, fue la inspección visual de todo el tramo en cada avenida seleccionada, inspección para la selección de datos entre las metodologías:

“Sistema aleatorio de evaluación¹⁵” y “determinación de unidades de prueba¹⁶”

Es decir, se eligió el método que más se ajustaba de acuerdo a la estructura, tráfico, tipo de anomalías, severidad y cantidad de cada tramo.

Finalizada la inspección el método de “Determinación de unidades de prueba” se convirtió en la seleccionada por la versatilidad y criterio al momento de determinar “n” unidades de prueba, fijando un total de 200 metros de evaluación en cada sentido de las vías, en longitudes y áreas particulares de acuerdo a las características geométricas de cada avenida.

3.4.1. Evaluación del pavimento flexible – PCI

El método de evaluación de pavimentos PCI¹⁷, Es un índice numérico que varía de 0 a 100 dependiendo de la condición del mismo. La evaluación realizada se llevó a cabo en tres días diferentes, un día aplicado para cada tramo en cuanto al inventario de inspección visual, el resultado de este trabajo se resumirá en la siguiente tabla; pero se adjunta en el anexo N°1 el procedimiento detallado llevado a cabo.

Tabla N°12. Evaluación de los tramos en metodología PCI

Tramo	Área analizada (m²)	PCI	Descripción de condición
Avenida Colon	2800	64	Bueno
Avenida Panamericana	7400	81	Muy Bueno (ida)
		81	Muy Bueno (vuelta)
Avenida Integración	6240	77	Muy Bueno (ida)
		91	Excelente (vuelta)

Fuente: Elaboración propia

¹⁵ Dentro de la inspección a nivel de Proyecto

¹⁶ Dentro de la inspección de Red Vial

¹⁷ Pavement Condition Index

3.4.2. Evaluación del pavimento flexible – IRI

El Índice de Rugosidad Internacional, se realizó mediante el “Método de Merlín” , calse 2 en metodología para la obtención del IRI, en toda la longitud de análisis de cada tramo; es decir, se realizó un total recorrido de 4.00 km por avenida, 2.00 km de ida y 2.00 km de vuelta con el equipo.

En el anexo N°2 se muestra el paso a paso de la obtención del IRI, más una verificación del mismo mediante el método de mira y nivel-método clase 1

Tabla N°13. Índice de rugosidad internacional IRI

Tramo	IRI (m/km)	Calificación
Avenida Colon	3.26	Bueno
Avenida Panamericana	2.34	Bueno (ida)
	2.53	Bueno (vuelta)
Avenida Integración	3.02	Bueno (ida)
	2.92	Bueno (vuelta)

Fuente: Elaboración propia

3.5. Recopilación de datos de tráfico

Para una correcta calibración uno de los factores influyentes es el tráfico, por lo cual se realizó un día completo del aforo de movibilidades en una de las avenidas seleccionadas, la cual fue la avenida colon, en cuanto a los días de aforo, al tratarse de un software basado en la metodología ASSHTO se seleccionó que determina un aforo en 3 días a la semana en horarios picos; con los registros del día completo de la avenida Colon se seleccionó las horas picos, mientras la determinación de los días hábiles¹⁸ picos fue mediante la consulta a vecinos de cada avenida, y el día no hábil se designó al sábado por las medidas sanitarias contra el COVID-19 de nuestra ciudad Tarija.

¹⁸ Día de semana entre lunes a viernes

Para la proyección de tráfico de la tabla N°8 se utiliza el factor de crecimiento de **7,58%** correspondiente al análisis de crecimiento con los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), dato verificado en el anexo N°5.

3.5.1. Trafico avenida colon

El tráfico promedio diario anual de la avenida es de 1520 vehículos/día.

Tabla N°1. Proyección de tráfico en la avenida colon

Tipo de vehículo	Años de proyección						
	2017	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Motocicleta	241	322	347	373	401	431	464
Liviano	831	1114	1198	1289	1387	1492	1605
Mediano	61	82	88	95	102	110	118
Pesado	2	2	2	2	2	2	2
Total	1135	1520	1635	1759	1892	2035	2189

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2. Porcentaje de tráfico en la avenida colon

Tipo de vehículo	Porcentaje de tráfico	TMDA
Moto	21.20	322
Liviano	73.25	1114
Mediano	5.41	82
Pesado	0.15	2
Total	100	1520

Fuente: Elaboración propia

3.5.1. Tráfico avenida Panamericana

El tráfico promedio diario anual de la avenida es de 3129 vehículos/día en la dirección de Portillo a Torrecillas.

Tabla N°3. Proyección de tráfico en la avenida Panamericana, Portillo-Torrecillas

Tipo de vehículo	Porcentaje de tráfico	TMDA
Moto	11.78	487
Liviano	77.51	3202
Mediano	10.17	420
Pesado	0.54	22
Total	100	4131

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°1. Porcentaje de tráfico en la avenida Panamericana, Portillo-Torrecillas

Tipo de vehículo	Años de proyección						
	2014	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Motocicleta	167	280	301	324	349	375	403
Liviano	1505	2511	2701	2906	3126	3363	3618
Mediano	192	322	347	373	401	431	464
Pesado	8	16	17	18	19	20	22
Total	1872	3129	3366	3621	3895	4189	4507

Fuente: Elaboración propia

El tráfico promedio diario anual de la avenida es de 4131 vehículos/día en la dirección de Torrecillas al Portillo.

Tabla N°2. Proyección de tráfico en la venida Panamericana, Torrecillas-Portillo

Tipo de vehículo	Porcentaje de trafico	TMDA
Moto	8.95	280
Liviano	80.26	2511
Mediano	10.30	322
Pesado	0.50	16
Total	100	3129

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3. Porcentaje de tráfico en la venida Panamericana, Torrecillas-Portillo

Tipo de vehículo	Años de proyección						
	2014	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Motocicleta	291	487	524	564	607	653	703
Liviano	1919	3202	3445	3706	3987	4289	4614
Mediano	251	420	452	486	523	563	606
Pesado	15	22	24	26	28	30	32
Total	2476	4131	4445	4782	5145	5535	5955

Fuente: Elaboración propia

3.5.3. Trafico avenida la integración

El tráfico promedio diario anual de la avenida es de 3829 vehículos/día en la dirección de la zona central a la zona del mercado campesino.

Tabla N°4. Proyección de tráfico en la avenida La Integración, centro-campesino

Tipo de vehículo	Porcentaje de trafico	TMDA
Moto	17.30	662
Liviano	77.71	2976
Mediano	4.47	171
Pesado	0.52	20
Total	100	3829

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5. Porcentaje de tráfico en la avenida La Integración, centro-campesino

Tipo de vehículo	Años de proyección						
	2011	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Motocicleta	320	662	712	766	824	886	953
Liviano	1432	2976	3201	3444	3705	3986	4288
Mediano	83	171	184	198	213	229	246
Pesado	10	20	22	24	26	28	30
Total	1845	3829	4119	4432	4768	5129	5517

Fuente: Elaboración propia

El tráfico promedio diario anual de la avenida es de 4931 vehículos/día en la dirección de la zona central a la zona del mercado campesino.

Tabla N°6. Proyección de tráfico en la avenida La Integración, centro-campesino

Tipo de vehículo	Porcentaje de tráfico	TMDA
Moto	15.01	740
Liviano	80.35	3962
Mediano	4.37	216
Pesado	0.27	13
Total	100	4931

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7. Porcentaje de tráfico en la avenida La Integración, centro-campesino

Tipo de vehículo	Años de proyección						
	2011	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Motocicleta	357	740	796	856	921	991	1066
Liviano	1908	3962	4263	4586	4934	5308	5711
Mediano	104	216	232	250	269	289	311
Pesado	7	13	14	15	16	17	18
Total	2376	4931	5305	5707	6140	6605	7106

Fuente: Elaboración propia

3.5.4. Características del parque automovilístico

Las características básicas de los vehículos nos facilitarán la introducción de los datos dentro del software, para un trabajo ordenado y óptimo dentro de las subclasificaciones de cada parque automovilístico

Tabla N°8. Características básicas del parque automovilístico

Tipo de vehículo	Características básicas				
	Peso Bruto (Tn)	LEFs ¹⁹	N° ejes	N° neumáticos	N° pasajeros
Motocicleta	0.22	0	2	2	1
Liviano	1.81	0.003	2	4	4
Mediano	7.26	0.645	2	6	22
Pesado	16.33	1.380	3	8	0

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Otros datos

La mayor parte de los datos fueron extraídos y analizados de la página oficial del SENAMHI – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Estado Plurinacional de Bolivia, seleccionando la estación más cercana “Tarija Aeropuerto” y tomando en cuenta los datos desde el momento de ser realizada los tramos seleccionados.

Tabla N°9. Otros datos requeridos

Datos requeridos	
Modelo de trafico	Estacional
Clase de carretera	local
Altitud	1875 msnm
Zona climática	Sub tropical
Precipitación media	61.2 mm (2019)
Precipitación máxima	75.2 mm (2011)
Índice de congelación	0
Temperatura anual media	19.1 °C (2017)
Rango temperatura media	18°C
N° de días con temperatura mayor a 32°C	31

Fuente: Elaboración propia

¹⁹ libro-pavimentos.com/2014/10/factor

3.6. Análisis del proyecto

El presente proyecto basado en el software HDM-4 en pavimentos flexibles, para su análisis contiene información de tres tramos urbanos, como el tráfico, parque automovilístico, datos estructurales y años de ejecución; datos con los cuales se espera calibrar el mismo para la optimización de resultados de deterioro y mantenimiento al momento de analizar las diferentes alternativas que arroja el programa tras ingresar los datos y parámetros requeridos.

Los tramos seleccionados para este proyecto fueron:

Avenida Colon, camino a Sella (2017).

Avenida Panamericana, Torrecillas al Portillo en la doble vía (2015)

Avenida Integración, en la extensión de la avenida Circunvalación (2011)

Escogidas estratégicamente por sus volúmenes de tráfico, años de ejecución distanciadas en tiempos considerables entre ellas y su ubicación en nuestra ciudad Tarija.

El objetivo de este estudio es presentar una alternativa de análisis en el modelo de deterioro en pavimentos flexibles con el software HDM-4 aplicado en zonas urbanas, ingresando a los nuevos estándares de aplicación del software en su actualización del mismo, ya que es un software basado en el método de diseño de pavimentos AASHTO, mismo que se utiliza en nuestra ciudad para el diseño de pavimentos flexibles.

3.7. Datos requeridos

Como se puede visualizar en las tablas superiores a este subtítulo, dentro del capítulo III, los datos de entrada requeridos son números y estudiar cada uno de ellos inviabilizaría el análisis, por lo cual se estableció parámetros agrupados.

3.7.1. Configuración general

- Zona climática²⁰
- Modelo de tráfico²¹
- Parque de vehículos¹⁸

3.7.2. Configuración particular para cada tramo

- Datos geométricos²²
- Datos estructurales
- Año de ejecución
- IRI
- PCI

3.9 Procedimiento en el software HDM-4

Para el estudio, calibración y análisis del software HDM-4, se desarrolló el mismo procedimiento para los tres tramos seleccionados con los siguientes pasos:

3.9.1. Configuración

La etapa de configuración, está dividida en tres grupos, los cuales son:

3.9.1.1. Modelo de tráfico

La característica principal está en la intensidad del tráfico, donde los patrones se definen como periodos de flujo que se representan con las horas del día²³ en la misma intensidad. Por lo tanto, los datos del conteo de moviidades (mencionado en el subtítulo de tráfico) se vio proyectado al año de ejecución de la avenida.

²⁰ Datos en tabla N°12

²¹ Calculo especificado en anexo N°3

²² Calculo especificado en anexos N°4

²³ En un año

Gráfica N°31.Modelo de tráfico, en software HDM-4

Patrón de intensidad de tráfico: Tarija

Definición

Nombre:

Uso de la carretera:

Aceptar

Cancelar

Por defecto...

Datos de distribución del tráfico

Seleccionar método: HV PCNADT

Periodo	Descripción	Horas por año (HRYRp)	Tráfico horario (HVp)	% de IMD (PCNADTp)
1	Periodo 1	87.60	0.090	2.17
2	Periodo 2	350.40	0.080	7.59
3	Periodo 3	613.20	0.070	11.64
4	Periodo 4	2978.40	0.050	40.24
5	Periodo 5	4730.40	0.030	38.36

Añadir periodo

Borrar periodo

8760.00 100.00

NB. HRYRp debe ser igual a 8760, y PCNADTp debe ser igual a 100

Fuente: Elaboración propia

3.9.1.2. Tipo de capacidad-velocidad

Representa las características de la capacidad de los diferentes tipos de carretera, dando las opciones de “Carreteras de dos carriles” y “Carretera de carril único” dependiendo del sentido de vía se desee examinar.

Gráfica N°32. Tipo de capacidad-velocidad, dos carriles

The image shows a software window titled "Tipo de velocidad/capacidad: Tarifa" with a close button (X) in the top right corner. The window contains several input fields and buttons for configuring road parameters.

Nombre: Tarifa

Capacidad

- Tipo de carretera: Carretera de dos carriles (dropdown menu)
- Capacidad última: 1400 PCSE/carril/hr
- Cap. en tráfico libre: 0.1 (0 < XQ1 < 1)
- Capacidad nominal: 0.9 (0 < XQ2 < 1)
- Velocidad de atasco en capacidad: 25 km/h

Índice de accidentalidad (en n°/ 100 millones veh-km)

- por composición:
 - Mortal: 0
 - Heridos: 0
 - Solo daños: 0
- total: Todos los accidentes: 0

Relativo a la velocidad

- amax: 0.65 m/s²
- CALBFAC: 1
- Factor multiplicación velocidad deseada: 1

Buttons on the right side: Aceptar, Cancelar, Por defecto...

Fuente: Elaboración propia

3.9.1.3. Zona climática

La zona climática se utiliza para representar las condiciones del clima en las diferentes partes de la red de carreteras, para condicionar el deterioro del pavimento de acuerdo a los datos insertados; por lo tanto, la zona climática utilizada en el proyecto es de *Subhúmedo* tal cual se muestra en la siguiente figura.

Gráfica N°33.Zona climática en la ciudad de Tarija

Zona climática: Tarija ×

Clima	
Nombre:	Tarija
Clasificación por humedad:	Subhúmedo
Índice de humedad:	0
Duración estación seca:	0.5 (como parte de un año)
Precipitación media mensual:	61.2 mm
Clasificación temperatura:	Subtropical - cálido
Temperatura media:	19.1 °C
Rango temperaturas medias:	18 °C
Días T>32°C:	31 días
Índice de helada:	0 °C-día

Porcentaje de tiempo que se conduce	
Carreteras cubiertas nieve:	0 0<=PCTDS<=100
Carreteras cubiertas agua:	10 0<=PCTDW<=100

Aceptar
Cancelar
Por defecto...

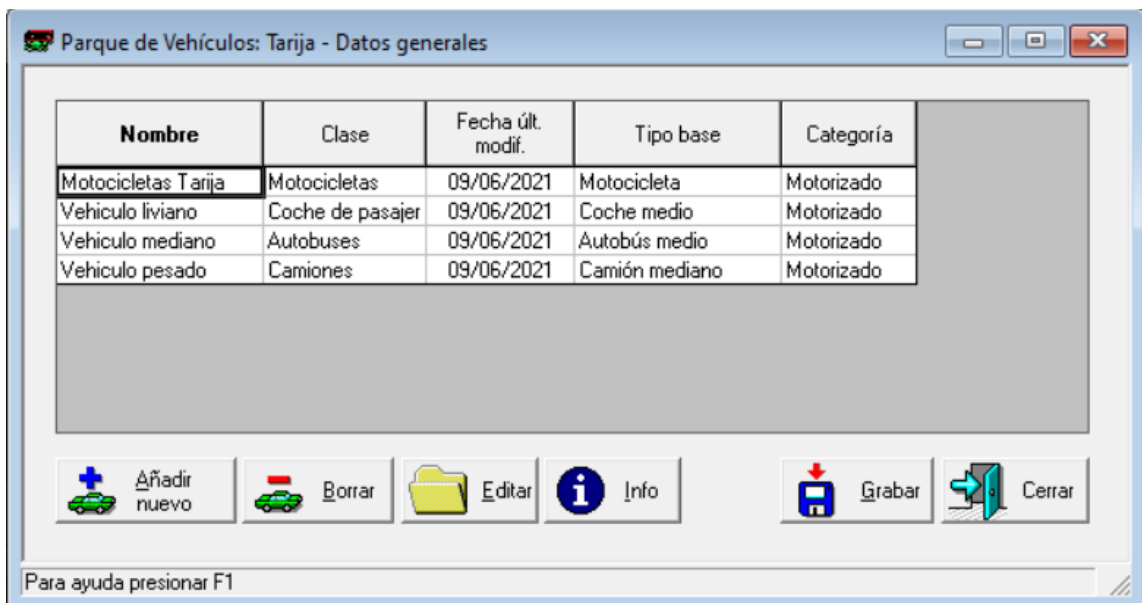
Fuente: Elaboración propia

3.9.2. Parque de vehículos

El parque de vehículos almacena los detalles de los tipos de vehículos que circulan en las vías seleccionadas para el análisis dentro del software HDM-4.

Al crear un parque se incluye en vehículo tipo, con sus ejes, número de pasajeros, entre otros datos, los cuales se visualizan en las siguientes figuras.

Gráfica N°34.Tipos de vehículos definidos para la aplicación del software HMD-4



The screenshot shows a software window titled "Parque de Vehículos: Tarija - Datos generales". It contains a table with the following data:

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
Motocicletas Tarija	Motocicletas	09/06/2021	Motocicleta	Motorizado
Vehiculo liviano	Coche de pasajero	09/06/2021	Coche medio	Motorizado
Vehiculo mediano	Autobuses	09/06/2021	Autobús medio	Motorizado
Vehiculo pesado	Camiones	09/06/2021	Camión mediano	Motorizado

Below the table, there is a toolbar with icons and labels for "Añadir nuevo", "Borrar", "Editar", "Info", "Grabar", and "Cerrar". At the bottom left, there is a text box that says "Para ayuda presionar F1".

