

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1 Introducción**

El presente proyecto se enfocará en el análisis de costos de ciclo de vida con el software HDM-4 que se utilizará para evaluar los costos del ciclo de vida pronosticados con las alternativas de conservación rutinarias, periódicas, este análisis se realizará para el tramo en estudio y para cada alternativa de conservación. El programa de análisis de HDM-4 permite generar un programa de trabajos, a corto y medio plazo, para grupos seleccionados de tramos. Las alternativas de mejora definidas dependen del modo de análisis seleccionado, programación para varios años o análisis del ciclo de vida. En el caso del análisis de ciclo de vida se pueden definir varias alternativas de inversión. La programación para varios años permite definir un grupo de estándares de conservación y analizar los beneficios de la realización del trabajo cuando sea requerido.

El ciclo de vida de un tramo de carretera flexible, en numerosas ocasiones se presentan daños en las carreteras debido a la carga de tráfico que soportan, condiciones climáticas adversas, fatiga de los materiales, entre otros, nos encontramos con muchas calzadas que no aguantan los continuos esfuerzos a los que están sometidas, esto hace que las vías no lleguen a alcanzar la vida útil que se les había previsto o calculado en un principio. Cada uno de estos factores mencionados tiene una gran importancia, es por eso que en el presente proyecto se realiza el análisis de costos de ciclo de vida con la finalidad de evaluar las alternativas que beneficien de manera económica.

El propósito del presente proyecto es estudiar el comportamiento de las carreteras de pavimentos flexibles, analizando los costos de ciclo de vida en un período de 10 años en un tramo de pavimento flexible del Puente Jarcas - Piedra Larga, aplicando el módulo de análisis de costos de ciclo de vida mediante la utilización del software de HDM-4, para lo cual se realiza un análisis de resultados de costos de ciclo de vida en el tramo en estudio, para posteriormente evaluar las alternativas de los costos de ciclo de vida del tramo.

## **1.2 Justificación**

La vida útil en un pavimento flexible es un parámetro al momento de su diseño que se puede considerar de 5, 10 a 20 años, lo que influirá en las características del pavimento y, por lo tanto, su factibilidad económica.

Los factores más comunes que afectan el comportamiento del pavimento son las cargas que se interponen por el tránsito pesado, no respetan las condiciones de carga que debe tener el pavimento y ocasionan desgaste, otro de los factores son las condiciones ambientales que está sometida la estructura que se involucra el clima entorno a la estructura del pavimento, el tipo de suelo o terreno en que se va a construir también influye en su desgaste pues este debe estar libre de material orgánico y tener una estabilidad para evitar fallas a futuro del pavimento, también está involucrado el factor de humedad que provoca en el pavimento pérdidas en sus agregados, que produce diferentes tipos de fallas en la vía.

El sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4) es una herramienta informática utilizada para evaluar los aspectos técnicos y económicos de los proyectos de inversión en carreteras. Esta herramienta proporciona facilidades para almacenar características de redes de carreteras, tipos de vehículos y trabajos de carretera.

El módulo de análisis de ciclo de vida en HDM-4 está diseñado para hacer estimaciones de costos y análisis económicos de diferentes opciones de inversión. Estima los costos de un gran número de alternativas año a año, para un período de análisis definido por el tiempo en uso.

Para hacer esta evaluación de costos, se necesitan especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con costos unitarios, volúmenes de tráfico previstos y condiciones medioambientales.

## **1.3 Planteamiento del problema**

### **1.3.1 Situación problemática**

Con el aumento vehicular en el país, ocasionan un mayor tráfico vehicular en carreteras, caminos, calles provocando fallas en las mismas. Las cargas pesadas generadas por el crecimiento alto en el tráfico vehicular producen fallas, desgastes en el pavimento flexible y son un peligro potencial para los vehículos, como todo material se van desgastando con el paso del tiempo por la afluencia vehicular, es por ello que se debe realizar actividades de conservación de pavimentos que se enfocan en mantener y retardar el deterioro de la vía, al no realizarse ningún tipo de conservación al pavimento se producen daños que serán graves con el tiempo.

Cuando se refiere a obras de ingeniería como carreteras, puentes, represas, etc., se calcula en años, sobre todo para efectos de su amortización, ya que en general estas obras continúan prestando utilidad mucho más allá del tiempo estimado como vida útil para el análisis de factibilidad económica. La vida útil es un parámetro al momento de su diseño, lo que influirá en las características del pavimento y, por lo tanto, su factibilidad económica. La vida útil de la carretera puede verse afectada por el incremento del tráfico, o por cambios en la normatividad vial, si se incrementa la carga permitida por eje. El diseño de nuevas estrategias orientadas al fortalecimiento del uso de la informática y las nuevas tecnologías en un nuevo ámbito en el que se debe buscar ser competitivos, los recursos comunicacionales exigen tener una visión integral para lograr un uso de las nuevas tecnologías de la información que ayude al desarrollo social de Bolivia, por lo que sería de mucha utilidad la implementación de la metodología del programa HDM-4 para pavimentos flexible, el análisis de ciclo de vida en el programa se utilizará para hacer estimaciones de costos y análisis económicos de diferentes opciones de inversión.

### **1.3.2 Problema**

¿Se podrá realizar un análisis de costos de ciclo de vida en pavimentos flexibles en periodo de tiempo de 10 años con la utilización del software HDM-4 en el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga?

## **1.4 Objetivo de proyecto de aplicación**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Realizar el análisis de costos de ciclo de vida en un periodo de 10 años de un tramo de carretera de pavimento flexible del Puente Jarcas - Piedra Larga, con la utilización del software HDM-4.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar los conceptos de carreteras de pavimentos flexibles, el campo de aplicación del software HDM-4 en el análisis de costos de ciclo de vida para aplicarlo en el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.
- Realizar la ubicación, las características y los datos de diseño del pavimento flexible del tramo en estudio, identificando las fallas y deterioros en el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.
- Realizar el análisis de los costos de ciclo de vida a partir del software HDM-4.
- Hacer el análisis de resultados sobre los costos de ciclo de vida del tramo estudiado.
- Evaluar los costos de ciclo de vida en el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en el tramo de estudio.

## **1.5 Hipótesis**

Si se estudia a través del HDM-4 los costos de ciclo de vida a través de los parámetros que intervienen en todo el período de su ciclo de vida entonces podremos obtener los costos anuales, que deben proveerse para mantener la carretera en buenas condiciones durante su ciclo de vida, permitiendo al proyectista definir una combinación de alternativas de conservación para un tramo.

## **1.6 Definición de variable independiente y variable dependiente**

### **1.6.1 Variable independiente**

Costos de ciclo de vida.

### 1.6.2 Variable Dependiente

Análisis de costos a partir de los parámetros de costos del software HDM-4.

Variables	Concepto	Utilidad	Unidades
<b>Independiente</b> Costos de ciclo de vida.	Estima los costos de un gran número de alternativas año a año, para un período de análisis definido por el tiempo en uso.	El resultado de este proceso de todo el tramo en estudio y de todas las alternativas se guardan para el análisis económico.	\$/año
<b>Dependiente</b> Análisis de costos a partir de los parámetros de costos del software HDM-4.	Análisis de evaluación de costos que se va utilizar a través de los años en la carretera.	Los estándares de conservación definen los trabajos requeridos para mantener la red de carreteras en el nivel deseado.  Las alternativas de inversión que se evaluará, para el tramo, con la intención de calcular los beneficios económicos.	\$/año

### 1.7 Alcance del Estudio

El presente proyecto está enfocado en estudiar el comportamiento de un tramo de carretera de pavimento flexible dentro de la red departamental de Tarija, evaluando los costos de ciclo de vida en un periodo de 10 años del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga, aplicando el módulo de costos de ciclo de vida mediante la aplicación del software de HDM-4. El propósito de la aplicación del software HDM-4 es el pronóstico de costos, determinando las necesidades financieras, para realizar los estándares de carreteras definidos y demostrar el aumento de costos de ciclo de vida en una realización a largo plazo. Seleccionar un tramo de carretera de pavimento flexible dentro de la red

departamental de Tarija Puente Jarcas - Piedra Larga, identificando las fallas y deterioros del tramo del mismo, adquiriendo información general y específica del tramo, siendo necesario esta información para el uso y funcionamiento del software HDM-4. Con los resultados obtenidos del software HDM-4, y con los trabajos asignados al tramo representan los costos de ciclo de vida óptimos, que deberían ser aplicadas a la red de carreteras del pavimento flexible de acuerdo a los estándares especificados, se realizará un análisis de resultados de costos de ciclo de vida en el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga, para posterior realizar la evaluación correspondiente de los costos de ciclo de vida del tramo en estudio.

En el primer capítulo del proyecto se realizará una presentación teórica del motivo por el cual se realizará un análisis de costos de ciclo de vida en pavimentos flexibles con la utilización del software HMD-4, justificando un enfoque global del proyecto, identificando los objetivos que representarán las metas que se desea alcanzar para establecer un criterio en la selección y secuencia del contenido, teniendo ya definido el propósito, poder desglosar puntualmente un problema para posteriormente utilizarlo en nuevas situaciones, teniendo en cuenta los factores que influyen, tanto las variables dependientes e independientes, generando una hipótesis confiable.

En el segundo capítulo del proyecto es importante tener el conocimiento teórico general de los pavimentos, tanto en su definición como en sus características, que nos permita poder desarrollarlo de manera práctica. Todo el fundamento teórico estará desarrollado en primer lugar con una definición general de pavimentos, tipos de pavimentos, la vida útil de los pavimentos y la utilización del software HDM-4 con el que se realizará un análisis de costos de ciclo de vida del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.

En el tercer capítulo es considerado uno de los más importantes de todo el proyecto, ya que aquí es donde se desarrollará de manera práctica todas las técnicas y procedimientos de un análisis de costos de ciclo de vida, como se ejecuta paso a paso. Se empieza realizando una recopilación de información, exploración y evaluación del tramo en estudio, es decir la ubicación, el clima, características de la zona donde nos podrá dar un enfoque de las circunstancias de la zona del proyecto, ya definiendo el tramo en estudio, se procederá a realizar el muestreo, del cual se ira a verificar el deterioro del pavimento y

las fallas que existan en el tramo en estudio, para poder realizar los costos de ciclo de vida con el software HDM-4, para lo cual se realizará unas alternativas de conservación para posteriormente realizar la evaluación correspondiente de los costos de ciclo de vida del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.

En el cuarto capítulo se enfocará en la parte final del proyecto, donde una vez realizado el análisis de resultados obtenidos del software HDM-4, se puede realizar las debidas conclusiones respecto al análisis de costos de ciclo de vida, donde se explicará si los objetivos se llevaron a cabo con éxito y si la hipótesis planteada resulto verdadera o falsa, finalizando con las recomendaciones que se originan durante el proceso de realización del proyecto desde un punto de vista académico y práctico.

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS Y CONSIDERACIONES GENERALES DEL HDM-4**

#### **2.1 Definición de pavimento**

El pavimento es una estructura construida por capas de diversos materiales seleccionados, superpuestas y compactadas sobre la superficie del terreno.

En ingeniería civil, el pavimento forma parte del firme y es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas.

Es de gran importancia contar con caminos y vías pavimentadas reduce los tiempos de traslado, ya que tanto peatones como vehículos se pueden desplazar de forma sencilla y rápida por la población y zonas cercanas. Pavimento es el conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: trazo horizontal y vertical, anchura, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

Hay tres diversos tipos de pavimentos, los cuales dependen de los materiales con los que se construyen y de la forma como reciben y controlan las cargas.

#### **2.2 Tipos de pavimentos**

Existen diferentes tipos de pavimentos, los cuales pueden ser clasificados en:

- Pavimentos asfálticos o flexibles
- Pavimentos de concreto o rígidos
- Pavimentos articulados



## **Pavimentos asfálticos o flexibles**

Una de las clases de pavimento es el pavimento flexible cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él.

**Figura 2.1: Pavimento flexible**



Fuente: <https://www.libreriaingeniero.com/2020/06/conceptos-basicos-de-pavimentos.html>

El pavimento flexible es una estructura formada por varias capas como lo son la subrasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada.

### **Características de pavimento flexible**

Son las que garantizan que un pavimento flexible sea durable económico y resistente a los fenómenos climáticos y del tránsito.

- Una de las características principales de este tipo de pavimento es brindar una superficie cómoda y segura para el usuario. Esto se consigue debido a la manera en que este pavimento transfiere las cargas.
- Las capas de un pavimento flexible se colocan en orden descendente en capacidad de carga, lo que indica que la capa superior es la que mayor capacidad portante tiene de todas las que se disponen, por lo que la estructura como tal del pavimento es la que soporta la mayor parte como tal de las cargas de los vehículos y las cargas restantes se transfieren a la subrasante.

- Son las que garantizan que un pavimento flexible sea durable económico y resistente a los fenómenos climáticos y del tránsito.
- Los pavimentos flexibles deben ser drenantes, deben presentar una homogeneidad en la superficie para que brinde la comodidad en el tránsito, la superficie debe ser capaz de absorber el ruido y tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos.

### **Componentes de pavimento flexible**

La estructura del pavimento flexible está compuesta por una capa superficial que es la capa asfáltica o capa de rodadura, seguida por la base y la sub base consecutivamente, lo cual en complemento se encuentra apoyado sobre la subrasante o terreno natural a donde llega una parte de la carga vehicular.

**Carpeta asfáltica.** - Está compuesta por mezclas asfálticas y materiales pétreos. Esta capa recibe directamente las cargas vehiculares y los efectos ambientales como la lluvia y la radiación solar, es resistente a la abrasión producida por el tráfico y a los condicionamientos del intemperismo; además, tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie del pavimento.

La textura superficial de la capa de rodadura debe presentar dos características para atender adecuadamente la circulación de los vehículos: la suavidad, para que sea cómoda, y la rugosidad, para que sea segura.

**Capa base.** - Es una capa granular ubicada bajo la carpeta asfáltica, básicamente este material granular debe ser friccionante para que garantice una resistencia adecuada y la permanencia de dicha resistencia ante la variación de las condiciones que puedan producirse, y a su vez debe contener vacíos. Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que transmita los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub base y sub rasante, en una intensidad adecuada. La capa base tiene las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas subbase y suelo natural.

- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

**Capa subbase.** - Es una capa granular construida con materiales más económicos que los de las anteriores capas, esta capa facilita el drenaje del agua que pueda filtrarse por la superficie o ascienda por capilaridad.

Es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y su función es reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base, proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base, proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad, transmitir y distribuir las cargas a las terracerías.

**Capa subrasante.** - Es la superficie que soporta la estructura de pavimento, está compuesta por terreno natural, aunque en ocasiones es necesario mejorar las características del terreno para lo cual se requiere un proceso de mejoramiento como la compactación para mejorar sus características, pues de estas dependerá en gran medida, el espesor total del pavimento.<sup>1</sup>

### **Pavimentos de concreto o rígidos**

Un pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

---

<sup>1</sup><http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5711/CARTILLA.pdf?sequence=2#:~:text=La%20estructura%20del%20pavimento%20flexible,parte%20de%20la%20carga%20vehicular>

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

**Figura 2.2: Pavimento rígido**



Fuente: <https://www.arkiplus.com/pavimento-rigido/>

### **Características de pavimento rígido**

Este tipo de pavimento se caracteriza por transferir la carga hacia un área más amplia debido a que tiene una excelente resistencia a la flexión. A diferencia de un pavimento flexible, este no se fabrica con muchas capas de materiales.

Por lo tanto, el pavimento rígido es colocado directamente sobre un material subrasante que se encuentre bien compacto o sobre una sola capa de material granular. Como solo hay una capa entre el hormigón y la subrasante, esta capa puede denominarse como capa base o subbase. En el pavimento rígido la carga relacionada al tráfico vehicular hace que la carretera se comporte como una capa elástica apoyada sobre un medio viscoso. Para ello se construye utilizando cemento portland simple. En cuanto a su diseño, se lo hace aplicando la teoría de placas en vez de la teoría de capas como se lo hace con el pavimento flexible, asumiendo una placa elástica apoyada sobre una capa base viscosa.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <https://geologiaweb.com/materiales/pavimento/>

## **Componentes de pavimento rígido**

Los pavimentos rígidos son formados por la subrasante, subbase, y losa o superficie de rodadura.

**Subrasante.** - La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

**Subbase.** - La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de subbase (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la subrasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

**Losa.** - Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> [http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/#google\\_vignette](http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/#google_vignette)

## **Pavimentos articulados**

Un pavimento articulado está compuesto por una capa de rodadura de adoquines de concreto; la capa de base y la de subbase cuando la anterior exista y opcionalmente una capa de mejoramiento de la subrasante. Es importante que este tenga unas restricciones laterales de confinamiento adecuada.

### **Ventajas**

Los pavimentos de adoquines poseen unas características particulares que se traducen en ventajas sobre los otros tipos de pavimentos en varios aspectos específicos, las ventajas debido al proceso constructivo son las siguientes:

- Los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto, su calidad se controla en fábrica.
- Dependiendo del proceso constructivo se puede requerir el empleo de poca maquinaria.<sup>4</sup>

**Figura 2.3: Pavimento articulado**



Fuente: <http://pavimentosingunimeta.blogspot.com/p/pavimento-articulado.html>

---

<sup>4</sup> Sánchez Castillo, X., (2003), Diseño de pavimentos articulados para tráfico medio y alto, Bogotá, Colombia.

## **2.3 Vida útil de los pavimentos**

La vida útil es un parámetro al momento de su diseño. Se puede considerar 5, 10 o 20 años, lo que influirá en las características del pavimento y, por lo tanto, su factibilidad económica. La vida útil de la carretera puede verse afectada por el incremento del tráfico, o por cambios en la normatividad vial, si se incrementa la carga permitida por eje.<sup>5</sup>

### **Pavimento flexible**

La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 5 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica y además de la base, sub-base y terracería. Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base.<sup>6</sup>

### **Pavimento rígido**

La vida útil mínima con la que se debe diseñar un pavimento rígido es de 20 años, es común realizar diseños para 30, 40 ó más de 50 años. Otro factor que afecta no solo al pavimento rígido sino a todos los pavimentos es la tasa de crecimiento anual, que depende del desarrollo económico – social, de la capacidad de la vía, tipo de vehículo que pueden ser más de un tipo que de otro. Es conveniente prever este crecimiento del tráfico, tomando en consideración una tasa de crecimiento anual con la que se calcula un factor de crecimiento de tráfico<sup>7</sup>.

### **Pavimentos articulados**

Un pavimento como tal tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por más de 20 años

---

<sup>5</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Vida\\_%C3%BAtil](https://es.wikipedia.org/wiki/Vida_%C3%BAtil)

<sup>6</sup> <https://blog.vise.com.mx/qu%C3%A9-es-un-pavimento-flexible-y-cu%C3%A1ndo-conviene-usarlo>

<sup>7</sup> <https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/ejemplo-de-disec3b10-de-pavimentos-rc3adgidos.pdf>

con una reparación menor el pavimento de articulados puede alcanzar una vida útil de más de 40 años.<sup>8</sup>

## 2.4 Ciclo de vida de los pavimentos

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

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

**Deterioro imperceptible.** El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe, pero es poco visible y no es apreciable. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente.

El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente. El estado del camino varía desde excelente a regular.

**Deterioro acelerado.** Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

**Deterioro total.** Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a

---

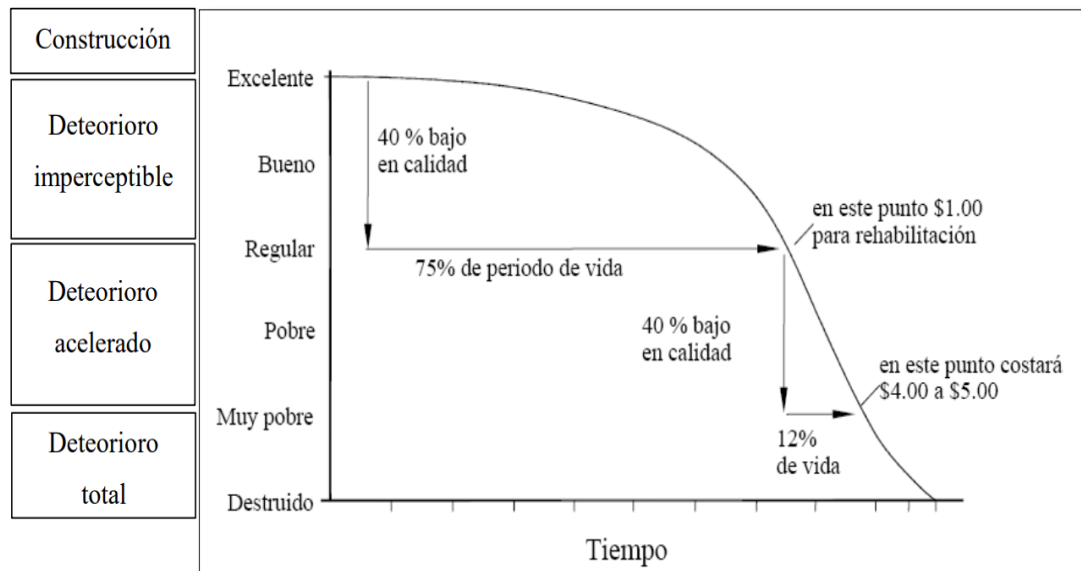
<sup>8</sup> <https://prefabricadosomega.com/adoquines>



experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumentan y la vía se hace intransitable para autos.

Según lo descrito líneas arriba los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado. En la siguiente figura 2.4 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

**Figura 2.4: Ciclo de los pavimentos**

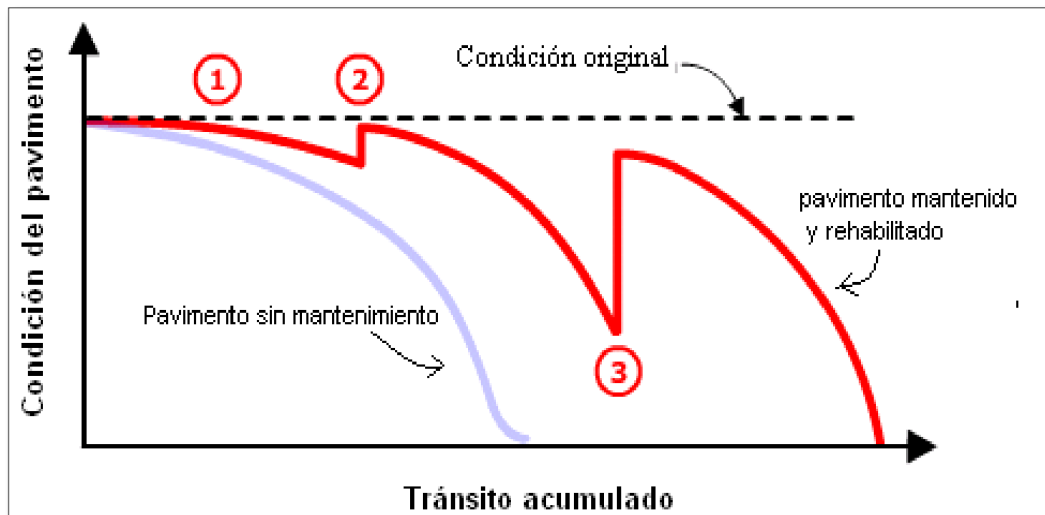


Fuente: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1351/ICI\\_181](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1351/ICI_181)

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

Asimismo, el ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura 2.5.

**Figura 2.5: Condición de los pavimentos**



Fuente: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1351/ICI\\_181](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1351/ICI_181)

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación.

En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento. Por último, en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.<sup>9</sup>

## **2.5 Comportamiento de los pavimentos flexibles**

### **2.5.1 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.

<sup>9</sup> Rodríguez Velásquez, E. D., (2009), Cálculo del índice de condición aplicado en el pavimento flexible, Universidad de Piura, Piura, Perú.

Por debajo de la capa de concreto asfáltico se coloca una base que puede ser de piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados (con cemento, cal o asfalto). Por debajo de esta base se coloca una capa de menor calidad denominada subbase.

### **2.5.2 El ciclo de deterioro de los pavimentos**

Los pavimentos, en líneas generales, independientemente del tipo de superficie de rodadura, están sometidos a un ciclo que consta de cuatro etapas. Aunque los detalles del ciclo presentan diferencias entre los caminos con pavimento asfáltico y los de hormigón o sin pavimento alguno, el mensaje básico es el mismo, y consiste en que en ninguno de los casos debe permitirse el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

Los caminos, en líneas generales, independientemente del tipo de superficie de rodadura, están sometidos a un ciclo que consta de cuatro etapas. Aunque los detalles del ciclo presentan diferencias entre los caminos con pavimento asfáltico y los de hormigón o sin pavimento alguno, el mensaje básico es el mismo, y consiste en que en ninguno de los casos debe permitirse el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

Las cuatro etapas del ciclo de un camino pavimentado, son las siguientes:

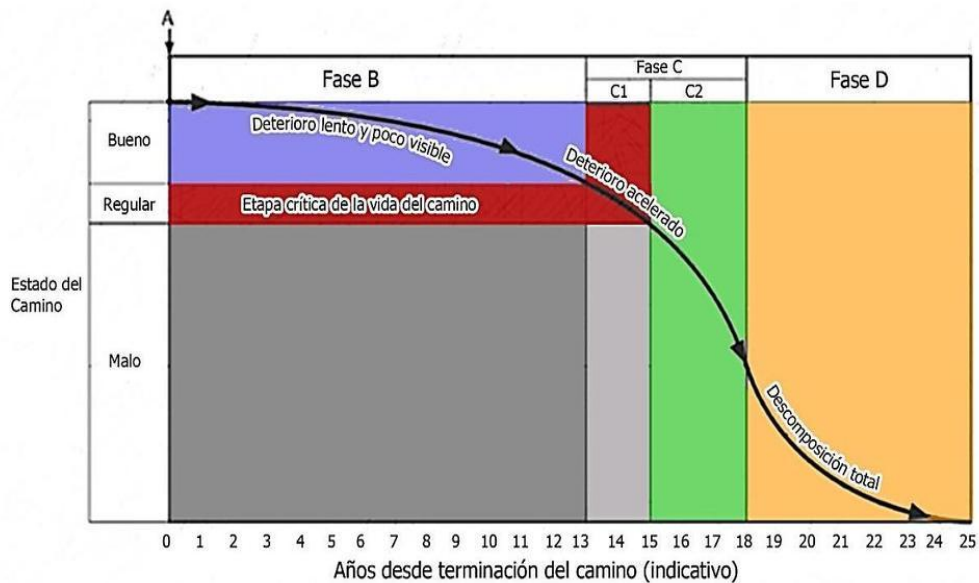
- Etapa A. Construcción
- Etapa B. Deterioro lento y poco visible
- Etapa C. Deterioro acelerado y quiebre
- Etapa D. Pérdida total

#### **2.5.2.1 Etapa A. Construcción**

Se refiere a la fase de inversión inicial y el resultado inicial puede ser muy variado, desde una carretera muy bien construida, o con solo algunos defectos, diseñada o con una ejecución deficiente.

De todos modos, el camino entra en servicio apenas terminada la obra. (Punto A de la figura 2.6)

**Figura 2.6: Curva de deterioro típica para una carretera pavimentada**



Fuente: CEPAL, 1994

### 2.5.2.2 Etapa B. Deterioro lento y poco visible

Durante un cierto número de años, el camino va experimentando un desgaste y un proceso de debilitamiento lento, principalmente en la superficie pavimentada, como, asimismo, aunque en un menor grado, en el resto de su estructura. Este desgaste se produce por la gran cantidad de vehículos pesados y livianos que circulan por él, aunque también por influencia del clima, del agua de lluvias o las aguas superficiales, la radiación solar, los cambios de temperatura, y otros factores.

Por otro lado, la velocidad del desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial. Para frenar este proceso de desgaste y debilitamiento, es necesario aplicar, con cierta frecuencia, diferentes medidas de conservación, principalmente en el pavimento y en las obras de drenaje.

Además, hay que efectuar las operaciones rutinarias de mantenimiento. Si no se ejecutan estas actividades, se acorta el período de desgaste lento y poco visible; en vez de durar 10 o 15 años, el período dura sólo seis u ocho.