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°35.Características básicas de motocicletas

Características del vehículo: Motocicletas Tarja

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Físicas

Espacio equiv. en vehículo de pasajeros : 0|5
Nº de ruedas: 2
Nº de ejes: 2

Neumáticos

Tipo neumático: Diagonal
Nº de recauchutados: 1.3
Coste recauchutado: 15 %

Utilización

Km anuales: 10000 km Uso privado: 100 %
Horas trabajo: 400 h Pasajeros: 1 persona
Vida media: 10 años Viajes de trabajo: 75 %

Carga

ESALF: 0 Peso en marcha: 0.22 toneladas

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°36.Características básicas de vehículos livianos

Características del vehículo: Vehículo liviano

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Físicas

Espacio equiv. en vehículo de pasajeros : 1|
Nº de ruedas: 4
Nº de ejes: 2

Neumáticos

Tipo neumático: Diagonal
Nº de recauchutados: 1.3
Coste recauchutado: 15 %

Utilización

Km anuales: 23000 km Uso privado: 100 %
Horas trabajo: 550 h Pasajeros: 4 persona
Vida media: 10 años Viajes de trabajo: 75 %

Carga

ESALF: 0.003 Peso en marcha: 1.81 toneladas

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°37.Características básicas de vehículos medianos

Características del vehículo: Vehiculo mediano ×

Definición	Características básicas	Costes económicos unitarios																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Físicas</td> <td colspan="2">Neumáticos</td> </tr> <tr> <td>Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :</td> <td>1.5</td> <td>Tipo neumático:</td> <td>Diagonal</td> </tr> <tr> <td>Nº de ruedas:</td> <td>6</td> <td>Nº de recauchutados:</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>Nº de ejes:</td> <td>2</td> <td>Coste recauchutado:</td> <td>15 %</td> </tr> </table>			Físicas		Neumáticos		Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :	1.5	Tipo neumático:	Diagonal	Nº de ruedas:	6	Nº de recauchutados:	1.3	Nº de ejes:	2	Coste recauchutado:	15 %												
Físicas		Neumáticos																												
Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :	1.5	Tipo neumático:	Diagonal																											
Nº de ruedas:	6	Nº de recauchutados:	1.3																											
Nº de ejes:	2	Coste recauchutado:	15 %																											
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Utilización</td> </tr> <tr> <td>Km anuales:</td> <td>70000</td> <td>km</td> <td>Calcular...</td> </tr> <tr> <td>Horas trabajo:</td> <td>1750</td> <td>h</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vida media:</td> <td>7</td> <td>años</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Uso privado:</td> <td>0</td> <td>%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pasajeros:</td> <td>22</td> <td>persona</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Viajes de trabajo:</td> <td>75</td> <td>%</td> <td></td> </tr> </table>			Utilización				Km anuales:	70000	km	Calcular...	Horas trabajo:	1750	h		Vida media:	7	años		Uso privado:	0	%		Pasajeros:	22	persona		Viajes de trabajo:	75	%	
Utilización																														
Km anuales:	70000	km	Calcular...																											
Horas trabajo:	1750	h																												
Vida media:	7	años																												
Uso privado:	0	%																												
Pasajeros:	22	persona																												
Viajes de trabajo:	75	%																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Carga</td> </tr> <tr> <td>ESALF:</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Peso en marcha:</td> <td>7.26 toneladas</td> </tr> </table>			Carga		ESALF:	0.7	Peso en marcha:	7.26 toneladas																						
Carga																														
ESALF:	0.7																													
Peso en marcha:	7.26 toneladas																													

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°38.Características básicas de vehículos pesados

Características del vehículo: Vehiculo pesado ×

Definición	Características básicas	Costes económicos unitarios																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Físicas</td> <td colspan="2">Neumáticos</td> </tr> <tr> <td>Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :</td> <td>1.4</td> <td>Tipo neumático:</td> <td>Diagonal</td> </tr> <tr> <td>Nº de ruedas:</td> <td>8</td> <td>Nº de recauchutados:</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>Nº de ejes:</td> <td>3</td> <td>Coste recauchutado:</td> <td>15 %</td> </tr> </table>			Físicas		Neumáticos		Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :	1.4	Tipo neumático:	Diagonal	Nº de ruedas:	8	Nº de recauchutados:	1.3	Nº de ejes:	3	Coste recauchutado:	15 %												
Físicas		Neumáticos																												
Espacio equiv. en vehículo de pasajeros :	1.4	Tipo neumático:	Diagonal																											
Nº de ruedas:	8	Nº de recauchutados:	1.3																											
Nº de ejes:	3	Coste recauchutado:	15 %																											
<table border="1"> <tr> <td colspan="4">Utilización</td> </tr> <tr> <td>Km anuales:</td> <td>40000</td> <td>km</td> <td>Calcular...</td> </tr> <tr> <td>Horas trabajo:</td> <td>1200</td> <td>h</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vida media:</td> <td>12</td> <td>años</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Uso privado:</td> <td>0</td> <td>%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pasajeros:</td> <td>0</td> <td>persona</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Viajes de trabajo:</td> <td>0</td> <td>%</td> <td></td> </tr> </table>			Utilización				Km anuales:	40000	km	Calcular...	Horas trabajo:	1200	h		Vida media:	12	años		Uso privado:	0	%		Pasajeros:	0	persona		Viajes de trabajo:	0	%	
Utilización																														
Km anuales:	40000	km	Calcular...																											
Horas trabajo:	1200	h																												
Vida media:	12	años																												
Uso privado:	0	%																												
Pasajeros:	0	persona																												
Viajes de trabajo:	0	%																												
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Carga</td> </tr> <tr> <td>ESALF:</td> <td>1.38</td> </tr> <tr> <td>Peso en marcha:</td> <td>16.33 toneladas</td> </tr> </table>			Carga		ESALF:	1.38	Peso en marcha:	16.33 toneladas																						
Carga																														
ESALF:	1.38																													
Peso en marcha:	16.33 toneladas																													

Fuente: Elaboración propia

3.9.3. Redes de carreteras

La red de carreteras almacena los datos geométricos y estructurales de la carretera en análisis, como se muestra en las figuras siguientes, de acuerdo a cada tramo

3.9.3.1. Red de la avenida Colon

Se presentará a través de las siguientes figuras, el paso a paso de los datos de entrada dentro del tramo de la avenida Colon (extensión de la avenida Circunvalación.)

Gráfica N°39.Red de carretera de la avenida Colon

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
AvCp	Avenida colon	24/08/2021	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr	2.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°40.Generalidades del tramo en la avenida Colon

Tramo: Avenida colon

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	Avenida colon	Longitud:	2	km
ID del tramo:	AvCp	Ancho de calzada:	3.4	m
Nombre ruta:	Av colon	Ancho de arcén:	0.1	m
ID de ruta:		Número de camles:	2	
Tipo de vel/cap:	Tarja	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Tarja	Motorizado:	1135	IMD
Zona climática:	Tarja	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Tertiary or Local	Año:	2017	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo fime:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°41.Datos de la ejecución de la avenida Colon

Tramo: Avenida colon

Definición | Geometría | Fime | Estado

Capa de Rodadura		Capacidad de Soporte			
Tipo material:	Mezcla bituminosa	Parámetros calc. para estación seca			
Espesor más reciente:	37.2 mm	SNP:	4.13	DEF:	0.67 mm
Espesor anterior/antiguo:	0 mm	[1] <input type="radio"/> Número estructural:	2.45339	CBFI explorada:	11.01 %
Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)		<input checked="" type="radio"/> Estación seca <input type="radio"/> Estación húmeda			
Últ. reconst. o nueva const.:	2017 año	[2] <input checked="" type="radio"/> SNP calculado:	Calcular SNP	Base (sólo para bases estabilizadas)	
Última rehabilitación (capa rodadura):	2017 año	Espesor base:		mm	
Último repavimentado (resellado):	2017 año	Módulo Resiliente:		GPa	
Último tratamiento preventivo:	2017 año				

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°42. Datos del estado inicial de la avenida colon

Tramo: Avenida colon ×

Definición | Geometría | Firme | Estado

Estado a final de año	2017
Regularidad (IRI - m/km)	2.40
Área total fisurada (%)	0.00
Área con desp. de áridos (%)	0.00
Número de baches (Nº/km)	0.00
Área con rotura de borde (m²/km)	0.00
Profundidad media de roderas	0.00
Textura (mm)	0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Excelente ▼

Nuevo año
Borrar año
Ordenar años

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

3.9.3.2. Red de la avenida Panamericana

Se presentará a través de las siguientes figuras, los datos de entrada dentro del tramo de la avenida Panamericana, conocida como doble vía Panamericana que vincula la zona de Torrecillas con el Portillo; Teniendo en cuenta que se dividió en dos análisis, por la diferencia geométrica transversal de cada sentido de la carretera.

Carril de ida, del barrio Torrecillas al barrio el Portillo

Gráfica N°43.Red de carretera de la avenida Panamericana (ida)

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
av	avenida panamericana	24/08/2021	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr...	2.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°44.Generalidades del tramo en la avenida Panamericana (ida)

Tramo: avenida panamericana

Definición | Geometría | Firme | Estado

Nombre del tramo: avenida panamericana

ID del tramo: av

Nombre ruta: chaco

ID de ruta: cha

Tipo de vel/cap: Tarja

Modelo de tráfico: Tarja

Zona climática: Tarja

Clase carretera: Secondary or Main

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 2 km

Ancho de calzada: 9.3 m

Ancho de arcén: 0.2 m

Número de carriles: 2

Tráfico

Motorizado: 2476 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2015

Sentido: Sentido ascendente

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°45.Datos de la ejecución de la avenida Panamericana (ida)

Tramo: avenida panamericana



Definición | Geometría | Fime | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 103 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconst. o nueva const.: 2014 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2014 año

Último repavimentado (resellado): 2014 año

Último tratamiento preventivo: 2014 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 3.85 DEF: 0.75 mm

[1] Número estructural: 2.45339

CBR explorada: 3.5 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado:

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resiliente: GPa

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°46.Datos del estado inicial de la avenida colon

Tramo: avenida panamericana



Definición | Geometría | Fime | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 103 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconst. o nueva const.: 2014 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2014 año

Último repavimentado (resellado): 2014 año

Último tratamiento preventivo: 2014 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 3.85 DEF: 0.75 mm

[1] Número estructural: 2.45339

CBR explorada: 3.5 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado:

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resiliente: GPa

Fuente: Elaboración propia

Carril de vuelta, del barrio el Portillo al barrio Torrecillas

Gráfica N°47.Red de carretera de la avenida Panamericana (vuelta)

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
pan	avenida panamericana a torrecillas	24/08/2021	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr...	2.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°48.Generalidades del tramo en la avenida Panamericana (vuelta)

Tramo: avenida panamericana a torrecillas

Definición | Geometría | Firme | Estado

Nombre del tramo: avenida panamericana a torrecillas

ID del tramo: pan

Nombre ruta: avenida panamericana

ID de ruta: ap

Tipo de vel/cap: Tarja

Modelo de tráfico: Tarja

Zona climática: Tarja

Clase carretera: Secondary or Main

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 2 km

Ancho de calzada: 8.8 m

Ancho de arcén: 9 m

Número de carriles: 2

Tráfico

Motorizado: 1872 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2015

Sentido: Sentido ascendente

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°49.Datos de la ejecución de la avenida Panamericana (vuelta)

Tramo: avenida panamericana a torrecillas

Definición | Geometría | Fime | Estado

Capa de Rodadura

Tipo material: **Mezcla bituminosa**

Espesor más reciente: 103 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)

Últ. reconst. o nueva const.: 2014 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2014 año

Último repavimentado (resellado): 2014 año

Último tratamiento preventivo: 2014 año

Capacidad de Soporte

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 3.92 DEF: 0.73 mm

[1] Número estructural: 2.45339

CBR explorada: 3.5 %

Estación seca Estación húmeda

[2] SNP calculado: **Calcular SNP**

Base (sólo para bases estabilizadas)

Espesor base: mm

Módulo Resiliante: GPa

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°50.Datos del estado inicial de la avenida Panamericana (vuelta)

Tramo: avenida panamericana a torrecillas

Definición | Geometría | Fime | Estado

Estado a final de año	2014
Regularidad (IRI - m/km)	2.00
Área total fisurada (%)	0.00
Área con desp. de áridos (%)	0.00
Número de baches (N ^o /km)	0.00
Área con rotura de borde (m ² /km)	0.00
Profundidad media de roderas	0.00
Textura (mm)	0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Excelente ▼

Nuevo año

Borrar año

Ordenar años

Detalles... Aceptar Cancelar

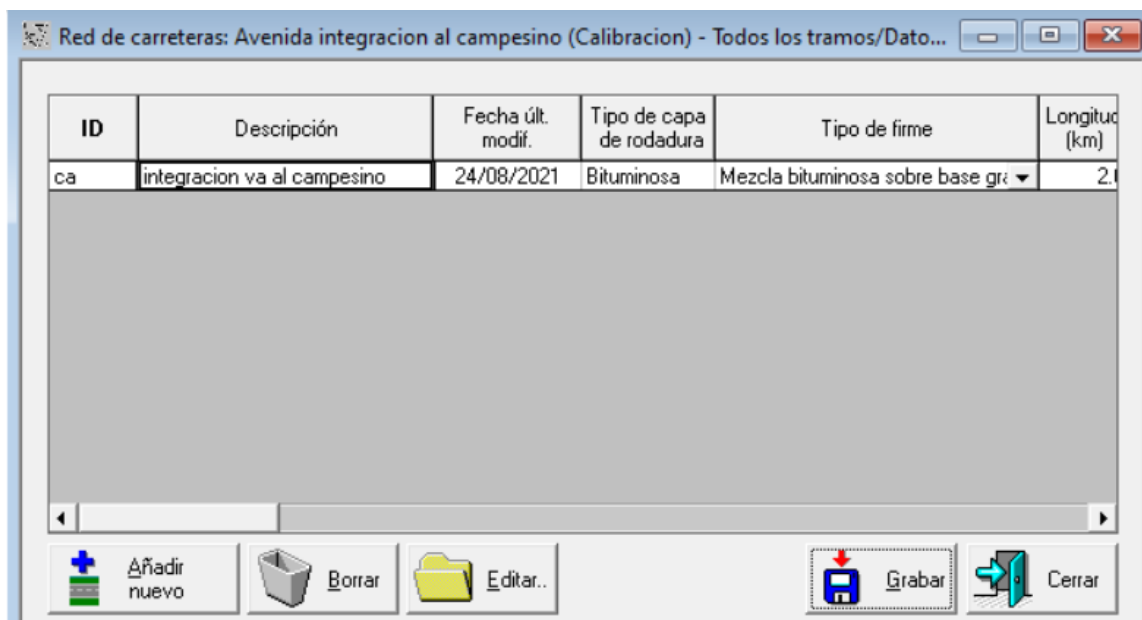
Fuente: Elaboración propia

3.9.3.3. Red de la avenida Integración

Se presentará a través de las siguientes figuras, los datos de entrada dentro del tramo de la avenida Integración, extensión de la avenida Circunvalación; la que se dividió en dos análisis, por la diferencia geométrica transversal de cada sentido de la carretera.

Carril de ida, de la zona central a la zona del campesino

Gráfica N°51.Red de carretera de la avenida Integración (ida)



ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
ca	integracion va al campesino	24/08/2021	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gra	2.1

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°52.Generalidades del tramo en la avenida Integración (ida)

Tramo: integracion va al campesino

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	integracion va al campesino	Longitud:	2	km
ID del tramo:	ca	Ancho de calzada:	7.6	m
Nombre ruta:	integracion	Ancho de arcén:	0.2	m
ID de ruta:	integracion	Número de carriles:	2	
Tipo de vel/cap:	Tarja	Trafico		
Modelo de tráfico:	Tarja	Motorizado:	1845	IMD
Zona climática:	Tarja	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Secondary or Main	Año:	2012	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Sentido ascendente	
Tipo fime:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°53.Datos de la ejecución de la avenida Integración (ida)

Tramo: integracion va al campesino

Definición | Geometría | Fime | Estado

Capa de Rodadura		Capacidad de Soporte	
Tipo material:	Mezcla bituminosa	Parámetros calc. para estación seca	
Esesor más reciente:	89.5 mm	SNP:	4.45 DEF: 0.60 mm
Esesor anterior/antiguo:	0 mm	[1] <input type="radio"/> Número estructural:	2.45339
Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)		CBR explorada:	
Últ. reconst. o nueva const.:	2011 año	9 %	
Última rehabilitación (capa rodadura):	2011 año	<input type="radio"/> Estación seca <input type="radio"/> Estación húmeda	
Último repavimentado (resellado):	2011 año	[2] <input checked="" type="radio"/> SNP calculado: <input type="button" value="Calcular SNP"/>	
Último tratamiento preventivo:	2011 año	Base (sólo para bases estabilizadas)	
		Esesor base:	
		Módulo Resiliante:	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°54.Datos del estado inicial de la avenida integración (ida)

Tramo: integracion va al campesino

✕

Métrica	Valor
Estado a final de año	2011
Regularidad (IRI - m/km)	2.40
Área total fisurada (%)	0.00
Área con desp. de áridos (%)	0.00
Número de baches (Nº/km)	0.00
Área con rotura de borde (m²/km)	0.00
Profundidad media de roderas	0.00
Textura (mm)	0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Excelente ▼

Fuente: Elaboración propia

Carril de ida, de la zona del campesino a la zona central

Gráfica N°55.Red de carretera de la avenida Integración (vuelta)

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
int	integracion al centro	20/08/2021	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr	2.0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°56.Generalidades del tramo en la avenida Integración (vuelta)

Tramo: integracion al centro ×

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo: <input type="text" value="integracion al centro"/>	Longitud: <input type="text" value="2"/> km
ID del tramo: <input type="text" value="integracion "/>	Ancho de calzada: <input type="text" value="7.6"/> m
Nombre ruta: <input type="text" value="integracion"/>	Ancho de arcén: <input type="text" value="0.2"/> m
ID de ruta: <input type="text" value="int"/>	Número de carriles: <input type="text" value="2"/>
Tipo de vel/cap: <input type="text" value="Tarja"/>	
Modelo de tráfico: <input type="text" value="Tarja"/>	
Zona climática: <input type="text" value="Tarja"/>	
Clase carretera: <input type="text" value="Secondary or Main"/>	
Tipo c.rodadura: <input type="text" value="Bituminosa"/>	
Tipo fime: <input type="text" value="Mezcla bituminosa sobre base granular"/>	

Trafico

Motorizado: IMD

No motorizado: IMD

Año:

Sentido:

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°57.Datos de la ejecución de la avenida Integración (vuelta)

Tramo: integracion al centro ×

Definición | Geometría | Fime | Estado

<p>Capa de Rodadura</p> <p>Tipo material: <input type="text" value="Mezcla bituminosa"/></p> <p>Espesor más reciente: <input type="text" value="89.5"/> mm</p> <p>Espesor anterior/antiguo: <input type="text" value="0"/> mm</p> <p>Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)</p> <p>Últ. reconst. o nueva const.: <input type="text" value="2011"/> año</p> <p>Última rehabilitación (capa rodadura): <input type="text" value="2011"/> año</p> <p>Último repavimentado (resellado): <input type="text" value="2011"/> año</p> <p>Último tratamiento preventivo: <input type="text" value="2011"/> año</p>	<p>Capacidad de Soporte</p> <p>Parámetros calc. para estación seca</p> <p>SNP: <input type="text" value="4.45"/> DEF: <input type="text" value="0.60"/> mm</p> <p>[1] <input type="radio"/> Número estructural: <input type="text" value="2.45339"/></p> <p style="padding-left: 20px;">CBFI explorada: <input type="text" value="9"/> %</p> <p><input checked="" type="radio"/> Estación seca <input type="radio"/> Estación húmeda</p> <p>[2] <input checked="" type="radio"/> SNP calculado: <input type="button" value="Calcular SNP"/></p> <p>Base (sólo para bases estabilizadas)</p> <p>Espesor base: <input type="text"/> mm</p> <p>Módulo Resiliente: <input type="text"/> GPa</p>
--	---

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°58. Datos del estado inicial de la avenida integración (vuelta)

Tramo: integracion al centro ×

Definición	Geometría	Fime	Estado
Estado a final de año			2011
Regularidad (IRI - m/km)			2.40
Área total fisurada (%)			0.00
Área con desp. de áridos (%)			0.00
Número de baches (Nº/km)			0.00
Área con rotura de borde (m²/km)			0.00
Profundidad media de roderas			0.00
Textura (mm)			0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)			0.50
Drenaje			Excelente ▼

Fuente: Elaboración propia

3.10. Calibración del software HDM-4

Para la calibración del software HDM-4, Se debe ya tener registrado en el mismo la configuración general, parque vehicular y las redes de vehículos para cada tramo que se estudiara. Estos funcionaran como los datos de entrada para la etapa de “*Proyectos*”, en la cual se realiza el juego de números de factores acuerdo a las fórmulas que rigen el programa, hasta que los resultados finales coincidan con los resultados obtenidos en campo.

Los parámetros de cuales hablamos son:

- IRI (promedio)
- Porcentaje de grietas²⁴
- Porcentaje de desprendimiento²¹
- Falla de borde²¹

²⁴ Obtenido de la evaluación PCI

- Baches²¹
- Rodaduras²¹

Tabla N°10. Formulas empleadas por el software HDM-4 para calibración

Parámetro	Fórmulas de trabajo del software HDM-4²⁵
Agrietamiento	$ICA = K_{cia}\{CDS^2 * a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE4}{SNP^2} \right) \right] + CRT\}$
Desprendimiento	$IRV = Kvi * CDS^2 * a_0 * RRF \exp(a_1 * YAX)$
Baches	$dNPTi = Kpp * a_0 ADISi * TLF * \left[(1 + a_1 CDB) * (1 + a_2 YA) * \frac{1 + a_3 MMP}{1 + a_4 HS} \right]$
Borde	Trabaja de acuerdo al TMDA y ancho de calzada
Ahuellamiento	$RDW = Krst(0.0000248 * SNP^{-0.84} * YAX^{0.14} * MMP^{1.07} * ACXa^{1.11}$

Fuente: Elaboración propia

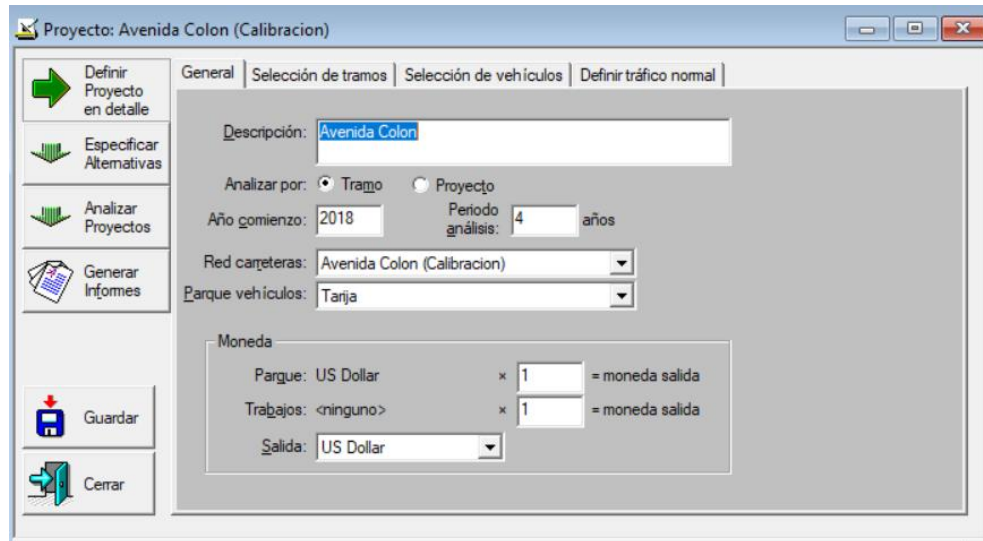
3.10.1. Calibración de la avenida Colon

El espacio de trabajo del software HDM-4 se adecúan los estándares de diseño ya insertados en las etapas anteriores mencionadas, como la configuración general.

En este espacio definimos el año de comienzo, el año posterior a su funcionamiento porque desde ese momento el pavimento recibe las cargas vehiculares y se considera el periodo de análisis, los años suficientes para llegar a la gestión actual 2021, año donde se realizó el trabajo en campo del método PCI y análisis de tránsito.

²⁵ Explicación teórica mencionada en el capítulo II, subtítulo software HDM-4

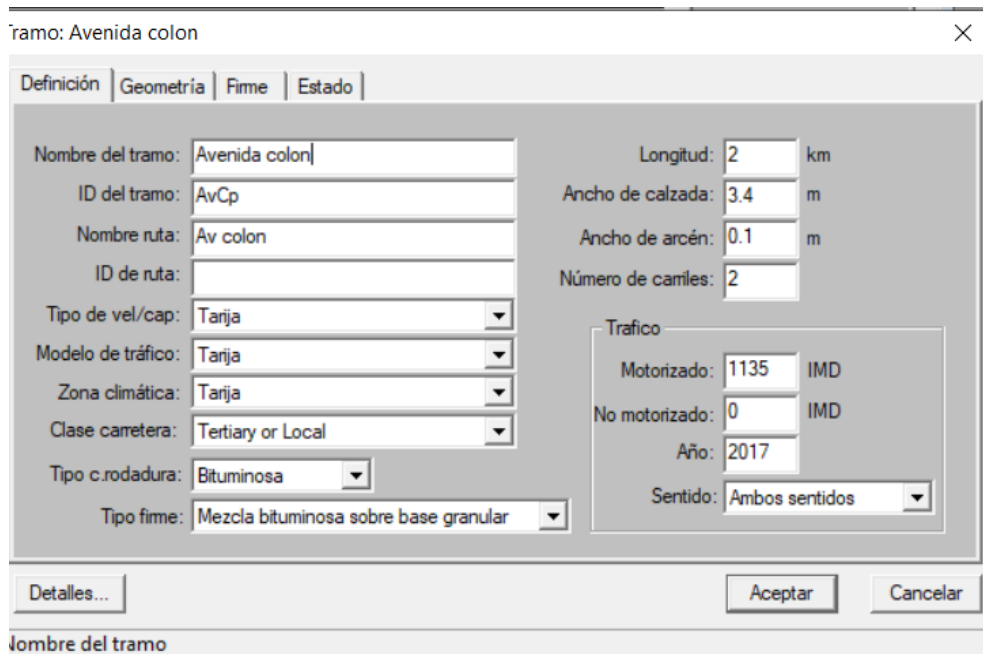
Gráfica N°59.Calibración avenida colon – Espacio de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos y verificamos el tramo que se desea calibrar, teniendo en cuenta la geometría, firme y estado del mismo.

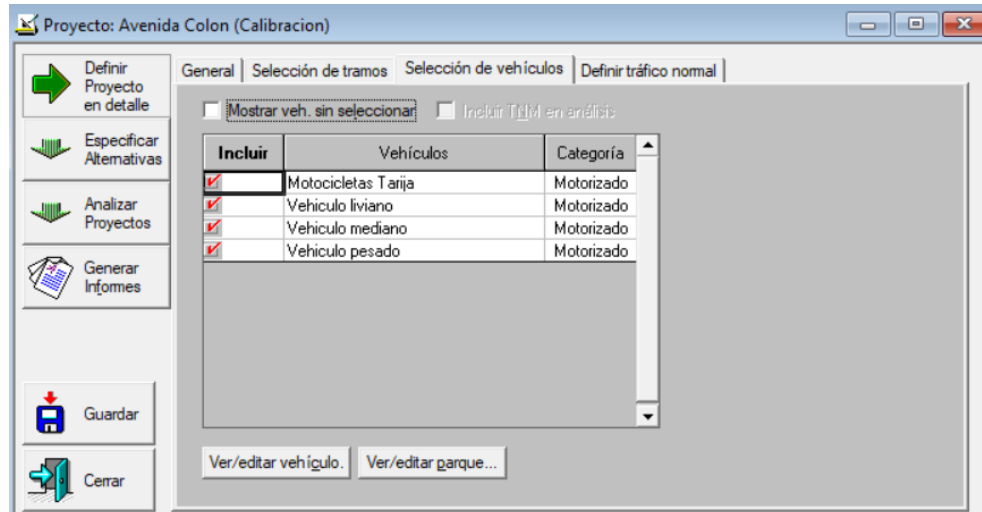
Gráfica N°60.Selección del tramo de avenida colon



Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la *selección de vehículos*, el cual se creó de manera general para todos los tramos dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tarija

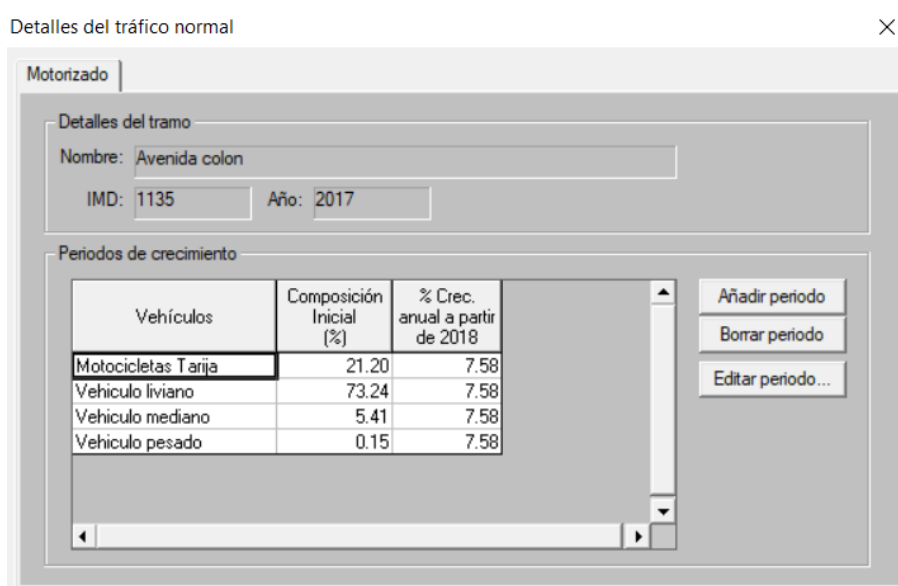
Gráfica N°61.Selección de vehículos en avenida colon para su calibración



Fuente: Elaboración propia

El último paso de selección es el tráfico normal, en el cual se inserta la composición en porcentaje de cada tipo vehicular junto al factor de crecimiento que es de 7.58% según los datos ya obtenidos y explicados en secciones superiores de este documento.

Gráfica N°62.Definición de tráfico en avenida colon para su calibración



Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el tráfico, se procede a la *calibración del software HDM-4* para el tramo en estudio, en este caso la avenida Colon, el cual corresponde a una carretera de doble carril y ambos sentidos.

Gráfica N°63.Calibración superficial del tramo avenida Colon

Calibración de tramo: Avenida colon ×

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Factores de calibración		Distribución de fisuras
	Inicio	Progresión
Todas las fisuras estructurales:	0,25	1.5
Fisura estructural ancha:	0,25	1.5
Fisura transversal térmica:	0	1
Desprend. árido:	0	0,21
Bache:	0	9
Rotura de borde:	0,005	
Bacheo		Retardo del deterioro superficial
Periodo tiempo para bachear: < dos semanas		Tiempo retardo fisuración: 0 años
		Factor retardo desprend. áridos: 1
		Todas las fisuras estructural.: 100 %
		Fisuración transv. térmica: 0 %
		Total: 100 %
		Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural: 0 %

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°64.Calibración estructural del tramo avenida Colon

Calibración de tramo: Avenida colon ×

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Roderas		Número estructural
Densidad inicial:	0,05	Efectos Estacionales:
Deterioro estructural:	0,05	Debido a fisuración:
Defomación plástica:	0,1	
Desgaste superficial:	0,1	
% vehículos con neumáticos de clavos:	0	Regularidad
Sal usada en carretera: <input type="radio"/> sí <input checked="" type="radio"/> no		Coefficiente ambiental:
		Progresión:
		Otros
		Número efectivo de camiles:

Fuente: Elaboración propia

3.10.2. Calibración de la avenida Panamericana

El espacio de trabajo del software HDM-4 se adecua la configuración general.

En este espacio definimos el año de comienzo, el año posterior a su funcionamiento porque desde ese momento el pavimento recibe las cargas vehiculares y se considera el periodo de análisis, los años suficientes para llegar a la gestión actual 2021, año donde se realizó el trabajo en campo del método PCI y análisis de tránsito.

Carril de ida, del barrio Torrecillas al barrio el Portillo

Gráfica N°65. Calibración avenida Panamericana – Espacio de trabajo (ida)

The screenshot shows the 'Proyecto: Avenida panamericana al Portillo (Calibración)' window. The 'General' tab is active, displaying the following configuration:

- Descripción:** Avenida al Chaco, ida al barrio el Portillo
- Analizar por:** Tramo Proyecto
- Año comienzo:** 2015
- Periodo análisis:** 7 años
- Red carreteras:** Avenida panamericana al Portillo (Calibración)
- Parque vehículos:** Tarja
- Moneda:**
 - Pague: US Dollar x 1 = moneda salida
 - Trabajos: <ninguno> x 1 = moneda salida
 - Salida: US Dollar

On the left side of the window, there is a vertical toolbar with the following options: Definir Proyecto en detalle, Especificar Alternativas, Analizar Proyectos, Generar Informes, Guardar, and Cerrar.

Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos y verificamos el tramo que se desea calibrar, teniendo en cuenta la geometría, firme y estado del mismo.

Gráfica N°66.Selección del tramo de avenida Panamericana (ida)

Tramo: avenida panamericana

Nombre del tramo:	avenida panamericana	Longitud:	2	km
ID del tramo:	av	Ancho de calzada:	9.3	m
Nombre ruta:	panamericana	Ancho de arcén:	0.2	m
ID de ruta:	cha	Número de canchales:	2	
Tipo de vel/cap:	Tarifa	Tráfico		
Modelo de tráfico:	Tarifa	Motorizado:	2476	IMD
Zona climática:	Tarifa	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Secondary or Main	Año:	2015	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Sentido ascendente	
Tipo firme:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la *selección de vehículos*, el cual se creó de manera general para todos los tramos dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tarija

Gráfica N°67.Selección de vehículos en avenida Panamericana para su calibración (ida)

Proyecto: Avenida panamericana al Portillo (Calibración)

Incluir	Vehículos	Categoría
<input checked="" type="checkbox"/>	Motocicletas Tarija	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo liviano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo mediano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo pesado	Motorizado

Fuente: Elaboración propia

El último paso de selección es el tráfico normal, en el cual se inserta la composición en porcentaje de cada tipo vehicular junto al factor de crecimiento que es de 7.58% según los datos ya obtenidos y explicados en secciones superiores de este documento.

Gráfica N°68. Definición de tráfico en avenida Panamericana para su calibración (ida)

Detalles del tráfico normal

Motorizado

Detalles del tramo

Nombre: avenida panamericana

IMD: 2476 Año: 2015

Periodos de crecimiento

Vehículos	Composición Inicial (%)	% Crec. anual a partir de 2015
Motocicletas Tarija	11.78	7.58
Vehiculo liviano	77.51	7.58
Vehiculo mediano	10.17	7.58
Vehiculo pesado	0.54	7.58

Añadir periodo
Borrar periodo
Editar periodo...

Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el tráfico, se procede a la *calibración del software HDM-4* para el tramo en estudio, en este caso la avenida Colon, el cual corresponde a una carretera de doble carril y ambos sentidos.

Gráfica N°69.Calibración superficial del tramo avenida Panamericana (ida)

Calibración de tramo: avenida panamericana

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Factores de calibración		Distribución de fisuras
	Inicio	Progresión
Todas las fisuras estructurales:	0,4	0,59
Fisura estructural ancha:	1	1
Fisura transversal térmica:	1	1
Desprend. árido:	1	1
Bache:	0	1
Rotura de borde:	1	
Bacheo		Retardo del deterioro superficial
Periodo tiempo para bachear: < dos semanas		Tiempo retardo fisuración: 0 años
		Factor retardo desprend. áridos: 1
		Todas las fisuras estructural.: 100 %
		Fisuración transv. térmica: 0 %
		Total: 100 %
		Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural: 0 %

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°70.Calibración estructural del tramo avenida Panamericana (ida)

Calibración de tramo: avenida panamericana

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Rodenas		Número estructural
Densidad inicial:	0.03	Efectos Estacionales:
Deterioro estructural:	0.03	Debido a fisuración:
Deformación plástica:	0	
Desgaste superficial:	1	
% vehículos con neumáticos de clavos:	0	Regularidad
Sal usada en carretera: <input type="radio"/> sí <input checked="" type="radio"/> no		Coefficiente ambiental:
		Progresión:
		Otros
		Número efectivo de camiles:

Fuente: Elaboración propi

Carril de vuelta, del barrio el Portillo al barrio Torrecillas

Gráfica N°71. Calibración avenida Panamericana – Espacio de trabajo (vuelta)

Proyecto: Avenida panamericana a Torrecillas (Calibración)

Definir Proyecto en detalle

Especificar Alternativas

Analizar Proyectos

Generar Informes

Guardar

Cerrar

General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Descripción: Avenida panamericana, vuelta

Analizar por: Tramo Proyecto

Año comienzo: 2015 Período análisis: 7 años

Red carreteras: Avenida panamericana a Torrecillas (Calibración)

Parque vehículos: Tarja

Moneda

Parque: US Dollar x 1 = moneda salida

Trabajos: <ninguno> x 1 = moneda salida

Salida: US Dollar

Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos y verificamos el tramo que se desea calibrar, teniendo en cuenta la geometría, firme y estado del mismo.

Gráfica N°72. Selección del tramo de avenida Panamericana (vuelta)

Tramo: avenida panamericana a torrecillas

Definición | Geometría | Firme | Estado

Nombre del tramo: avenida panamericana a torrecillas

ID del tramo: pan

Nombre ruta: avenida panamericana

ID de ruta: ap

Tipo de vel/cap: Tarja

Modelo de tráfico: Tarja

Zona climática: Tarja

Clase carretera: Secondary or Main

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 2 km

Ancho de calzada: 8.8 m

Ancho de arcén: 9 m

Número de carriles: 2

Tráfico

Motorizado: 1872 IMD

No motorizado: 0 IMD

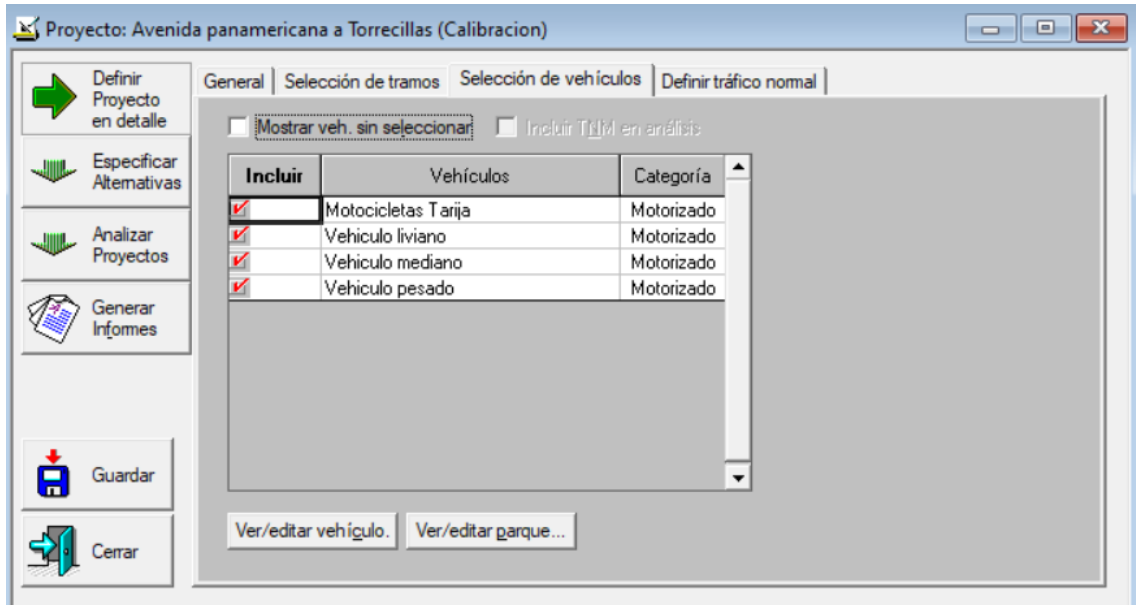
Año: 2015

Sentido: Sentido ascendente

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la *selección de vehículos*, el cual se creó de manera general para todos los tramos dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tarija

Gráfica N°73.Selección de vehículos en av. Panamericana para calibración (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

El último paso de selección es el tráfico normal, en el cual se inserta la composición en porcentaje de cada tipo vehicular junto al factor de crecimiento que es de 7.58% según los datos ya obtenidos y explicados en secciones superiores de este documento.

Gráfica N°74. Definición de tráfico en av. Panamericana para calibración (vuelta)

Detalles del tráfico normal ×

Motorizado

Detalles del tramo

Nombre:

IMD: Año:

Periodos de crecimiento

Vehículos	Composición Inicial (%)	% Crec. anual a partir de 2015
Motocicletas T arija	8.95	7.58
Vehiculo liviano	80.25	7.58
Vehiculo mediano	10.30	7.58
Vehiculo pesado	0.50	7.58

Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el tráfico, se procede a la *calibración del software HDM-4* para el tramo en estudio, en este caso la avenida Colon, el cual corresponde a una carretera de doble carril y ambos sentidos.

Gráfica N°75.Calibración superficial del tramo avenida Panamericana (vuelta)

Calibración de tramo: avenida panamericana a torrecillas

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Factores de calibración		
	Inicio	Progresión
Todas las fisuras estructurales:	0.5	0.48
Fisura estructural ancha:	1	1
Fisura transversal térmica:	1	1
Desprend. árido:	0.05	0.09
Bache:	1	1
Rotura de borde:	1	
Distribución de fisuras		
Todas las fisuras estructural.:	100	%
Fisuración transv. térmica:	0	%
Total:	100	%
Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural:	0	%
Bacheo		
Periodo tiempo para bachear:	Doce meses	
Retardo del deterioro superficial		
Tiempo retardo fisuración:	0	años
Factor retardo desprend. áridos:	1	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°76.Calibración estructural del tramo avenida Panamericana (vuelta)

Calibración de tramo: avenida panamericana a torrecillas

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Roderas		
Densidad inicial:	0.04	
Deterioro estructural:	0.04	
Deformación plástica:	0	
Desgaste superficial:	1	
% vehículos con neumáticos de clavos:	0	
Sal usada en carretera:	<input type="radio"/> sí <input checked="" type="radio"/> no	
Número estructural		
Efectos Estacionales:	1	
Debido a fisuración:	1	
Regularidad		
Coefficiente ambiental:	0.8	
Progresión:	0.8	
Otros		
Número efectivo de camiles:	2	

Fuente: Elaboración propia

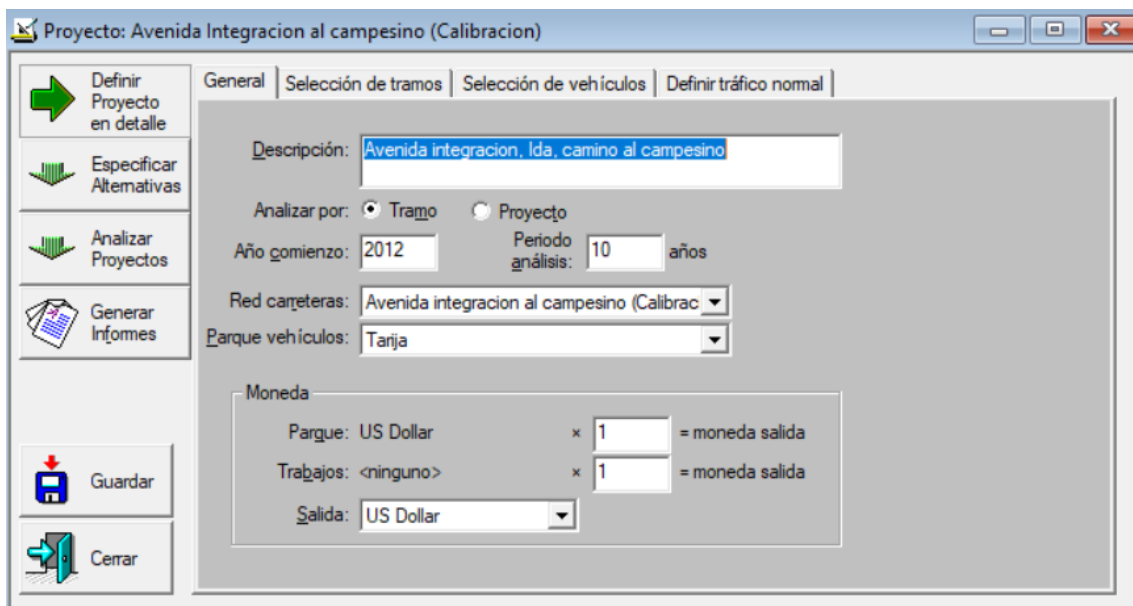
3.10.3. Calibración de la avenida Integración

El espacio de trabajo del software HDM-4 se adecua la configuración general.