Durante toda la fase B el camino se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario del software no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien y está en condiciones de ser conservado, en el pleno sentido del término. (Sector B de la figura 2.6).

### **2.5.2.3 Etapa C. Deterioro acelerado y quiebre**

Después de varios años de uso, el camino entra en una etapa de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito. (Sector C de la figura 2.6). Al inicio de esta fase, la estructura básica del camino aún sigue intacta, las fallas en la superficie son menores, y el usuario del software común tiene la impresión de que el camino aún se mantiene bastante sólido; sin embargo, no es así. (Sector C1 de la figura 2.6). Más adelante en la fase C, se pueden observar cada vez más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, que no es visible.

Estos daños comienzan siendo puntuales, y luego se van extendiendo hasta que finalmente afectan la mayor parte del camino. (Sector C2 de la figura 2.6). La fase C es relativamente corta, ya que comprende un período de entre dos y cinco años. Una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada.

Al inicio de la fase C (Sector C1 de la figura 2.6), normalmente basta con reforzar la superficie del camino, lo que supone un costo relativamente bajo. Una vez efectuado un refuerzo adecuado, el camino vuelve a estar apto para su función y puede resistir al tránsito durante una óptima cantidad de años más.

Si avanzamos dentro de la fase C (Sector C2 de la figura 2.6), y dejamos pasar el momento óptimo de intervención, el simple refuerzo de la superficie ya no es suficiente. Primero deben repararse los daños que se han producido en la estructura básica del camino, posteriormente se coloca el refuerzo sobre toda la superficie del camino. Frecuentemente se utiliza el término “rehabilitación” cuando se alude a la combinación de reparaciones parciales en la estructura básica del camino con el refuerzo de su superficie.

Al no intervenir en momento alguno durante la fase C, el camino llega al punto de quiebre, es decir, se produce una falla generalizada, tanto del pavimento como de la

estructura básica. Al finalizar la fase C y durante la fase D, sólo cabe reconstruir completamente el camino, a un costo que puede equivaler a entre 50% y 80% del valor de un camino completamente nuevo.

#### **2.5.2.4 Etapa D. Pérdida total**

La pérdida total del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante ese período, lo primero que se observa es la pérdida de pavimento. Cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de capa asfáltica, hasta que al final termina siendo un camino de grava y a la larga, de tierra.

El paso de los vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una fracción de la original.<sup>10</sup>

#### **2.5.3 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 las carreteras.

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.

---

<sup>10</sup> Rodríguez Roca, G., (2011), Manual de diseño de conservación vial, Volumen V, Bolivia.

## **2.6 Gestión de conservación**

La gestión de conservación parte de una premisa básica: la red de carreteras es un patrimonio que debe ser mantenido y mejorado para asegurar condiciones adecuadas de desempeño durante el máximo de su vida útil.

El objetivo de la gestión de conservación es posibilitar que la red de carreteras, resista el desgaste causado por el tráfico, clima y las condiciones del entorno de la zona en que se ubican; prevenir que se generen situaciones de deterioro críticas y asegurar una circulación continua, segura, eficiente, confiable y que cause el menor daño al medio ambiente. Estos objetivos se logran a través de la ejecución de una serie de acciones de conservación aplicadas oportunamente en el tiempo.

Existe un momento preciso para efectuar ciertos trabajos de conservación de un camino. Al ejecutar actividades antes de lo requerido, se pierde la oportunidad de haber utilizado el capital en algo más rentable durante el período del adelanto (costo de oportunidad del capital).

Cuando se posterga la conservación, tanto el refuerzo como en el mantenimiento rutinario, la pérdida es mucho mayor, pues el tipo de intervención necesaria será de rehabilitación, que tiene un costo mucho más alto que el correspondiente a trabajos efectuados de manera oportuna. Adicionalmente, postergar la conservación trae como consecuencia el aumento de los costos de operación, traduciéndose en un aumento de los costos de transporte. En el caso de los caminos de tierra o de ripio, por sus características técnicas, puede contarse con un margen de tiempo más flexible para efectuar las intervenciones.

Las tareas principales en la gestión de conservación son identificar para cada camino:

- El momento de la intervención
- El tipo de intervención

Ambas tareas permitirán obtener el óptimo rendimiento de los recursos invertidos. La gestión de conservación no se aplica exclusivamente a los pavimentos, sino a toda la estructura de la carretera, sea está puentes, obras de arte en general, túneles, drenajes, demarcaciones por mencionar solo algunas. El objetivo final es poder manejar todos

estos elementos a través de un conjunto complementario de actividades que permitan un funcionamiento armónico de la infraestructura.

### **2.6.1 Cuando intervenir**

Cada actividad de conservación debe ejecutarse habitualmente dentro de un lapso preciso de tiempo. El punto de partida para determinarlo es el conocimiento cabal de los caminos de la red vial, así como también de los efectos del tránsito en los caminos. Este conocimiento permite estimar los momentos oportunos para los diferentes tipos de intervención. La opción de tiempo significa la posibilidad de adelantar acciones de conservación. Una vez detectados los momentos óptimos, puede decidirse sobre la conveniencia de anticipar ciertas intervenciones.

### **2.6.2 Tipo de intervención**

Esta opción consiste en definir la dimensión técnica de la intervención. Pueden proponerse varias alternativas para satisfacer las necesidades inmediatas (reforzar la superficie, evitar la destrucción de la estructura básica del camino, etc.). La diferencia que existe entre las distintas opciones radica en el costo de la intervención, el tiempo que se necesita para ejecutarla y su durabilidad.

La regla general es que las intervenciones óptimas suelen ser aquéllas que tienen una orientación a mediano o largo plazo. Los motivos que se tengan para elegir una u otra opción de dimensionamiento, pueden ser de carácter operacional o financiero, al igual que en el caso de las opciones de tiempo.

## **2.7 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.

### **2.7.1 Definición de IRI**

Paterson, en 1986, define el IRI como: "El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificada (RARS, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo del cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/hr.

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.

- 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.

### **2.7.2 Equipos para evaluar la rugosidad**

Los diferentes métodos para medir la rugosidad han sido agrupados en cuatro categorías clasificadas de acuerdo a cuan directamente sus mediciones se aproximan al IRI (ASTM 1995). Estos métodos pueden resumirse de acuerdo a lo siguiente:

- Clase 1, Perfiles de precisión (el cual requiere que el perfil longitudinal de una huella sea medida en forma precisa).
- Clase 2, Otros métodos perfilométricos (el cálculo del IRI se basa en medidas del perfil longitudinal, pero no tan precisas como los métodos de la Clase 1)
- Clase 3, Estimaciones del IRI mediante correlaciones (sistemas para medir la rugosidad por SMRR, MERLIN).
- Clase 4, Valoraciones subjetivas y medidas sin calibrar (aparatos tipo respuestas sin calibrar o valoraciones del estado mediante las sensaciones de confort y seguridad que experimenta el usuario).<sup>11</sup>

---

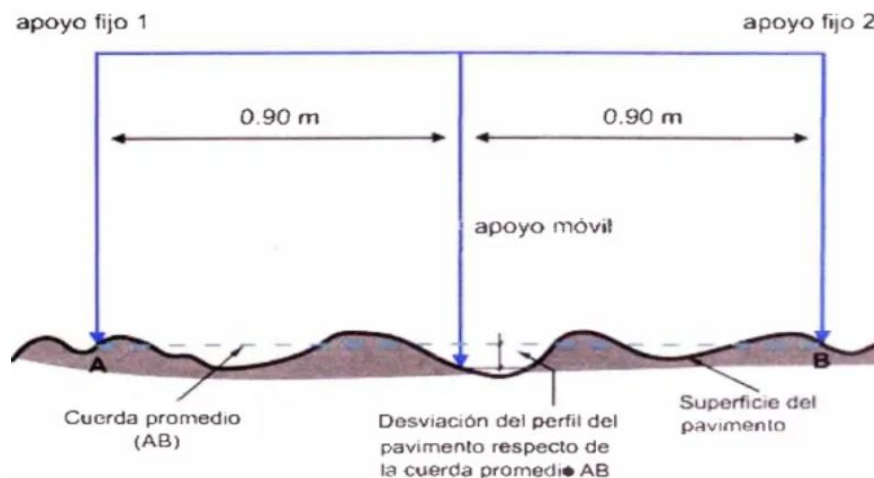
<sup>11</sup> Rodríguez Roca, G., (2011), Manual de diseño de conservación vial, Volumen V, Bolivia.

### 2.7.3 Metodología para la determinación de la rugosidad “Merlín”

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 figura 2.7 ilustra como el merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante.

El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

**Figura 2.7: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio**



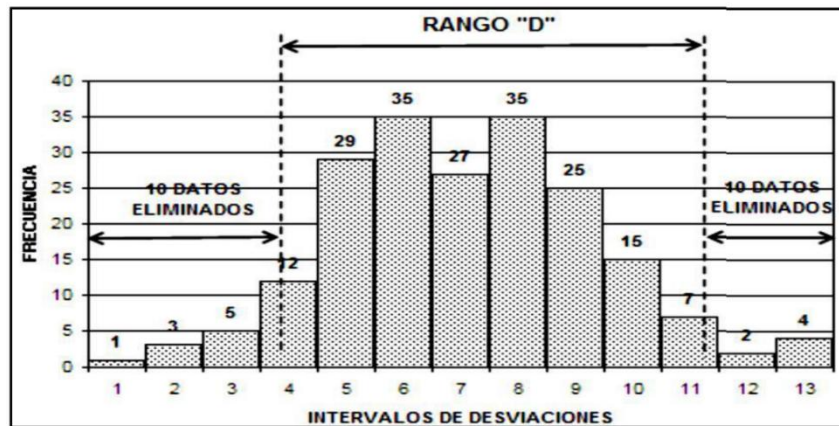
Fuente: Manual del usuario MERLINER

La longitud de la cuerda promedio es 1.80 m, por ser la distancia que proporciona 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 considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si 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 (ver figura 2.8).

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones

(10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades merlín”.

**Figura 2.8: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva**



Fuente: Manual del usuario MERLINER

El concepto de usar la dispersión de la desviación de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia.

### 2.7.3.1 Método de medición

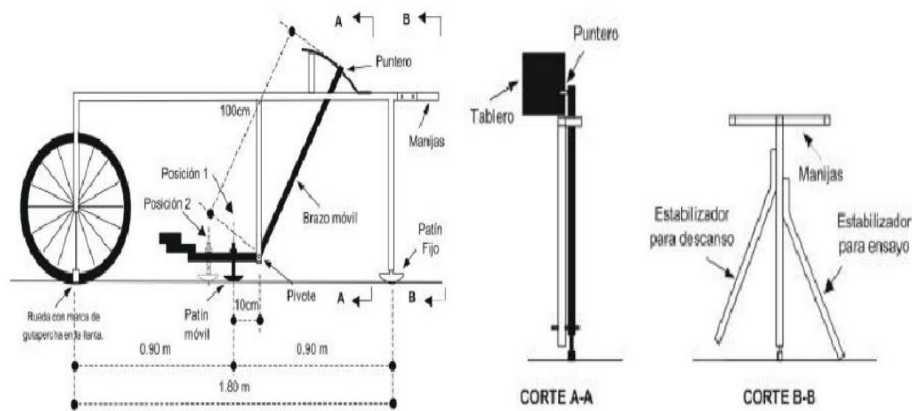
#### 2.7.3.1.1 El rugosímetro merlín

El rugosímetro merlín, 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 Águila Rodríguez Pablo en 1993, 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 merlín, 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 merlín, 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.

El merlín es un equipo de diseño simple. La figura 2.9 presenta un esquema ilustrativo del instrumento. Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

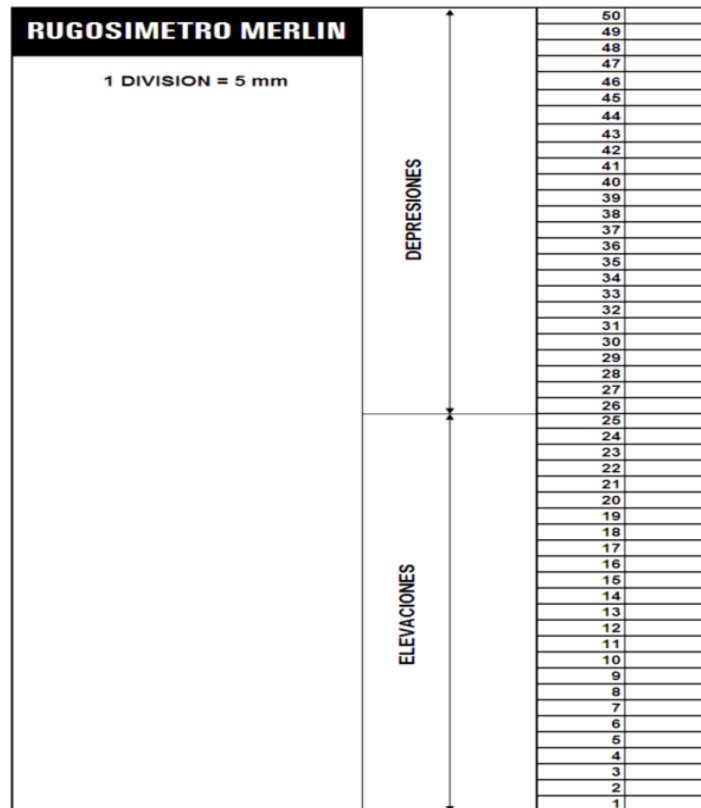
**Figura 2.9: Esquema del rugosímetro merlín**



Fuente: Manual del usuario MERLINER

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de manera tal que un movimiento vertical de 1 mm, en el extremo inferior del patín móvil, produce un desplazamiento de 1 cm del puntero. Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero (ver figura 2.10).

**Figura 2.10: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio**



Fuente: Manual del usuario MERLINER

### **2.7.3.1.2 Ejecución de ensayos**

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico. Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del merlín, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del merlín, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (figura 2.9, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con

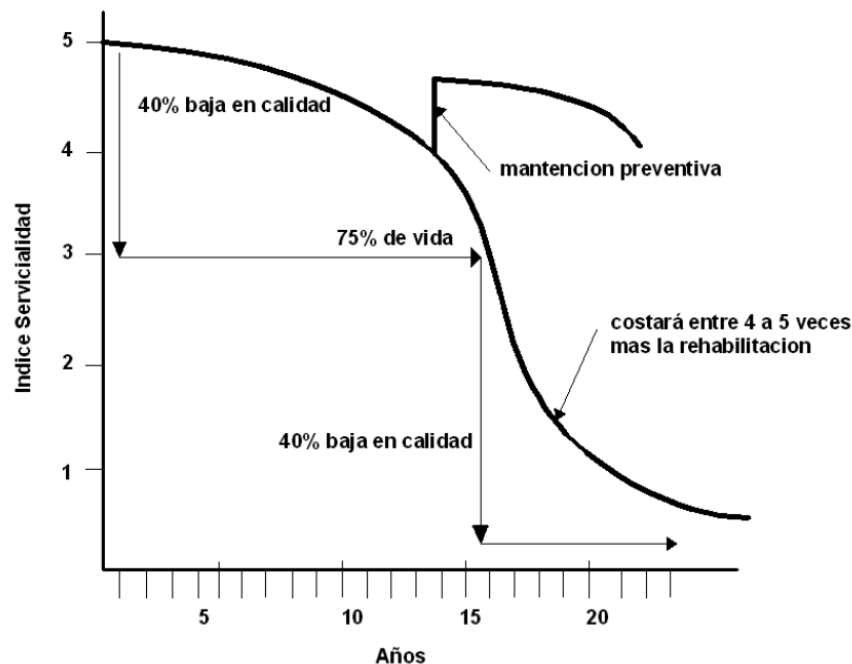
gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.<sup>12</sup>

## 2.8 Índice de serviciabilidad

Un criterio para valorar el estado de un camino es el de la “calificación actual” o como se lo denomina serviciabilidad. 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 2.9 se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja cómo se va deteriorando un pavimento en el tiempo.

**Figura 2.11: Índice de serviciabilidad**



Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC

<sup>12</sup> Águila Rodríguez, P., (1999), Manual del usuario merliner – Merlín equipo para rugosidad, Lima, Perú.



**Serviciabilidad funcional.** - La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la serviciabilidad funcional que presta.

**Serviciabilidad estructural.** - Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento.

El índice de serviciabilidad presente nos sirve de apoyo para determinar si la superficie de rodamiento necesita mejorarse, pero por sí solo no debe usarse para diseño de sobre carpetas u otras mejoras. Índices de serviciabilidad presente altos, corresponden a condiciones más satisfactorias.

Cuando un tramo denota calificaciones bajas (de 2.5 hacia abajo), se debe hacer un examen más detallado de la superficie, utilizando, si es necesario, otros métodos para su evaluación. La experiencia indica que un PSI comprendido entre 2.5 y 0.0, denota la necesidad de hacer trabajos de reforzamiento a la carretera en estudio.

**Figura 2.12: Calificación del índice de serviciabilidad presente según 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
- 1.0	Muy malo

Fuente: Manual de diseño de conservación vial ABC

### 2.8.1 Correlación entre el IRI y el índice de serviciabilidad

Tanto el IRI como el índice de serviciabilidad presente (PSI) se calculan a partir de prácticamente el mismo parámetro, de manera que se han desarrollado varias correlaciones entre el IRI y el PSI.

Paterson (1987) sugiere el cálculo del IRI en función del índice PSI según la siguiente ecuación:

$$\text{IRI} = 5.5 * \ln * \left( \frac{5}{\text{PSI}} \right)$$

Investigaciones realizadas por Al-Omari & Darter (1994) correlacionan el IRI y el PSI con la siguiente ecuación:

$$\text{PSI} = 5 * e^{(-0.24 * \text{IRI})}$$

En Chile Dujisin & Arroyo (1995) observaron que el IRI y el PSI puede correlacionarse con la ecuación:

$$\text{PSI} = 5.85 - (1.68 * \text{IRI}^{0.5})$$

La AASHTO define las siguientes ecuaciones para diferenciando pavimentos asfálticos y de hormigón.

$$\text{Asfalto} \quad \text{PSI} = 5.671 - 1.714 * \sqrt{\text{IRI}}$$

$$\text{Hormigón} \quad \text{PSI} = 5.769 - 1.589 * \sqrt{\text{IRI}} \quad 13$$

## 2.9 Índice de condición de pavimentos (PCI)

El índice de condición de pavimentos (PCI) con sus siglas en inglés, es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad).

El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento.

---

<sup>13</sup> Rodríguez Roca, G., (2011), Manual de diseño de conservación vial, Volumen V, Bolivia.

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 tabla 2.1 se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

**Tabla 2.1: Rangos de calificación del PCI**

<b>Rango</b>	<b>Calificación</b>
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 diseño de conservación vial ABC

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

La información de los daños obtenida como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cargas o con el clima.

### **2.9.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento**

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididos 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  $20 \pm 8$  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.

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 asfálticos

1. Piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Fisuras de bloque
4. Abultamiento y hundimiento
5. Corrugación
6. Depresión
7. Fisura de borde
8. Fisura de reflexión de junta
9. Desnivel cami-bema
10. Fisuras longitudinal y transversal
11. Parches
12. Agregados pulidos
13. Baches
14. Cruce de puentes
15. Ahuellamiento
16. Desplazamiento
17. Fisura parabólica
18. Hinchamiento
19. Desprendimiento de agregados

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 reducidos” (m) y con este valor, se pasa a calcular el máximo valor de reducción corregido (VRC) sumando los valores individuales y utilizando curvas de correlación.

Obtenido el máximo VRC se obtiene el valor del PCI con la ecuación:

$$\text{PCI} = 100 - \text{MáximoVRC}$$

El valor de PCI de toda una sección se calculó promediando los valores de PCI de cada unidad de muestra.<sup>14</sup>

## **2.10 Tipos de fallas en pavimentos flexibles**

### **2.10.1 Piel de cocodrilo**

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito.

El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas.

Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo. Generalmente, el lado más grande de las piezas no supera los 0.60 m.

---

<sup>14</sup> Rodríguez Roca, G., (2011), Manual de diseño de conservación vial, Volumen V, Bolivia.

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

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

#### **2.10.1.1 Niveles de severidad**

- L (Low: Bajo): Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.
- M (Medium: Medio): Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel L, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.
- H (High: Alto): Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

#### **2.10.1.2 Opciones de reparación**

- L: No se hace nada, sello superficial. Sobrecarpeta.
- M: Parcheo parcial o en toda la profundidad (Full Depth). Sobrecarpeta. Reconstrucción.
- H: Parcheo parcial o Full Depth. Sobrecarpeta. Reconstrucción

#### **2.10.2 Fisura de borde**

Las fisuras de borde son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y

puede originarse por debilitamiento, debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento. El área entre la grieta y el borde del pavimento se clasifica de acuerdo con la forma como se agrieta (a veces tanto que los pedazos pueden removerse).

#### **2.10.2.1 Niveles de severidad “FB”**

- L: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.
- M: Grietas medias con algo de fragmentación y desprendimiento.
- H: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde.

#### **2.10.2.2 Opciones de reparación**

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

#### **2.10.3 Fisuras longitudinales y transversales**

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

- Una junta de carril del pavimento pobremente construida.
- Contracción de la superficie de concreto asfáltico debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.
- Una grieta de reflexión causada por el agrietamiento bajo la capa de base, incluidas las grietas en losas de concreto de cemento Pórtland, pero no las juntas de pavimento de concreto.



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

#### **2.10.3.1 Niveles de severidad “FTL”**

- L: Existe una de las siguientes condiciones:
  - 1 Grieta sin relleno de ancho menor que 10.0 mm.
  - 2 Grieta rellena de cualquier ancho (con condición satisfactoria del material llenante).
  
- M: Existe una de las siguientes condiciones:
  - 1 Grieta sin relleno de ancho entre 10.0 mm y 76.0 mm.
  - 2 Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76.0 mm, rodeada grietas aleatorias pequeñas.
  - 3 Grieta rellena de cualquier ancho, rodeada de grietas aleatorias pequeñas.
  
- H: Existe una de las siguientes condiciones:
  - 1 Cualquier grieta rellena o no, rodeada de grietas aleatorias pequeñas de severidad media o alta.
  - 2 Grieta sin relleno de más de 76.0 mm de ancho.
  - 3 Una grieta de cualquier ancho en la cual unas pocas pulgadas del pavimento alrededor de la misma están severamente fracturadas.

#### **2.10.3.2 Opciones de reparación**

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

- H: Sellado de grietas. Parcheo parcial.

## 2.10.4 Baches

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

Los baches se producen cuando el tráfico arranca pequeños pedazos de la superficie del pavimento. La desintegración del pavimento progresa debido a mezclas pobres en la superficie, puntos débiles de la base o la subrasante, o porque se ha alcanzado una condición de piel de cocodrilo de severidad alta.

Con frecuencia los baches son daños asociados a la condición de la estructura y no deben confundirse con desprendimiento o meteorización. Cuando los baches son producidos por piel de cocodrilo de alta severidad deben registrarse como baches, no como meteorización.

### 2.10.4.1 Niveles de severidad

Los niveles de severidad para los huecos de diámetro menor que 762 mm están basados en la profundidad y el diámetro de los mismos, de acuerdo con la figura Si el diámetro del hueco es mayor que 762 mm, debe medirse el área en pies cuadrados (o metros cuadrados) y dividirla entre 5 pies<sup>2</sup> (0.47 m<sup>2</sup>) para hallar el número de huecos equivalentes.

Si la profundidad es menor o igual que 25.0 mm, los huecos se consideran como de severidad media. Si la profundidad es mayor que 25.0 mm la severidad se considera como alta.

**Tabla 2.2: Niveles de severidad para baches**

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

Fuente: Ingepav pavement condition index (PCI)

#### **2.10.4.2 Opciones de reparación**

- L: No se hace nada. Parcheo parcial o profundo.
- M: Parcheo parcial o profundo.
- H: Parcheo profundo.<sup>15</sup>

### **2.11 HDM-4 en la gestión de carreteras**

#### **2.11.1 Gestión de carreteras**

Al considerar las aplicaciones de HDM-4, es necesario contemplar el proceso de gestión de carreteras en cuanto a las siguientes funciones:

- Planificación
- Programación
- Preparación
- Operaciones

##### **2.11.1.1 Planificación**

La planificación comprende el análisis del sistema de carreteras en su conjunto y, típicamente, requiere la preparación de presupuestos a medio y largo plazo o estratégicos, de estimaciones de gastos de desarrollo y conservación de carreteras bajo diferentes supuestos económicos y presupuestarios. Se pueden hacer previsiones de las condiciones de redes de carreteras bajo diversos niveles de financiación en términos de indicadores clave, junto con previsiones de los gastos necesarios bajo partidas presupuestarias definidas. En la etapa de planificación, el sistema físico de carreteras normalmente se caracteriza por:

- a) Características de la red agrupadas en varias categorías y definidas por parámetros como:
  - Clase o jerarquía de la carretera

---

<sup>15</sup> Vásquez Varela L. R., (2002), Pavement condition index (Pci) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras, Manizales, Colombia.

- Flujo/cargas/congestión de tráfico
- Tipos de firme
- Estado del firme

b) Longitud de la carretera en cada categoría

c) Características del parque de vehículos que utiliza la red.

Los resultados del ejercicio de planificación son del máximo interés para quienes definen las políticas del sector, tanto en el ámbito político como en el profesional. Este trabajo lo suele realizar una unidad de planificación.

### **2.11.1.2 Programación**

La programación comprende la preparación, bajo restricciones presupuestarias, de programas de gastos y obras de varios años, en los que se seleccionan y analizan tramos de la red que necesitarán conservación, mejora o nueva construcción. Es un ejercicio de planificación táctica.

Idealmente, debería realizarse un análisis de costos-beneficios para determinar la viabilidad económica de cada conjunto de las obras. En la fase de programación, la red de carreteras física se considera itinerario a itinerario, con cada uno de ellos caracterizado por tramos de firme homogéneos definidas en términos de atributos físicos.

La actividad de programación produce estimaciones de gasto para cada año, bajo partidas presupuestarias definidas, para diferentes tipos de obras y para cada tramo de carreteras.

Los presupuestos suelen estar limitados, y uno de los aspectos clave de la programación es asignar prioridades a las obras para utilizar de forma óptima el presupuesto limitado. Las aplicaciones más típicas son la preparación de un presupuesto para un programa de obras anual o plurianual en una red o subred de carreteras.

Los profesionales de nivel directivo de una organización de carreteras son los que normalmente suelen realizar las actividades de programación, quizás con un departamento de planificación o conservación.

### **2.11.1.3 Preparación**

Ésta es la fase de planificación a corto plazo, donde los planes de carreteras aprobados se agrupan para realizarlos. En esta fase, se refinan los diseños y se preparan con más detalle; se hacen listas de cantidades y costos detallados, junto con instrucciones para las obras y contratos.

Es probable que se realicen las especificaciones y costos detallados y también se puede realizar el análisis detallado de costos-beneficios para confirmar la viabilidad del esquema final. Las obras sobre tramos de carreteras adyacentes se pueden combinar en paquetes de un tamaño que sea rentable para ejecución. Son actividades típicas de la preparación el diseño detallado de:

- a) Una definición de un refuerzo (overlay)
- b) Las obras de mejora de la carretera, por ejemplo, construcción de un nuevo trazado, ensanche de la carretera, reconstrucción del firme, etc.

Para estas actividades normalmente ya estarán aprobados los presupuestos. Las actividades de preparación las suelen realizar profesionales y técnicos de nivel medio de un departamento de diseño o implantación de una organización de carreteras y por el personal de contratación y compras.

### **2.11.1.4 Operaciones**

Estas actividades cubren la operación diaria de una organización. Las decisiones sobre la gestión de operaciones se suelen tomar de forma diaria o semanal, incluyendo la programación de las obras a realizar, la supervisión en términos de mano de obra, equipos y materiales, el registro de las obras finalizadas y el uso de esta información para supervisión y control.

Las actividades se centran normalmente en tramos o subtramos individuales de una carretera, haciéndose frecuentemente las mediciones con un nivel bastante detallado. Las operaciones las suele dirigir personal sub-profesional, como supervisores, técnicos, encargados y otros.

## 2.12 El ciclo de gestión

Tradicionalmente, en muchas organizaciones de carreteras, los presupuestos y programas de las obras se han preparado según una base histórica, donde el presupuesto de cada año se basa en el del año anterior, con un ajuste para la inflación. Bajo un régimen semejante, no hay forma de saber si los niveles de financiación o la asignación detallada son adecuados o justos. Existe claramente la necesidad de un enfoque objetivo, basado en las necesidades, que use el conocimiento del contenido, estructura y estado de las carreteras que se están gestionando.

### 2.12.1 Ciclos de las funciones de gestión

El proceso de gestión de carreteras en su conjunto puede, por lo tanto, considerarse como un ciclo de actividades que se realizan dentro de cada una de las funciones de gestión: planificación, programación, preparación y operación. La figura 2.14 describe este concepto y proporciona el marco en el que HDM-4 satisface las necesidades de una organización de gestión de carreteras.

**Figura 2.14: Ciclo de las funciones de gestión**

<b>Función de gestión</b>	<b>Descripciones comunes</b>	<b>Aplicaciones HDM-4</b>
Planificación	Sistema de análisis de estrategias	HDM-4: Análisis de estrategias
	Sistema de planificación de la red	
<b>Función de gestión</b>	<b>Descripciones comunes</b>	<b>Aplicaciones HDM-4</b>
Programación	Sistema de gestión del firme	HDM-4: Análisis del programa
	Sistema de análisis del programa	
	Sistema de gestión del firme	
	Sistema presupuestario	
Preparación	Sistema de análisis del proyecto	HDM-4: Análisis del proyecto
	Sistema de gestión del firme	
	Sistema de gestión de puentes	
	Sistema de diseño del firme/refuerzo	
Operaciones	Sistema de contratación	(No cubierto por HDM-4)
	Sistema de gestión del proyecto	
	Sistema de gestión de la conservación	
	Sistema de gestión de equipos	
	Sistema de gestión financiera/contable	

Fuente: Manual de HDM-4 Vol.1

### **2.13 Marco analítico de HDM-4**

El marco analítico de HDM-4 se basa en el concepto del análisis del ciclo de vida del firme. Éste se aplica para predecir lo siguiente, a lo largo del ciclo de vida de un firme de carreteras, que suele durar entre 15 y 40 años:

1. Deterioro de la carretera
2. Efectos de las obras de reparación
3. Efectos para usuarios de la carretera
4. Efectos socioeconómicos y medioambientales

Una vez construidos, los firmes de carreteras se deterioran como consecuencia de diversos factores, siendo los principales:

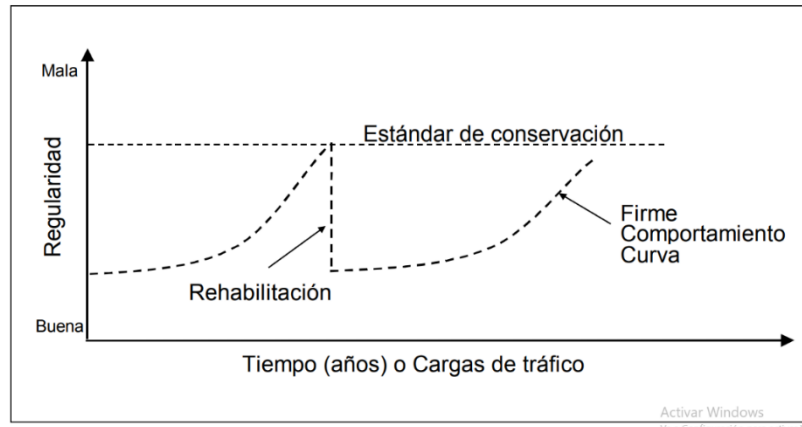
1. Cargas de tráfico
2. Efectos medioambientales
3. Efectos de sistemas de drenaje inadecuados

La tasa de deterioro del firme está directamente afectada por los estándares de conservación aplicados a reparar defectos en la superficie del firme, como fisuras, desprendimiento de áridos, baches, etc., o a conservar la integridad estructural del firme (por ejemplo, tratamientos superficiales, refuerzos, etc.), permitiendo así que la carretera soporte el tráfico para el que ha sido diseñada.

Las condiciones generales del firme a largo plazo dependen de los estándares de conservación o mejora aplicados a la carretera. La figura 2.15 ilustra las tendencias previstas en rendimiento de firmes representadas por la calidad de rodadura, que se suelen medir en términos del índice de regularidad internacional (IRI). Cuando se define un estándar de conservación, impone un límite al nivel de deterioro al que se permite que llegue el firme.

Como consecuencia, además de los costos de capital de la construcción de carreteras, los costos totales en que incurren los organismos implicados dependerán de los estándares de conservación y mejora aplicados a las redes de carreteras.

**Figura 2.15: Concepto del análisis del ciclo de vida en HDM-4**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol.1

Los impactos del estado de la carretera, así como los estándares de diseño de ésta, sobre los usuarios se miden en términos de costos y otros efectos sociales y medioambientales. Los costos para usuarios de carreteras incluyen:

**Costos de operación de vehículos.** - (combustible, neumáticos, aceite, consumo de repuestos, depreciación y utilización del vehículo, etc.).

**Costo del tiempo de viaje.** - Para pasajeros y carga.

**Costos para la economía de los accidentes de tráfico.** - (es decir, pérdida de vidas humanas, lesiones a los usuarios, daños a vehículos y otros objetos de la carretera).

Los efectos sociales y medioambientales incluyen emisiones de los vehículos, consumo de energía, ruido del tráfico y otros beneficios sociales a la población a la que dan servicio las carreteras.

Aunque los efectos sociales y medioambientales suelen ser difíciles de cuantificar en términos monetarios, se pueden incorporar en el análisis económico de HDM-4 si se cuantifican de forma exógena.

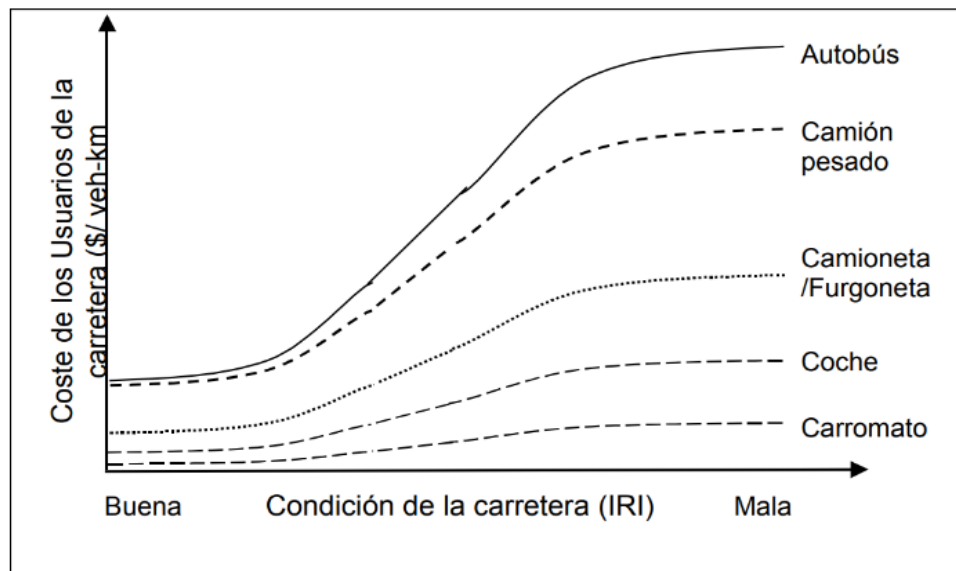
Debe notarse que en HDM-4, los efectos sobre los usuarios se pueden calcular tanto para transporte motorizado (motos, coches, autobuses, camiones, etc.) como no motorizado (bicicletas, triciclos de tracción humana, carros de tracción animal, etc.).



Los costos de usuarios de carreteras en HDM-4 se calculan prediciendo las cantidades físicas de consumo de recursos y multiplicando esas cantidades por los correspondientes costos unitarios especificados. Es necesario asegurarse de que las cantidades de recursos de vehículos previstas están en línea con la gama de valores observados en el área de aplicación.

Los beneficios económicos de las inversiones en carreteras se determinan luego comparando los flujos totales de costos para las distintas las obras y alternativas de construcción con un caso base (sin proyecto o mínimos) que normalmente representa el estándar mínimo de conservación rutinario. HDM-4 está diseñado para hacer estimaciones de costos comparativas y análisis económicos de diferentes opciones de inversión. Estima los costos de un gran número de alternativas año a año, para un período de análisis definido por el usuario. Todos los costos futuros se descuentan al año base especificado. Para hacer estas comparaciones, se necesitan especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con costos unitarios, volúmenes de tráfico previstos y condiciones medioambientales.

**Figura 2.16: Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación de vehículos para terreno ondulado**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol.1

## **2.14 Aplicaciones HDM-4**

### **2.14.1 Análisis de estrategias**

El concepto de la planificación estratégica de gastos en redes de carreteras a medio y largo plazo exige que la organización tenga en cuenta las necesidades de toda su red de carreteras. De esa forma, el análisis estratégico abarcará redes completas o subredes gestionadas por una única organización.

Define el procedimiento a seguir para el análisis de estrategias. Se especifica todo lo relacionado al análisis de una red seleccionada, identificada como una unidad, para la cual se prepara un plan presupuestado de las necesidades de fondos para su desarrollo y conservación bajo diferentes escenarios financieros. Los presupuestos se producen a base del requerimiento de fondos en periodos de medio a largo plazo entre 5 y 40 años.

### **2.14.2 Análisis de programa**

Trata principalmente sobre la asignación de prioridades a una larga lista definida de proyectos de carreteras candidatos para un programa de obras de uno o más años bajo restricciones presupuestarias definidas. Es esencial tener en cuenta que aquí tratamos con una larga lista de proyectos candidatos, seleccionados como segmentos discretos de una red.

Describe el concepto de análisis de programa. Presenta la opción de preparar un programa a largo plazo para una red de carreteras en la cual las fuentes de inversión están identificadas y seleccionadas, pendientes solamente de su obligación. La red de carreteras se analiza tramo a tramo y los presupuestos se producen a partir de los trabajos seleccionados y su requerimiento de fondos para cada uno en cada año durante el periodo de consolidación.

### **2.14.3 Análisis de proyecto**

El análisis de proyecto tiene relación con lo siguiente: evaluación de uno o más proyectos de carreteras u opciones de inversión. La aplicación analiza un itinerario o tramo de carretera con los tratamientos seleccionados por usuario, con los costos y

beneficios asociados, proyectados anualmente a lo largo del período del análisis. Los indicadores económicos vienen determinados por las diferentes opciones de inversión. Se puede usar el análisis de proyecto para estimar la viabilidad económica o técnica de los proyectos de inversión en carreteras, considerando los puntos siguientes:

Se puede usar el análisis de proyecto para estimar la viabilidad económica o técnica de los proyectos de inversión en carreteras, considerando los puntos siguientes:

- Comportamiento estructural de los firmes.
- Previsiones de ciclo de vida del deterioro de la carretera, efectos y costos de las obras.
- Costos y beneficios de los usuarios.
- Comparaciones económicas de las alternativas al proyecto.

Los proyectos de análisis típicos incluyen la conservación y rehabilitación de carreteras existentes, modelos de ampliación en ancho y mejoras geométricas, mejora de firmes y nueva construcción. No hay cambios fundamentales a la filosofía del sistema en esta área, pero se han mejorado los modelos de deterioro de carreteras, que se han ampliado hasta cubrir una gama más amplia de firmes y el comportamiento de materiales en climas templados y fríos. Las relaciones de costos de usuarios incluyen los impactos sobre la seguridad de las carreteras.

### **2.15 Módulos de HDM-4**

Las tres herramientas de análisis (estrategia, programa y proyecto) operan sobre datos definidos en uno de cuatro gestores de datos:

**Red de carreteras:** Define las características físicas de tramos de carretera en una red o subred que se va a analizar.

**Parque de vehículos:** Define las características del parque de vehículos que operan en la red de carreteras que se va a analizar.

**Obras:** Define estándares de conservación y mejora, junto con sus costos unitarios que serán aplicados a los distintos tramos de la carretera a analizar.

**Configuración de HDM-4:** Define los datos por defecto que se usarán en las aplicaciones.<sup>16</sup>

### **Análisis del ciclo de vida**

El concepto general del análisis del ciclo de vida se ilustra en la figura 2.17. Los grupos de costes relacionados con los que incurre la administración de la carretera, se añaden, repartidos en el periodo, como valores actuales descontados.

Los costes se determinan definiendo las cantidades físicas del consumo de recursos y multiplicando, estas cantidades, por sus costes unitarios o precios. Los beneficios económicos se determinan comparando el total de los flujos de los costes de las diferentes alternativas de conservación y construcción.

El análisis técnico en el HDM-4 se realizará usando cuatro modelos:

**RD (Deterioro de la carretera):** Predice el deterioro del firme en carreteras asfaltadas, de hormigón y no pavimentadas.

**WE (Efecto de las obras):** Simula los efectos de las obras en el estado del firme y determina los costos correspondientes.

**RUE (Efectos para los usuarios):** Determina los costos de operación de vehículos, accidentes y tiempo de viaje.

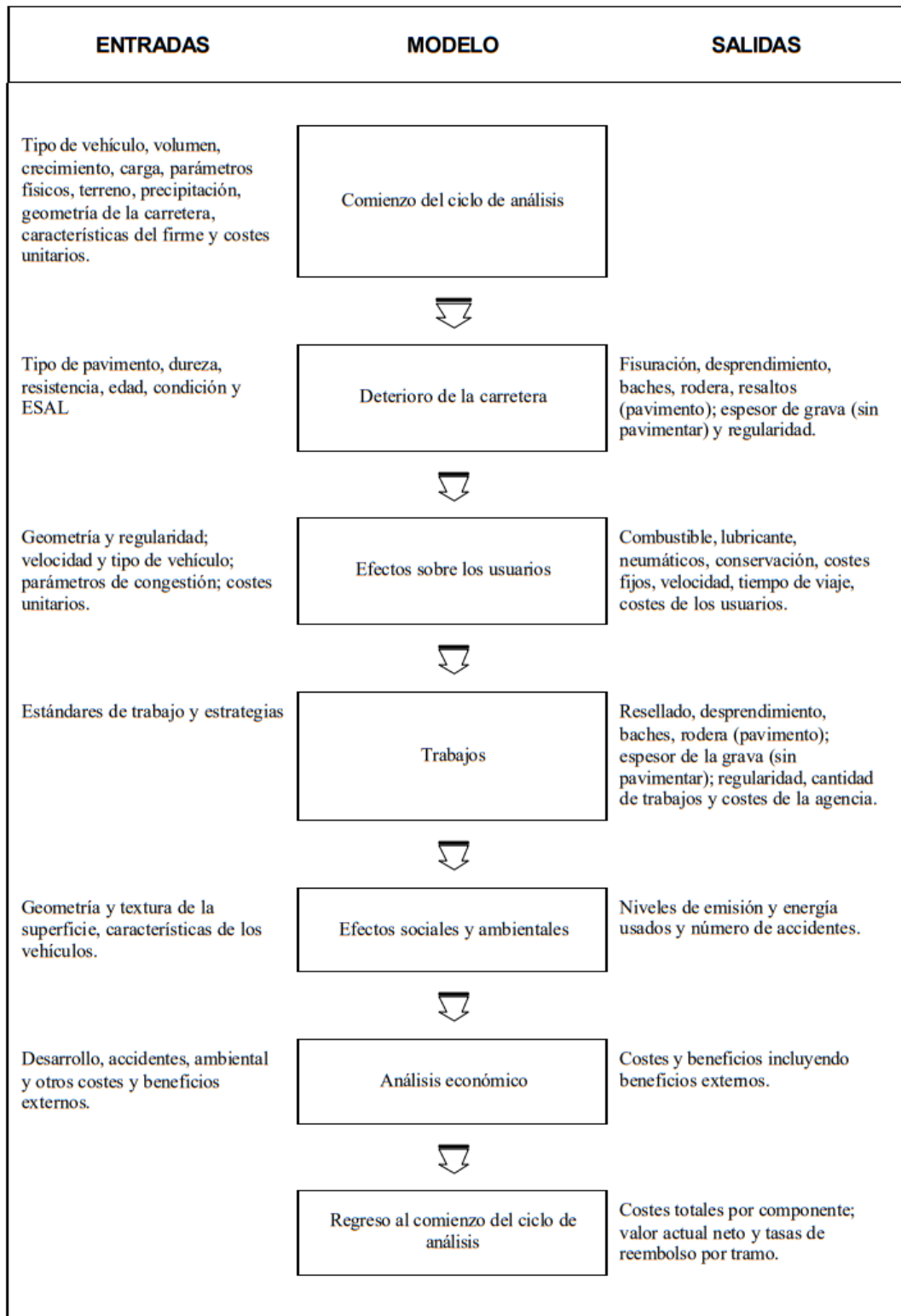
**SEE (Efectos sociales y medioambientales):** Determina los efectos de las emisiones de vehículos y el consumo de energía.

El HDM-4 estima los costos para un gran número de alternativas año por año, para un periodo de análisis definido por el usuario del software, descontando los costos futuros. Tasas de reembolso, valor actual neto y beneficios del primer año se pueden determinar también por el software HDM-4.

---

<sup>16</sup> International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), (2000) Visión General de HDM-4, volumen 1, Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), París y el Banco Mundial, Washington.

**Figura 2.17: Análisis de ciclo de vida usando HDM-4**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol.1

Para poder desarrollar estas comparaciones, son necesarias especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, así como costos unitarios.<sup>17</sup>

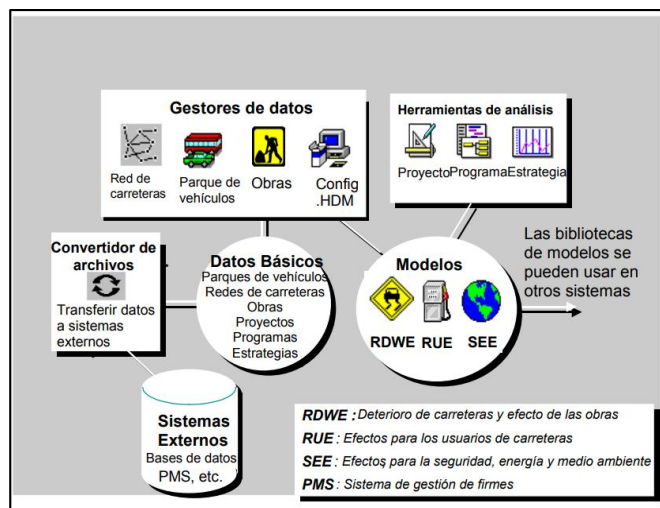
Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para construcción, las obras y operación de vehículos, se aplican los precios y costos unitarios especificados por los usuarios para determinar los costos financieros y económicos. El sistema HDM-4 está diseñado para interactuar con sistemas externos como:

**Bases de datos.** -Sistemas de información de redes de carreteras, sistemas de gestión de firmas, etc. a través de archivos intermedios de importación/exportación.

**Modelos técnicos.** -Accedidos directamente por sistemas externos para aplicaciones de investigación u otros estudios.

El diseño del sistema tiene una estructura modular para permitir a los usuarios implantar independientemente los módulos HDM-4 en sus sistemas de gestión de carreteras.<sup>18</sup>

**Figura 2.18: Arquitectura del sistema HDM-4**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol.1

<sup>17</sup> International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), (2000), Guía de aplicaciones de HDM-4, volumen 2, Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), París y el Banco Mundial, Washington.

<sup>18</sup> <https://dl-manual.com/doc/hdm4-manual-de-analisis-7o9dp9rndnkv>

## **2.15.1 Necesidades de datos**

### **2.15.1.1 Visión general**

Las aplicaciones HDM-4 han sido diseñadas para trabajar con una amplia gama de tipos y calidades de datos. Por ejemplo, los datos del estado del firme recogidos en inspecciones visuales según las distintas condiciones (por ejemplo, muy buena, buena, regular o mala) se pueden convertir a las necesidades del modelo HDM-4 antes de ejecutar cualquiera de las aplicaciones.

De forma similar, HDM-4 puede trabajar con medidas detalladas del estado del firme, si se dispone de los datos. Esta flexibilidad en los datos requeridos debe permitir a todos los usuarios potenciales con datos distintos integrar HDM-4 en sus funciones de gestión de carreteras.

### **2.15.1.2 Configuración de HDM-4**

Como HDM-4 se utilizará en muy distintos entornos, la configuración de HDM proporciona funciones para personalizar la operación del sistema y para reflejar la normativa habitual en el entorno estudiado.

Los datos por defecto y los coeficientes de calibración se pueden definir de manera flexible para minimizar la cantidad de datos que se deben cambiar para cada aplicación de HDM-4.

Con HDM-4 se suministran valores por defecto, pero todos ellos los puede definir el usuario del software y se proporcionan funciones para poder modificarlos. El conjunto de herramientas de HDM-4 se pueden usar como módulos adicionales a los actuales sistemas de gestión de firmes.

### **2.15.1.3 Redes de carreteras**

Redes de carreteras proporciona las funciones básicas para almacenar las características de uno o más tramos de carretera. Permite a los usuarios definir diferentes redes y subredes y definir tramos, que es la unidad fundamental de análisis.

Las entidades de datos permitidas en la red de carreteras son:

- **Tramos**

Tramos de carretera en los que las características físicas son razonablemente constantes.

- **Itinerarios**

Comprenden uno o más tramos en los que el tráfico es razonablemente constante. Esto se ofrece para propósitos de compatibilidad de la red, referenciando el sistema con sistemas existentes de gestión de firmes.

- **Nodos**

Intersecciones que conectan itinerarios u otros puntos en los que hay un cambio significativo en el tráfico, en las características de los vehículos o en los límites administrativos.

Todos los datos de la red se introducen usando la carpeta red de carreteras y también existen funciones para edición, borrado y mantenimiento de estos datos.

#### **2.15.1.4 Parques de vehículos**

Parques de vehículos proporciona funciones para almacenamiento y recuperación de las características de vehículos necesarias para calcular velocidades, costos de operación, costos de tiempos de viaje y otros efectos.

Se incluyen vehículos a motor y no motorizados. Se pueden definir diversos juegos de Parques de vehículos para usarlos en diferentes análisis, suministrándose una amplia gama de datos por defecto.

#### **2.15.1.5 Obras**

Estándares de obras se refiere a los objetivos o niveles de condiciones y respuesta que se propone conseguir una organización de gestión de carreteras.

Las organizaciones de carreteras suelen definir diferentes estándares que se pueden aplicar en situaciones prácticas para satisfacer objetivos concretos que están relacionados con las características funcionales del sistema de la red de carreteras.

La carpeta obras proporciona funciones, dentro de un marco flexible, para definir una lista de estándares de conservación y mejora que son observados por organizaciones de



carreteras en la gestión de su red y en actividades de desarrollo. Los estándares definidos en la carpeta Estándares de obras se pueden usar en cualquiera de las tres herramientas de análisis:

- Análisis de proyecto
- Análisis de programa
- Análisis de estrategias

#### **2.15.1.6 Importación y exportación de datos**

Los atributos físicos de los objetos de datos seleccionados se deben exportar a un formato de archivo para intercambio de datos definido para HDM-4. Esto permite importar directamente desde cualquier base de datos todos los datos requeridos por HDM-4.

La conservación del firme incluye la realización de aquellas actividades necesarias para contrarrestar el deterioro de la carretera y para disminuir los costos. Debe permitir mantener la carretera en condiciones óptimas para su utilización permanente.

En esta categoría se incluye: la conservación rutinaria, que comprende actuaciones que se realizan todos los años, la conservación periódica, que incluye actuaciones planificadas para ser realizadas a intervalos de varios años y actuaciones especiales, definidas como aquellas cuya frecuencia no se especifica con anterioridad.<sup>19</sup>

#### **2.16 Análisis económico**

El análisis económico del flujo de costos y beneficios se utiliza para comparar la viabilidad económica de las diferentes alternativas. También proporciona criterios que ayudan a la hora de tomar decisiones sobre las alternativas más adecuadas.

Asimismo, el análisis económico se puede aplicar, también, para determinar cómo los estándares técnicos y las estrategias de actuación influyen en el comportamiento del firme a lo largo de su vida útil. El análisis incluye las siguientes fases:

1. Formulación de las alternativas y estándares de conservación.

---

<sup>19</sup> International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), (2000) Visión General de HDM-4, volumen 1, Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), París y el Banco Mundial, Washington.

2. Identificación y cuantificación de los costos y beneficios en los que se incurrirá a lo largo de la vida útil de la carretera.
3. Modelización de los impactos futuros sobre la carretera y sobre el flujo del tráfico de las alternativas.
4. Evaluación económica de las diferentes alternativas.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> Núñez Cuaresma C., Pérez Pérez I., (2005), El modelo HDM-4: descripción y posibilidades de aplicación dentro de un sistema de gestión de carreteras, Universidad da Coruña. E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Coruña, España.

## CAPÍTULO III

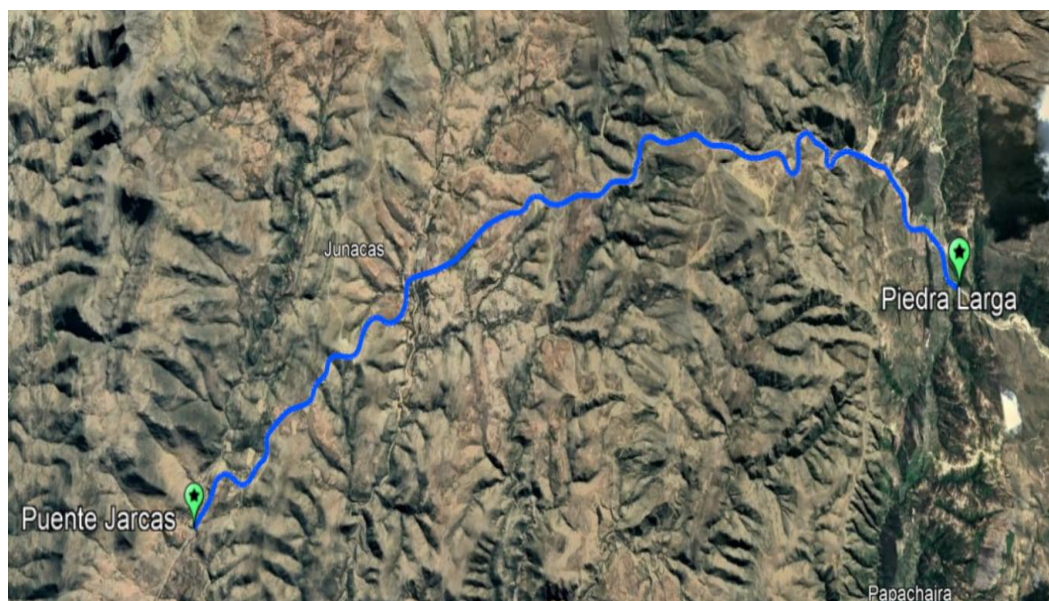
### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1 Ubicación

El tramo en estudio, se realizó en la provincia O'Connor del departamento de Tarija – Bolivia.

Geográficamente el proyecto inicia en el Puente Jarcas con las coordenadas 21°27'23.12" de latitud sur y 64°29'45.46" de longitud oeste; pasa por las comunidades de Junacas y Condor; y finaliza en la comunidad de Piedra Larga con las coordenadas 21°26'22.46" de latitud sur y 64°23'19.84" de longitud oeste.

**Figura 3.1: Ubicación específica del tramo en estudio**



Fuente: Elaboración propia

#### 3.2 Características del tramo en estudio

El proyecto de asfaltado Puente Jarcas-Piedra Larga km 9+504,60 a 24+840,60; se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, y une a dos provincias Cercado y O'Connor, de los municipios de Tarija y Entre Ríos respectivamente.

El municipio de Tarija se encuentra ubicado en la parte central del departamento de Tarija, el cual está ubicado al sur de Bolivia, entre los paralelos 21° 14' 30'' y 21° 46' 54'' de latitud sur y entre los meridianos 64° 23' 54'' y los 64° 59' 11'' de longitud oeste.