En este espacio definimos el año de comienzo, el año posterior a su funcionamiento porque desde ese momento el pavimento recibe las cargas vehiculares y se considera el periodo de análisis, los años suficientes para llegar a la gestión actual 2021, año donde se realizó el trabajo en campo del método PCI y análisis de tránsito.

Carril de ida, de la zona central a la zona del campesino

Gráfica N°77. Calibración avenida Integración – Espacio de trabajo (ida)



Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos y verificamos el tramo que se desea calibrar, teniendo en cuenta la geometría, firme y estado del mismo.

Gráfica N°78.Selección del tramo de avenida Integración (ida)

Tramo: integracion va al campesino

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:

ID del tramo:

Nombre ruta:

ID de ruta:

Tipo de vel/cap:

Modelo de tráfico:

Zona climática:

Clase carretera:

Tipo c.rodadura:

Tipo fime:

Longitud: km

Ancho de calzada: m

Ancho de arcén: m

Número de carriles:

Tráfico

Motorizado: IMD

No motorizado: IMD

Año:

Sentido:

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la *selección de vehículos*, el cual se creó de manera general para todos los tramos dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tarija

Gráfica N°79.Selección de vehículos en av. Integración para calibración (ida)

Proyecto: Avenida Integracion al campesino (Calibracion)

General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Mostrar veh. sin seleccionar Incluir TITel en análisis

Incluir	Vehículos	Categoría
<input checked="" type="checkbox"/>	Motocicletas Tarija	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo liviano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo mediano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo pesado	Motorizado

Ver/editar vehículo. Ver/editar parque...

Fuente: Elaboración propia

El último paso de selección es el tráfico normal, en el cual se inserta la composición en porcentaje de cada tipo vehicular junto al factor de crecimiento que es de 7.58% según los datos ya obtenidos y explicados en secciones superiores de este documento.

Gráfica N°80. Definición de tráfico en av. Integración para calibración (ida)

Motorizado

Detalles del tráfico normal

Motorizado

Detalles del tramo

Nombre:

IMD: Año:

Periodos de crecimiento

Vehículos	Composición Inicial (%)	% Crec. anual a partir de 2012
Motocicletas Tarija	17.30	7.58
Vehiculo liviano	77.71	7.58
Vehiculo mediano	4.47	7.58
Vehiculo pesado	0.52	7.58

Añadir periodo
Borrar periodo
Editar periodo...

Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el tráfico, se procede a la *calibración del software HDM-4* para el tramo en estudio, en este caso la avenida Colon, el cual corresponde a una carretera de doble carril y ambos sentidos.

Gráfica N°81. Calibración superficial del tramo avenida Integración (ida)

Calibración de tramo: integracion va al campesino ×

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia																																	
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales																																	
Factores de calibración <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inicio</th> <th>Progresión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Todas las fisuras estructurales:</td> <td>1</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Fisura estructural ancha:</td> <td>1</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Fisura transversal térmica:</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Desprend. árido:</td> <td>0.1</td> <td>0.148</td> </tr> <tr> <td>Bache:</td> <td>0.5</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>Rotura de borde:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Inicio	Progresión	Todas las fisuras estructurales:	1	0.01	Fisura estructural ancha:	1	0.01	Fisura transversal térmica:	1	1	Desprend. árido:	0.1	0.148	Bache:	0.5	3.2	Rotura de borde:	1		Distribución de fisuras <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Todas las fisuras estructural.:</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Fisuración transv. térmica:</td> <td>0</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Total:</td> <td>100</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural:</td> <td>0</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>	Todas las fisuras estructural.:	100	%	Fisuración transv. térmica:	0	%	Total:	100	%	Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural:	0	%
	Inicio	Progresión																																	
Todas las fisuras estructurales:	1	0.01																																	
Fisura estructural ancha:	1	0.01																																	
Fisura transversal térmica:	1	1																																	
Desprend. árido:	0.1	0.148																																	
Bache:	0.5	3.2																																	
Rotura de borde:	1																																		
Todas las fisuras estructural.:	100	%																																	
Fisuración transv. térmica:	0	%																																	
Total:	100	%																																	
Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural:	0	%																																	
Bacheo <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Periodo tiempo para bachear:</td> <td>Doce meses</td> </tr> </tbody> </table>		Periodo tiempo para bachear:	Doce meses	Retardo del deterioro superficial <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Tiempo retardo fisuración:</td> <td>0</td> <td>años</td> </tr> <tr> <td>Factor retardo desprend. áridos:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo retardo fisuración:	0	años	Factor retardo desprend. áridos:	1																										
Periodo tiempo para bachear:	Doce meses																																		
Tiempo retardo fisuración:	0	años																																	
Factor retardo desprend. áridos:	1																																		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°82.Calibración estructural del tramo avenida Integración (ida)

Calibración de tramo: integracion va al campesino



Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM	Historia
Deterioro superficial	Textura superficial	Defectos estructurales
Roderas Densidad inicial: <input type="text" value="0"/> Deterioro estructural: <input type="text" value="0.04"/> Deformación plástica: <input type="text" value="0"/> Desgaste superficial: <input type="text" value="1"/> % vehículos con neumáticos de clavos: <input type="text" value="0"/> Sal usada en carretera: <input type="radio"/> sí <input checked="" type="radio"/> no	Número estructural Efectos Estacionales: <input type="text" value="1"/> Debido a fisuración: <input type="text" value="1"/> Regularidad Coeficiente ambiental: <input type="text" value="0.95"/> Progresión: <input type="text" value="0.95"/> Otros Número efectivo de camiles: <input type="text" value="2"/>	

Fuente: Elaboración propia

Carril de vuelta, de la zona del campesino a la zona central

Gráfica N°83.Calibración avenida Integración – Espacio de trabajo (vuelta)

Proyecto: Avenida Integracion al centro (Calibracion)

Definir Proyecto en detalle | Especificar Alternativas | Analizar Proyectos | Generar Informes | Guardar | Cerrar

General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Descripción:

Analizar por: Tramo Proyecto

Año comienzo: Período análisis: años

Red carreteras:

Parque vehículos:

Moneda

Pargue: US Dollar × = moneda salida

Trabajos: <ninguno> × = moneda salida

Salida:

Fuente: Elaboración propia

Seleccionamos y verificamos el tramo que se desea calibrar, teniendo en cuenta la geometría, firme y estado del mismo.

Gráfica N°84.Selección del tramo de avenida Integración (vuelta)

Tramo: integracion al centro

Definición | Geometría | Firme | Estado

Nombre del tramo: integracion al centro

ID del tramo: integracion

Nombre ruta: integracion

ID de ruta: int

Tipo de vel/cap: Tarifa

Modelo de tráfico: Tarifa

Zona climática: Tarifa

Clase carretera: Secondary or Main

Tipo c.rodadura: Bituminosa

Tipo firme: Mezcla bituminosa sobre base granular

Longitud: 2 km

Ancho de calzada: 7.6 m

Ancho de arcén: 0.2 m

Número de carriles: 2

Trafico

Motorizado: 2376 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2011

Sentido: Sentido ascendente

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso es la *selección de vehículos*, el cual se creó de manera general para todos los tramos dentro de la mancha urbana de la ciudad de Tarija

Gráfica N°85.Selección de vehículos en av. Integración para calibración (vuelta)

Proyecto: Avenida Integracion al centro (Calibracion)

General | Selección de tramos | Selección de vehículos | Definir tráfico normal

Mostrar veh. sin seleccionar Incluir TFM en análisis

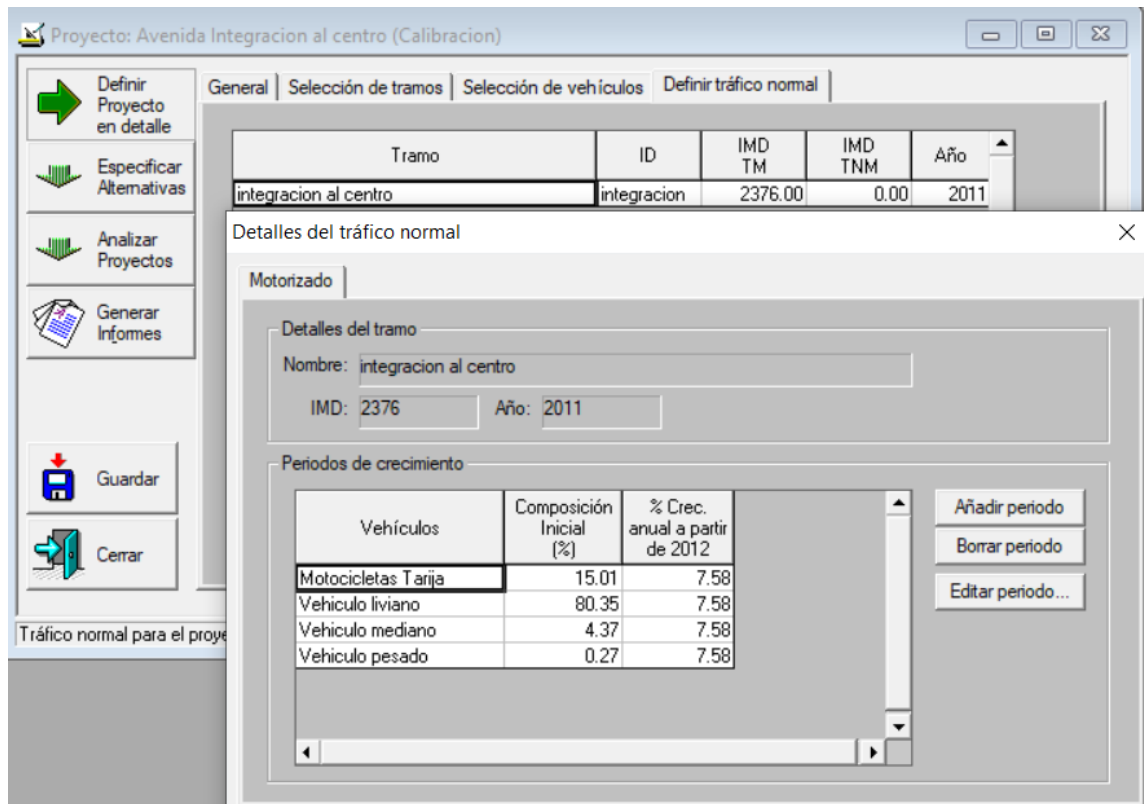
Incluir	Vehículos	Categoría
<input checked="" type="checkbox"/>	Motocicletas Tarija	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo liviano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo mediano	Motorizado
<input checked="" type="checkbox"/>	Vehículo pesado	Motorizado

Ver/editar vehículo. Ver/editar parque...

Fuente: Elaboración propia

El último paso de selección es el tráfico normal, en el cual se inserta la composición en porcentaje de cada tipo vehicular junto al factor de crecimiento que es de 7.58% según los datos ya obtenidos y explicados en secciones superiores de este documento.

Gráfica N°86. Definición de tráfico en av. Integración para calibración (vuelta)



Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el tráfico, se procede a la *calibración del software HDM-4* para el tramo en estudio, en este caso la avenida Colon, el cual corresponde a una carretera de doble carril y ambos sentidos.

Gráfica N°87.calibración superficial del tramo avenida Integración (vuelta)

Calibración de tramo: integracion al centro ×

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM		Historia
Deterioro superficial	Textura superficial		Defectos estructurales
Factores de calibración			
	Inicio	Progresión	
Todas las fisuras estructurales:	1.3	0.01	
Fisura estructural ancha:	1.3	0.01	
Fisura transversal térmica:	1	1	
Desprend. árido:	0.1	0.14	
Bache:	0.5	1.8	
Rotura de borde:	1		
Distribución de fisuras			
Todas las fisuras estructural.:	100	%	
Fisuración transv. térmica:	0	%	
Total:	100	%	
Fisuración estructural ancha como porcentaje de toda la fisuración estructural:	0	%	
Bacheo			
Periodo tiempo para bachear:	< dos semanas		
Retardo del deterioro superficial			
Tiempo retardo fisuración:	0	años	
Factor retardo desprend. áridos:	1		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°88.calibración estructural del tramo avenida Integración (vuelta)

Calibración de tramo: integracion al centro ×

Referido a la velocidad	Drenaje, arcenes y camiles para TNM		Historia
Deterioro superficial	Textura superficial		Defectos estructurales
Roderos			
Densidad inicial:	0		
Deterioro estructural:	0.15		
Deformación plástica:	0		
Desgaste superficial:	1		
% vehículos con neumáticos de clavos	0		
Sal usada en carretera:	<input type="radio"/> sí <input checked="" type="radio"/> no		
Número estructural			
Efectos Estacionales:	1		
Debido a fisuración:	1		
Regularidad			
Coefficiente ambiental:	0.75		
Progresión:	0.75		
Otros			
Número efectivo de camiles:	2		

Fuente: Elaboración propia

3.10.4. Informe de resultados del software HDM-4

Los informes que se presentaran a continuación, son los resultados de la calibración mediante el tráfico, diseño geométrico, diseño estructural, año de ejecución y parámetros de la zona climática de la ciudad de Tarija.

3.10.4.1. Informe avenida Colon

Tabla N°11. Informe de calibración – avenida Colon

24/8/2021

H D M - 4
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Annual Pavement Deterioration Summary (Combined)

Study Name: Avenida Colon (Calibracion)

Run Date: 24-08-2021

Alternative:		Alternativa Base		Road Class:		Tertiary or Local										
Section:		Avenida colon		Surface Class:		Bituminous										
Length:		2.00km		Width:		3.40m										
				Average Annual Values												
Year	MT AADT	ESAL millions /ELANE	IRI bef. m/km	IRI Avg. m/km	All Str. Cracks %	Rave-lling %	Edge Break sq.m	Rut Depth mm	No. of Pot-holes	Struct. No.	Gravel Thick. mm	Avg. Faulting mm	Spalled Joints %	No. of Failures per km	Cracked Slabs %	Det. Cracks No/km
2018	1,221	0.01	2.51	2.45	0.00	0.52	0.08	0.10	2	4.00						
2019	1,314	0.01	2.62	2.57	0.50	1.01	0.21	0.11	5	4.00						
2020	1,413	0.01	2.84	2.73	3.78	1.46	0.36	0.12	11	4.00						
2021	1,520	0.01	3.66	3.25	11.16	1.72	0.54	0.13	25	3.98						

Fuente: Software HDM-4

3.10.4.2. Informe avenida Panamericana

Carril de ida, del barrio Torrecillas al barrio el Portillo

Tabla N°12. Informe de calibración – avenida Panamericana (ida)

24/8/2021



Annual Pavement Deterioration Summary (Combined)

Study Name: Avenida panamericana al Portillo (Calibracion)

Run Date: 24-08-2021

Alternative:	Alternativa Base	Road Class:	Secondary or Main
Section:	avenida panamericana	Width:	9.30m
Surface Class:	Bituminous		
Length:	2.00km		

Year	MT AADT	ESAL millions /ELANE	IRI bef. m/km	IRI Avg. m/km	Average Annual Values											
					All Str. Cracks %	Rave-lling %	Edge Break sq.m	Rut Depth mm	No. of Pot-holes	Struct. No.	Gravel Thick. mm	Avg. Faulting mm	Spalled Joints %	No. of Failures per km	Cracked Slabs %	Det. Cracks No/km
2015	2,476	0.04	2.07	2.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0	3.73						
2016	2,664	0.04	2.14	2.10	0.00	0.00	0.00	0.08	0	3.73						
2017	2,866	0.04	2.21	2.17	0.50	0.00	0.00	0.09	0	3.73						
2018	3,083	0.05	2.29	2.25	1.79	0.00	0.00	0.09	0	3.72						
2019	3,316	0.05	2.38	2.33	3.89	0.00	0.00	0.10	0	3.71						
2020	3,568	0.05	2.48	2.43	6.83	0.00	0.00	0.11	0	3.70						
2021	3,838	0.06	2.59	2.53	10.64	0.00	0.00	0.11	0	3.68						

Fuente: Software HDM-4

Carril de vuelta, del barrio el Portillo al barrio Torrecillas

Tabla N°13. Informe de calibración – avenida Panamericana (vuelta)

24/8/2021



Annual Pavement Deterioration Summary (Combined)

Study Name: Avenida panamericana a Torrecillas (Calibracion)

Run Date: 24-08-2021

Alternative:	Alternativa Base	Road Class:	Secondary or Main
Section:	avenida panamericana a torrecillas	Width:	8.80m
Surface Class:	Bituminous		
Length:	2.00km		

Year	MT AADT	ESAL millions /ELANE	IRI bef. m/km	IRI Avg. m/km	Average Annual Values											
					All Str. Cracks %	Rave-lling %	Edge Break sq.m	Rut Depth mm	No. of Pot-holes	Struct. No.	Gravel Thick. mm	Avg. Faulting mm	Spalled Joints %	No. of Failures per km	Cracked Slabs %	Det. Cracks No/km
2015	1,872	0.03	2.05	2.02	0.00	0.00	0.00	0.10	0	3.80						
2016	2,014	0.03	2.09	2.07	0.00	0.00	0.00	0.10	0	3.80						
2017	2,167	0.03	2.13	2.11	0.00	0.00	0.00	0.11	0	3.80						
2018	2,331	0.03	2.18	2.16	0.50	0.00	0.00	0.12	0	3.80						
2019	2,507	0.04	2.23	2.21	1.55	0.50	0.00	0.13	0	3.80						
2020	2,698	0.04	2.29	2.26	3.16	0.97	0.00	0.13	0	3.79						
2021	2,902	0.04	2.35	2.32	5.34	1.58	0.00	0.14	0	3.78						

Fuente: Software HDM-4

3.10.4.3. Informe avenida Integración

Carril de ida, zona central a la zona del campesino

Tabla N°14. Informe de calibración – avenida Integración (ida)

24/8/2021



Annual Pavement Deterioration Summary (Combined)

Study Name: Avenida Integracion al campesino (Calibracion)

Run Date: 24-08-2021

Alternative:	Alternativa Base	Road Class:	Secondary or Main
Section:	integracion va al campesino	Surface Class:	Bituminous
Length:	2.00km	Width:	7.60m

Year	MT AADT	ESAL millions /ELANE	IRI bef. m/km	IRI Avg. m/km	Average Annual Values											
					All Str. Cracks %	Rave-lling %	Edge Break sq.m	Rut Depth mm	No. of Pot-holes	Struct. No.	Gravel Thick. mm	Avg. Faulting mm	Spalled Joints %	No. of Failures per km	Cracked Slabs %	Det. Cracks No/km
2012	1,845	0.01	2.46	2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	1	4.31						
2013	1,985	0.01	2.52	2.49	0.00	0.00	0.00	0.01	2	4.31						
2014	2,135	0.02	2.58	2.55	0.00	0.00	0.00	0.01	2	4.31						
2015	2,297	0.02	2.64	2.61	0.00	0.00	0.00	0.02	3	4.31						
2016	2,471	0.02	2.70	2.67	0.00	0.00	0.00	0.02	4	4.31						
2017	2,659	0.02	2.77	2.74	0.00	0.00	0.00	0.03	5	4.31						
2018	2,860	0.02	2.84	2.80	0.00	0.00	0.00	0.04	8	4.31						
2019	3,077	0.02	2.91	2.88	0.50	0.00	0.00	0.04	11	4.31						
2020	3,310	0.02	2.99	2.95	0.52	0.59	0.00	0.05	16	4.30						
2021	3,561	0.03	3.07	3.03	0.54	1.72	0.00	0.05	25	4.30						

Fuente: Software HDM-4

Carril de vuelta, zona del campesino a la zona central

Tabla N°15. Informe de calibración – avenida Integración (vuelta)

24/8/2021



Annual Pavement Deterioration Summary (Combined)

Study Name: **Avenida Integracion al centro (Calibracion)**

Run Date: **24-08-2021**

Alternative:		Alternativa Base				Road Class:		Secondary or Main								
Section:		integracion al centro				Width:		7.60m								
Surface Class:		Bituminous				Length:		2.00km								
Length:		2.00km				Width:		7.60m								
					Average Annual Values											
Year	MT AADT	ESAL millions /ELANE	IRI bef. m/km	IRI Avg. m/km	All Str. Cracks %	Rave-lling %	Edge Break sq.m	Rut Depth mm	No. of Pot-holes	Struct. No.	Gravel Thick. mm	Avg. Faulting mm	Spalled Joints %	No. of Failures per km	Cracked Slabs %	Det. Cracks No/km
2012	2,556	0.02	2.45	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0	4.31						
2013	2,750	0.02	2.49	2.47	0.00	0.00	0.00	0.02	0	4.31						
2014	2,958	0.02	2.54	2.52	0.00	0.00	0.00	0.04	0	4.31						
2015	3,183	0.02	2.59	2.57	0.00	0.00	0.00	0.07	0	4.31						
2016	3,424	0.02	2.64	2.62	0.00	0.00	0.00	0.09	0	4.31						
2017	3,683	0.02	2.69	2.67	0.00	0.00	0.00	0.11	0	4.31						
2018	3,962	0.03	2.75	2.72	0.00	0.00	0.00	0.14	0	4.31						
2019	4,263	0.03	2.80	2.77	0.00	0.50	0.00	0.16	0	4.31						
2020	4,586	0.03	2.85	2.83	0.00	1.51	0.00	0.18	0	4.31						
2021	4,934	0.03	2.91	2.88	0.50	2.97	0.00	0.21	0	4.31						

Fuente: Software HDM-4

3.11. Software HDM-4 aplicado en una proyección de los siguientes 5 años

Al tener una calibración apropiada para cada tramo seleccionado, se vio conveniente aplicarlo en el análisis. Se proyectó a 5 años por diferentes motivos, entre ellos, las vías seleccionadas tienen entre ellas una diferencia de ejecución mayores a 3 años y menores a 5 años, el programa realiza estimaciones de mediano y largo plazo en periodos de 5 a 40 años, por lo cual si proyectamos en un período de 5 años se tendrán resultados observables en unos años al tiempo de estar dentro de los años de vida útil de todos los tramos seleccionados, así como realizar una muestra de los resultados para una proyección de 5 años pero sin la calibración.