El municipio de Entre Ríos, se encuentra ubicado en la parte central del departamento de Tarija, entre las coordenadas 20° 51' 57'' y 21° 56' 51'' de latitud sud y 63° 40' 23'' y 64° 25' 6'' de latitud oeste.

El área de influencia directa del proyecto está conformada por las comunidades de Junacas sud – Junacas Norte - Piedra Larga, España Sud, España Norte, Polla, Morro Gacho, Capilla Candelaria y el Cóndor.

### 3.2.1 Características geométricas del tramo

**Tabla 3.1: Características geométricas Puente Jarcas-Piedra Larga**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Longitud	15	km	Administradora Boliviana de Carreteras
Calzada	7,3	m	Administradora Boliviana de Carreteras
Berma	1,5	m	Administradora Boliviana de Carreteras

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Características estructurales del tramo

**Tabla 3.2: Características estructurales “espesores” Puente Jarcas-Piedra Larga**

<b>Capa de la calzada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Espesor base	20	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Espesor subbase	30	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Espesor subrasante	55	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Espesor asfáltico	6	cm	Administradora Boliviana de Carreteras

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.3: Características estructurales “CBR” Puente Jarcas-Piedra Larga**

<b>Características de la calzada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
CBR base	80	%	Administradora Boliviana de Carreteras
CBR subbase	40	%	Administradora Boliviana de Carreteras
CBR subrasante	18	%	Administradora Boliviana de Carreteras

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.4: Características estructurales “dimensiones” Puente Jarcas-Piedra Larga**

<b>Capa de la berma</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Carpeta asfáltica	3.0	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Capa base granular	20.0	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Capa sub base granular	25.0	cm	Administradora Boliviana de Carreteras
Ancho de la berma	150	cm	Administradora Boliviana de Carreteras

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.5: Características estructurales Puente Jarcas-Piedra Larga**

<b>Geometría del tramo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Fuente</b>
Rampas + pendientes	80	m/km	Administradora Boliviana de Carreteras
Curvatura horizontal media	500	°/km	Administradora Boliviana de Carreteras
Velocidad límite	60	km/h	Administradora Boliviana de Carreteras
Altitud	2445	msnm	Administradora Boliviana de Carreteras

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.6: Resumen de datos del tramo**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>GEOMETRÍA</b>		
Longitud	km	15
Ancho de calzada	m	7.3
Ancho de arcén	m	1.5
Rampas + pendientes	m/km	80
Curvatura horizontal media	°/km	500
Velocidad límite	km/h	60
N° de carriles		2
<b>MEDIO AMBIENTE</b>		
Altitud	m	2445
Precipitación media	mm	50
Temperatura media	°C	18
Rango temperatura media	°C	13
<b>SUPERFICIE</b>		
Espesor capa nueva	mm	60
<b>BASE/SUBRASANTE</b>		
CBR subrasante	%	18
CBR subbase	%	40
CBR base	%	80
Espesor capa base	cm	20
Espesor capa subbase	cm	25
<b>RESISTENCIA</b>		
N° estructural		2.453
<b>FACTORES DE DETERIORO</b>		
Regularidad	m/km	1.52
Área total fisurada	%	3
Textura	mm	0.70
Rozamiento	km/h	0.50
Progresión de grietas	%	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Parámetros de entrada en el tramo

#### 3.3.1 Evaluación del estado de la carretera

Se realizó las condiciones en las que se encuentra la carretera Puente Jarcas-Piedra Larga se procedió a la inspección e inventario. El objetivo de estas visitas es obtener más información sobre la carretera existente, para así poder identificar las áreas de mayor preocupación del tramo en estudio. Durante estas visitas es importante utilizar los elementos de seguridad necesarios para evidenciar la presencia del equipo de inspección en el tramo y permitir una circulación segura en el sitio.

#### 3.3.2 Evaluación del índice de condición del pavimento flexible-PCI

El método índice de condición del pavimento (PCI) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación. En toda estructura de pavimento los deterioros que son producidos por la acción de las cargas del tráfico, clima y otros se pueden clasificar de acuerdo a su clase, severidad y cantidad presente, esta metodología se desarrolló para obtener un Índice de integridad estructural del pavimento tiene rangos de calificación de 0 a 100 en donde 0 es malo y 100 es excelente para evaluar tramos de vía. El tramo de la vía se divide en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura: Para carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ . En el Tabla “” se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

**Tabla 3.7: Longitudes de unidades de muestreo asfálticas**

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

Fuente: Vásquez (2002)

El tramo cuenta con 15+000 km en su totalidad, con un ancho de calzada de 7,30 m, por el cual se dividirá cada 31,5 m, para tener mejores resultados del ensayo.

El procedimiento en campo consiste en inspeccionar el tramo en estudio con la finalidad de determinar el porcentaje de áreas del pavimento afectado o dañado, identificando la clase, severidad y cantidad de áreas con fallas. Para tomar el registro de los datos correspondientes a los daños del pavimento durante la inspección visual, se desarrolla un formato que permita registrar los tipos de deterioros especificando cada daño con su severidad y dimensiones características (longitud, ancho o radio), para calcular las áreas dañadas, las dimensiones de las fallas se miden con flexómetro o wincha métrica.

Este procedimiento se repetirá en todas las secciones del tramo en estudio, una vez finalizada la inspección de tramo se realizar sus respectivos cálculos en gabinete. A continuación, se muestra la tabla del resultado del PCI, el procedimiento detallado de la práctica se ilustra en el anexo 1.

**Tabla 3.8: Índice de condición del pavimento (PCI)**

<b>Tramo en estudio</b>	<b>PCI</b>	<b>Grado de condición</b>
Puente Jarcas - Piedra Larga	99	Excelente

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.3 Evaluación del índice de rugosidad internacional del pavimento flexible-IRI**

El método de merlín consiste en realizar 200 lecturas en 400 metros aproximadamente, para la ejecución de la práctica se necesitó de 3 personas, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas, un auxiliar que anote las lecturas y un ayudante colocando los conos de seguridad para prevenir a los conductores la zona de la práctica.

Para los 15 km de longitud se puede tener un número grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables, por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

El número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación N°1, la cual produce un estimado de numero de muestreos  $\pm 10$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 90%.



$$n = \frac{N * \sigma^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N-1) + \sigma^2} \quad \text{Ecuación N}^\circ 1$$

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

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

e= Error admisible en el estimativo de la sección (e = 10%)

$\sigma$ = Desviación estándar para pavimento asfáltico “10” entre las unidades.

Longitud del tramo = 15000 m.

Longitud de muestra = 400 m; 200 observaciones.

Nº de muestreos = 15000/400 = 37,5  $\approx$  38

$$n = \frac{38 * 10^2}{\left(\frac{10^2}{4}\right) * (38-1) + 10^2}$$

$$n = 3.707 \approx 4$$

Para los 15 km del tramo de puente jarcas – piedra larga, se realizará 4 unidades de muestreo con una confiabilidad del 90%.

El tramo cuenta con 15+000 km, se realizaron en la totalidad del tramo cuatro tramos de muestreo, el primer tramo en la progresiva 0+000 a 0+400, el segundo tramo en la progresiva 4+500 a 4+900, el tercer tramo en la progresiva 9+000 a 9+400 y el cuarto tramo en la progresiva 14+600 a 15+000, cada tramo se realizó de ida y vuelta.

El segundo tramo se realizó con una distancia del primero con 4,1 km, el tercero tramo con una distancia del segundo con 4,1 km y por último el cuarto tramo con una distancia del tercero con 5,2 km. Para determinar el valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las irregularidades que presenta el pavimento, cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la

posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.

Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia, en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda, en cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar.

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

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta, la que debe quedar siempre en contacto con el piso, eso facilitara la labor del operador quién una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso. A continuación, se muestra la tabla del resultado del IRI, en el anexo 2 se muestra el procedimiento detallado de la práctica.

**Tabla 3.9: Índice de rugosidad internacional (IRI)**

<b>Tramo en estudio</b>	<b>Tramo</b>	<b>IRI(m/km)</b>	<b>Calificación</b>
Puente Jarcas - Piedra Larga	Ida	1,60	Excelente
	Vuelta	1,43	Excelente
	Promedio	1,52	Excelente

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Evaluación del índice de serviciabilidad presente del pavimento flexible-PSI

Para evaluar la serviciabilidad del pavimento se emplea el parámetro denominado índice de serviciabilidad presente (PSI), el cual establece la condición funcional o capacidad de servicio actual del pavimento. El Índice de Serviciabilidad de Pavimento (PSI) tiene como propósito dar un valor de nivel de confort y seguridad con la que cuenta un pavimento con respecto al desplazamiento natural y normal de los vehículos. La determinación del PSI tiene un nivel de 0 a 5, en donde un valor 0 significa que el pavimento se encuentra en muy mal estado y un valor de 5, que se encuentra en muy buen estado (Cedeño Cevallos, 2014), tal como se muestra la tabla 3.10.

**Tabla 3.10: Clasificación del índice de serviciabilidad presente**

Índice de Serviciabilidad (PSI)	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Fuente: Cedeño Cevallos (2014).

En el anexo 3 se muestra el procedimiento detallado.

**Tabla 3.11: Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

Tramo en estudio	Tramo	PSI	Grado de condición
Puente Jarcas - Piedra Larga	Ida	3,51	Buena
	Vuelta	3,62	Buena

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Características del tráfico vehicular del pavimento flexible

La proyección del tráfico consiste en la predicción del tránsito futuro en la red del proyecto. Para el proyecto se estableció el TPDA actual y se proyectó con el índice de crecimiento 7.79% que fue obtenida mediante un análisis de crecimiento con los datos del instituto nacional de estadística (INE), procedimiento de ejecución en anexo 4, estimándose el tráfico futuro de la carretera. En el anexo 5 se muestra el procedimiento detallado.

**Tabla 3.12: Resumen tráfico promedio diario anual (TPDA) año 2022**

Resumen	TPD		Total
	Sentido		
	A	B	A+B
Viernes	589	739	1.328
Sábado	560	577	1.137
Domingo	405	443	848
Lunes	428	591	1.019
Martes	453	527	980
Miércoles	445	575	1.020
Jueves	402	530	932
TPD	469	569	1038

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.13: Tráfico promedio diario anual (TPDA)**


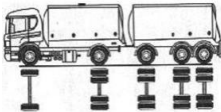

Año	N°	Livianos			Buses			Camiones					Motos	Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		7,79%												
2022	0	245	152	50	33	69	68	110	101	94	38	45	33	1038
2023	1	264	164	54	36	74	73	119	109	101	41	49	36	1120
2024	2	284	177	58	38	80	79	128	117	109	44	52	38	1204
2025	3	306	190	63	41	86	85	138	126	118	48	56	41	1298
2026	4	330	205	67	45	93	92	148	136	127	51	61	45	1400
2027	5	356	221	73	48	100	99	160	147	137	55	65	48	1509
2028	6	384	238	78	52	108	107	173	158	147	60	71	52	1628
2029	7	414	257	85	56	117	115	186	171	159	64	76	56	1756
2030	8	446	277	91	60	126	124	200	184	171	69	82	60	1890
2031	9	481	299	98	65	136	134	216	198	185	75	88	65	2040

Fuente: Elaboración propia

El levantamiento de información por medio de los aforos vehiculares clasificados durante 7 días las 24 horas en la tranca existente en Abra el Cóndor con ubicación en coordenadas E=352312.4491, N=7630464.3669 y Z=2684.62 mts, con la finalidad de poder relacionar los datos del conteo y la clasificación vehicular que circula por el actual camino en función de orígenes y destinos, su correspondiente ahorro en tiempo y costos de operación vehicular.

**Tabla 3.14: Composición del parque vehicular en el tramo**

Tipo de vehículo	Descripción del vehículo	Número de ejes	Número de llantas	Peso máximo del vehículo (Tn)
Vagoneta		2	4	2
Camioneta		2	4	1,8
Minibús		2	4	1,5
Microbús		2	4	1,5
Bus mediano		2	6	6
Bus grande		3	10	13
Camión mediano		2	4	7,5
Camión grande dos ejes		2	6	18
Camión grande tres ejes		3	10	25

Camión semirremolque		6	22	45
Camión con remolque		5	18	40
Motocicleta		2	2	0,2

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.15: Tasa de crecimiento vehicular y composición del tráfico**

Tipo de vehículo	Composición inicial del tráfico (%)	Crecimiento anual vehicular (%)
Vagoneta	23,51	7,79
Camioneta	14,63	7,79
Minibús	4,78	7,79
Microbús	3,18	7,79
Bus mediano	6,65	7,79
Bus grande	6,57	7,79
Camión mediano	10,64	7,79
Camión grande dos ejes	9,76	7,79
Camión grande tres ejes	9,02	7,79
Camión semirremolque	3,69	7,79
Camión con remolque	4,38	7,79
Motocicleta	3,19	7,79

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Alternativas y estándares de conservación

Los estándares de conservación, junto con sus precios unitarios que serán aplicados en el tramo en estudio de la carretera a analizar. Se realizó los precios unitarios de los tipos de mantenimiento ver anexo 6.

#### 3.5.1 Mantenimiento rutinario

Actividades que requieren ser ejecutadas una o más veces por año en una sección de la carretera. Por lo general se refieren a reparaciones localizadas de pequeños defectos en la calzada, pero muy dispersas. Las necesidades de estas actividades pueden hasta cierto grado ser estimadas y planificadas.

Mantenimiento de rutinaria, consistente en reparar los sellados de grietas, etc. inmediatamente cuando se necesite. Para el proyecto se realizará un mantenimiento rutinario de sellado de fisuras y sellado de grietas.

**Tabla 3.16: Alternativa 1 mantenimiento rutinario**

Categoría	Clase	Tipo	Actividad/Operación
Estándares de conservación	Mantenimiento rutinario	Sellado de grietas	El mantenimiento de sellado de grietas de ancho mayor a 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, costo económico unitario 1,13 \$us costo financiero unitario 1,33 \$us.
		Sellado de fisuras	El mantenimiento de sellado de fisuras de ancho máximo 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, costo económico unitario 0,83 \$us costo financiero unitario 0,97 \$us.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.2 Mantenimiento periódico

Acciones que se requieren ocasionalmente, superior a un año en una carretera y sus elementos conexos y que, en cierta medida, se pueden programar con antelación, debido a que son determinadas principalmente por el tránsito y las condiciones meteorológicas.

Mantenimiento periódico, consiste en sellar firmes con deterioros observados en la superficie (es decir, grietas, desmoronamiento de bordes, baches, rotura de arcenes, etc.).

Para el proyecto se realizará un mantenimiento periódico de sellado de fisuras, sellado de grietas, bacheo superficial y bacheo profundo.

**Tabla 3.17: Alternativa 2 mantenimiento periódico**

<b>Categoría</b>	<b>Clase</b>	<b>Tipo</b>	<b>Actividad/Operación</b>
Estándares de conservación	Mantenimiento periódico	Sellado de grietas	El mantenimiento de sellado de grietas de ancho mayor a 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, costo económico unitario 1,13 \$us costo financiero unitario 1,33 \$us.
		Sellado de fisuras	El mantenimiento de sellado de fisuras de ancho máximo 3 mm aparecidas en la superficie del pavimento, costo económico unitario 0,83 \$us costo financiero unitario 0,97 \$us.
		Bacheo superficial	El mantenimiento periódico de bacheo costo económico unitario 48,58 \$us costo financiero unitario 57,32 \$us.
		Bacheo profundo	El mantenimiento periódico de bacheo costo económico unitario 66,73 \$us costo financiero unitario 78,74 \$us.

Fuente: Elaboración propia

### **3.6 Aplicación del HDM-4 en el tramo de estudio**

#### **3.6.1 Proceso de análisis de proyecto**

- Instalación de HDM-4
- Ejecución de HDM-4
- Configuración de HDM-4
- Redes de carreteras
- Parque de vehículos
- Estándares de mantenimiento
- Análisis de proyecto

##### **3.6.1.1 Instalación de HDM-4**

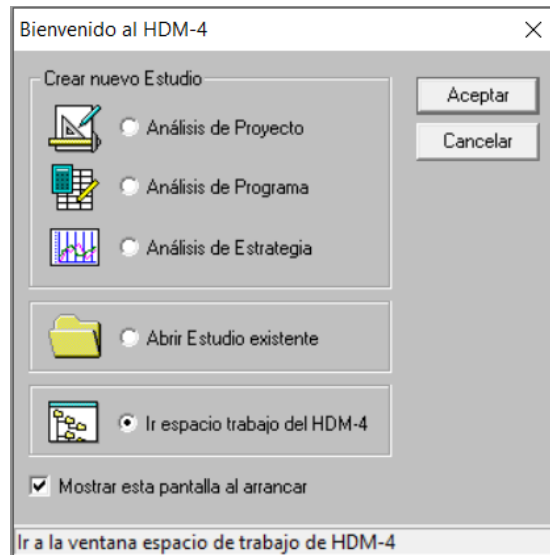
Esta sección explica cómo instalar el programa HDM-4 en su PC. Se puede haber conseguido el programa en CD-ROM suministrado por un distribuidor o descargándolo desde Internet.



### 3.6.1.2 Ejecución de HDM-4

La pantalla de bienvenida está diseñada para familiarizarle con los conceptos y características de HDM-4.

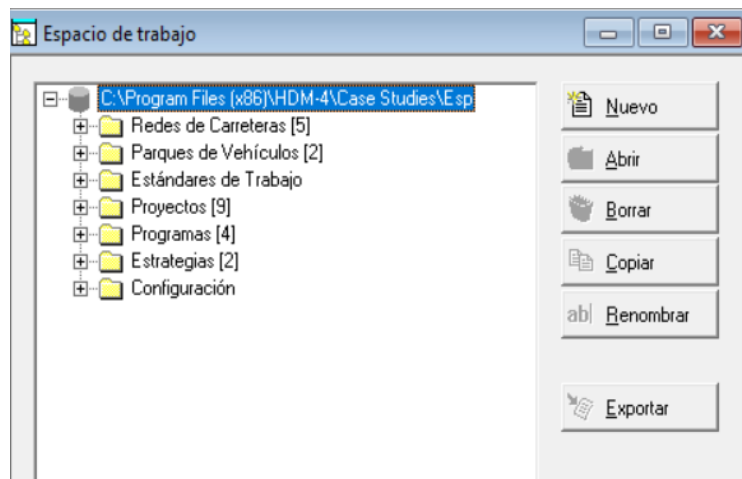
**Figura 3.2: Pantalla de bienvenida HDM-4**



Fuente: Elaboración propia

En espacio de trabajo donde se puede acceder a todas las características de HDM-4. La ventana del espacio de trabajo es el núcleo de HDM-4. Las carpetas están ubicadas a la izquierda y los botones a la derecha.

**Figura 3.3: Espacio de trabajo**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.3 Configuración de HDM-4

La configuración se divide en tres tipos de grupos:

#### 3.6.1.3.1 Modelo de tráfico

Se usan para representar las diferentes intensidades del tráfico que ocurren en las carreteras a lo largo del día. Los distintos tramos de la carretera presentan diferentes patrones de la intensidad del tráfico según sea su uso.

Un período de flujo representa, las horas del día (a través de un año) con la misma intensidad de tráfico. Se determinó un patrón de intensidad de tráfico con el nombre de tráfico proyecto para el tipo de carretera interurbano.

**Figura 3.4: Modelo de tráfico**

Patrón de intensidad de tráfico: MODELO DE TRAFICO PUENTES JARCAS-PIEDRA LARGA

Definición

Nombre: MODELO DE TRAFICO PUENTES JARCAS-PIEDRA LARGA

Uso de la carretera: Interurbano

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
		8760.00		100.00

Añadir periodo

Borrar periodo

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

Nombre de este modelo de tráfico

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.3.2 Tipo de velocidad/capacidad

La función principal de la relación capacidad-velocidad es representar las características de la capacidad de los diferentes tipos de carretera.

Se seleccionó tipo de carretera: carretera de dos carriles, la selección de un tipo de carretera del menú desplegable produce que los parámetros de la relación capacidad-velocidad se sobre escriban con los predefinidos apropiados.

**Figura 3.5: Tipo de velocidad/capacidad**

The image shows a software dialog box titled "Tipo de velocidad/capacidad: TIPO DE VELOCIDAD PUENTE JARCA...". The dialog contains several sections for configuring parameters:

- Nombre:** A text field containing "VELOCIDAD PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA".
- Capacidad:** A section with a dropdown menu for "Tipo de carretera" set to "Carretera de dos carriles". Below it are input fields for:
  - 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 nº/ 100 millones veh-km):** A section with two radio buttons:
  - por composición: Mortal: 0, Heridos: 0, Solo daños: 0
  - total: Todos los accidentes: 0
- Relativo a la velocidad:** A section with input fields for:
  - amax: 0,65 m/s<sup>2</sup>
  - CALBFAC: 1
  - Factor multiplicación velocidad deseada: 1

At the bottom of the dialog, there is a label "Etiqueta de tipo de velocidad/capacidad". On the right side, there are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Por defecto...".

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.3.3 Zona climática

Las zonas climáticas se usan para representar las condiciones del clima en las diferentes partes de la red de carreteras. Los datos que representan estas condiciones afectan al deterioro del firme. En el proyecto presenta un clima semiárido, con temperatura 18°C.

Los datos de las zonas climáticas se dividen en dos categorías: humedad y temperatura para el tramo en estudio se determinó humedad Semiárido, temperatura Subtropical-frío.

**Figura 3.6: Zona climática**

The screenshot shows a software window titled "Zona climática: CLIMA PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Clima:** A section containing the following fields:
  - Nombre: CLIMA PUENTE JARCAS-PIEDRA
  - Clasificación por humedad: Semiárido (dropdown menu)
  - Índice de humedad: -40
  - Duración estación seca: 0,75 (como parte de un año)
  - Precipitación media mensual: 50 mm
  - Clasificación temperatura: Subtropical · frío (dropdown menu)
  - Temperatura media: 18 °C
  - Rango temperaturas medias: 13 °C
  - Días T>32°C: 30 días
  - Índice de helada: 0 °C-día
- Porcentaje de tiempo que se conduce:** A section containing:
  - Carreteras cubiertas nieve: 0 (with formula 0<=PCTDS<=100)
  - Carreteras cubiertas agua: 15 (with formula 0<=PCTDW<=100)
- Buttons:** A vertical stack of three buttons on the right: "Aceptar", "Cancelar", and "Por defecto...".
- Footer:** A label "Nombre de esta zona climática" at the bottom of the window.

Fuente: Elaboración propia

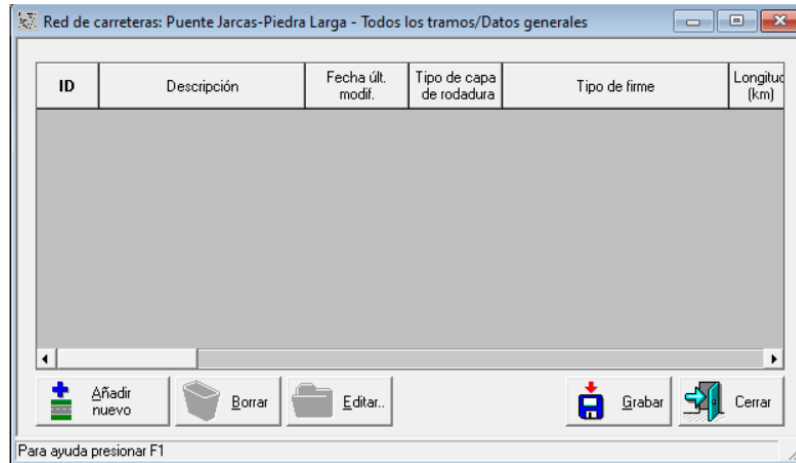
Los datos que se definieron antes del estudio a la base de datos de HDM-4 son:

### 3.6.1.4 Redes de carreteras

Una red de carreteras HDM-4 almacena los detalles de las carreteras que desea analizar, cada red de carreteras consiste en varios tramos.

Un tramo normalmente se corresponde con un segmento de carretera, la red de carretera en estudio con el nombre de Puente Jarcas-Piedra Larga.

**Figura 3.7: Red de carreteras**



Fuente: Elaboración propia

Especifique los valores para todos los “Datos globales del nuevo tramo”. Los valores añadidos indican cómo son definidos muchos valores particulares de los parámetros clave y los parámetros detallados en “Configuración”.

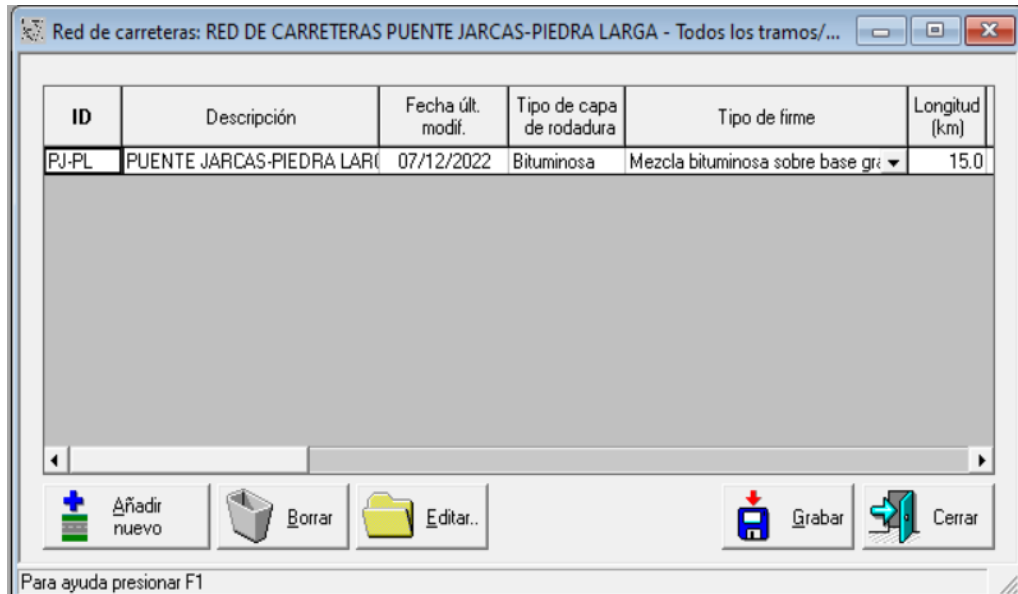
**Figura 3.8: Datos globales del nuevo tramo**

Nombre:	RED DE CARRETERAS	Longitud:	15	km
ID tramo:		Ancho de calzada:	7,3	m
Nombre ruta:	PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA	Ancho de arcén:	1,5	m
ID ruta:		Dirección del tráfico:	Ambos sentidos	
Tipo vel/cap.:	TIPO DE VELOCIDAD PUENTE JÁ	Número de carriles:	2	
Modelo de tráfico:	MODELO DE TRAFICO PUENTES	Última renov. superfic.:	2017 año	
Zona climática:	CLIMA PUENTE JARCAS-PIEDRA			
Clase de carretera:	Primary or Trunk			
Tráfico:	Medium			
Geometría:	Bendy and gently undulating			
Tipo capa rodadura:	Bituminosa			
Tipo de pavimento:	Mezcla bituminosa sobre base granular	Calidad rodadura:	Good	
Adec. estructural:	Good	Estado capa de rodadura:	Good	
Calidad construc.:	Good	Textura superficial:	Good	

Fuente: Elaboración propia

Cuando se especifican los “Datos globales del nuevo tramo”, los valores serán heredados por todos los parámetros clave y detallados, que se usan para rellenar las cajas de edición en la caja de diálogo tramo.

**Figura 3.9: Red de carreteras “descripción”**



ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)
PJ-PL	PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA	07/12/2022	Bituminosa	Mezcla bituminosa sobre base gr...	15.0

Para ayuda presionar F1

Fuente: Elaboración propia

La caja de diálogo al tramo nos da acceso a todos los atributos del tramo.

A través de las pestañas se puede editar los campos necesarios del tramo definición, geometría, firme y estado de la carretera.