3.11.1. Avenida Colon

Tabla N°16. Proyección avenida Colon – Sin calibrar

Sin calibrar						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	3.35	22.22	11.31	0.50	0.28	32
2023	3.56	37.45	39.61	0.50	0.44	42
2024	3.85	57.17	38.05	0.50	0.62	93
2025	4.51	74.31	19.58	0.50	0.81	315
2026	6.18	86.47	6.30	0.50	1.02	695

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°17. Proyección avenida Colon – Calibrado

Calibrado						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	6.29	23.59	1.71	0.64	0.13	61
2023	12.66	41.23	1.20	0.89	0.14	155
2024	16.00	63.90	0.06	1.37	0.15	409
2025	16.00	81.71	0.00	2.08	0.16	1140
2026	16.00	85.30	0.00	2.90	0.18	3294

Fuente: Software HDM-4

3.11.2. Avenida Panamericana

Carril de ida, del barrio Torrecillas al barrio el Portillo

Tabla N°18. Proyección avenida Panamericana (al Portillo)– Sin calibrar

Sin calibrar						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	2.61	20.88	12.79	0.00	0.20	0.00
2023	2.80	35.64	60.01	0.00	0.42	0
2024	3.01	54.94	39.84	0.00	0.64	1
2025	3.25	73.07	21.71	0.00	0.89	5
2026	3.51	86.37	8.40	0.00	1.16	13

Fuente: Software HDM-4

Tabla N°19. Proyección avenida Panamericana (al Portillo) –Calibrado

Calibrado						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	2.59	15.11	0.00	0.00	0.01	0
2023	2.71	20.77	0.00	0.00	0.01	0
2024	2.85	27.40	0.00	0.00	0.02	0
2025	3.00	35.00	0.00	0.00	0.02	1
2026	3.17	43.61	0.00	0.00	0.03	4

Fuente: Software HDM-4

Carril de vuelta, del barrio el Portillo al barrio Torrecillas

Tabla N°20. Proyección avenida Panamericana (al Torrecillas) – Sin Calibrar

Sin calibrar						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	2.41	13.05	20.07	0.00	0.35	0
2023	2.57	24.75	70.89	0.00	0.55	0
2024	2.76	40.82	53.96	0.00	0.77	2
2025	2.99	60.95	33.82	0.00	1.00	8
2026	3.33	77.59	17.17	0.00	1.26	19

Fuente: Software HDM-4

Tabla N°21. Proyección avenida Panamericana (al Torrecillas) – Calibrado

Calibrado						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	2.37	8.13	2.26	0.00	0.16	0
2023	2.44	11.49	3.08	0.00	0.17	0
2024	2.51	15.45	4.00	0.00	0.17	0
2025	2.59	20.03	5.03	0.00	0.18	0
2026	2.67	25.23	6.17	0.00	0.19	1

Fuente: Software HDM-4

3.11.3. Avenida Integración

Carril de ida, zona central a la zona del campesino

Tabla N°22. Proyección avenida Integración (al Campesino) – Sin calibrar

Sin calibrar						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	3.09	2.95	21.43	0.00	0.25	30.00
2023	3.26	8.82	85.40	0.00	0.46	51.00
2024	3.77	18.52	75.40	0.00	0.68	277.00
2025	5.39	32.43	60.96	0.00	0.90	680.00
2026	9.90	50.61	41.79	0.00	1.14	1428.00

Fuente: Software HDM-4

Tabla N°23. Proyección avenida Integración (al Campesino) – Calibrado

Calibrado						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	3.60	0.05	3.42	0.00	0.05	39.00
2023	8.58	0.07	5.73	0.00	0.06	89.00
2024	14.49	0.10	8.65	0.00	0.07	210.00
2025	16.00	0.12	12.22	0.00	0.07	515.00
2026	16.00	0.14	16.46	0.00	0.08	1319.00

Fuente: Software HDM-4

Carril de vuelta, zona del campesino a la zona central

Tabla N°24. Proyección avenida Integración (al Centro) – Sin calibrar

Sin calibrar						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	3.09	2.95	21.43	0.00	0.25	30.00
2023	3.26	8.82	85.40	0.00	0.46	51.00
2024	3.77	18.52	75.40	0.00	0.68	277.00
2025	5.39	32.43	60.96	0.00	0.90	680.00
2026	9.90	50.61	41.79	0.00	1.14	1420.00

Fuente: Software HDM-4

Tabla N°25. Proyección avenida Integración (al Centro) – Calibrado

Calibrado						
Año	IRI (m/km)	Fisuras (%/km)	Desprendimiento (%/km)	Bordes (%/km)	Ahuellamiento (%/km)	Baches (N°/km)
2022	3.60	0.05	3.42	0.00	0.05	39.00
2023	8.58	0.07	5.73	0.00	0.06	89.00
2024	14.49	0.10	8.65	0.00	0.07	210.00
2025	16.00	0.12	12.22	0.00	0.07	515.00
2026	16.00	0.14	16.46	0.00	0.08	1319.00

Fuente: Software HDM-4

3.12. Análisis de resultados de la calibración

Para el análisis de resultados de la calibración analizaremos los tres niveles de aplicación.

3.12.1. Análisis de la base de datos de entrada

Dentro de la base de datos de entrada para el sistema de gestión de pavimentos (SGP) del software HDM-4, más propiamente para su calibración, tenemos los siguientes:

Inventario general

Tabla N°26. Inventario general de base de datos

Elemento requerido	Avenida Colon	Avenida Panamericana	Avenida Integración
Clasificación del tramo	Terciaria	Secundaria	Secundaria
Longitud de análisis (km)	2.00	2.00	2.00
Ancho carril (m)	3.50	4.20 (a Portillo) 4.00 (a Torrecillas)	3.50
Tipo de pavimento	Flexible	Flexible	Flexible
Año de ejecución	2017	2015	2011
Etapas de construcción	1	1	1
Clase de carretera	Local	Local	Local
Zona climática	Sub tropical	Sub tropical	Sub tropical
Precipitación media (mm)	61.2	61.2	61.2
Temperatura anual media (°C)	19.1	19.1	19.1
Rango temperatura media (°C)	18	18	18

Fuente: Elaboración propia

Inventario estructural

Tabla N°27. Inventario estructural de base de datos

Elemento requerido	Unidad	Avenida Colon	Avenida Panamericana	Avenida Integración
Espesor capa subrasante	cm	25	30	25
Espesor capa base	cm	20	20	15
Espesor capa subbase	cm	30	15	20
Espesor bituminoso	cm	3.72	10.31	8.95
CBR capa base	%	93.3	90.37	82.7
CBR capa subbase	%	54.99	66.42	58.8
CBR capa subrasante	%	11.01	3.5	10.05

Fuente: Elaboración propia

Datos de tránsito

Tabla N°28. Datos de tránsito

Elemento requerido	Unidad	Avenida Colon	Avenida Panamericana		Avenida Integración	
			Ida ²⁶	Vuelta ²⁷	Ida ²⁸	Vuelta ²⁹
TMDA	veh/h	1520	3129	4131	3829	4931
Motocicletas	%	21.20	8.95	11.78	17.30	15.01
Veh. livianos	%	73.25	80.25	77.51	77.71	80.35
Veh. medianos	%	5.40	10.30	10.17	4.47	4.37
Veh. pesados	%	0.15	0.50	0.54	0.52	0.27

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los datos de tránsito, fue realizada mediante el método de conteo manual por la autora de este proyecto, lo que quiere decir que los datos son actualizados, tal cual manda las especificaciones del volumen 5 del manual de uso del software HDM-4.

²⁶ Camino al barrio Portillo

²⁷ Camino al barrio Torrecillas

²⁸ Camino a la zona del campesino

²⁹ Camino a la zona central

Datos de estado del pavimento

Los datos de estado del pavimento son fundamentales para conocer objetivamente la situación real del mismo y para la calibración del modelo de predicción de deterioro; lo cual es la base de este proyecto.

Estos datos se obtuvieron de un trabajo en campo para la obtención de:

- PCI: Para el análisis de deterioros superficiales.

Este indicador se desarrolló a través de manera practica en muestras de 200 metros por kilómetro estudiado, y una vez realizado el procedimiento³⁰ correspondiente al método de análisis se extrajo los porcentajes de cada falla dentro del tramo seleccionado necesario para la calibración del software.

Tabla N°29. Datos PCI requeridos

Elemento requerido	Unidad	Avenida Colon	Avenida Panamericana		Avenida Integración	
			Ida ³¹	Vuelta ³²	Ida ³³	Vuelta ³⁴
Fisuras	%	11.35	10.88	5.39	0.50	0.71
Desprendimiento	%	1.72	0	1.58	1.70	2.91
Baches	N°	25	0	0	18	13
Borde	%	0.54	0	0	0	0
Rodaduras	%	0.12	0.12	0.15	0.04	0.25

Fuente: Elaboración propia

- IRI: Para el análisis de la calidad de rodadura.

El IRI necesariamente debe ser un dato actualizado, al igual que el PCI, por lo cual se debe realizar en todo el tramo de estudio, según la metodología que se aplique. El método escogido y aplicado en este proyecto fue el Método de Merlín.

³⁰ Procedimiento paso a paso anexado

³¹ Camino al barrio Portillo

³² Camino al barrio Torrecillas

³³ Camino a la zona del campesino

³⁴ Camino a la zona central

- PSI: Para el análisis complementario de serviacibilidad de los tramos estudiados. Este dato se obtuvo a través de los resultados del Merlín mediante la correlación correspondiente al método AASHTO.

Tabla N°30. Datos IRI Y PSI

Elemento requerido	Unidad	Avenida Colon	Avenida Panamericana		Avenida Integración	
			Ida ³⁵	Vuelta ³⁶	Ida ³⁷	Vuelta ³⁸
IRI	m/km	3.26	2.34	2.53	3.02	2.92
PSI	-	2.58	3.05	2.94	2.69	2.74

Fuente: Elaboración propia

3.12.2. Análisis del procedimiento

El software, permite establecer y modificar patrones globales que el programa utiliza por “default”, como las zonas climáticas, niveles de tránsito y estado del pavimento. Los cuales fueron modificados con los datos obtenidos en campo y mostrados en el anterior subtítulo.

Por lo tanto, una vez obtenido los datos necesarios, se prosigue a la introducción de los mismos al software teniendo en cuenta el siguiente orden para la optimización de tiempo.

- **Configuración**

Modelo de tráfico: donde definimos el uso de la carretera y la selección de método de análisis del programa, en nuestro caso PCNADT para el análisis de deterioros de carreteras.

Zona climática: Definimos el tipo de clima donde se ubican los tramos seleccionados, desde la precipitación hasta la temperatura, en este punto se puede crear varias zonas climáticas de acuerdo a las distancias entre ellas.

³⁵ Camino al barrio Portillo

³⁶ Camino al barrio Torrecillas

³⁷ Camino a la zona del campesino

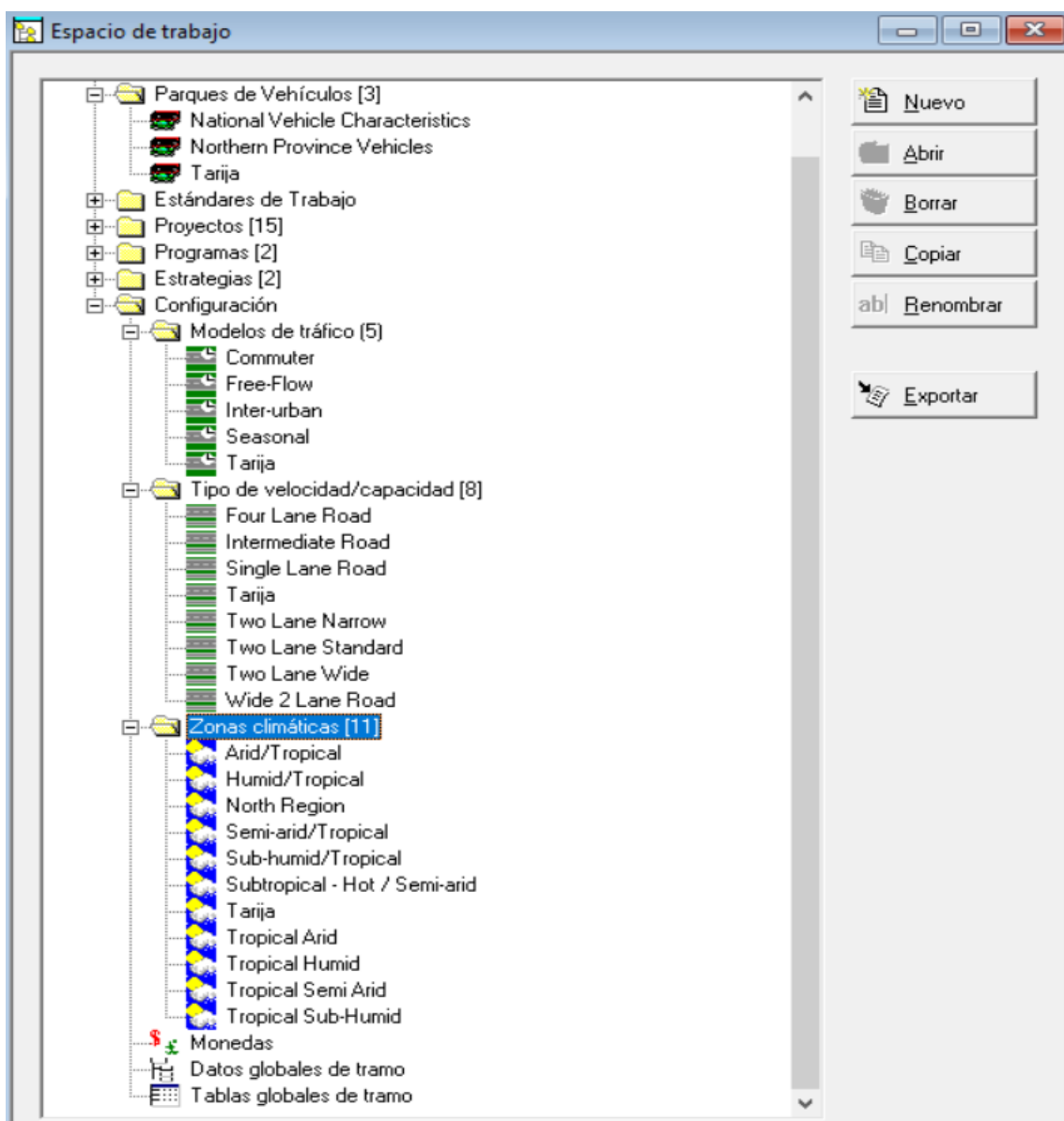
³⁸ Camino a la zona central

En este proyecto se consideró una sola zona climática por la confiabilidad de datos que se encontraron.

Parque de vehículos: Es uno de los parámetros más importantes para una buena calibración, estos necesitan ser de datos actualizados, si es posible menores a 6 meses de su recopilación.

Los datos requeridos deben estar en porcentajes de acuerdo a cada tipo de vehículo que circulan en las vías.

Gráfica N°89.Vista general de la configuración en software HDM-4



Fuente: Software HDM-4

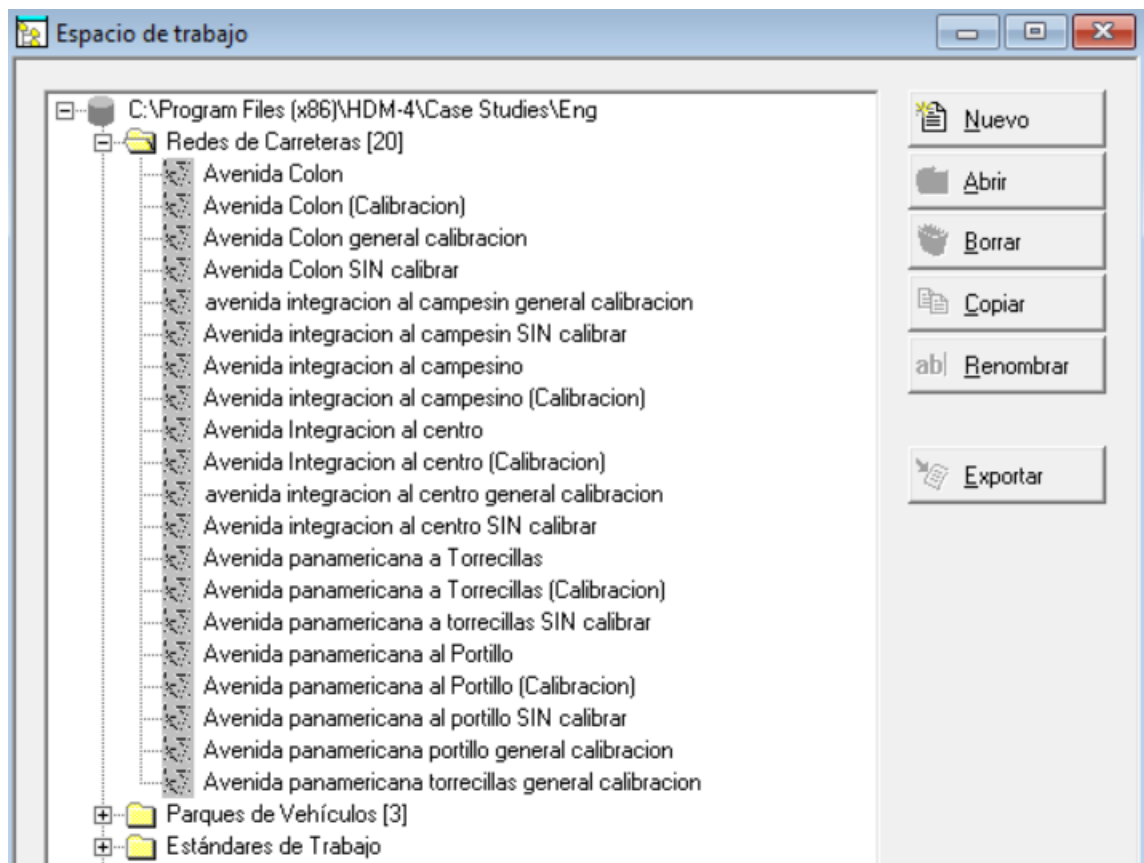
- **Redes de carreteras**

Se debe crear una red de carretera para cada tramo que se estudiara, en este debemos colocar el nombre que identificara cada red, su clase de carretera, tipo de rodadura, firme, características geométricas, estructurales, año de ejecución y la cantidad de motorizados que circulan en su ruta.

Uno de los datos más conflictivos de colocar es el “Estado” de la carretera inicial, ya que el dato puede ser difícil de obtener, por lo cual en las diferentes redes se colocaron los datos en condiciones óptimas en cada tramo.

Para ser más específicos, se creó una red para la avenida Colon, dos para la avenida Panamericana y dos para la avenida Integración, por las amplias medianas que poseen las últimas dos avenidas mencionadas.

Gráfica N°90.Vista general de “Redes de carreteras” en software HDM-4



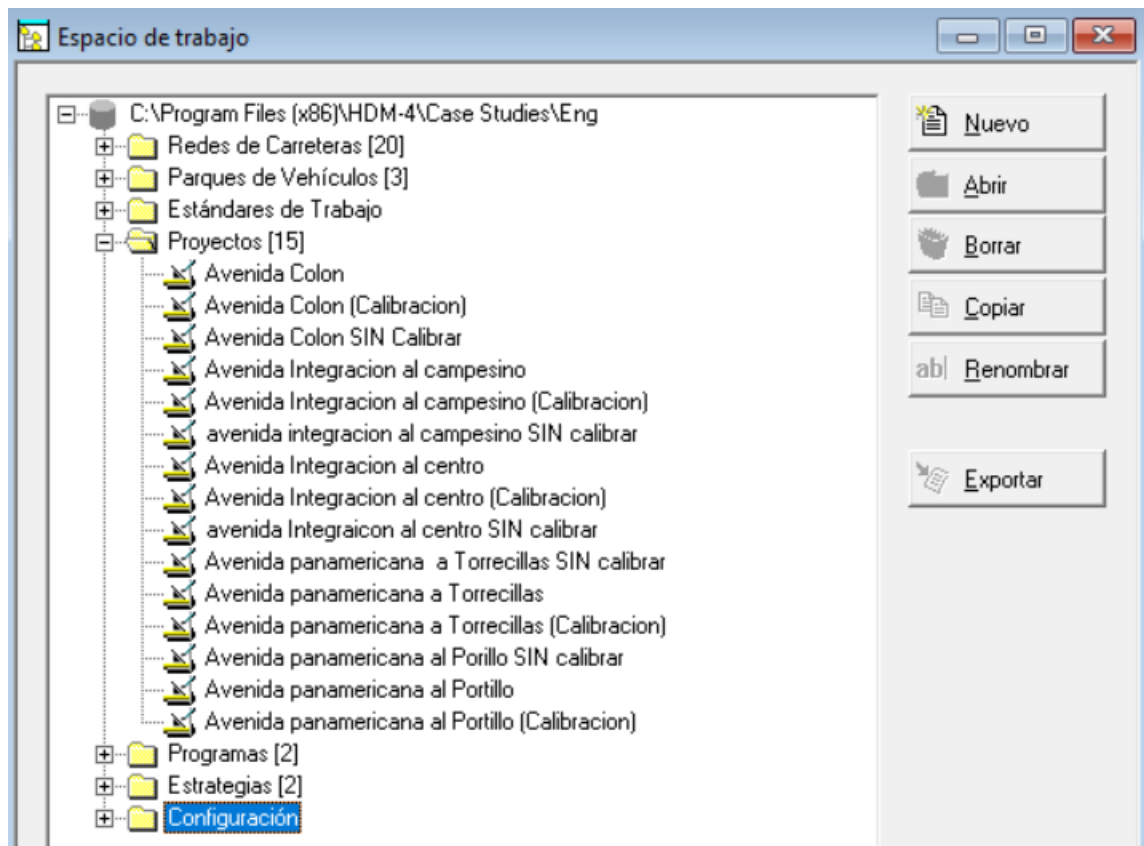
Fuente: Software HDM-4

- **Proyectos**

La carpeta de *proyectos* es la última fase para poder realizar la calibración, un análisis y proyección del software HDM-4 con los resultados basados en nuestros datos específicos.

Este al igual que las *redes* se crea para cada tramo en estudio, en esta se coloca el periodo de análisis, la *red* que se trabajara junto al *parque de vehículos*; pero con la excepción que se jugara con los factores del tramo dentro de la calibración del mismo hasta que los datos del informe final coincidan con los datos de evaluación del método PCI y el IRI trabajados en campo. Una vez los datos coincidan se tiene el tramo calibrado y está listo para proyectar resultados en los años que se deseen evaluar o analizar.

Gráfica N°91.Vista general de “Proyectos” en software HDM-4



Fuente: Software HDM-4

3.12.3. Análisis de resultados

Al momento de tener todos los *Proyectos* creados y bien identificados, tal cual se muestran en las tablas de resultados de los subtítulos “3.10 y 3.11”.

- **Proyectos de calibración mediante el espesor obtenido en campo**

Los *proyectos de calibración* fueron creados con el fin de calibrar cada tramo en estudio, para luego proyectarlos en un periodo de tiempo y poder comparar los resultados con los proyectos que utilizan los datos universales del programa.

Avenida Colon (Calibración)

Avenida Panamericana al Portillo (Calibración)

Avenida Panamericana a Torrecillas (Calibración)

Avenida integración al campesino (Calibración)

Avenida integración al centro (Calibración)

Donde pudimos obtener los siguientes factores para cada tramo.

Tabla N°31. Factores superficiales de calibración con espesores verificados

Factor		Avenida				
		Colon	Panamericana al portillo	Panamericana a torrecillas	Integracion al campesino	Integracion al centro
Fisura estructural	inicio	0.25	0.40	0.50	1.00	1.30
	progresion	1.50	0.59	0.48	0.01	0.01
Fisura estructural ancha	inicio	0.25	1.00	1.00	1.00	1.30
	progresion	1.50	1.00	1.00	0.01	0.01
Fisura termina	inicio	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	progresion	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Desprendimiento	inicio	0.00	1.00	0.05	0.10	0.10
	progresion	0.21	1.00	0.09	0.15	0.14
Bache	inicio	0.00	0.00	1.00	0.50	0.50
	progresion	9.00	1.00	1.00	3.20	1.80
Borde	inicio	0.01	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32. Factores estructurales de calibración con espesores verificados

Factor	Avenida				
	Colon	Panamericana al portillo	Panamericana a torrecillas	Integracion al campesino	Integracion al centro
Densidad inicial	0.05	0.03	0.04	0.00	0.00
Densidad estructural	0.05	0.03	0.04	0.04	0.15
deformacion plastica	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
desgaste superficial	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Uso de sal en carretera	No	No	No	No	No
Coefficiente ambiental	1.55	1.20	0.80	0.95	0.75
Progresion	1.55	1.20	0.80	0.95	0.75

Fuente: Elaboración propia

Observando atentamente las tablas resultantes anteriores, podemos darnos cuenta que los factores de calibración rondan las numeraciones aconsejables entre 0-3 para cada tramo, tanto en la calibración superficial como en la calibración estructural; a excepción de la calibración de los baches, donde en la avenida Colon llega al número “9” y la avenida Integración llega al límite de calibración con el numero “3.20”, indicando que las fallas en los baches son incoherentes cuando no existe la calibración adecuada y el análisis de tiempo en el cual se desea realizar el plan de mantenimiento y/o rehabilitación.

Al realizar el método PCI en campo este dato para calibrar se veía predecible, ya que la avenida Colon cuenta con grandes baches cerca de los diferentes puentes (2) que existen en la misma y las pendientes que obligan a los motorizados variar la velocidad de transitividad con neumáticos sucios por el desprendimiento de suelos al pasar cerca de las intersecciones de camino sin pavimentar que están a una distancia menor de 20 m. Mientras en la avenida Integración estos baches no eran notorios ni predecibles a primera vista al realizar el PCI, ya que gran parte de la vía está en estados óptimos, pero al llegar a los pasos metálicos el desgaste o propiamente los baches son de gran magnitud y profundidad, demostrado y reflejado en la calibración que la profundidad de cada anomalía (en baches), hace variar un buen trabajo vial.

Otro aspecto importante y visible en la calibración es el año de ejecución y el año de análisis, La calibración toma en cuenta el año en el que se realiza el estudio y no así el año donde empezaría a observarse las primeras fallas en los pavimentos. Lo que quiere decir que nosotros al realizar la calibración desde el año de ejecución o su ultimo

mantenimiento, al año en estudio hacemos que el software HDM-4 empiece las fallas en un año “X”, dando resultados óptimos y confiables a la fecha actual de análisis.

- **Proyectos de calibración mediante el espesor proporcionado por la Posta Municipal de la Honorable Alcaldía de la ciudad de Tarija**

Para el presente, se realizó una calibración con el espesor proporcionado por la honorable alcaldía municipal y aplicados en los mismos tramos con el mismo procedimiento.

Avenida Colon

Avenida Panamericana al Portillo

Avenida Panamericana a Torrecillas

Avenida integración al campesino

Avenida integración al centro

Tabla N°33. Factores superficiales de calibración con espesores proporcionados

Factor		Avenida				
		Colon	Panamericana al portillo	Panamericana a torrecillas	Integracion al campesino	Integracion al centro
Fisura estructural	inicio	0.25	0.40	0.50	0.40	0.00
	progresion	1.50	0.60	0.47	0.01	1.00
Fisura estructural ancha	inicio	0.25	1.00	1.00	0.40	1.00
	progresion	1.50	1.00	1.00	0.01	0.01
Fisura termina	inicio	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	progresion	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Desprendimiento	inicio	0.00	1.00	0.05	0.10	0.10
	progresion	0.21	1.00	0.09	0.15	0.13
Bache	inicio	0.00	0.00	1.00	0.50	0.00
	progresion	15.00	1.00	1.00	20.00	13.00
Borde	inicio	0.05	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°34. Factores estructurales de calibración con espesores proporcionados

Factor	Avenida				
	Colon	Panamericana al portillo	Panamericana a torrecillas	Integracion al campesino	Integracion al centro
Densidad inicial	0.05	0.03	0.04	0.00	0.18
Densidad estructural	0.05	0.03	0.04	0.10	0.18
deformacion plastica	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
desgaste superficial	0.10	1.00	1.00	1.00	1.00
Uso de sal en carretera	No	No	No	No	No
Coefficiente ambiental	2.70	1.20	0.80	1.00	0.80
Progresion	2.70	1.20	0.80	0.95	0.80

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar y comparar ambas tablas de cada factor de calibración, tanto el superficial como el estructural podemos observar que los factores varían considerablemente.

Dentro de la calibración superficial el factor de baches es el número con mayor variante ya que los espesores tienen gran variación, esta se visualiza claramente en el tramo de la avenida Colon cuando se utilizó el dato proporcionado de 6.90 cm el valor máximo de calibración fue de “20”, mientras que al utilizar el dato real obtenido por la extracción de núcleo de 3.72 cm este factor redujo al valor de “9”; ahora analizando el factor estructural dentro de la misma avenida existe esta gran variación también, en los factores de coeficiente ambiental y progresivas al pasar de 2.7 para el tramo con datos proporcionados, a 1.55 con los datos verificados, ya que los valores para esta calibración no deben superar la numeración de 5.

En resumen, tener los datos verificados es vital para una calibración correcta; pero como se puede observar los datos con mayor influencia dentro de la calibración son el espesor bituminoso y los porcentajes que derivan de la evaluación PCI.

- **Proyectos de aplicación de calibración**

Los proyectos de aplicación, fueron creados para proyectar en 5 años el estado de cada tramo con el software ya calibrado y poder analizar y comparar los resultados.

Avenida Colon

Avenida Panamericana al Portillo

Avenida Panamericana a Torrecillas

Avenida integración al campesino

Avenida integración al centro

- **Proyectos de aplicación sin calibrar**

Estos proyectos, fueron creados con la intención de demostrar la importancia de la calibración del software dentro de la utilización del mismo en nuestras vías urbanas, ya que al ser diseñadas mediante el método AASHTO al igual que la base del HDM-4, no significa que su calibración no sea necesaria, sino que su utilización en las mismas es más certera.

Avenida Colon SIN calibrar

Avenida Panamericana al Portillo SIN calibrar

Avenida Panamericana a Torrecillas SIN calibrar

Avenida integración al campesino SIN calibrar

Avenida integración al centro SIN calibrar

- **Análisis de resultados de las tablas de resultados de los subtítulos “3.10 y 3.11”**

Realizamos la comparación de los resultados del IRI y de las fallas del pavimento para realizar el análisis del programa.

En las gráficas siguientes de los tramos estudiados podremos observar que los factores calibrados delimitan una variabilidad de datos coherentes y fiables a simple vista, demostrando que los datos por “default” necesitan ser calibrados para la obtención de resultados óptimos al momento de utilizar el programa, ya sea para una aplicación de mantenimiento, como es el caso de este proyecto, como para realizar un análisis completo del sistema de gestión de pavimentos.

Este proyecto consideró cada porcentaje o número de fallas (en el caso de los baches) a los que se debería llegar para la calibración, mediante el análisis de la vía por el método PCI en la presente gestión.

Una vez calibrado el software para cada tramo se proyectó la calibración en los siguientes cinco años, para realizar un análisis complementario a los resultados obtenidos; Donde los valores en análisis se encuentran en el eje de las abscisas, plasmando los resultados de proyección con el programa calibrado y Sin calibrar.

El eje de datos con progresivas menores y sentidos ascendentes, que muestran mayor correlación son los ejes con la calibración, mientras los parámetros poco coherentes hasta en una simple observación más sus sentidos en ida y vuelta son resultados proyectados sin calibrar.

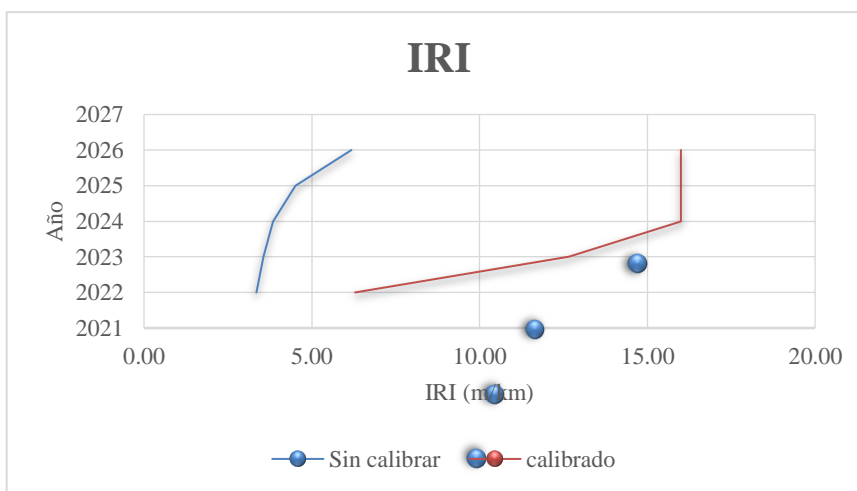
Análisis del IRI

Tabla N°35. Tabla de comparación del IRI en la avenida Colon

IRI (m/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	3.35	6.29
2023	3.56	12.66
2024	3.85	16.00
2025	4.51	16.00
2026	6.18	16.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°92. Grafica de comparación del IRI en la avenida Colon



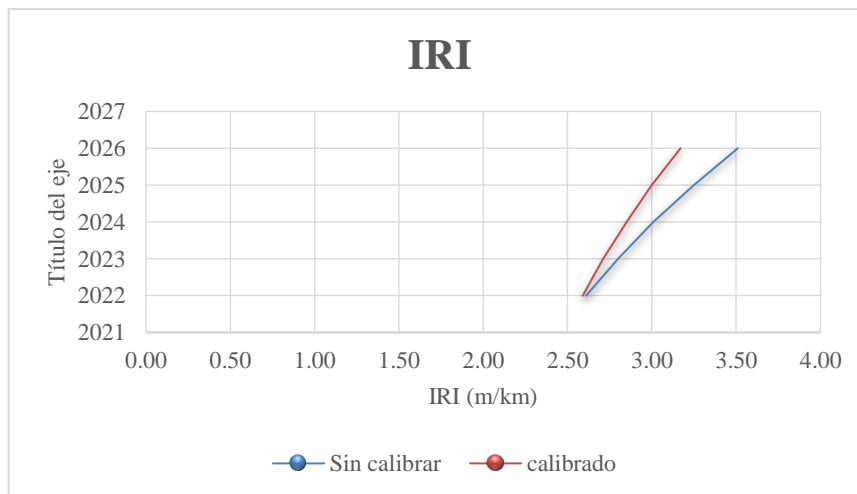
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°36. Tabla de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino al Portillo

IRI (m/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	2.61	2.59
2023	2.80	2.71
2024	3.01	2.85
2025	3.25	3.00
2026	3.51	3.17

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°93. Grafica de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino al Portillo



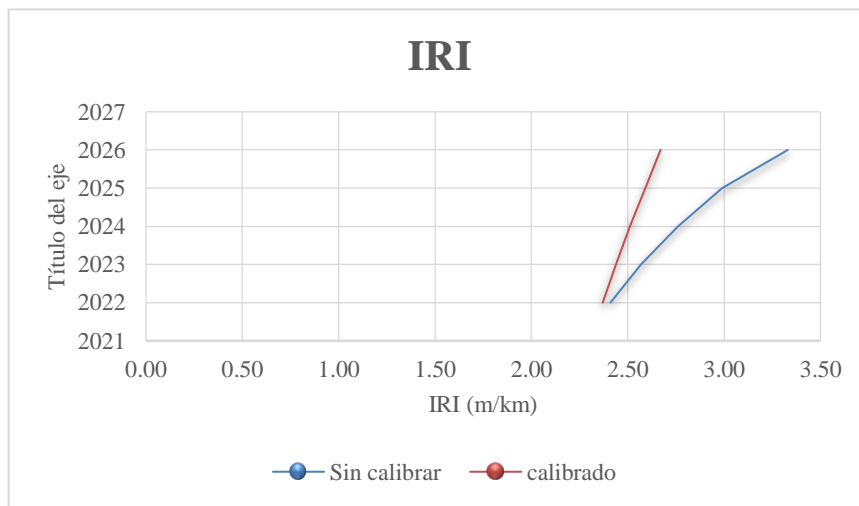
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°37. Tabla de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino a Torrecillas

IRI (m/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	2.41	2.37
2023	2.57	2.44
2024	2.76	2.51
2025	2.99	2.59
2026	3.33	2.67

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°94. Grafica de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino a Torrecillas



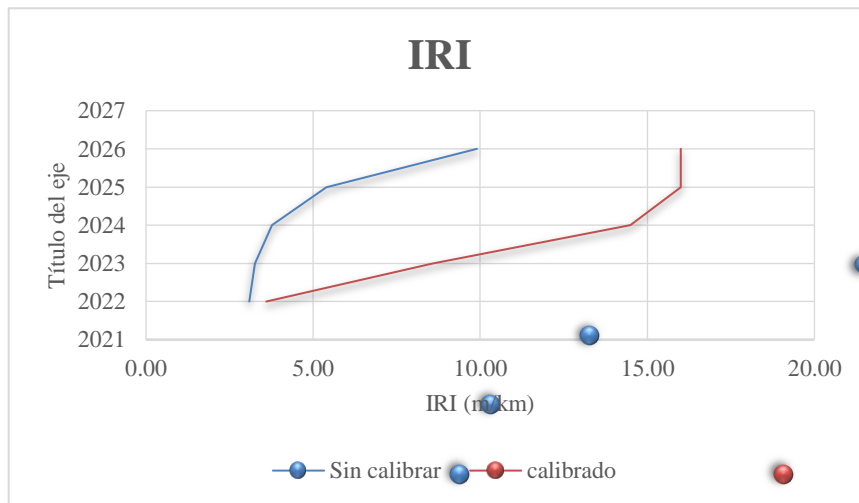
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°38. Tabla de comparación del IRI en la avenida Integración camino al centro

IRI (m/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	3.09	3.60
2023	3.26	8.58
2024	3.77	14.49
2025	5.39	16.00
2026	9.90	16.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°95. Grafica de comparación del IRI en la avenida integración camino al centro



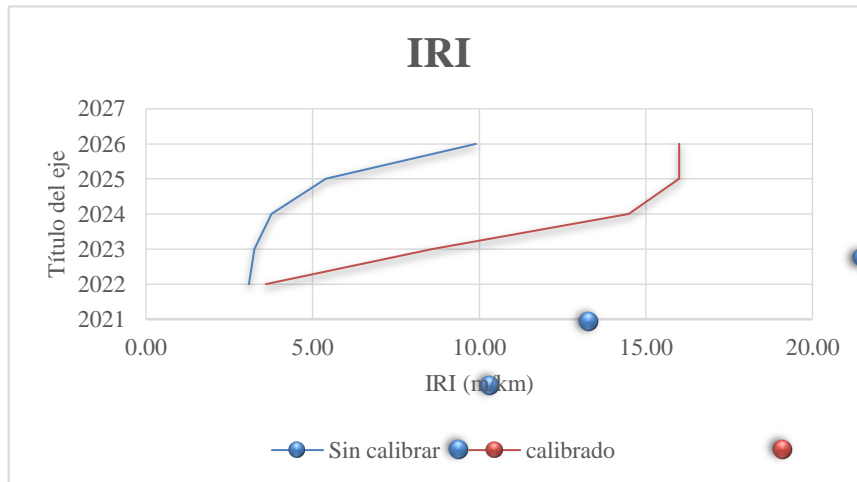
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°39. Tabla de comparación del IRI en la avenida Integración camino al campesino

IRI (m/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	3.09	3.60
2023	3.26	8.58
2024	3.77	14.49
2025	5.39	16.00
2026	9.90	16.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°96. Grafica de comparación del IRI en la avenida integración camino al campesino



Fuente: Elaboración propia

Analizando el parámetro del IRI podemos observar que los factores más influyentes son las fisuras y ahuellamiento de las vías, estas van vinculadas al espesor de la capa bituminosa y el tráfico, en la avenida colon es la que posee mayor número de fisuras y un espesor bajo por lo cual su IRI tiene valores mayores en cuanto a la proyección, mientras la avenida integración si tiene un espesor alto bituminoso pero su estado en cuanto a fisuras y ahuellamiento es mayor por lo cual esta proyección del IRI llega a los 16 m/km en caso de no ser mantenido en 5 años; mientras la avenida panamericana por tener valores bajos en cuanto al PCI su proyección es parcialmente uniforme en crecimiento y con valores bajos,