**Definición.** –En esta pestaña se muestra los detalles del tramo en estudio el tipo de velocidad, el modelo de tráfico, la zona climática, la clase de carretera y el tipo de rodadura del tramo.

Las características básicas del tramo, longitud del tramo, el ancho de la calzada y número de carriles. Por último, la intensidad del tráfico.

Al elegir el tramo se despliega una ventana con la información de este exceptuando el nombre y código del tramo y ruta a la que pertenece, información que debe ser complementada.

**Figura 3.10: Definición del tramo**

Tramo: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA

Definición | Geometría | Fime | Estado

Nombre del tramo:	PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA	Longitud:	15	km
ID del tramo:	PJ-PL	Ancho de calzada:	7,3	m
Nombre ruta:	TRAMO	Ancho de arcén:	1,5	m
ID de ruta:		Número de carriles:	2	
Tipo de vel/cap:	TIPO DE VELOCIDAD PUENTE JA	Trafico		
Modelo de tráfico:	MODELO DE TRAFICO PUENTES	Motorizado:	1038	IMD
Zona climática:	CLIMA PUENTE JARCAS-PIEDRA	No motorizado:	0	IMD
Clase carretera:	Primary or Trunk	Año:	2022	
Tipo c.rodadura:	Bituminosa	Sentido:	Ambos sentidos	
Tipo fime:	Mezcla bituminosa sobre base granular			

Detalles... Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

**Geometría.** -En la pestaña de geometría se muestra los datos del tramo de geometría incluyendo los datos de pendiente, curvas horizontales, etc.

**Figura 3.11: Geometría del tramo**

Tramo: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA

Definición | Geometría | Fime | Estado

Rampas + pendientes:	30	m/km
Curvatura horizontal media:	500	°/km
Velocidad límite:	60	km/h
Altitud:	2445	m
Tipo dren:	Forma de V - duro	

Fuente: Elaboración propia

**Firme.** -Los datos requeridos en firme son: la capa de rodadura y la capacidad de soporte. Para calcular el número estructural SN y deflexión DEF se requiere de datos como ser los espesores y coeficientes de las capas.

**Figura 3.12: Firme del tramo**

Tramo: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA

Definición | Geometría | Firme | Estado

**Capa de Rodadura**

Tipo material: Mezcla bituminosa

Espesor más reciente: 60 mm

Espesor anterior/antiguo: 0 mm

**Trabajos previos (tipos de trabajos de HDM-4)**

Últ. reconstr. o nueva const.: 2017 año

Última rehabilitación (capa rodadura): 2017 año

Último repavimentado (resellado): 2017 año

Último tratamiento preventivo: 2017 año

**Capacidad de Soporte**

Parámetros calc. para estación seca

SNP: 4.09 DEF: 0.68 mm

[1]  Número estructural: 2,45339

CBR explanada: 18 %

Estación seca  Estación húmeda

[2]  SNP calculado:

**Base (sólo para bases estabilizadas)**

Espesor base: mm

Módulo Elástico: GPa

Fuente: Elaboración propia

**Estado.** -Estos datos fueron recogidos de un análisis detallado de condiciones del tramo, ya mencionados anteriormente.

**Figura 3.13: Estado del tramo**

Definición | Geometría | Firme | Estado

Estado a final de año	2017
Regularidad (IRI - m/km)	1.52
Área total fisurada (%)	3.00
Área con desp. de áridos (%)	0.50
Número de baches (Nº/km)	2.00
Área con rotura de borde (m²/km)	1.00
Profundidad media de roderas	0.00
Textura (mm)	0.70
Rozamiento (SCRIM 50 km/h)	0.50
Drenaje	Excelente ▼

Fuente: Elaboración propia



### 3.6.1.5 Parque de vehículos

Los parques de vehículos son utilizados para guardar detalles de los tipos de vehículos a ser tenidos en cuenta en los análisis de HDM-4. Un parque de vehículos consiste en un conjunto de tipos de vehículos. Cuando se crea un parque de vehículos, se debería incluir un tipo de vehículo por cada clase de vehículo en el conjunto de tráfico modelizado.

**Tabla 3.18: Clasificación de vehículos**

Clasificación de vehículos		
1	Vagoneta	Livianos
2	Camioneta	
3	Minibús	
4	Microbús	Buses
5	Bus mediano	
6	Bus grande	Camiones
7	Camión mediano	
8	Camión grande dos ejes	
9	Camión grande tres ejes	
10	Camión semirremolque	
11	Camión con remolque	Motos
12	Motocicleta	

Fuente: Elaboración propia

Los tipos de vehículo de un parque se visualizan en la base de datos de la ventana parque de vehículos con el nombre de parque de vehículos Puente Jarcas-Piedra Larga.

**Figura 3.14: Parque de vehículos**

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
BUS GRANDE	Camiones	05/10/2022	Camión pesado	Motorizado
BUS MEDIANO	Autobuses	05/10/2022	Autobús medio	Motorizado
CAMION CON REMOL	Camiones	05/10/2022	Camión articulado	Motorizado
CAMION GRANDE DO	Camiones	05/10/2022	Camión ligero	Motorizado
CAMION GRANDE TR	Camiones	05/10/2022	Camión pesado	Motorizado
CAMION MEDIANO	Camiones	05/10/2022	Camión mediano	Motorizado
CAMION SEMIRREMO	Camiones	05/10/2022	Camión articulado	Motorizado
CAMIONETA	Vehículos de rep.	05/10/2022	Todo terreno	Motorizado
MICRO BUS	Autobuses	05/10/2022	Minibus	Motorizado
MINI-BUS	Autobuses	05/10/2022	Minibus	Motorizado
MOTOCICLETAS	Motocicletas	05/10/2022	Motocicleta	Motorizado
VAGONETA	Coche de pasajero	05/10/2022	Coche medio	Motorizado

Fuente: Elaboración propia

Luego de elegido el vehículo se deben especificar sus características particulares cual se hace seleccionando las opciones de características básicas y costos económicos unitarios, respectivamente.

**1. Definición.** –Se muestra qué tipo y a qué clase pertenece el vehículo, también el método de vida, para el proyecto se realizó en vida optima.

**2. Características básicas.** –Se relaciona a todas las características de un vehículo desde las características físicas, los neumáticos, la utilización y la carga de un vehículo.

**3. Costos económicos unitarios.** –Son los recursos que tiene un vehículo el costo de combustible, aceites lubricantes, etc. y también los recursos de valor del tiempo.

En estas figuras se puede observar la información que es requerida por el programa.

**Características del vehículo vagoneta.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado vagoneta, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.15: Características básicas vagoneta**

Características del vehículo: VAGONETA

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: 14000 km

Horas trabajo: 550 h

Vida media: 10 años

Uso privado: 100 %

Pasajeros: 4 persona

Viajes de trabajo: 75 %

**Carga**

ESALF: 0,003

Peso en marcha: 2 toneladas

Calibración...

Valores por Defecto

Aceptar

Cancelar

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camioneta.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camioneta, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.16: Características básicas camioneta**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo minibús.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado minibús, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.17: Características básicas minibús**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo microbús.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado microbús, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.18: Características básicas microbús**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo bus mediano.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado bus mediano, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.19: Características básicas bus mediano**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo bus grande.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado bus grande, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.20: Características básicas bus grande**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camión mediano.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camión mediano, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.21: Características básicas camión mediano**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camión grande dos ejes.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camión grande dos ejes, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.22: Características básicas camión grande dos ejes**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camión grande tres ejes.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camión grande tres ejes, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.23: Características básicas camión grande tres ejes**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camión semirremolque.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camión semirremolque, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.24: Características básicas camión semirremolque**

Fuente: Elaboración propia

**Características del vehículo camión con remolque.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado camión con remolque, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.25: Características básicas camión con remolque**

Fuente: Elaboración propia

**Características de la motocicleta.** – En esta ventana muestra las características básicas del vehículo motorizado motocicleta, identificando, por ejemplo: N° de ruedas, N° de ejes, peso en marcha, etc.

**Figura 3.26: Características básicas motocicleta**

The screenshot shows a software window titled "Características del vehículo: MOTO" with a close button (X) in the top right corner. The window has three tabs: "Definición", "Características básicas", and "Costes económicos unitarios". The "Características básicas" tab is active. It is divided into four sections:

- Físicas:**
  - Espacio equiv. en vehículo de pasajeros: 0,5
  - Nº de ruedas: 2
  - Nº de ejes: 2
- Neumáticos:**
  - Tipo neumático: Diagonal (dropdown menu)
  - Nº de recauchutados: 1,3
  - Coste recauchutado: 15 %
- Utilización:**
  - Km anuales: 10000 km
  - Horas trabajo: 400 h
  - Vida media: 10 años
  - Uso privado: 100 %
  - Pasajeros: 1 persona
  - Viajes de trabajo: 75 %
- Carga:**
  - ESALF: 0
  - Peso en marcha: 0,2 toneladas (dropdown menu)

On the right side of the window, there are buttons for "Calibración...", "Valores por Defecto", "Aceptar", and "Cancelar". A "Calcular..." button is also present in the Utilización section.

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.6 Estándares de mantenimiento

En HDM-4 los estándares de conservación y mejora se usan para representar los objetivos o niveles de condición y respuesta que se desean alcanzar.

Los estándares de conservación definen los trabajos requeridos para mantener la red de carreteras en el nivel deseado.

En la ventana siguiente se muestra los estándares definidos para el caso en estudio se realizó dos alternativas con los siguientes nombres:

#### 1. Mantenimiento de rutina (correctiva) “Alternativa 1”

- Sellado de fisuras
- Sellado de grietas

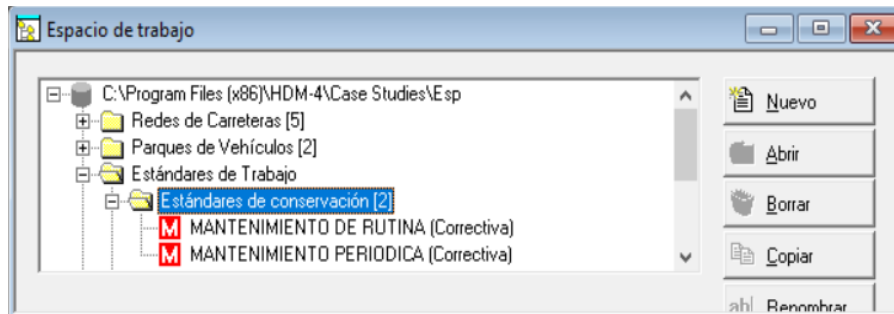
#### 2. Mantenimiento periódico (correctiva) “Alternativa 2”

- Sellado de fisuras



- Sellado de grietas
- Bacheo superficial
- Bacheo profundo

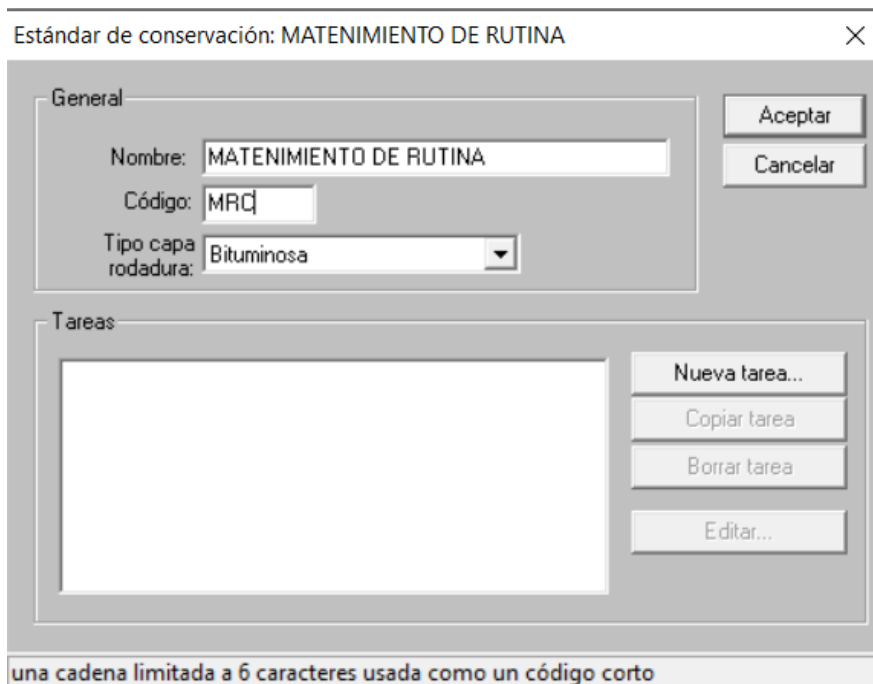
**Figura 3.27: Estándares de conservación**



Fuente: Elaboración propia

Se introduce el nombre y el código, del nuevo estándar de conservación. Este debe ser único.

**Figura 3.28: Estándares de conservación (general)**



Fuente: Elaboración propia

Para crear las tareas, pulsar en “Nueva tarea”, se despliega la caja de diálogo del trabajo, introduciendo el nombre de la tarea, el código, tipo de entidad, y su actividad.

**Figura 3.29: Nueva tarea de estándar de conservación**

Tarea

Nombre: SELLADO DE GRIETAS

Código: SELLG

Capa rodadura: Bituminosa

Tipo entidad: Calzada

Actividad: Crack Sealing

Aceptar

Cancelar

Fuente: Elaboración propia

La parte superior muestra la definición del estándar incluyendo el tipo de capa de rodadura. La parte inferior muestra los trabajos definidos para el estándar. Un estándar de conservación consta de uno o más trabajos.

Cada estándar consiste en un grupo de tareas, los datos que definen los trabajos se separan en cuatro categorías, cada una de ellas asignada a una página diferente como se muestra en la figura a continuación:

### 1. Mantenimiento de rutina (correctiva)

- Sellado de grietas

**Figura 3.30: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (correctiva)**

Estándar de conservación: MANTENIMIENTO DE RUTINA (Correctiva)

General

Nombre: MANTENIMIENTO DE RUTINA (Correctiva)

Código: MRC

Tipo capa rodadura: Bituminosa

Tareas

SELLADO DE GRIETAS	SELLG
SELLADO DE FISURAS	SELLF

Nueva tarea...

Copiar tarea

Borrar tarea

Editar...

Aceptar

Cancelar

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.31: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (general)**

The screenshot shows a dialog box titled "Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE GRIETAS" with a close button (X) in the top right corner. The dialog has four tabs: "General", "Intervención", "Costes", and "Efectos". The "General" tab is active. The form contains the following fields and options:

- Nombre: SELLADO DE GRIETAS
- Código: SELLG
- Capa de rodadura: Bituminosa
- Tipo de entidad: Calzada
- Actuación: Crack Sealing
- Tipo de intervención:  Programada,  Correctiva

At the bottom of the dialog are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar".

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.32: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (intervención)**

The screenshot shows the same dialog box as Figure 3.31, but with the "Intervención" tab selected. The "General" tab is still visible in the background. The "Intervención" tab contains the following fields and options:

- Criterio correctivo: Wide Structural Cracking >= 2 %
- Buttons: Nuevo criterio..., Borrar, Editar...
- Límites section:
  - Último año: 2099
  - Regularidad max: 16
  - Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año
  - IRI (m/km)
  - Intervalo: 1
  - IMD: 0
  - Mínimo: 1
  - Máximo: 9999
  - 100000
  - año(s)

Fuente: Elaboración propia

**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m<sup>2</sup>, por km).

**Figura 3.33: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (costos)**

	Económico	Financiero	
Coste unitario:	1.13	1.33	por m <sup>2</sup>
Costes unitarios de trabajos preparatorios:			
Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	30	35	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	20	25	por m <sup>2</sup>
Drenaje:			
Factor coste mantenimiento drenaje:	1	0 < DMCF <= 1	

Fuente: Elaboración propia

**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.34: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (efectos)**

Condición	Porcentaje de daño reparado
Fisura transversal térmica:	100 %
Fisura estructural ancha:	100 %
Fisura de borde:	100 %

Fuente: Elaboración propia

### Mantenimiento de rutina (correctiva)

- Sellado de fisuras

**Figura 3.35: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (correctiva)**

Estándar de conservación: MANTENIMIENTO DE RUTINA (Correctiva)	
<b>General</b>	
Nombre:	MANTENIMIENTO DE RUTINA (Correctiva)
Código:	MRC
Tipo capa rodadura:	Bituminosa
<b>Tareas</b>	
SELLADO DE GRIETAS	SELLG
<b>SELLADO DE FISURAS</b>	<b>SELLF</b>

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.36: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (general)**

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: SELLADO DE FISURAS

Código: SELLF

Capa de rodadura: Bituminosa

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Crack Sealing

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.37: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (intervención)**

Fuente: Elaboración propia

**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m2, por km).

**Figura 3.38: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (costos)**

	Económico	Financiero	
Coste unitario:	0,83	0,97	por m <sup>2</sup>
Costes unitarios de trabajos preparatorios:			
Reparación puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	30	35	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	20	25	por m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.39: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (efectos)**

The screenshot shows a software window titled 'Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS'. It has four tabs: 'General', 'Intervención', 'Costes', and 'Efectos'. The 'Efectos' tab is active. Under the heading 'Porcentaje de daño reparado', there are three input fields, each with a value of '100' and a '%' symbol:

- Fisura transversal térmica: 100 %
- Fisura estructural ancha: 100 %
- Fisura de borde: 100 %

Fuente: Elaboración propia

## 2. Mantenimiento periódico (correctiva)

- Sellado de grietas

**Figura 3.40: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (correctiva)**

The screenshot shows a software window titled 'Estándar de conservación: MANTENIMIENTO PERIODICA'. It has a 'General' tab and a 'Tareas' section. In the 'General' section, there are three input fields: 'Nombre' (MANTENIMIENTO PERIODICA), 'Código' (MPC), and 'Tipo capa rodadura' (Bituminosa). There are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons. The 'Tareas' section contains a table of tasks:

BACHEO SUPERFICIAL	BACH S
BACHEO PROFUNDO	BACH P
SELLADO FISURAS	SELLF
SELLADO DE GRIETAS	SELLG

Below the table are four buttons: 'Nueva tarea...', 'Copiar tarea', 'Borrar tarea', and 'Editar...'.

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.41: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (general)**

The screenshot shows a dialog box titled "Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE GRIETAS" with a close button (X) in the top right corner. The "General" tab is selected, showing the following fields and options:

- Nombre: SELLADO DE GRIETAS
- Código: SELLG
- Capa de rodadura: Bituminosa
- Tipo de entidad: Calzada
- Actuación: Crack Sealing
- Tipo de intervención:  Programada,  Correctiva

At the bottom of the dialog are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar".

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.42: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (intervención)**

The screenshot shows the "Intervención" tab of the same dialog box. It contains the following fields and options:

- Criterio correctivo: Wide Structural Cracking >= 2 %
- Buttons: Nuevo criterio..., Borrar, Editar...
- Límites section:
  - Último año: 2099
  - Regularidad max: 16
  - Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año
  - IRI (m/km): [empty]
  - Intervalo: 1
  - IMD: 0
  - Mínimo: [empty]
  - Máximo: 9999
  - Unidad: año(s)
  - Máximo: 100000

Fuente: Elaboración propia



**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m2, por km).

**Figura 3.43 Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (costos)**

	Económico	Financiero	
Coste unitario:	1,13	1,33	por m <sup>2</sup>
Costes unitarios de trabajos preparatorios:			
Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	30	35	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	20	25	por m <sup>2</sup>
Drenaje:			
Factor coste mantenimiento drenajes:	1	0 < DMCF <= 1	

Fuente: Elaboración propia

**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.44 Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (efectos)**

Porcentaje de daño reparado	
Fisura transversal térmica:	100 %
Fisura estructural ancha:	100 %
Rotura de borde:	100 %

Fuente: Elaboración propia

## Mantenimiento periódico (correctiva)

- Sellado de fisuras

**Figura 3.45: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (correctiva)**

Estándar de conservación: MANTENIMIENTO PERIODICA

General

Nombre: MANTENIMIENTO PERIODICA

Código: MPC

Tipo capa rodadura: Bituminosa

Aceptar

Cancelar

Tareas

BACHEO SUPERFICIAL	BACH S
BACHEO PROFUNDO	BACH P
<b>SELLADO FISURAS</b>	<b>SELLF</b>
SELLADO DE GRIETAS	SELLG

Nueva tarea...

Copiar tarea

Borrar tarea

Editar...

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.46: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (general)**

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: SELLADO DE FISURAS

Código: SELLF

Capa de rodadura: Bituminosa

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Crack Sealing

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.47: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (intervención)**

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS

General | **Intervención** | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Wide Structural Cracking >= 1 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2099

Regularidad max: 16 IRI (m/km)

Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año

Intervalo: 1

Mínimo: 1 Máximo: 9999 año(s)

IMD: 0

Fuente: Elaboración propia

**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m<sup>2</sup>, por km).

**Figura 3.48: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (costos)**

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS

General | Intervención | **Costes** | Efectos

Coste unitario: Económico: 0,83 Financiero: 0,97 por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

Reparco puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	30	35	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	20	25	por m <sup>2</sup>

Drenaje:

Factor coste mantenimiento drenaje: 1 0 < DMCF <= 1

Aceptar Cancelar Aplicar

Fuente: Elaboración propia

**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.49: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (efectos)**

The screenshot shows a dialog box titled 'Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE FISURAS'. It has four tabs: 'General', 'Intervención', 'Costes', and 'Efectos'. The 'Efectos' tab is active. Under the heading 'Porcentaje de daño reparado', there are three input fields, each with a percentage sign: 'Fisura transversal térmica: 100 %', 'Fisura estructural ancha: 100 %', and 'Fisura de borde: 100 %'.

Fuente: Elaboración propia

### Mantenimiento periódico (correctiva)

- Bacheo superficial

**Figura 3.50: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (correctiva)**

The screenshot shows a dialog box titled 'Estándar de conservación: MANTENIMIENTO PERIODICA'. It has two main sections: 'General' and 'Tareas'.  
In the 'General' section, there are three input fields: 'Nombre: MANTENIMIENTO PERIODICA', 'Código: MPC', and 'Tipo capa rodadura: Bituminosa'. There are 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons to the right.  
In the 'Tareas' section, there is a table with two columns. The first column lists tasks, and the second column lists codes. The first row is highlighted in blue.  
To the right of the table are four buttons: 'Nueva tarea...', 'Copiar tarea', 'Borrar tarea', and 'Editar...'.  
At the bottom of the dialog, there is a label: 'Nombre de este estándar de conservación'.

Tarea	Código
BACHEO SUPERFICIAL	BACH S
BACHEO PROFUNDO	BACH P
SELLADO FISURAS	SELLF
SELLADO DE GRIETAS	SELLG

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.51: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (general)**

Elemento de trabajo de conservación: BACHEO SUPERFICIAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: BACHEO SUPERFICIAL  
Código: BACH S  
Capa de rodadura: Bituminosa  
Tipo de entidad: Calzada  
Actuación: Patching  
Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Aceptar Cancelar Aplicar

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.52: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (intervención)**

Elemento de trabajo de conservación: BACHEO SUPERFICIAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo  
Potholing >= 5 no./km  
Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites  
Último año: 2099  
Regularidad max: 16 IRI (m/km) Intervalo: 1 9999 año(s)  
Max. cantidad: 5000 m<sup>2</sup>/km/año IMD: 0 100000

Aceptar Cancelar Aplicar

Fuente: Elaboración propia

**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m2, por km).

**Figura 3.53: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (costos)**

Elemento de trabajo de conservación: BACHEO SUPERFICIAL

General | Intervención | Costes | Efectos

	Económico	Financiero	
Coste unitario:	48,58	57,32	por m <sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

Recargo puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	30	35	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	20	25	por m <sup>2</sup>

Drenaje:

Factor coste mantenimiento drenaje: 1 0 < DMCF <= 1

Aceptar Cancelar Aplicar

Fuente: Elaboración propia

**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.54: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (efectos)**

Elemento de trabajo de conservación: BACHEO SUPERFICIAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Porcentaje de daño reparado

Area muy dañada: 100 %

Sólo baches: 100 %

Sólo fisuras estructurales anchas: 100 %

Sólo desprend. de áridos: 100 %

Aceptar Cancelar Aplicar

Fuente: Elaboración propia

## Mantenimiento periódico (correctiva)

- Bacheo profundo

**Figura 3.55: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (correctiva)**

Estándar de conservación: MANTENIMIENTO PERIODICA

Tareas	
BACHEO SUPERFICIAL	BACH S
<b>BACHEO PROFUNDO</b>	<b>BACH P</b>
SELLADO FISURAS	SELLF
SELLADO DE GRIETAS	SELLG

Fuente: Elaboración propia

**General.** -Define el trabajo, la descripción el tipo de operación y tipo de intervención.

**Figura 3.56: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (general)**

Elemento de trabajo de conservación: BACHEO PROFUNDO

Nombre: BACHEO PROFUNDO  
Código: BACH P  
Capa de rodadura: Bituminosa  
Tipo de entidad: Calzada  
Actuación: Patching  
Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Fuente: Elaboración propia

**Intervención.** -El contenido de esta página será diferente según el tipo de intervención seleccionada. En la intervención de correctiva se exigirá especificar uno o más de los niveles de condición en el que los trabajos se deberían realizar.

**Figura 3.57: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (intervención)**

Fuente: Elaboración propia

**Costos.** -Define el costo unitario de la operación seleccionada de los trabajos preparatorios indicados y la unidad del trabajo (por ejemplo, por m, por m2, por km).

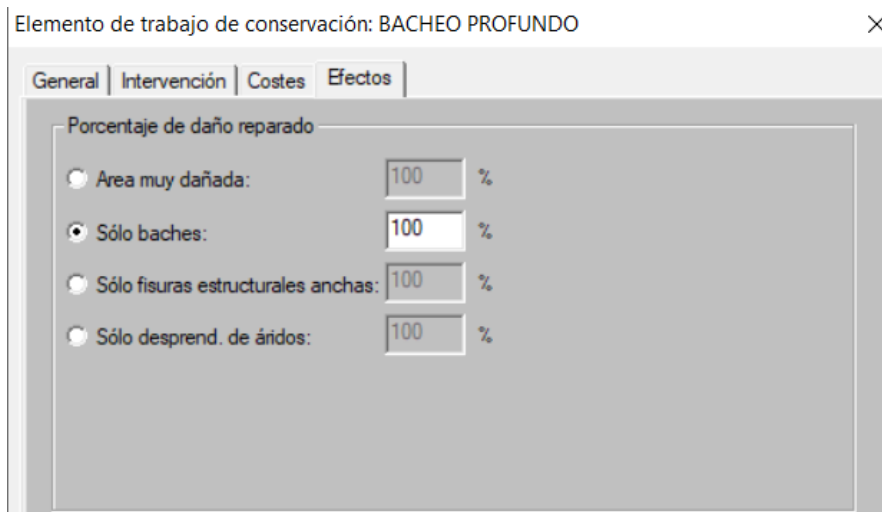
**Figura 3.58: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (costos)**

Fuente: Elaboración propia



**Efectos.** -Define la condición del firme después de la realización de los trabajos.

**Figura 3.59: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (efectos)**

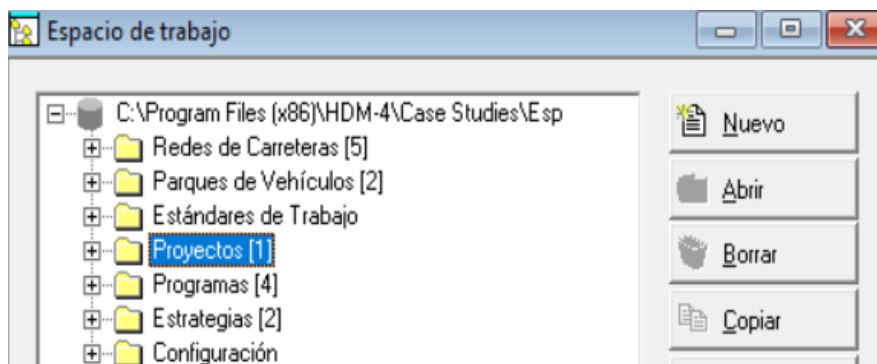


Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.7 Análisis de proyecto

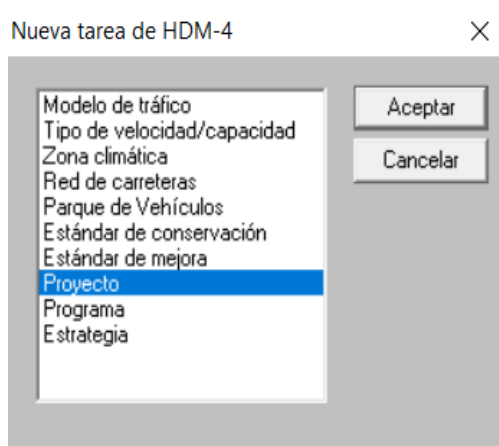
Un proyecto de HDM-4 contiene información sobre los tramos de la carretera existente, de los nuevos tramos, de los tipos de vehículos, del tráfico y de las alternativas de inversión. Se puede analizar el proyecto usando varias diferentes alternativas, permitiendo determinar cuál será la más efectiva. Para crear un proyecto se ubica nuevamente en la ventana principal del espacio de trabajo, tal como se ilustra en la figura 3.60, se selecciona la opción "Proyecto" y posteriormente el botón "Nuevo", apareciendo posteriormente la figura 3.61 para confirmar la selección.