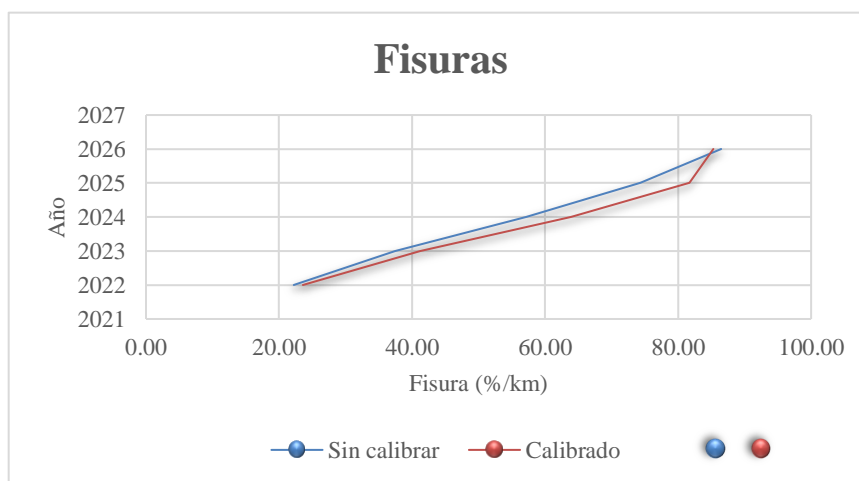
Análisis de fisuras

Tabla N°40. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Colon

Fisuras (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	22.22	23.59
2023	37.45	41.23
2024	57.17	63.90
2025	74.31	81.71
2026	86.47	85.30

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°97. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Colon



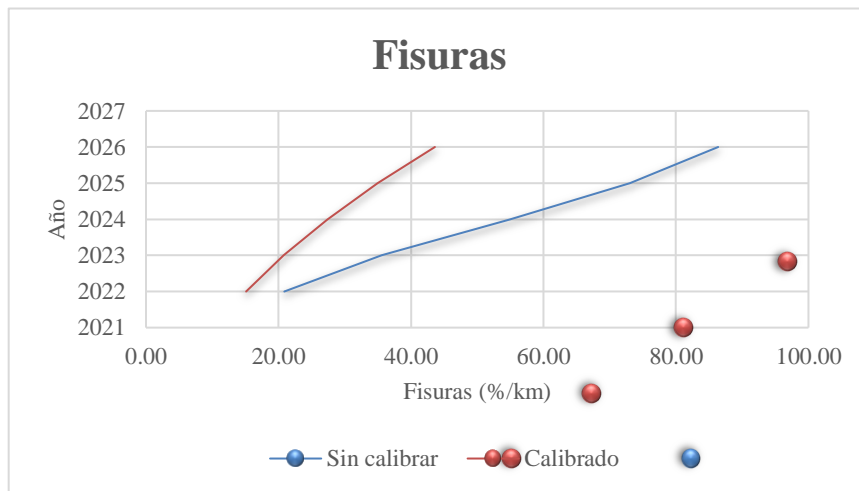
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°41. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino al Portillo

Fisuras (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	20.88	15.11
2023	35.64	20.77
2024	54.94	27.40
2025	73.07	35.00
2026	86.37	43.61

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°98. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino al Portillo



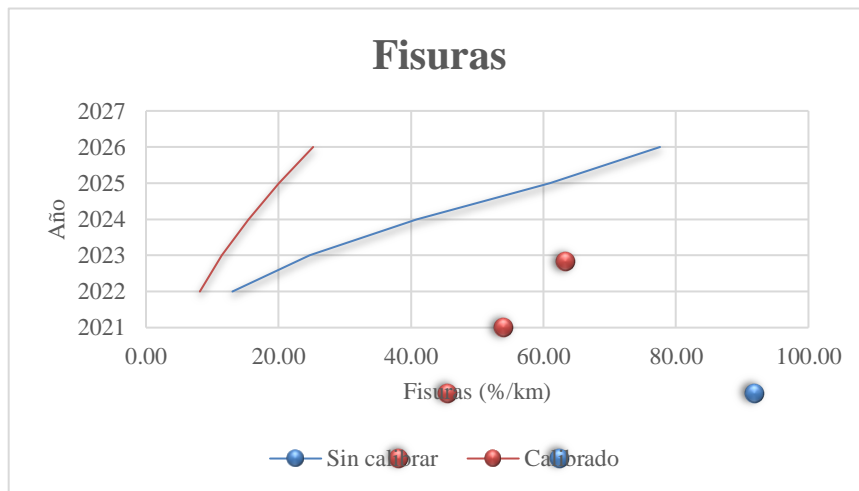
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°42. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino a Torrecillas

Fisuras (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	13.05	8.13
2023	24.75	11.49
2024	40.82	15.45
2025	60.95	20.03
2026	77.59	25.23

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°99. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino a Torrecillas



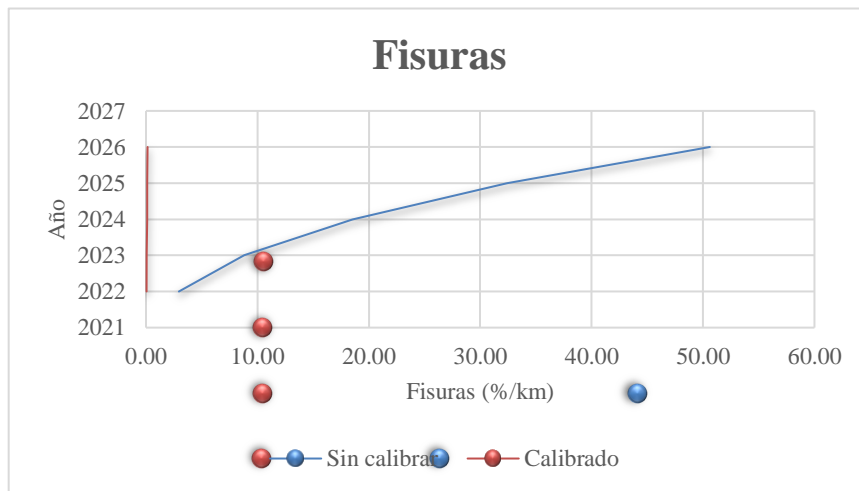
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°43. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Integración camino al campesino

Fisuras (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	2.95	0.05
2023	8.82	0.07
2024	18.52	0.10
2025	32.43	0.12
2026	50.61	0.14

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°100. Grafica de comparación De fisuras en la avenida integración camino al campesino



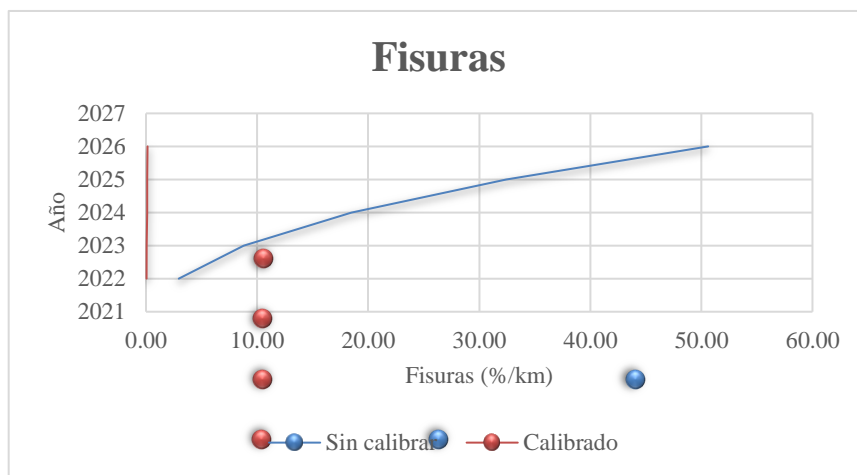
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°44. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Integración camino al centro

Fisuras (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	2.95	0.05
2023	8.82	0.07
2024	18.52	0.10
2025	32.43	0.12
2026	50.61	0.14

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°101. Grafica de comparación de fisuras en la avenida integración camino al centro



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las fisuras y sus ejes resultantes, observamos que los ejes de los datos calibrados son coherentes y de progresiones bajas, esto se debe a que en su calibración estructural sus factores rondan al valor “1”, considerado una calibración casi perfecta en cuanto a la teoría, al igual que en la calibración estructural; mientras que sin una calibración estas fisuras se proyectan a gran escala por estar analizadas por default en las peores condiciones.

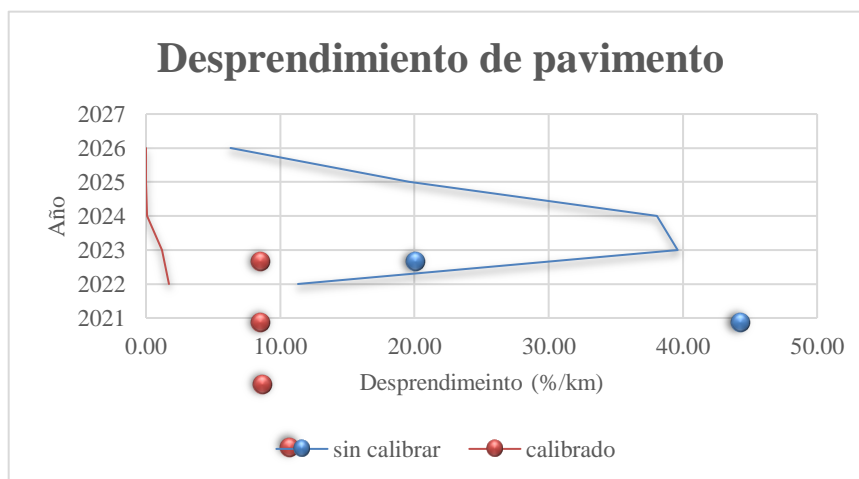
Análisis del desprendimiento

Tabla N°45. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Colon

Desprendimiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	11.31	1.71
2023	39.61	1.20
2024	38.05	0.06
2025	19.58	0.00
2026	6.30	0.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°102. Grafica de comparación del desprendimiento en la avenida Colon



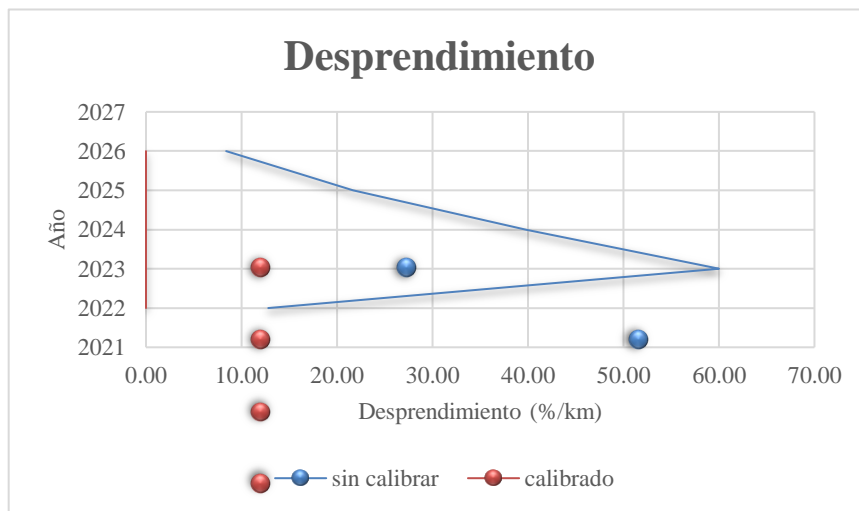
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°46. Tabla de comparación de desfrenamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo

Desprendimiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	12.79	0.00
2023	60.01	0.00
2024	39.84	0.00
2025	21.71	0.00
2026	8.40	0.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°103. Grafica de comparación de desprendimiento en la avenida Panamericana camino al Portillo



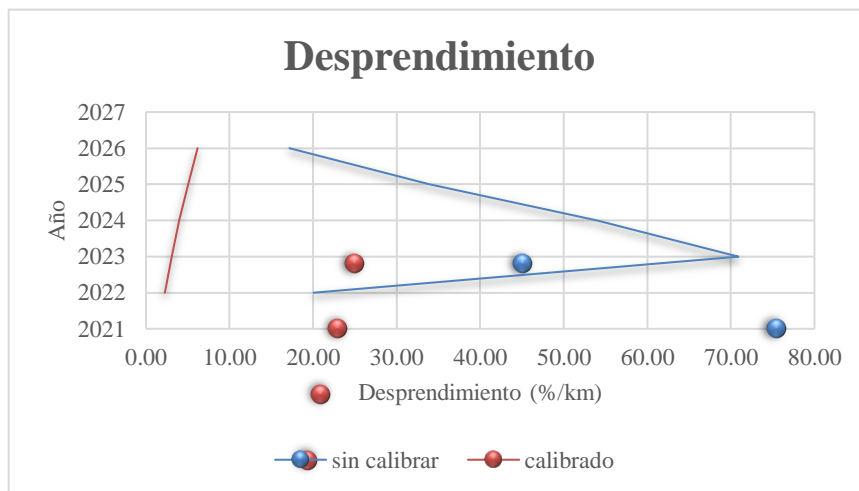
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°47. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas

Desprendimiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	20.07	2.26
2023	70.89	3.08
2024	53.96	4.00
2025	33.82	5.03
2026	17.17	6.17

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°104. Grafica de comparación del desprendimiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas



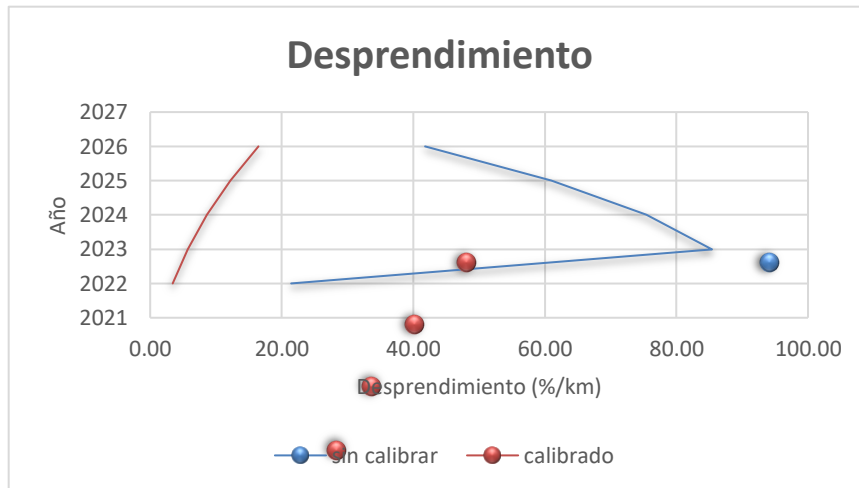
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°48. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida
Integración camino al campesino

Desprendimiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	21.43	3.42
2023	85.40	5.73
2024	75.40	8.65
2025	60.96	12.22
2026	41.79	16.46

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°105. Grafica de comparación de desprendimiento en la avenida
integración camino al campesino



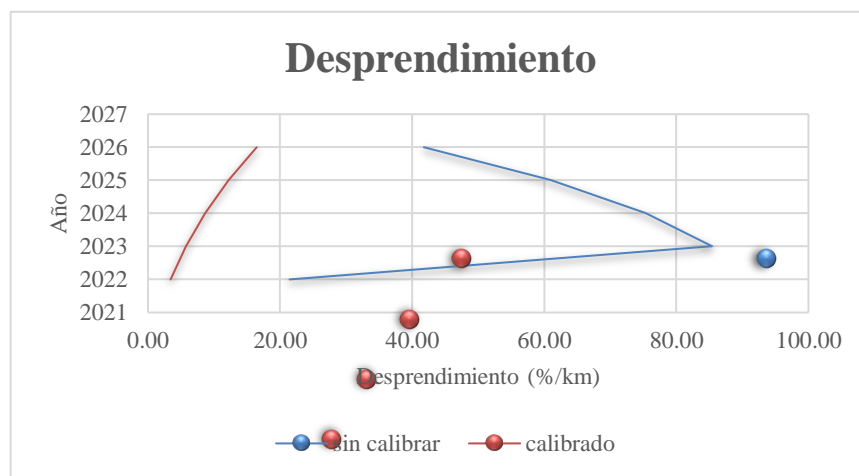
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°49. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Integración camino al centro

Desprendimiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	21.43	3.42
2023	85.40	5.73
2024	75.40	8.65
2025	60.96	12.22
2026	41.79	16.46

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°106. Grafica de comparación del desprendimiento en la avenida integración camino al centro



Fuente: Elaboración propia

Los desprendimientos es el parámetro de deterioro y mantenimiento que más atentos debemos estar al momento de utilizar el programa, ya que si observamos el resultado SIN calibrar de todos los tramos observamos picos de valores en un “vaivén”, esto se debe a que el software sobre entiende que se realiza mantenimientos regulares anuales y eso es una programación por “default”; mientras los resultados de la aplicación en la proyección calibrada se puede ver el verdadero desgaste que tendrían las carreteras con el pasar del tiempo.

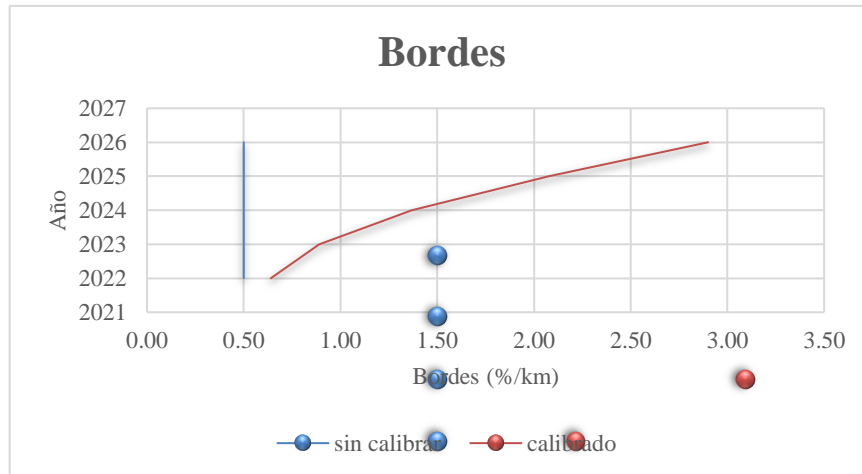
Análisis de bordes

Tabla N°50. Tabla de comparación de bordes en la avenida Colon

Bordes (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.50	0.64
2023	0.50	0.89
2024	0.50	1.37
2025	0.50	2.08
2026	0.50	2.90

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°107. Grafica de comparación de bordes en la avenida Colon



Fuente: Elaboración propia

Dentro del análisis de bordes, se considera las fallas de bordes de las carreteras que están, como común mente se dice “al aire” en aquellas carreteras que dejan un espacio para la construcción de medianas o ensanchar las mismas vías.

En este caso la única en ese estado es la avenida colon, la cual tiene un espacio designado para la construcción de medianas. En cambio, las otras avenidas estudiadas se encuentran totalmente ejecutadas con medianas y aceras definidas con sus cordones de acera hormigonadas.