**Figura 3.60: Análisis de proyecto**



Fuente: Elaboración propia

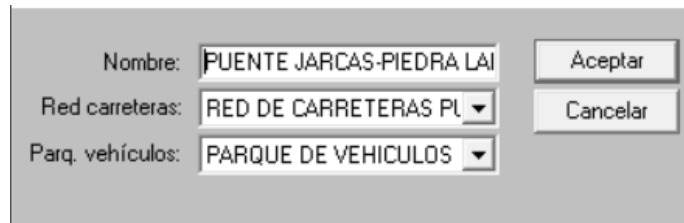
**Figura 3.61: Nueva tarea para crear proyecto**



Fuente: Elaboración propia

Luego de "Aceptar" se debe dar un nombre al proyecto y definir la “Red de carreteras” y el “Parque de vehículos” correspondiente, ver figura 3.62.

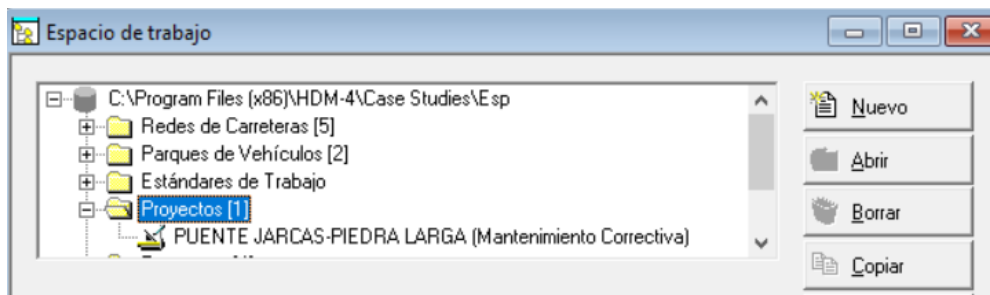
**Figura 3.62: Nuevo proyecto**



Fuente: Elaboración propia

El nombre del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga (Mantenimiento correctiva) como se muestra en la ventana siguiente. figura 3.63.

**Figura 3.63: Proyecto Puente Jarcas-Piedra Larga**



Fuente: Elaboración propia

Luego de definir y aceptar, se obtiene automáticamente la ventana que se observa en la figura 3.64.

**Definir proyecto en detalle.** -Se despliegan las siguientes pestañas:

**General.** -En esta pestaña se describe el nombre del tramo Puente Jarcas-Piedra Larga, el análisis por tramo o por proyecto, en nuestro caso se realizó por proyecto.

El periodo de análisis con una duración de 10 años, el año de comienzo 2022 (es decir de 2022 a 2031).

La red de carretera en estudio con el nombre: red de carretera Puente Jarcas-Piedra Larga. El parque de vehículos en estudio con el nombre: parque de vehículos Puente Jarcas-Piedra Larga. Moneda: salida en US Dollar.

**Figura 3.64: Definir proyecto en detalle (general)**

Proyecto: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA (Mantenimiento Correctiva)

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

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

Descripción: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA (Mantenimiento Correctiva)

Analizar por:  Tramo  Proyecto

Año comienzo: 2022      Periodo análisis: 10 años

Red carreteras: RED DE CARRETERAS PUENTE JARCA

Parque vehículos: PARQUE DE VEHICULOS PUENTE JARC

Moneda

Parque: US Dollar x 1 = moneda salida

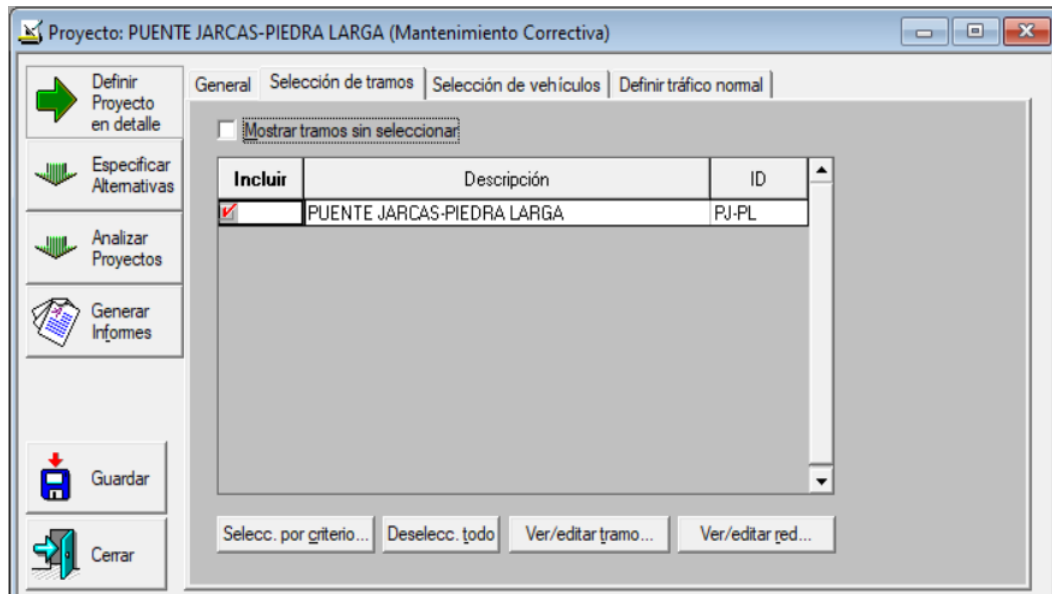
Trabajos: US Dollar x 1 = moneda salida

Salida: US Dollar

Fuente: Elaboración propia

**Selección de tramos.** - En esta pantalla indica que tramo se seleccionará en el análisis, se realizó con el tramo de Puente Jarcas-Piedra Larga donde se muestran los detalles de las características básicas de dicho tramo, como ser definición, geometría, firme y estado.

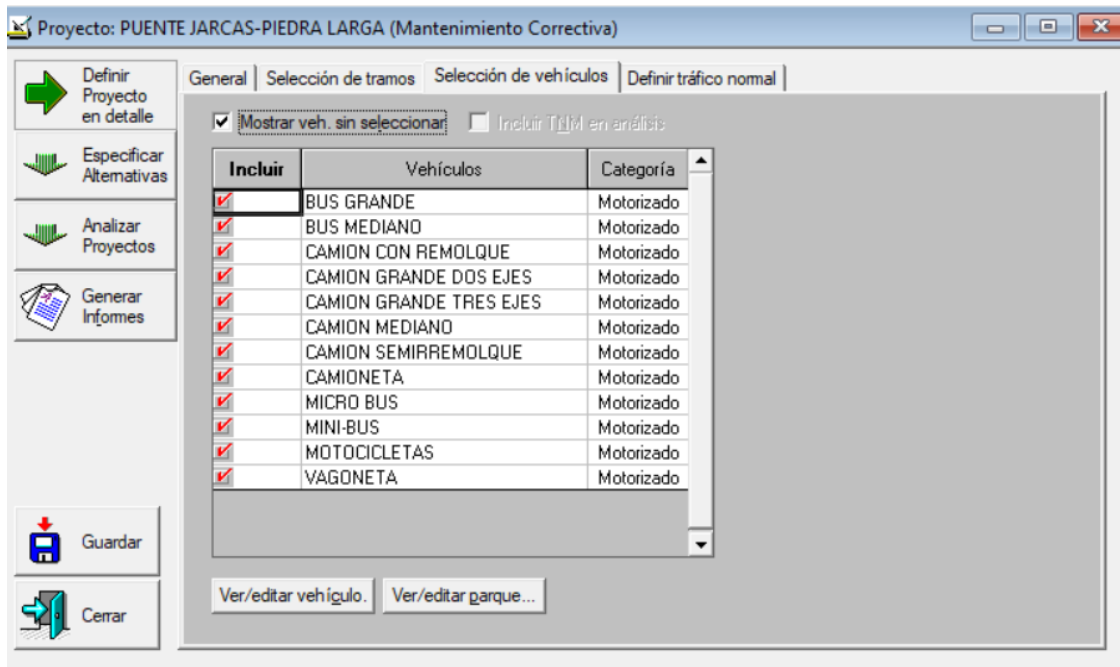
**Figura 3.65 Definir proyecto en detalle (selección de tramos)**



Fuente: Elaboración propia

**Selección de vehículos.** -En esta pantalla se muestra la selección de todos los vehículos motorizados.

**Figura 3.66: Definir proyecto en detalle (selección de vehículos)**

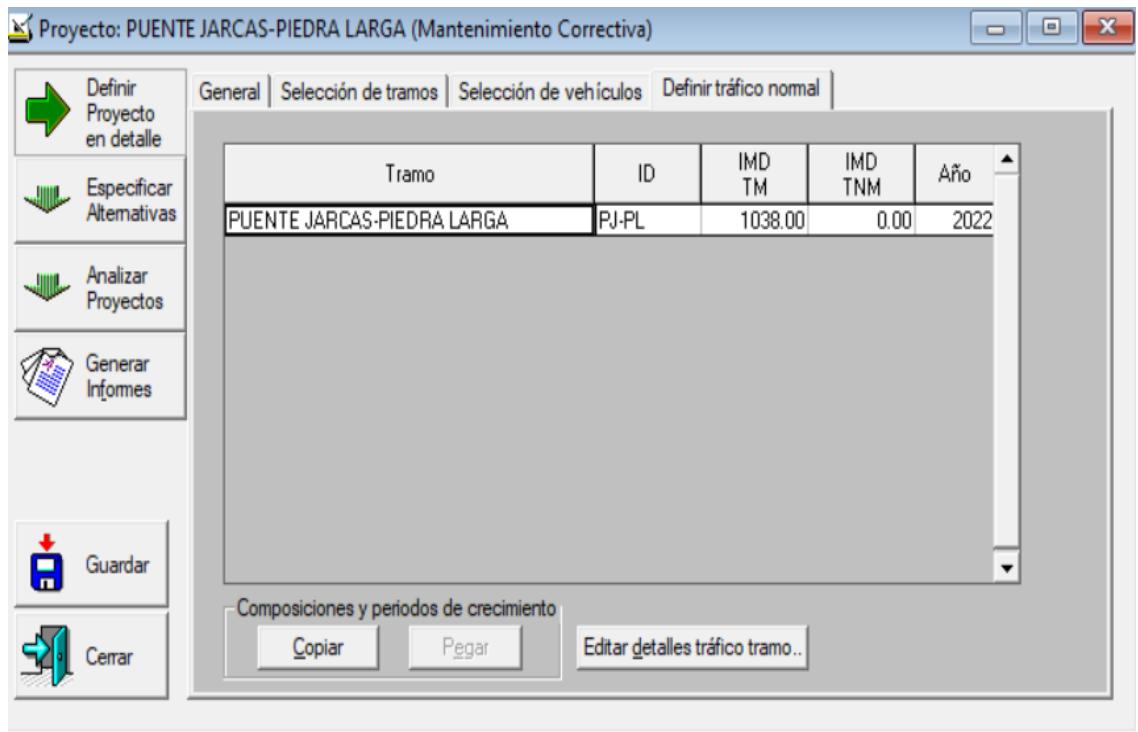


Fuente: Elaboración propia

**Definir tráfico normal.** -Esta pantalla de tráfico motorizado se puede ver los periodos de crecimiento de cada uno de los vehículos motorizados; su composición inicial (%), % crecimiento anual a partir del año actual del proyecto.

En la figura 3.67, se definirá en forma detallada el tráfico normal para el tramo Puente Jarcas-Piedra Larga mostrando su IMD de 1038 del año 2022.

**Figura 3.67: Definir proyecto en detalle (definir tráfico normal)**



Fuente: Elaboración propia

Luego de que sea seleccionada la opción "Editar detalles tráfico" con lo que se despliega la ventana se muestra en la figura 3.68, para indicar la composición vehicular (%) y el (%) de crecimiento anual esperado de cada tipo de vehículo, teniendo una sumatoria del total de composición vehicular en un 100 %.

**Detalles del tráfico normal.** -En esta pestaña se confirma el volumen de tráfico (IMD motorizado) usando el tramo seleccionado de carretera en el año corriente.

La composición del tráfico inicial y % de crecimiento (por tipo de vehículo).

**Figura 3.68: Definir proyecto en detalle (detalles del tráfico normal)**

Motorizado

Detalles del tramo

Nombre: PUENTE JARCAS-PIEDRA LARGA

IMD: 1038 Año: 2022

Periodos de crecimiento

Vehículos	Composición Inicial (%)	% Crec. anual a partir de 2022
BUS MEDIANO	6.65	7.79
CAMION SEMIRREMOLQ	3.69	7.79
BUS GRANDE	6.57	7.79
CAMION MEDIANO	10.64	7.79
CAMION GRANDE DOS E	9.76	7.79
VAGONETA	23.51	7.79
MINI-RIIS	4.78	7.79

Añadir periodo  
Borrar periodo  
Editar periodo...

Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia

Una vez terminada la definición del proyecto se procede con las alternativas con ayuda de la ventana que se ilustra en la figura 3.69 y los botones que contiene, los cuales permiten añadir alternativas y editarlas para realizar las asignaciones respectivas.

Luego de elegir la opción de "Especificar alternativa" aparece la ventana de la figura 3.72 en la cual es posible detallar la alternativa seleccionada, haciendo las asignaciones de los estándares de conservación deseados en los años que se consideran convenientes.

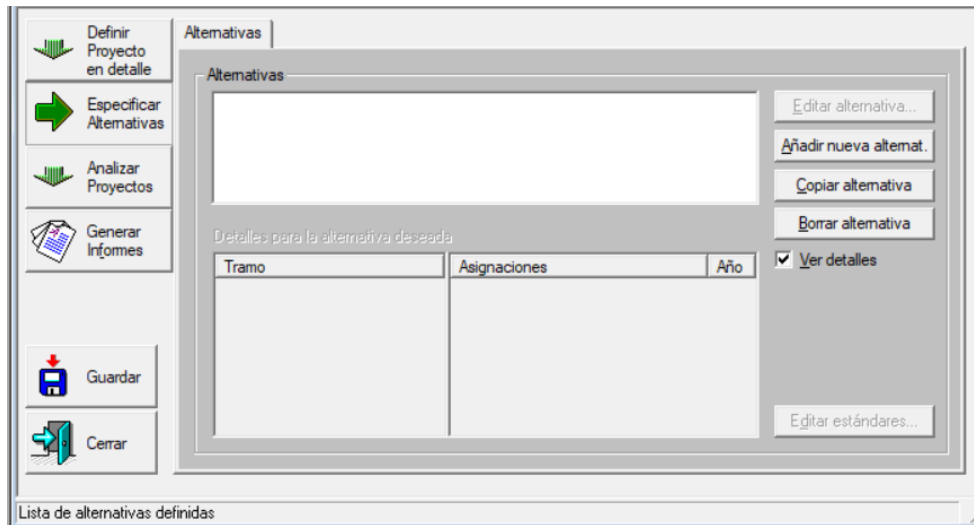
Finalmente, en la figura 3.73 se ilustra lo que se obtiene al final de definir una determinada alternativa: nombre del alternativa, tramos considerados y asignaciones realizadas de estándares de conservación.

**Especificar alternativas.** -Se despliega la siguiente pestaña:

**Alternativas.** – Se divide en dos partes, la primera parte muestra las alternativas en estudio y en la parte inferior muestra los detalles de cada alternativa.

Pulsar “Añadir nueva alternativa”. Se despliega la caja de diálogo “Nueva alternativa”.

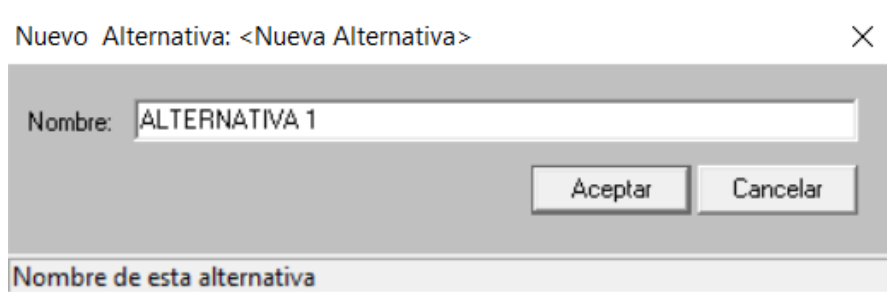
**Figura 3.69: Especificar alternativas**



Fuente: Elaboración propia

Nueva alternativa con su nombre correspondiente pulsar “Aceptar”. La nueva alternativa se añade a la lista. Para definir los estándares de conservación y mejora.

**Figura 3.70: Nueva alternativa**



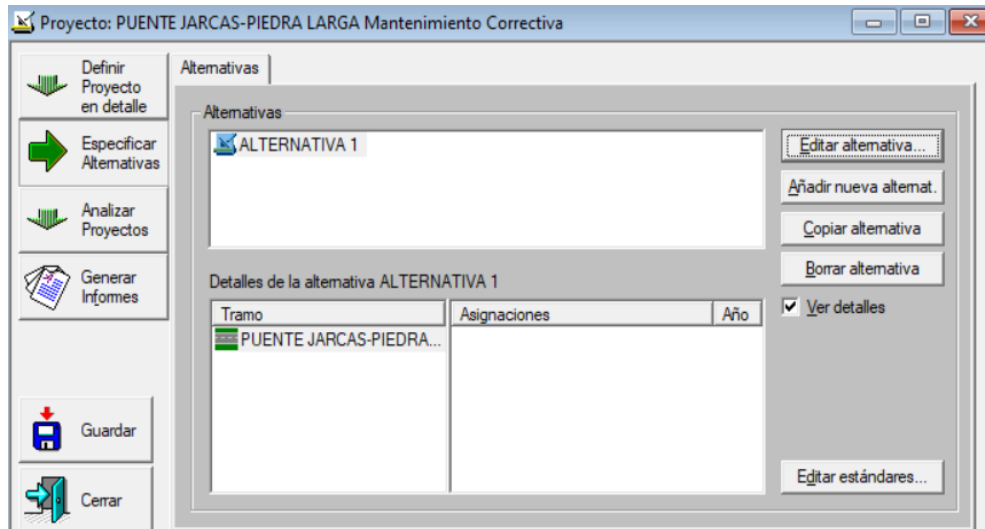
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a realizar dos tipos de alternativas:

**Alternativa 1.** - Para el tramo Puente Jarcas-Piedra Larga se determinó una alternativa de mantenimiento de rutina correctiva con sus tareas respectivas: sellado de grietas, sellado de fisuras cada tarea con sus respectivos datos.

En la página “Alternativas”, seleccionar la alternativa a la que se quiere asignar el estándar de conservación. Pulsar “Editar alternativa”.

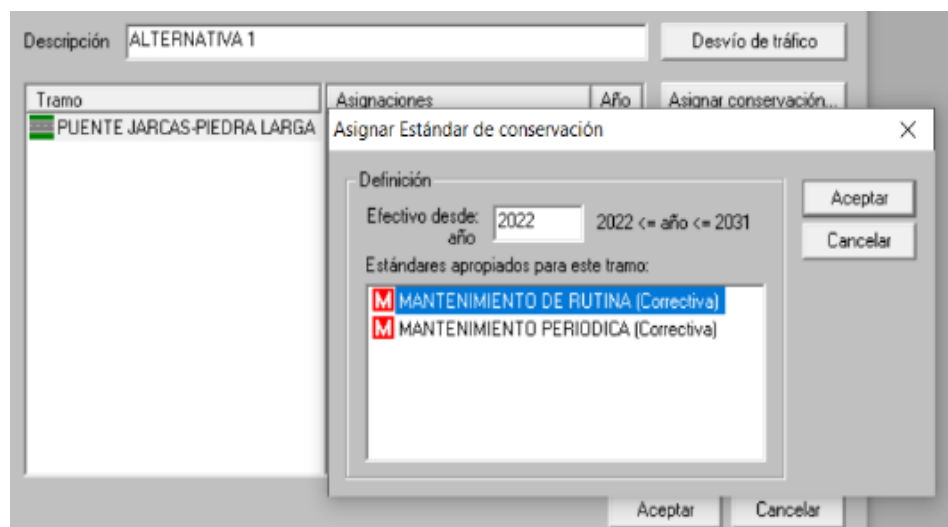
**Figura 3.71: Especificar alternativas (Alternativa 1)**



Fuente: Elaboración propia

El campo “Descripción”, muestra el nombre de la alternativa a la que se asignó estándares de conservación “Alternativa 1”. En definición se coloca el año en el que se implantará el estándar, al seleccionar un tramo, los estándares que se le han asignado a la combinación alternativa/tramo se muestran en la columna “Asignaciones” con el nombre de “Mantenimiento de rutina (correctiva)”. Para cada alternativa su asignación correspondiente.

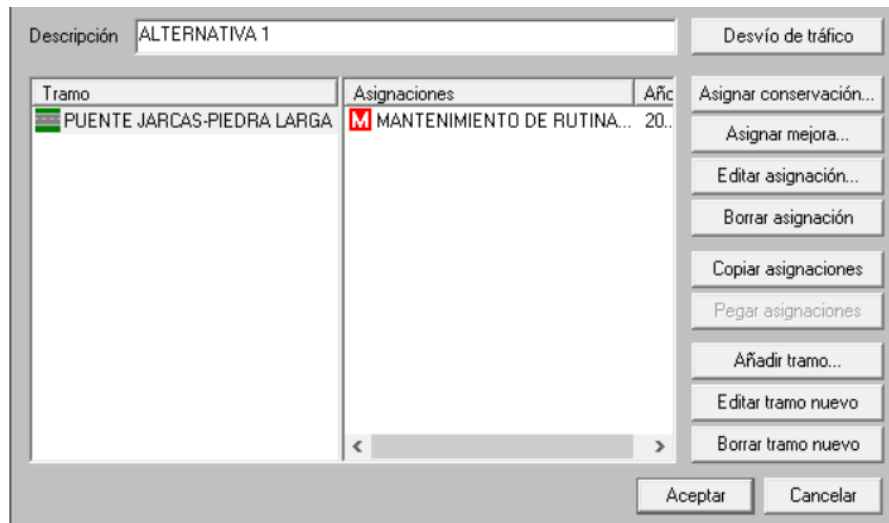
**Figura 3.72: Alternativa 1 (asignar conservación)**



Fuente: Elaboración propia



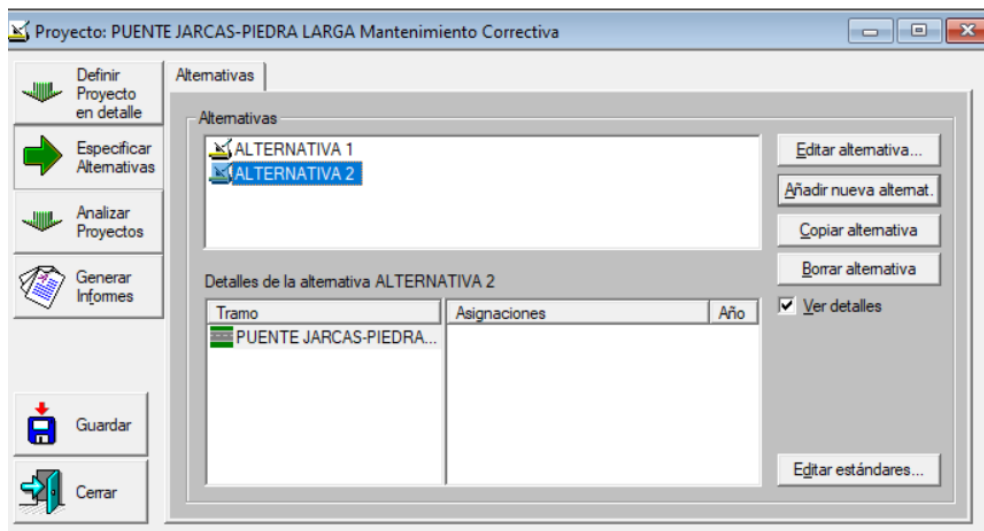
**Figura 3.73: Alternativa 1 (mantenimiento de rutina)**



Fuente: Elaboración propia

**Alternativa 2.** - Para el tramo Puente Jarcas-Piedra Larga se determinó una alternativa de mantenimiento periódico con sus tareas respectivas: sellado de grietas, sellado de fisuras, bacheo superficial y bacheo profundo cada tarea con sus respectivos datos.

**Figura 3.74: Especificar alternativas (Alternativa 2)**

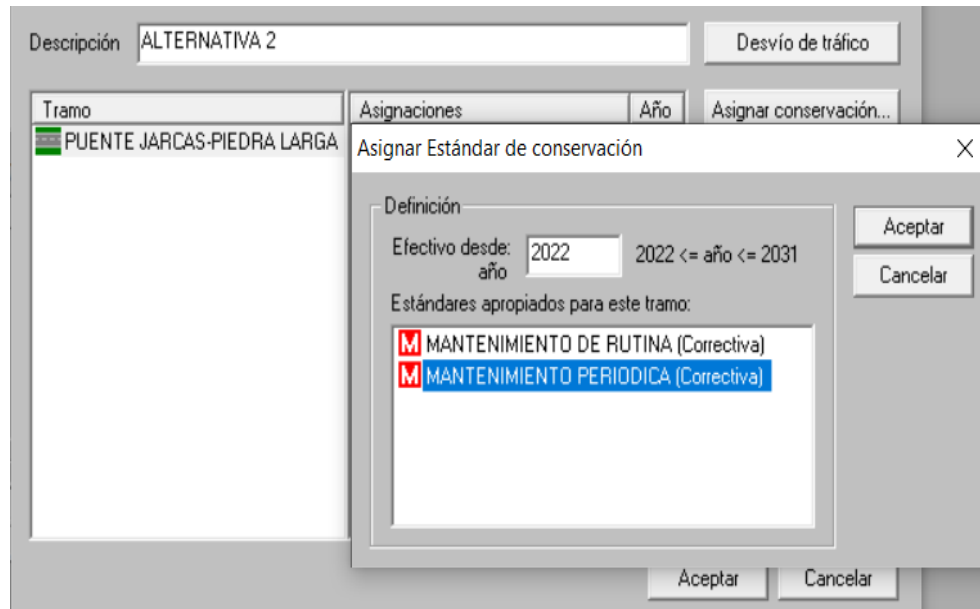


Fuente: Elaboración propia

El campo “Descripción”, muestra el nombre de la alternativa a la que se asignó estándares de conservación “Alternativa 2”. En definición se coloca el año en el que se implantará el estándar, al seleccionar un tramo, los estándares que se le han asignado a la

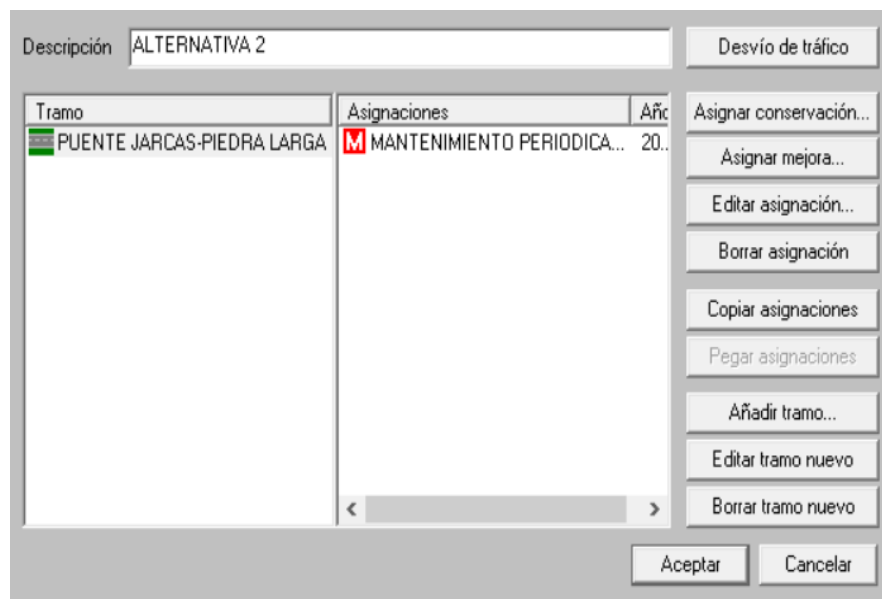
combinación alternativa/tramo se muestran en la columna “Asignaciones” con el nombre de “Mantenimiento periódica (correctiva)”. Para cada alternativa su asignación correspondiente.

**Figura 3.75: Alternativa 2 (asignar conservación)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.76: Alternativa 2 (mantenimiento periódico)**



Fuente: Elaboración propia

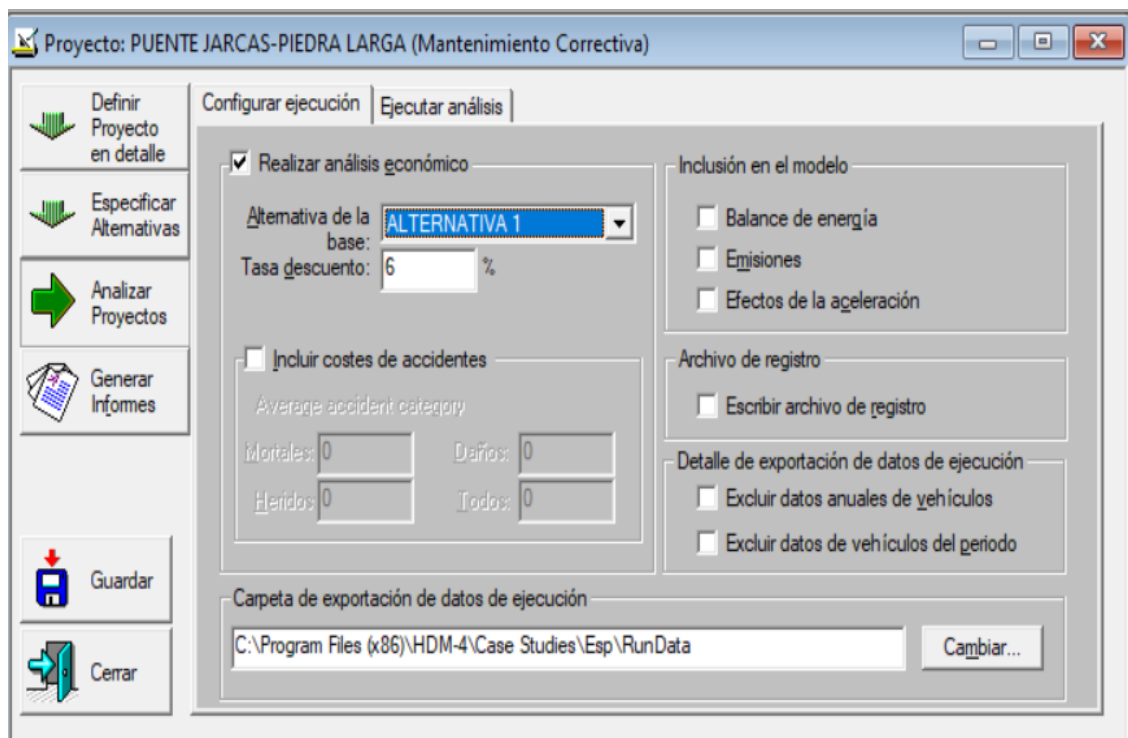
Para completar la definición del proyecto se tiene la opción "Analizar proyectos" ubicada en el extremo izquierdo de la ventana de definición de proyecto.

**Analizar proyectos.** -Se despliega las siguientes pestañas:

**Configuración ejecución.** -Se realizó un análisis económico, en alternativa base: se procederá a escoger una de las alternativas como puede ser alternativa 1 o alternativa 2, y una tasa de descuento de 6 %.

En el estudio de análisis el costo de accidentes, los efectos causados por las emisiones de balance de energía y aceleraciones no se incluyeron en el trabajo de análisis.

**Figura 3.77: Analizar proyectos (configuración ejecución)**

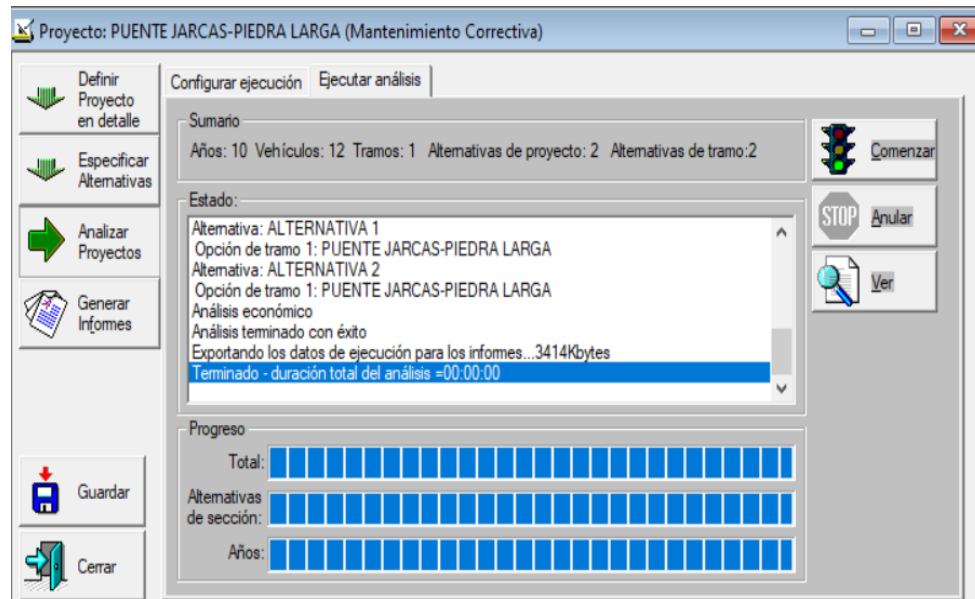


Fuente: Elaboración propia

**Ejecutar análisis.** -Esta pestaña muestra la información sobre el estado de los mensajes de advertencia y error. Luego de que el programa termina su ejecución se tiene la ventana que se muestra en la figura 3.78. En la que se indica al usuario del software que el análisis ha terminado y el tiempo que tardó. Pulsar "Comenzar". Mientras que el

proyecto es realizado, se muestran mensajes en la caja de texto y el estado del análisis se muestra debajo de la caja “Estado”.

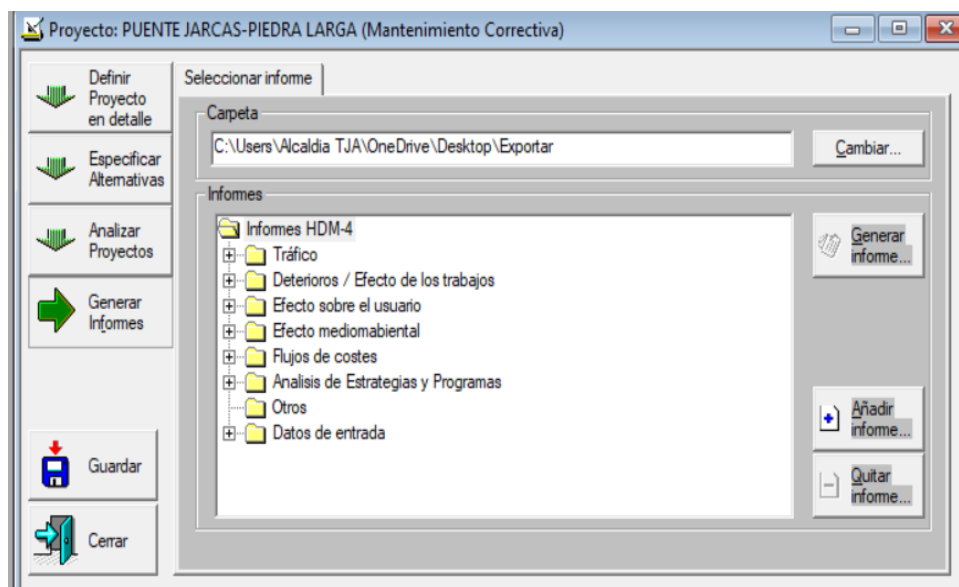
**Figura 3.78: Analizar proyectos (ejecutar análisis)**



Fuente: Elaboración propia

**Generar informes.** - Se despliega la siguiente pestaña

**Figura 3.79: Generar informes (seleccionar informe)**



Fuente: Elaboración propia

**Seleccionar informe.** -Se muestra los informes HDM-4 que se generan según el caso en estudio son: tráfico, deterioros/efectos de los trabajos, efectos sobre el usuario.

#### **Informe de resultados del software HDM-4**

Los informes que se presentarán a continuación, son los resultados que se generaron según el caso en estudio son:

**Tráfico.** -Asociados al volumen, composición y relación con la capacidad, se presentan en tablas que se muestran a continuación.

- Tabla 3.19 IMD de tráfico motorizado (vehículos/día).
- Gráfica 3.1 Intensidad media diaria (vehículos/día).
- Tabla 3.20 TM intensidad de tráfico y carga.

**Deterioros/efectos de los trabajos.** -Muestra el estado del tramo evaluado de acuerdo con las alternativas consideradas, así mismo la programación de trabajos según la intervención definida para las tareas de mantenimiento.

- Tabla 3.21 Calendario de actuaciones (por año).
- Tabla 3.22 Estado anual de la carretera (rodadura bituminosa).
- Gráfica 3.2 Regularidad media por alternativa de proyecto.

**Efectos sobre el usuario.** -Resultados de costos de operación vehicular y tiempo de ocupantes en cada vehículo.

- Tabla 3.23 TM costo medio anual por veh-km.

**Tabla 3.19: Informe IMD de tráfico motorizado (vehículos/día)**

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## IMD de tráfico motorizado (vehículos/día)

Nombre del estudio: **Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)**

Fecha ejecución: **01-11-2022**

**Leyenda en cada celda:** 1a fila= Tráfico Normal (e Inducido)

**Tramo:** Puente Jarcas – Piedra Larga

**Alternativa:** Todas las alternativas

	<b>Bus grande</b>	<b>Bus mediano</b>	<b>Camión con remolque</b>	<b>Camión grande dos ejes</b>	<b>Camión grande tres ejes</b>	<b>Camión mediano</b>	<b>Camión semirremolque</b>	<b>Camioneta</b>	<b>Microbús</b>	<b>Minibús</b>	<b>Motos</b>	<b>Vagoneta</b>	<b>Total</b>
<b>2022</b>	68	69	45	101	94	110	38	152	33	50	33	244	1038
<b>2023</b>	74	74	49	109	101	119	41	164	36	53	36	263	1119
<b>2024</b>	79	80	53	118	109	128	45	176	38	58	38	284	1206
<b>2025</b>	85	86	57	127	117	138	48	190	41	62	41	306	1300

	<b>Bus grande</b>	<b>Bus mediano</b>	<b>Camión con remolque</b>	<b>Camión grande dos ejes</b>	<b>Camión grande tres ejes</b>	<b>Camión mediano</b>	<b>Camión semirremolque</b>	<b>Camioneta</b>	<b>Microbús</b>	<b>Minibús</b>	<b>Motos</b>	<b>Vagoneta</b>	<b>Total</b>
<b>2026</b>	92	93	61	137	126	149	52	205	45	67	45	329	1401
<b>2027</b>	99	100	66	147	136	161	56	221	48	72	48	355	1510
<b>2028</b>	107	108	71	159	147	173	60	238	52	78	52	383	1628
<b>2029</b>	115	117	77	171	158	187	65	257	56	84	56	413	1755
<b>2030</b>	124	126	83	185	171	201	70	277	60	90	60	445	1892
<b>2031</b>	134	136	89	199	184	217	75	298	65	97	65	479	2039
<b>Total</b>	978	990	652	1453	1343	1584	549	2178	473	712	475	3500	14888

Fuente: Software HDM-4

Los estudios el IMD son realizados con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre la carretera. Para obtener el tránsito promedio diario anual (IMD), es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante un año por la vía, el análisis del IMD, se estima en base al tránsito promedio diario. En ocasiones es muy conveniente, definir el IMD, en vehículos por día. Se debería asegurar que el año de comienzo del tráfico sea siempre menor o igual que el año de comienzo del período de análisis. En esta celda de tráfico normal se puede observar cuánto de tráfico circulará en un periodo de 10 años (2022-2031) para los diferentes tipos de vehículos visualizando que el tránsito vehicular se incrementa cada año en el período de análisis.

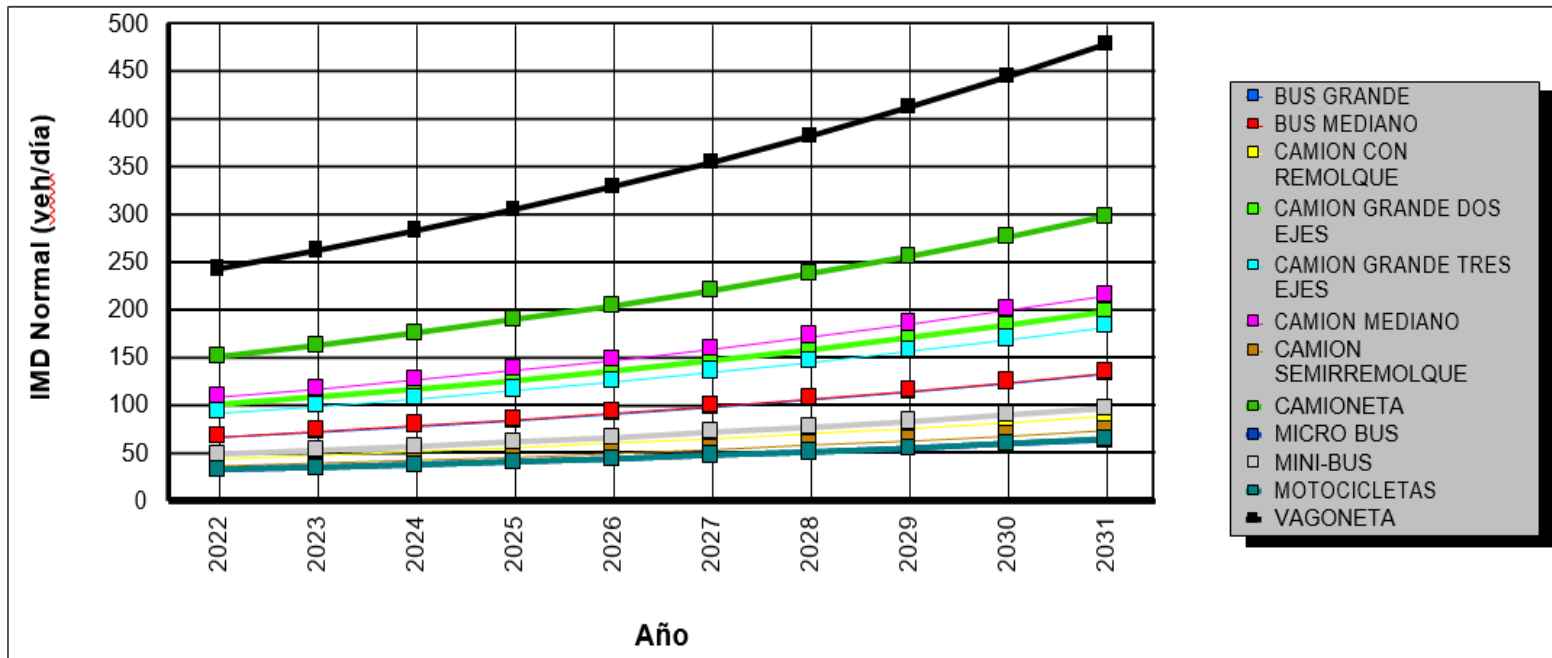
Gráfica 3.1: Intensidad media diaria (vehículos/día)

## Intensidad Media Diaria (vehículos/día)

Nombre del estudio: Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)

Fecha ejecución: 01-11-2022

Tramo: Puente Jarcas - Piedra Larga



Fuente: Software HDM-4



En el gráfico de IMD se puede observar la intensidad de los diferentes vehículos que circulan por el tramo Puente Jarcas-Piedra Larga, como se puede ver en todos los tipos de vehículos que existe un incremento de la cantidad de vehículos/día en el período de análisis. Siendo más relevante en vehículos livianos y medianos en comparación con los vehículos pesados.

**Tabla 3.20: TM Intensidad de tráfico y carga**

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## TM Intensidad de Tráfico y carga

Nombre del estudio: **Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)**

Fecha ejecución: **01-11-2022**

Moneda: **US Dollar**

**Tramo:** Puente Jarcas - Piedra Larga

ID: PJ - PL

Clase de carretera: Primario

Clase de pavimento inicial: Bituminoso

Longitud: 15.00 km

Ancho: 7.30 m

Rampa + Pendiente: 80.00 m/km

Curvatura: 500,00 °/km

Carriles: 2,00

Año	IMD	Carga			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Vehículos pesados (QCV) (veh/carril/día)	Vehículos ligeros equivalentes (dNELV)
<b>Bus grande</b>					
2022	68	0,03	0,04	34	682
2023	74	0,03	0,04	37	735
2024	79	0,03	0,04	40	792

Año	IMD	Carga			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Vehículos pesados (QCV) (veh/carril/día)	Vehículos ligeros equivalentes (dNELV)
2025	85	0,04	0,05	43	854
2026	92	0,04	0,05	46	921
2027	99	0,04	0,05	50	992
2028	106	0,05	0,06	53	1.070
2029	115	0,05	0,06	58	1.153
2030	124	0,05	0,07	62	1.243
2031	134	0,06	0,07	67	1.340
<b>Bus mediano</b>					
2022	69	0,01	0,03	35	690
2023	74	0,01	0,03	37	744
2024	80	0,01	0,03	40	802
2025	86	0,01	0,03	43	865
2026	93	0,01	0,03	47	932
2027	100	0,01	0,04	50	1.004
2028	108	0,01	0,04	54	1.082
2029	117	0,02	0,04	58	1.167
2030	126	0,02	0,05	63	1.258
2031	136	0,02	0,05	68	1.356
<b>Camión con remolque</b>					
2022	45	0,04	0,04	23	455
2023	49	0,04	0,05	25	490
2024	53	0,05	0,05	26	528
2025	57	0,05	0,05	28	569
2026	61	0,05	0,06	31	614
2027	66	0,06	0,07	33	662

Año	IMD	Carga			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Vehículos pesados (QCV) (veh/carril/día)	Vehículos ligeros equivalentes (dNELV)
2028	71	0,06	0,07	36	713
2029	77	0,07	0,07	38	768
2030	83	0,07	0,08	41	829
2031	89	0,08	0,08	45	893
<b>Camión grande dos ejes</b>					
2022	101	0,03	0,04	51	1.013
2023	109	0,03	0,04	55	1.092
2024	118	0,03	0,04	59	1.177
2025	127	0,03	0,05	63	1.269
2026	137	0,03	0,05	68	1.368
2027	147	0,04	0,05	74	1.474
2028	159	0,04	0,06	79	1.589
2029	171	0,04	0,06	86	1.713
2030	185	0,05	0,07	92	1.846
2031	199	0,05	0,07	100	1.990
<b>Camión grande tres ejes</b>					
2022	94	0,04	0,05	47	936
2023	101	0,04	0,06	50	1.009
2024	109	0,05	0,06	54	1.086
2025	117	0,05	0,06	58	1.173
2026	126	0,05	0,07	63	1.264
2027	136	0,06	0,08	68	1.362
2028	147	0,06	0,08	73	1.469
2029	158	0,07	0,09	79	1.583
2030	171	0,07	0,09	85	1.706
2031	184	0,08	0,10	92	1.839
<b>Camión mediano</b>					
2022	110	0,03	0,04	55	1.104
2023	119	0,03	0,04	60	1.191
2024	128	0,03	0,05	64	1.283

Año	IMD	Carga			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)
2025	138	0,03	0,05	69	1.383
2026	149	0,03	0,05	75	1.491
2027	161	0,04	0,06	80	1.607
2028	173	0,04	0,06	87	1.732
2029	187	0,04	0,07	93	1.867
2030	201	0,05	0,07	101	2.013
2031	217	0,05	0,08	108	2.169
<b>Camión semirremolque</b>					
2022	38	0,03	0,04	19	383
2023	41	0,04	0,04	21	413
2024	45	0,04	0,04	22	445
2025	48	0,04	0,04	24	480
2026	52	0,04	0,05	26	517
2027	56	0,05	0,05	28	557
2028	60	0,05	0,06	30	601
2029	65	0,06	0,06	32	648
2030	70	0,06	0,06	35	698
2031	75	0,06	0,07	38	752
<b>Camioneta</b>					
2022	152	0,001	0,06	n/a	152
2023	164	0,001	0,06	n/a	164
2024	176	0,001	0,06	n/a	176
2025	190	0,001	0,07	n/a	190
2026	205	0,001	0,08	n/a	205
2027	221	0,001	0,09	n/a	221
2028	238	0,001	0,09	n/a	238
2029	257	0,001	0,09	n/a	257
2030	277	0,001	0,10	n/a	277
2031	298	0,001	0,11	n/a	298
<b>Microbús</b>					
2022	33	0	0,01	n/a	33

Año	IMD	CARGA			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Vehículos pesados (QCV) (veh/carril/día)	Vehículos ligeros equivalentes (dNELV)
2023	36	0	0,01	n/a	36
2024	38	0	0,01	n/a	38
2025	41	0	0,02	n/a	41
2026	45	0	0,02	n/a	45
2027	48	0	0,02	n/a	48
2028	52	0	0,02	n/a	52
2029	56	0	0,02	n/a	56
2030	60	0	0,02	n/a	60
2031	65	0	0,02	n/a	65
<b>Minibús</b>					
2022	50	0	0,02	n/a	50
2023	53	0	0,02	n/a	53
2024	58	0	0,02	n/a	58
2025	62	0	0,02	n/a	62
2026	67	0	0,02	n/a	67
2027	72	0	0,03	n/a	72
2028	78	0	0,03	n/a	78
2029	84	0	0,03	n/a	84
2030	90	0	0,03	n/a	90
2031	97	0	0,04	n/a	97
<b>Motocicletas</b>					
2022	33	0	0,01	n/a	33
2023	36	0	0,01	n/a	36
2024	38	0	0,01	n/a	38
2025	41	0	0,02	n/a	41
2026	45	0	0,02	n/a	45
2027	48	0	0,02	n/a	48

Año	IMD	Carga			
	Normal (+Inducido) (veh/día)	Carga equivalente por eje (YE4) (millones/carril)	Número de ejes (YAXk) (millones/carril)	Vehículos pesados (QCV) (veh/carril/día)	Vehículos ligeros equivalentes (dNELV)
2028	52	0	0,02	n/a	52
2029	56	0	0,02	n/a	56
2030	60	0	0,02	n/a	60
2031	65	0	0,02	n/a	65
<b>Vagoneta</b>					
2022	244	0	0,09	n/a	244
2023	263	0	0,10	n/a	263
2024	284	0	0,10	n/a	284
2025	306	0	0,11	n/a	306
2026	329	0	0,12	n/a	329
2027	355	0	0,12	n/a	355
2028	383	0	0,14	n/a	383
2029	413	0	0,15	n/a	413
2030	445	0	0,16	n/a	445
2031	479	0	0,18	n/a	479

Fuente: Software HDM-4

En la tabla de intensidad de tráfico y carga de transporte motorizado, se muestra las cantidades de vehículos que va circular por la carretera, lo que calcula el software HDM-4 es la carga de los vehículos en periodo de 10 años, a medida que pasan los años sube la cantidad de vehículos a mayor intensidad habrá más carga equivalente por eje, el número de ejes de los vehículos pesados y vehículos ligeros.

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

**Tabla 3.21: Calendario de actuaciones (por año)**

## Calendario de actuaciones (por año)

Nombre del estudio: **Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)**

Fecha ejecución: **01-11-2022**

Todos los costos se expresan en: US Dollar.

Nota: sólo se muestran tramos que tienen actuaciones activadas.

Alternativa:		Alternativa 1		Clase de carretera:		Primary or Trunk	
Tramo:		Puente jarcas-piedra larga		Ancho:		7,30 m	
Tipo rodadura:		Bituminosa					
Longitud:		15,00 km					
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad de trabajo		
2022	Sellado de grietas	Sellg	2.382	2.804	2.108,27 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	262	307	316,24 sq. m		
2023	Sellado de grietas	Sellg	3.352	3.945	2.966,33 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	369	432	444,95 sq. m		
2024	Sellado de grietas	Sellg	4.209	4.954	3.725,17 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	464	542	558,78 sq. m		
2025	Sellado de grietas	Sellg	4.931	5.804	4.364,09 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	543	635	654,61 sq. m		
2026	Sellado de grietas	Sellg	5.521	6.498	4.885,57 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	608	711	732,84 sq. m		
2027	Sellado de grietas	Sellg	5.992	7.052	5.302,43 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	660	772	795,36 sq. m		
2028	Sellado de grietas	Sellg	6.363	7.489	5.630,88 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	701	819	844,63 sq. m		
2029	Sellado de grietas	Sellg	6.652	7.830	5.887,05 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	733	857	883,06 sq. m		
2030	Sellado de grietas	Sellg	6.876	8.094	6.085,36 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	758	885	912,80 sq. m		
2031	Sellado de grietas	Sellg	7.049	8.297	6.238,06 sq. m		
	Sellado de fisuras	Sellf	777	908	935,71 sq. m		
<b>Costo total para el tramo:</b>			59.204	69.634			

<b>Alternativa:</b>		<b>Alternativa 2</b>			
<b>Tramo:</b>		<b>Puente jarcas-piedra larga</b>		<b>Clase de carretera:</b>	<b>Primary or Trunk</b>
<b>Tipo rodadura:</b>		<b>Bituminosa</b>			
<b>Longitud:</b>		<b>15,00 km</b>		<b>Ancho:</b>	<b>7,30 m</b>
<b>Año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código</b>	<b>Costo económico</b>	<b>Costo financiero</b>	<b>Cantidad de trabajo</b>
2022	Sellado fisuras	Sellf	1.840	2.368	1.839,56 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	5.864	6.912	4.805,56 sq. m
2023	Sellado fisuras	Sellf	2.441	3.660	2.441,26 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	6.968	7.659	5.630,45 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	821	869	912,08 sq. m
2024	Sellado fisuras	Sellf	4.531	5.503	4.530,75 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	799	847	935,71 sq. m
2025	Sellado de grietas	Sellg	4.438	5.487	3.725,68 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	1.532	2.527	1.331,57 sq. m
2026	Bacheo profundo	Bach p	626	717	589,56 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.321	4.210	2.321,38 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	4.211	5.397	3.156,96 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	494	583	568,62 sq. m
2027	Bacheo profundo	Bach p	1.573	2.075	1.450,62 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.175	3.015	2.174,98 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	309	495	456,74 sq. m
2028	Bacheo profundo	Bach p	920	1.434	985,16 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.570	4.550	2.570,22 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.327	4.210	3.608,56 sq. m
2029	Bacheo profundo	Bach p	1.852	2.475	1.852,78 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.060	3.928	2.060,21 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.649	4.892	3.700,50 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	362	549	495,62 sq. m
2030	Bacheo profundo	Bach p	1.846	2.413	1.898,80 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.070	2.897	2.070,09 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	689	913	590,78 sq. m
2031	Bacheo profundo	Bach p	1.751	2.333	1.752,06 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.080	4.067	2.079,75 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.965	5.043	4.059,47 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	369	503	498,87 sq. m
<b>Costo total para el tramo:</b>			<b>68.259</b>	<b>92.361</b>	



Resumen de Costos Económicos Totales Anuales

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Total</b>
2022	2.645	7.703	10.348
2023	3.721	10.230	13.951
2024	4.673	5.330	10.003
2025	5.475	5.970	11.445
2026	6.129	7.460	13.589
2027	6.652	4.057	10.709
2028	7.064	6.816	13.880
2029	7.385	7.923	15.308
2030	7.634	4.605	12.239
2031	7.826	8.165	15.991
Total	59.204	68.259	127.463

Fuente: Software HDM-4

En este informe de calendario de actuaciones (por año), analiza las actuaciones de la alternativa 1 y la alternativa 2 para el proyecto, agrupados en un conjunto para considerar las alternativas como una unidad básica al realizar el análisis económico.