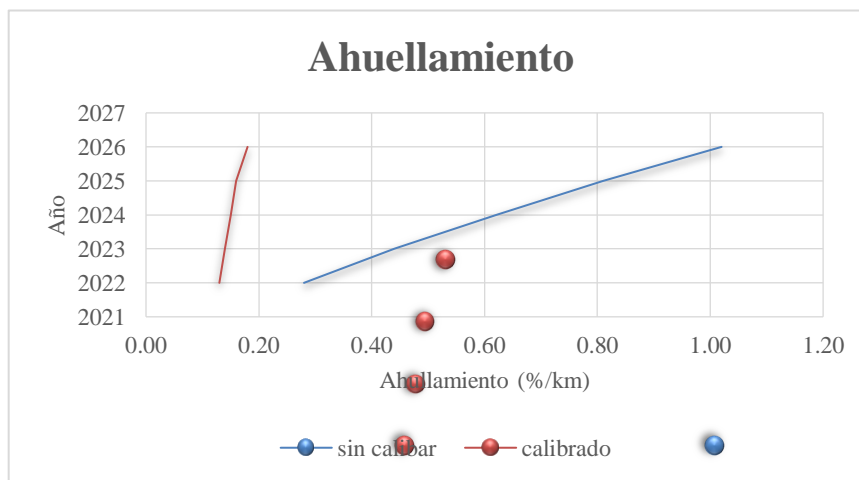
Análisis de ahuellamientos

Tabla N°51. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Colon

Ahuellamiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.28	0.13
2023	0.44	0.14
2024	0.62	0.15
2025	0.81	0.16
2026	1.02	0.18

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°108. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Colon



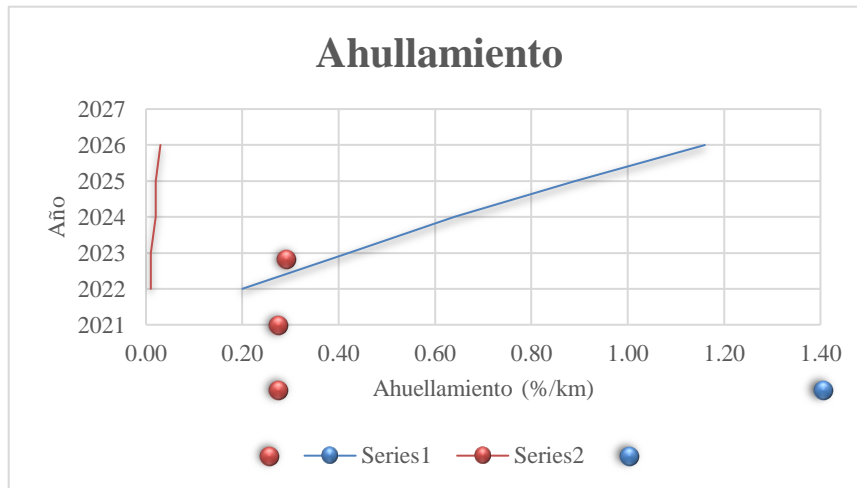
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°52. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo

Ahuellamiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.20	0.01
2023	0.42	0.01
2024	0.64	0.02
2025	0.89	0.02
2026	1.16	0.03

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°109. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo



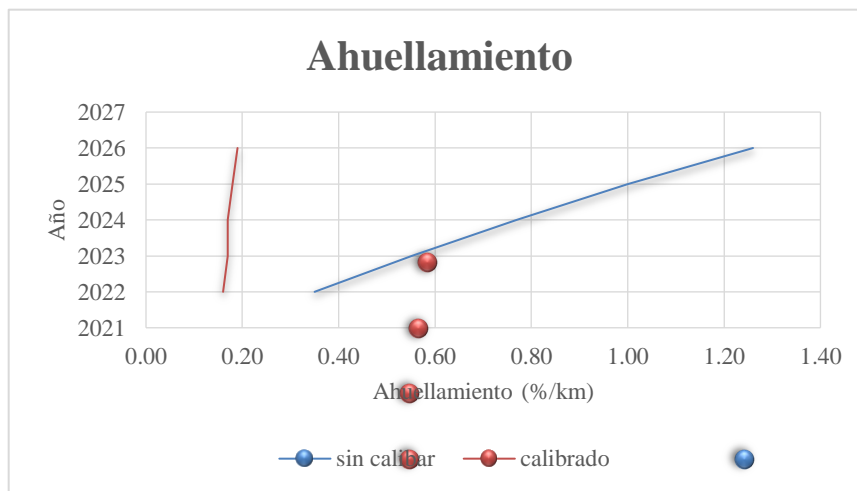
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°53. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas

Ahuellamiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.35	0.16
2023	0.55	0.17
2024	0.77	0.17
2025	1.00	0.18
2026	1.26	0.19

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°110. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas



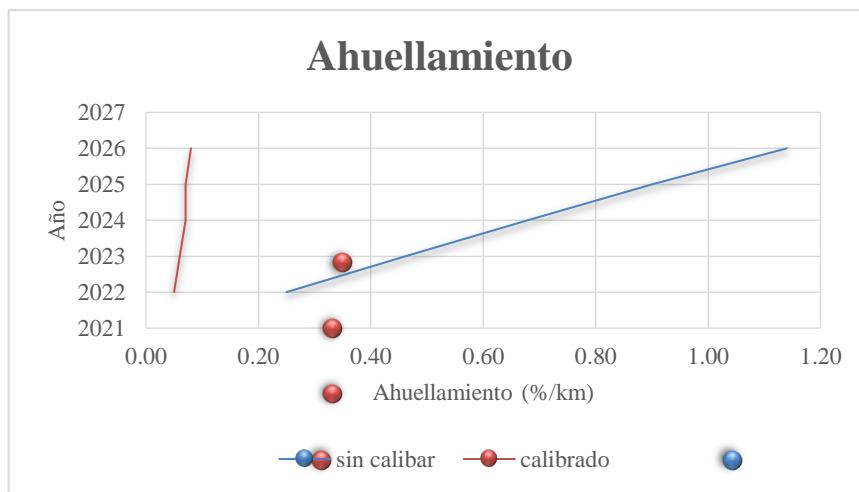
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°54. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Integración camino al centro

Ahuellamiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.25	0.05
2023	0.46	0.06
2024	0.68	0.07
2025	0.90	0.07
2026	1.14	0.08

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°111. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida integración camino al campesino



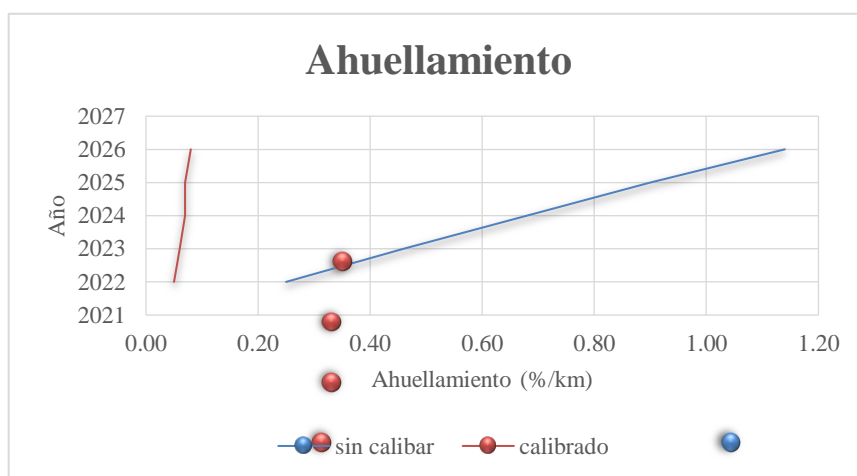
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°55. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Integración camino al centro

Ahuellamiento (%/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.25	0.05
2023	0.46	0.06
2024	0.68	0.07
2025	0.90	0.07
2026	1.14	0.08

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°112. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida integración camino al centro



Fuente: Elaboración propia

Los ahuellamientos tienen por “default” valores mayores a 1, ya que el software inicialmente estaba previsto para el análisis de proyectos en red y ahuellamientos vehiculares de un tráfico pesado, pero al proyectar los valores proyectados de la calibración para vías urbanas se observa valores parcialmente bajos, lo que quiere decir que la calibración si correspondería a un tráfico liviano y mediano peso mediante su factor de progresión.

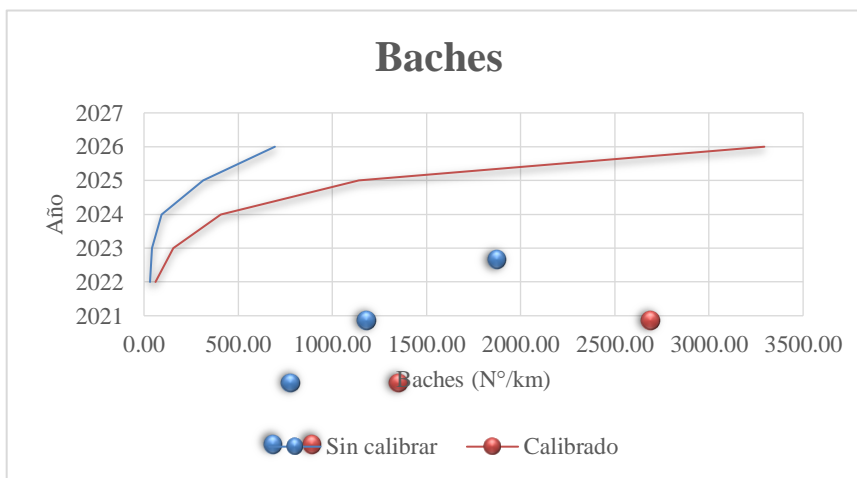
Análisis de baches

Tabla N°56. Tabla de comparación de baches en la avenida Colon

Baches (N°/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	32.00	61.00
2023	42.00	155.00
2024	93.00	409.00
2025	315.00	1140.00
2026	695.00	3294.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°113. Grafica de comparación de baches en la avenida Colon



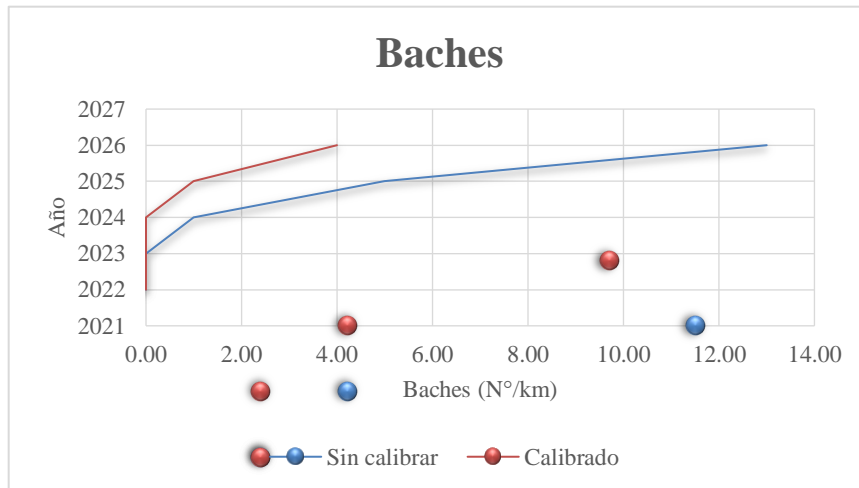
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°57. Tabla de comparación de baches en la avenida Panamericana camino al Portillo

Baches (N°/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.00	0.00
2023	0.00	0.00
2024	1.00	0.00
2025	5.00	1.00
2026	13.00	4.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°114. Grafica de comparación de baches en la avenida Panamericana camino al Portillo



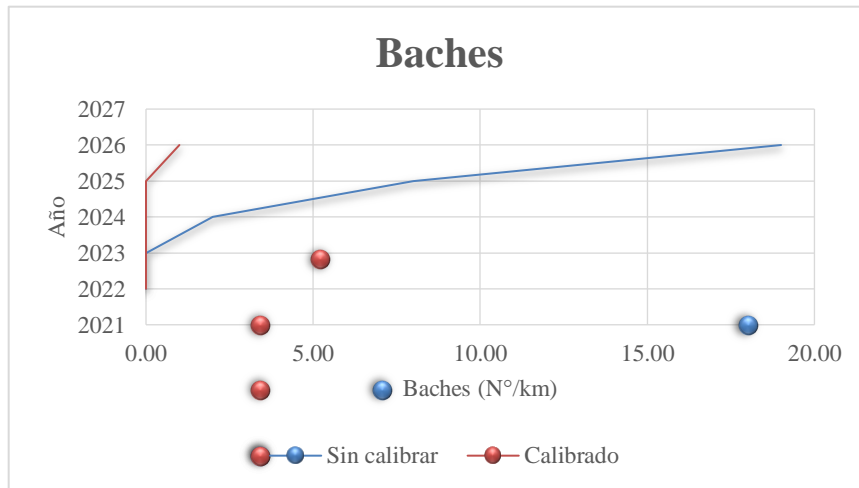
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°58. Tabla de comparación de baches en la avenida Panamericana camino a Torrecillas

Baches (N°/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	0.00	0.00
2023	0.00	0.00
2024	2.00	0.00
2025	8.00	0.00
2026	19.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°115. Grafica de comparación de baches en la avenida Panamericana camino a Torrecillas



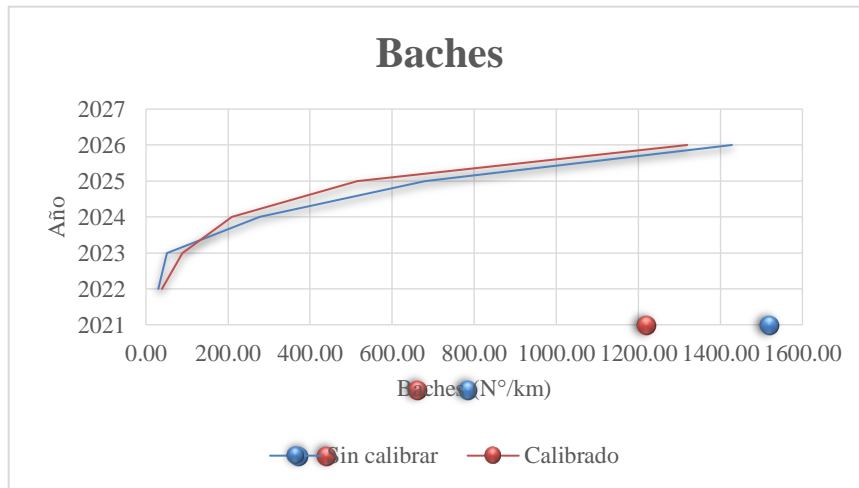
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°59. Tabla de comparación de baches en la avenida Integración camino al campesino

Baches (N°/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	30.00	39.00
2023	51.00	89.00
2024	277.00	210.00
2025	680.00	515.00
2026	1428.00	1319.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°116. Grafica de comparación de baches en la avenida integración camino al campesino



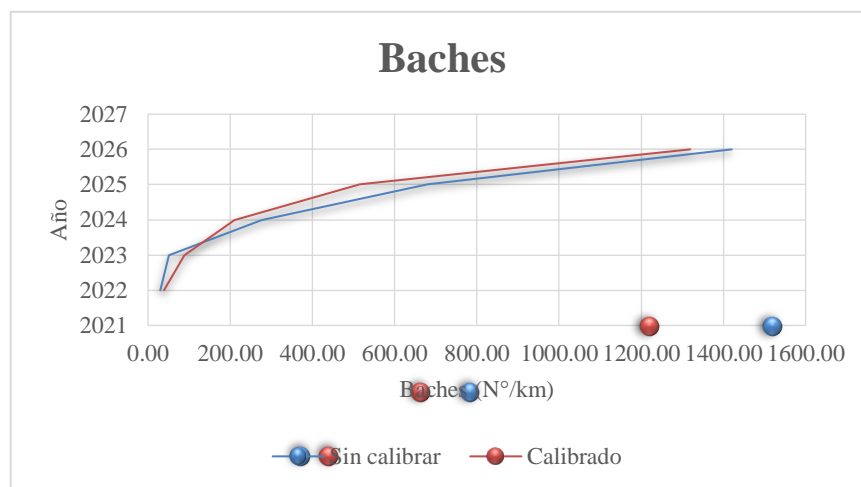
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°60. Tabla de comparación de baches en la avenida Integración camino al centro

Baches (N°/km)		
Año	Sin calibrar	Calibrado
2022	30.00	39.00
2023	51.00	89.00
2024	277.00	210.00
2025	680.00	515.00
2026	1420.00	1319.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°117. Grafica de comparación de baches en la avenida integración camino al centro



Fuente: Elaboración propia

Analizando el parámetro de *baches*, observamos resultados incoherentes en el tramo de la avenida Colon y la avenida integración, esto se debe al parámetro de entrada de la evaluación de PCI para la calibración, pero lo más influyente es el espesor de pavimento; ya que la avenida colon tiene un espesor de 3.72 cm y aunque su construcción es parcialmente nueva comparado con las demás avenidas su espesor es dos veces más delgado, al menos comparado con la avenida integración que tiene un espesor de 10.30 y sus proyección de baches es mínimo proyecto al futuro con 1 bache al estar calibrado y 19 al estar sin calibrar.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Finalizado el proyecto de calibración del software HDM-4 en el módulo de deterioro de pavimentos flexibles en vías urbanas, podemos destacar las siguientes conclusiones.

- El software HDM-4 es de utilización factible y aconsejable dentro de nuestro país y ciudad por estar basado en el método AASHTO, el cual se utiliza actualmente para el diseño de carreteras en nuestro país; así como que los estudios realizados en Sudamérica se efectuaron en el vecino país Brasil desde 1984, bajo la supervisión de ingenieros chilenos y uruguayos, lo que garantiza la traducción de esta y nuevas versiones al idioma español facilitando su uso.
- El análisis del software HDM-4 dentro del módulo de deterioro de pavimentos flexibles evalúa un conjunto de tramos que componen, parcial o totalmente, la red de caminos de una localidad, región o país. Considerando el área dañada de fisuras, desprendimientos, ahuellamientos y roturas de bordes; así como la rugosidad y baches.
- Dentro del trabajo en campo se realizó el método PCI (Índice de Condición Presente), para cada uno de los tramos estudiados, donde los resultados para la avenida Colon fue de *64* clasificado como *bueno*, para la avenida la Panamericana se realizó un análisis por separado ya que sus características geométricas variaban en cuanto al carril de ida y vuelta, dando como resultado para ambos de *81* caracterizados como *muy bueno*; y la avenida Integración con *77 muy bueno* y *91 excelente*.
- Para el trabajo en campo del IRI se realizó mediante *el método de Merlín* en todo el largo de los tramos estudiados por la cantidad de vehículos que transitan por la avenida Panamericana e integración, dando como resultado *3.26* en la avenida colon, *2.34* y *2.53* para la avenida Panamericana y *3.02* con *2.92* para la avenida integración todos con la calificación de *Bueno* de acuerdo a las tablas del IRI, pero

al tratarse de un método clase 2, se debe proceder a una verificación de datos mediante el *método de Mira y Nivel*, clase 1; con el cual se ve una variación de 0.23 que según diferentes teorías es un margen adecuado y aceptable puesta entre los rangos de <0.25 clase 1 y <0.5 clase 2.

- Como se puede observar en los datos finales, el pavimento con mayor deterioro es la avenida Colon seguido de la avenida Integración, mientras la avenida Panamericana llegaría a ser la menor dignificada. Lo que significa que el software puede evaluar todo tipo de condición en la que se encuentren las carreteras.
- Uno de los parámetros a considerar y trabajo en campo también realizado, es la transitividad de vehículos, el cual se llevó a cabo mediante el método manual en los tres tramos de estudio seleccionados, ya que es importante que estos datos sean recientes y más con la crisis sanitaria a nivel mundial, pues la cantidad de motorizados en circulación descendió desde la gestión 2020 por diferentes factores sociales y sanitarias a nivel mundial.
- En cuanto a los datos para trabajar una calibración en el software, su verificación es vital, pues como se pudo observar dentro del análisis de la calibración uno de los datos con mayor influencia es el espesor bituminoso ya que afecta tanto a la calibración estructural como a la calibración superficial; dato que se puede verificar a través de una extracción de núcleo.
- Tras la calibración podemos observar que los factores de calibración rondan las numeraciones aconsejables entre 0-3 para la calibración superficial y 0-5 para la calibración estructural, tanto en la calibración superficial como en la calibración estructural, teniendo como máximo el valor de “1.55”; a excepción de la calibración de los baches, donde en la avenida Colon llega al número “9”, indicando que las fallas en los baches son incoherentes cuando no existe la calibración adecuada y el análisis de tiempo en el cual se desea realizar el plan de mantenimiento y/o rehabilitación.
- Como conclusión final, se expresa que el software HDM-4, es posible utilizarlo a nivel gerencial para establecer estrategias de mantenimiento, conservación y rehabilitación de carreteras urbanas flexibles, siempre y cuando la base de datos de los parámetros entrantes sea verificada, para no poner en riesgo los resultados

finales o distorsión de estrategias de mantenimiento al momento de tomar decisiones pertinentes de manera personal y/o empresarial.

4.2. Recomendaciones

- Para la evaluación visual del PCI, es recomendable llevar una escuadra metálica o una regla metálica para facilitar la toma de datos en la profundidad de baches.
- En cuanto, al dato vehicular, se facilita el trabajo al tener hojas con tablas establecidas para los tipos de vehículos que se contaran y preguntar a los vecinos de los días picos para los aforos, ya que este dato es importante para los resultados finales del IRI.
- La verificación del espesor bituminoso a través de una extracción de núcleo o algún método similar, es de gran consideración ya que este dato de entrada influye tanto en la calibración superficial como la estructural.
- Para la introducción de datos, es importante tener certeza de ellos, y verificar que los valores estén correctamente transcritos ya que las fórmulas básicas del programa tienen alta sensibilidad.
- En cuanto a la operación del software HDM-4 es importante familiarizarse con los términos para la introducción de los datos correctamente, más aún si estos están en otro idioma, como es el idioma extranjero inglés.
- En cuanto, a los tramos analizados, y tras su evolución de PCI, se recomienda realizar para la avenida Colon una recuperación de la capa de rodadura y base para estabilización en 15 ó 20 cm en las progresivas 0+610.00 a 0+638.50 y 0+971.50 a 1+000. Al tiempo de agregar una nueva capa de rodadura del espesor necesario, ya que esta vía como se observa en el análisis de PCI posee varias grietas, desprendimientos y baches profundos en el primer kilómetro analizado; para la avenida Panamericana, que es el tramo mejor mantenido y un resultado promedio de *81 Muy bueno* en la evaluación PCI, se podría realizar un calafateo³⁹ a las fisuras de manera individual en un mantenimiento rutinario; mientras en la avenida

³⁹ Sellar grietas a través de líneas de productos sintéticos

Integración que su estado es *muy bueno* según el número 77 de la evaluación PCI, necesitaría ser tratada mediante una nueva capa de rodadura en áreas afectadas para reponer los agregados perdidos y los baches en ciertas partes como en la progresiva 0+226.00 - 0+197.50 cercana a la estación policial donde existe un bache causado por el paso metálico para drenaje.

- Una de las recomendaciones personales para poder aplicar el presente software en nuestra ciudad o enseñarlo en nuestra carrera sería la de implementar una base de datos del conteo vehicular por año, el cual se podría introducir dentro de la materia *ingeniería de tráfico* para que al momento de necesitar tasas de crecimiento o historiales vehiculares se tenga una fuente confiable. Así mismo se podría implementar una base de datos de CBRs de nuestra ciudad mediante la materia de *Mecánica de suelos* ya que estos datos son necesarios para todo proyecto vial y son difíciles de conseguir, más si las vías ya están ejecutadas y existe cambios de gobierno en nuestra autoridades departamentales y municipales.