En primer lugar, los costos económicos se establecen en base a las alternativas mostrando en el HDM-4 que la alternativa 1 que contempla las actividades de sellado de grietas y sellado de fisuras tiene costos menores anuales podemos considerar son similares año tras año, mientras que en la alternativa 2 se analiza que existen años de mayor inversión económico en comparación con otros debido a las actividades que son periódicas.



2028	1628	0,31	Antes trabajo	AMGB	3,97	2,18	12,86	12,86	1,50	14,36	85,53	73	0,10	1,00	1,50	1,26	0,67	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,97	2,14	6,94	6,94	1,50	8,44	85,53	73	0,10	1,00	1,50	1,26	0,67	0,49
2029	1755	0,34	Antes trabajo	AMGB	3,96	2,35	13,44	13,44	1,50	14,94	84,89	115	0,16	1,00	1,73	1,44	0,67	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,96	2,31	7,26	7,26	1,50	8,76	84,89	115	0,16	1,00	1,73	1,44	0,67	0,49

Firme Bituminoso																		
Estado a final de año																		
Año	TM IM D	ESAL (millones /carril) YE4		Tipo de firme	Numero Estructural medio SNPK	Regularidad IRI (m/km) RI	Área Fisurada (%)				Área Peladuras (%) ARV	Baches		Área de rotura de borde (m /km) AEB	Roderas		Textura (mm) TD	Resistencia al deslizamiento SFC50
							Total, estructura IACA	Ancha estructural ACW	Transversal Térmica ACT	Fisuración total ACRA		Número por km NPT	Área (%) APOT		Profundidad media de la rodera (mm) RDM	Desv. Est. De la rodera RDS		
2030	1892	0,36	Antes trabajo	AMGB	3,95	2,56	13,89	13,89	1,50	15,39	84,37	165	0,23	1,00	1,96	1,61	0,67	0,48
			Después trabajo	AMGB	3,95	2,52	7,50	7,50	1,50	9	84,37	165	0,23	1,00	1,96	1,61	0,67	0,48
2031	2039	0,39	Antes trabajo	AMGB	3,95	2,84	14,24	14,24	1,50	15,74	83,93	226	0,31	1,00	2,19	1,78	0,67	0,48
			Después trabajo	AMGB	3,95	2,79	7,69	7,69	1,50	9,19	83,93	226	0,31	1,00	2,19	1,78	0,67	0,48

Detalles tramo:

ID: PJ - PL                      Descripción: **Puente Jarcas - Piedra Larga**                      Clase de carretera: **Primary or Trunk**  
Longitud: **15,00 km**                      Ancho: **7,30 m**                      Rampa + Pendiente: **80,00 m/km**                      Curvatura: **500,00 °/km**

Alternativa: ALTERNATIVA 2

Firme Bituminoso																		
Estado a final de año																		
Año	TM IM D	ESAL (millones /carril) YE4		Tipo de firme	Numero Estructura lmedio SNPK	Regularidad IRI (m/km) RI	Área Fisurada (%)				Área Peladura s(%) ARV	Baches		Área de rotura de borde (m /km) AEB	Roderas		Textura (mm) TD	Resistencia al deslizamiento SFC50
							Total, estructura IACA	Ancha estructura IACW	Transversa lTérmica ACT	Fisuración total ACRA		Númer o por km NPT	Área (%) APOT		Profundida dmedia de la rodera (mm) RDM	Desv. Est. De la rodera RDS		
2022	1038	0,20	Antes trabajo	AMGB	4,02	1,61	4,81	4,81	1,50	6,31	2,68	2	0,00	1,00	0,21	0,19	0,68	0,50

			Después trabajo	AMGB	4,02	1,59	2,89	2,89	1,50	4,39	2,68	2	0,00	1,00	0,21	0,19	0,68	0,50
2023	1119	0,21	Antes trabajo	AMGB	4,01	1,69	7,26	7,26	1,50	8,76	8,29	2	0,00	1,00	0,42	0,37	0,68	0,50
			Después trabajo	AMGB	4,01	1,67	4,35	4,35	1,50	5,85	8,29	2	0,00	1,00	0,42	0,37	0,68	0,50
2024	1206	0,23	Antes trabajo	AMGB	4,00	1,77	9,60	9,60	1,50	11,10	19,54	3	0,00	1,00	0,63	0,55	0,68	0,50
			Después trabajo	AMGB	4,00	1,75	5,76	5,76	1,50	7,26	19,54	3	0,00	1,00	0,63	0,55	0,68	0,50
2025	1300	0,25	Antes trabajo	AMGB	3,99	1,86	11,72	11,72	1,50	13,22	39,25	3	0,00	1,00	0,85	0,74	0,68	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,99	1,83	7,03	7,03	1,50	8,53	39,25	3	0,00	1,00	0,85	0,74	0,68	0,49
<b>Firme Bituminoso</b>																		
<b>Estado a final de año</b>																		
Año	TM IM D	ESAL (millones /carril) YE4		Tipo de firme	Numero Estructural medio SNPK	Regularidad IRI (m/km) RI	Área Fisurada (%)				Área Peladuras (%) ARV	Baches		Área de rotura de borde (m /km) AEB	Roderas		Textura (mm) TD	Resistencia al deslizamiento SFC50
							Total, estructura IACA	Ancha estructural ACW	Transversal Térmica ACT	Fisuración total ACRA		Número por km NPT	Área (%) APOT		Profundidad media de la rodera (mm) RDM	Dev. Est. De la rodera RDS		
2026	1401	0,27	Antes trabajo	AMGB	3,97	1,96	13,57	13,35	1,50	15,07	66,22	15	0,02	1,00	1,06	0,91	0,68	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,97	1,92	8,14	7,94	1,50	9,64	66,22	7	0,01	1,00	1,06	0,91	0,68	0,49
2027	1510	0,29	Antes trabajo	AMGB	3,96	2,06	15,14	14,87	1,50	16,64	83,30	30	0,04	1,00	1,29	1,09	0,67	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,96	2,01	9,09	8,85	1,50	10,59	83,30	14	0,02	1,00	1,29	1,09	0,67	0,49
2028	1628	0,31	Antes trabajo	AMGB	3,95	2,18	16,47	16,13	1,50	17,97	81,96	45	0,06	1,00	1,51	1,27	0,67	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,95	2,12	9,88	9,60	1,50	11,38	81,96	22	0,03	1,00	1,51	1,27	0,67	0,49
2029	1755	0,34	Antes trabajo	AMGB	3,94	2,30	17,56	17,17	1,50	19,06	80,85	55	0,08	1,00	1,74	1,44	0,67	0,49
			Después trabajo	AMGB	3,94	2,24	10,54	10,22	1,50	12,04	80,85	27	0,04	1,00	1,74	1,44	0,67	0,49
2030	1892	0,36	Antes trabajo	AMGB	3,93	2,43	18,46	18,02	1,50	19,96	79,94	63	0,09	1,00	1,97	1,62	0,67	0,48
			Después trabajo	AMGB	3,93	2,36	11,07	10,72	1,50	12,57	79,94	30	0,04	1,00	1,97	1,62	0,67	0,48
2031	2039	0,39	Antes trabajo	AMGB	3,92	2,57	19,19	18,71	1,50	20,69	79,21	69	0,09	1,00	2,20	1,79	0,67	0,48
			Después trabajo	AMGB	3,92	2,50	11,51	11,13	1,50	13,01	79,21	33	0,05	1,00	2,20	1,79	0,67	0,48

Fuente: Software HDM-4

En esta tabla se muestra el estado anual de la carretera, en antes de trabajos muestra como era antes de realizar una actividad, y después trabajos es cuando ya se realizó la actividad y baja los valores de la regularidad, las áreas fisuradas y los baches, se puede observar en las tablas el estado anual para la alternativa 1 y alternativa 2.

Gráfica 3.2: Regularidad media por alternativa de proyecto

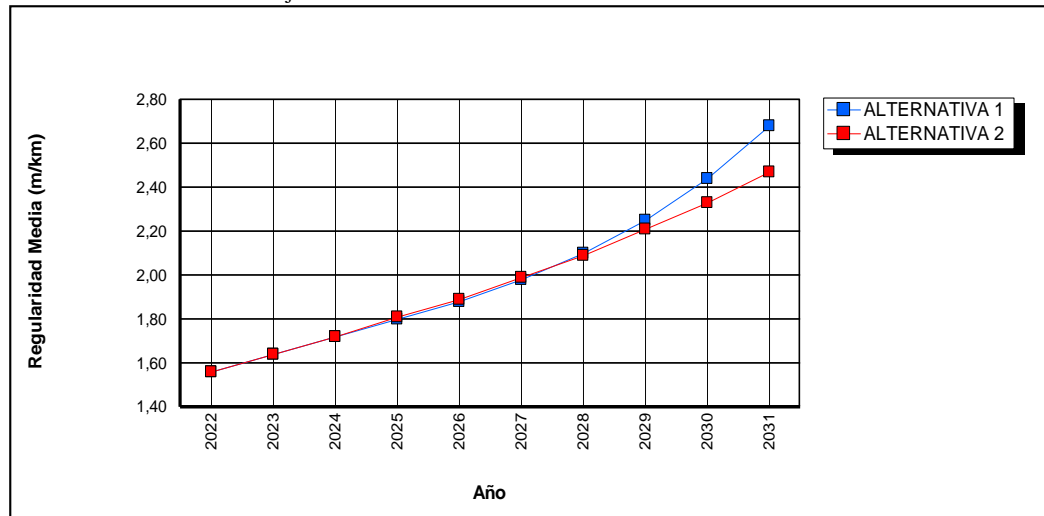
# HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Gráfico de Regularidad Media por Alternativa de Proyecto

Nombre del estudio: **Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)**

Fecha ejecución: **01-11-2022**



Fuente: Software HDM-4

Se pueden comprobar los resultados del deterioro vial examinando el informe regularidad media por alternativa de proyecto, que se muestra en la gráfica. Se presenta la evolución del índice de regularidad internacional (IRI) para cada uno de los escenarios presupuestarios definidos para cada alternativa, en eje “x” muestra el periodo de años, en eje “y” el IRImed la regularidad media, también se puede apreciar la evolución de este indicador en el tiempo

**Tabla 3.23: TM costo medio anual por veh-km**

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## TM Costo medio anual por veh-km

Nombre del estudio: **Puente Jarcas - Piedra Larga (Mantenimiento correctiva)**

Fecha ejecución: **01-11-2022**

Moneda: **US Dollar**

**Tramo:** Puente Jarcas - Piedra Larga

ID: PJ - PL

Clase de carretera: Primary or Trunk

Longitud: 15,00 km

Ancho: 7,30 m

Rampa + Pendiente: 80,00 m/km

Curvatura: 500,00 °/km

Año	Velocidad media (km/hr)	Costo anual medio por vehículo-kilómetro			Costo anual medio por vehículo-viaje		
		VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera	VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera
<b>Bus grande</b>							
2022	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2023	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2024	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2025	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2026	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2027	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2028	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2029	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2030	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
2031	53	0,80	0,75	1,54	11	11	22
<b>Bus mediano</b>							
2022	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2023	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2024	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2025	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14

Año	Velocidad media (km/hr)	Costo anual medio por vehículo-kilómetro			Costo anual medio por vehículo-viaje		
		VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera	VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera
2026	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2027	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2028	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2029	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2030	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
2031	46	0,46	0,60	1,05	6	8	14
<b>Camión con remolque</b>							
2022	28	1,62	0,12	1,74	24	1	25
2023	28	1,62	0,12	1,74	24	1	25
2024	28	1,62	0,12	1,74	24	1	25
2025	28	1,62	0,12	1,74	24	1	25
2026	28	1,63	0,12	1,74	24	1	25
2027	28	1,63	0,12	1,74	24	1	25
2028	28	1,63	0,12	1,74	24	1	25
2029	28	1,63	0,12	1,75	24	1	25
2030	28	1,63	0,12	1,75	24	1	25
2031	28	1,63	0,12	1,75	24	1	25
<b>Camión grande dos ejes</b>							
2022	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2023	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2024	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2025	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2026	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2027	24	1,25	0,19	1,44	18	2	20
2028	24	1,25	0,19	1,45	18	2	20
2029	24	1,25	0,19	1,45	18	2	20
2030	24	1,25	0,19	1,45	18	2	20
2031	24	1,26	0,19	1,45	18	2	20
<b>Camión grande tres ejes</b>							
2022	42	1,19	0,11	1,29	17	1	18
2023	42	1,19	0,11	1,29	17	1	18
2024	42	1,19	0,11	1,29	17	1	18
2025	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
2026	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
2027	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
2028	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
2029	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18

Año	Velocidad media (km/hr)	Costo anual medio por vehículo-kilómetro			Costo anual medio por vehículo-viaje		
		VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera	VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera
2030	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
2031	42	1,19	0,11	1,30	17	1	18
<b>Camión mediano</b>							
2022	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2023	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2024	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2025	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2026	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2027	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2028	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2029	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2030	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
2031	46	0,61	0,07	0,68	9	1	10
<b>Camión semirremolque</b>							
2022	26	1,90	0,11	2,01	28	1	29
2023	26	1,90	0,11	2,01	28	1	29
2024	26	1,90	0,11	2,01	28	1	29
2025	26	1,90	0,11	2,01	28	1	29
2026	26	1,90	0,11	2,02	28	1	29
2027	26	1,90	0,11	2,02	28	1	29
2028	26	1,90	0,11	2,02	28	1	29
2029	26	1,90	0,11	2,02	28	1	29
2030	26	1,91	0,11	2,02	28	1	29
2031	26	1,91	0,11	2,02	28	1	29
<b>Camioneta</b>							
2022	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2023	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2024	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2025	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2026	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2027	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2028	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2029	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2030	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
2031	59	0,08	0,10	0,18	1	1	2
<b>Microbús</b>							
2022	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5



Año	Velocidad media (km/hr)	Costo anual medio por vehículo-kilómetro			Costo anual medio por vehículo-viaje		
		VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera	VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera
2023	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2024	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2025	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2026	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2027	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2028	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2029	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2030	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
2031	59	0,21	0,14	0,35	3	2	5
<b>Minibús</b>							
2022	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2023	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2024	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2025	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2026	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2027	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2028	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2029	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2030	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
2031	59	0,22	0,15	0,36	3	2	5
<b>Motocicletas</b>							
2022	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2023	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2024	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2025	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2026	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2027	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2028	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2029	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2030	60	0	0,02	0,02	0	0	0
2031	60	0	0,02	0,02	0	0	0

Año	Velocidad media (km/hr)	Costo anual medio por vehículo-kilómetro			Costo anual medio por vehículo-viaje		
		VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera	VOC	Tiempo de Viaje	Cte. usuario carretera
<b>Vagoneta</b>							
2022	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2023	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2024	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2025	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2026	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2027	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2028	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2029	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2030	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2
2031	55	0,15	0,06	0,21	2	0	2

Fuente: Software HDM-4

En la tabla costo medio anual por vehículo-kilómetro de transporte motorizado, muestra cuánto cuesta el mantenimiento a vehículo kilómetro, interesa la cantidad de vehículos y la cantidad de kilometraje donde se muestra en la siguiente tabla que normalmente tendría que subir poco y casi se mantiene los valores el costo anual medio por vehículo-kilometro, y como se realizó programaciones anuales se mantiene la carretera en las mismas condiciones.

En costos anual medio por vehículo-viaje, gracias a las actividades de las alternativas tanto la alternativa 1 rutina y la alternativa 2 periódica las condiciones no varían tanto anualmente siguen manteniéndose.

### 3.7 Evaluación de los costos de ciclo de vida en el tramo en estudio.

En los análisis de proyecto HDM-4, se evaluará las distintas alternativas de intervención. Este análisis se realizó de forma separada extrayendo de las bases de datos generadas por la salida de datos obteniendo para cada alternativa los indicadores económicos.

Para el análisis de este proyecto las opciones de mantenimiento de la carretera se definieron dos alternativas de estándares de conservación, las actividades necesarias en cada alternativa son:

Alternativa 1 (mantenimiento de rutina): el mantenimiento requerido consiste en rutinario, sellado de fisuras y grietas.

**Tabla 3.24: Actividades de mantenimiento de rutina**

Categoría	Clase	Tipo
Estándares de conservación	Mantenimiento rutinario	Sellado de grietas
		Sellado de fisuras

Fuente: Elaboración propia

Alternativa 2 (mantenimiento periódico): en este caso el mantenimiento es igual a la alternativa 1 pero más bacheo superficial y profundo, consiste en el mantenimiento periódico todos los años.

**Tabla 3.25: Actividades de mantenimiento periódico**

Categoría	Clase	Tipo
Estándares de conservación	Mantenimiento periódico	Sellado de grietas
		Sellado de fisuras
		Bacheo superficial
		Bacheo profundo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.26: Tabla de calendario de actuaciones costos dólares \$us alternativa 1**

<b>Alternativa: Alternativa 1</b> <b>Tramo: Puente Jarcas-Piedra Larga</b> <b>Clase de carretera: Primary or Trunk</b> <b>Tipo rodadura: Bituminosa</b> <b>Longitud: 15,00 km</b> <b>Ancho: 7,30 m</b>					
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad de trabajo
2022	Sellado de grietas	Sellg	2.382	2.804	2.108,27 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	262	307	316,24 sq. m
2023	Sellado de grietas	Sellg	3.352	3.945	2.966,33 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	369	432	444,95 sq. m
2024	Sellado de grietas	Sellg	4.209	4.954	3.725,17 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	464	542	558,78 sq. m
2025	Sellado de grietas	Sellg	4.931	5.804	4.364,09 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	543	635	654,61 sq. m
2026	Sellado de grietas	Sellg	5.521	6.498	4.885,57 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	608	711	732,84 sq. m
2027	Sellado de grietas	Sellg	5.992	7.052	5.302,43 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	660	772	795,36 sq. m
2028	Sellado de grietas	Sellg	6.363	7.489	5.630,88 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	701	819	844,63 sq. m
2029	Sellado de grietas	Sellg	6.652	7.830	5.887,05 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	733	857	883,06 sq. m
2030	Sellado de grietas	Sellg	6.876	8.094	6.085,36 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	758	885	912,80 sq. m
2031	Sellado de grietas	Sellg	7.049	8.297	6.238,06 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	777	908	935,71 sq. m
<b>Costo total para el tramo:</b>			59.204	69.634	

Fuente: Software HDM-4

**Tabla 3.27: Tabla de calendario de actuaciones costos bolivianos Bs alternativa 1**

<b>Año</b>	<b>Descripción</b>	<b>Código</b>	<b>Costo económico</b>	<b>Costo financiero</b>	<b>Cantidad de trabajo</b>
2022	Sellado de grietas	Sellg	16.581	19.516	2.108,27 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	1.827	2.135	316,24 sq. m
2023	Sellado de grietas	Sellg	23.330	27.459	2.966,33 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	2.570	3.004	444,95 sq. m
2024	Sellado de grietas	Sellg	29.298	34.483	3.725,17 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	3.228	3.772	558,78 sq. m
2025	Sellado de grietas	Sellg	34.323	40.398	4.364,09 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	3.782	4.419	654,61 sq. m
2026	Sellado de grietas	Sellg	38.424	45.225	4.885,57 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	4.233	4.948	732,84 sq. m
2027	Sellado de grietas	Sellg	41.703	49.084	5.302,43 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	4.595	5.370	795,36 sq. m
2028	Sellado de grietas	Sellg	44.286	52.124	5.630,88 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	4.879	5.702	844,63 sq. m
2029	Sellado de grietas	Sellg	46.300	54.495	5.887,05 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	5.101	5.962	883,06 sq. m
2030	Sellado de grietas	Sellg	47.860	56.331	6.085,36 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	5.273	6.163	912,80 sq. m
2031	Sellado de grietas	Sellg	49.061	57.745	6.238,06 sq. m
	Sellado de fisuras	Sellf	5.405	6.317	935,71 sq. m
<b>Costo total para el tramo:</b>			412.060	484.650	

Fuente: Elaboración propia

En la alternativa 1 mantenimiento rutinario, las actividades fueron sellado de grietas y sellado de fisuras, en el sellado de grietas se tuvo un costo económico de 2.382 \$ en el año 2022, al finalizar la gestión 2023 el costo económico fue de 3.352 \$, el incremento del año 2022 al 2023 fue un costo de 970 \$ de sellado de grietas, debido a que al ser un mantenimiento rutinario las actividades mencionadas se los realizan de una manera más continuó el mantenimiento de la carretera, desde otro punto de vista se incrementan los

costos de mantenimiento rutinario debido a que los costos del material y maquinaria aumenta su precio.

El incremento de costos de la actividad de sellado de grietas para el año 2022 inicio con 2.382 \$ y para el año 2031 de 7.049 \$ teniendo un incremento de costos de 4.667 \$ en 10 años de mantenimiento rutinario, en cuanto a la actividad de sellado de fisuras para el año 2022 con un costo de 262 \$ y para el año 2031 con un costo de 777 \$ teniendo un incremento de costos de 515 \$ en 10 años de mantenimiento rutinario.

También se puede observar la tabla de calendario de actuaciones costos en bolivianos alternativa 1.

**Tabla 3.28: Tabla de calendario de actuaciones costos dólares \$us alternativa 2**

Alternativa: Alternativa 2					
Tramo: Puente Jarcas - Piedra Larga		Clase de carretera: Primary or Trunk			
Tipo rodadura: Bituminosa		Ancho: 7,30 m			
Longitud: 15,00 km					
Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad de trabajo
2022	Sellado fisuras	Sellf	1.840	2.368	1.839,56 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	5.864	6.912	4.805,56 sq. m
2023	Sellado fisuras	Sellf	2.441	3.660	2.441,26 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	6.968	7.659	5.630,45 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	821	869	912,08 sq. m
2024	Sellado fisuras	Sellf	4.531	5.503	4.530,75 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	799	847	935,71 sq. m
2025	Sellado de grietas	Sellg	4.438	5.487	3.725,68 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	1.532	2.527	1.331,57 sq. m
2026	Bacheo profundo	Bach p	626	717	589,56 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.321	4.210	2.321,38 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	4.211	5.397	3.156,96 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	494	583	568,62 sq. m
2027	Bacheo profundo	Bach p	1.573	2.075	1.450,62 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.175	3.015	2.174,98 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	309	495	456,74 sq. m

2028	Bacheo profundo	Bach p	920	1.434	985,16 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.570	4.550	2.570,22 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.327	4.210	3.608,56 sq. m
2029	Bacheo profundo	Bach p	1.852	2.475	1.852,78 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.060	3.928	2.060,21 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.649	4.892	3.700,50 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	362	549	495,62 sq. m
2030	Bacheo profundo	Bach p	1.846	2.413	1.898,80 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.070	2.897	2.070,09 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	689	913	590,78 sq. m
2031	Bacheo profundo	Bach p	1.751	2.333	1.752,06 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	2.080	4.067	2.079,75 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	3.965	5.043	4.059,47 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	369	503	498,87 sq. m
<b>Costo total para el tramo:</b>			68.259	92.361	

Fuente: Software HDM-4

**Tabla 3.29: Tabla de calendario de actuaciones costos bolivianos Bs alternativa 2**

Año	Descripción	Código	Costo económico	Costo financiero	Cantidad de trabajo
2022	Sellado fisuras	Sellf	12.803	16.482	1.839,56 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	40.811	48.109	4.805,56 sq. m
2023	Sellado fisuras	Sellf	16.991	25.477	2.441,26 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	48.497	53.309	5.630,45 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	5.714	6.046	912,08 sq. m
2024	Sellado fisuras	Sellf	31.534	38.298	4.530,75 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	5.561	5.893	935,71 sq. m
2025	Sellado de grietas	Sellg	30.891	38.190	3.725,68 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	10.660	17.588	1.331,57 sq. m
2026	Bacheo profundo	Bach p	4.360	4.991	589,56 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	16.157	29.302	2.321,38 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	29.305	37.562	3.156,96 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	3.437	4.056	568,62 sq. m

2027	Bacheo profundo	Bach p	10.948	14.442	1.450,62 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	15.138	20.985	2.174,98 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	2.151	3.447	456,74 sq. m
2028	Bacheo profundo	Bach p	6.401	9.980	985,16 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	17.889	31.670	2.570,22 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	23.153	29.302	3.608,56 sq. m
2029	Bacheo profundo	Bach p	12.887	17.228	1.852,78 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	14.339	27.342	2.060,21 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	25.396	34.048	3.700,50 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	2.521	3.823	495,62 sq. m
2030	Bacheo profundo	Bach p	12.848	16.797	1.898,80 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	14.408	20.160	2.070,09 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	4.798	6.353	590,78 sq. m
2031	Bacheo profundo	Bach p	12.186	16.235	1.752,06 sq. m
	Sellado fisuras	Sellf	14.475	28.305	2.079,75 sq. m
	Sellado de grietas	Sellg	27.597	35.101	4.059,47 sq. m
	Bacheo superficial	Bach s	2.569	3.502	498,87 sq. m
<b>Costo total para el tramo:</b>			476.424	644.022	

Fuente: Elaboración propia

En la alternativa 2 mantenimiento periódico, las actividades que se desarrollaron fueron sellado de fisuras, sellado de grietas, bacheo superficial y bacheo profundo.

En el año 2022 se realizó solo dos actividades sellado de grietas y sellado de fisuras, y para el año 2026 se realizaron todas las actividades propuestas del mantenimiento periódico: sellado de grietas, sellado de fisuras, bacheo superficial y bacheo profundo; la variación de las actividades en el transcurso de los años es debido a que el tiempo entre mantenimientos es mucho menos recurrente que el mantenimiento rutinario ocasionando que varíe cada año el tipo de fallas en el tramo de Puente Jarcas-Piedra Larga, debido a que cada año los factores climáticos cambian y los volúmenes de tráfico.



Se podrá observar que los costos de la misma actividad varían en diferentes años, debido a que la cantidad de las fallas no es la misma para todos los años, lo que significa que podemos decir, por ejemplo, la cantidad de un sellado de fisuras para el año 2022 es de 1.839,56 sq. m y para el año 2024 tiene una cantidad de 4.530,75 sq. m, debido a eso los costos de la misma actividad cambian y no son consecutivos como en el mantenimiento rutinario.

También se puede observar la tabla de calendario de actuaciones costos en bolivianos alternativa 2.

La siguiente tabla muestra un resumen de los costos totales de cada año, y para cada alternativa, dando así un costo total de cada alternativa.

Se puede observar en la alternativa 1 que tiene un menor costo de ciclo de vida que la alternativa 2, dando resultados en dólares (\$us) y en bolivianos (Bs), se realizó el análisis de los costos de ciclo de vida para un periodo de diez años.

**Tabla 3.30: Tabla de resumen de costos dólares \$us**

Resumen de Costos Económicos Totales Anuales

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Total</b>
2022	2.645	7.703	10.348
2023	3.721	10.230	13.951
2024	4.673	5.330	10.003
2025	5.475	5.970	11.445
2026	6.129	7.652	13.589
2027	6.652	4.057	10.709
2028	7.064	6.816	13.880
2029	7.385	7.923	15.308
2030	7.634	4.605	12.239
2031	7.826	8.165	15.991
Total	59.204	68.259	127.463

Fuente: Software HDM-4

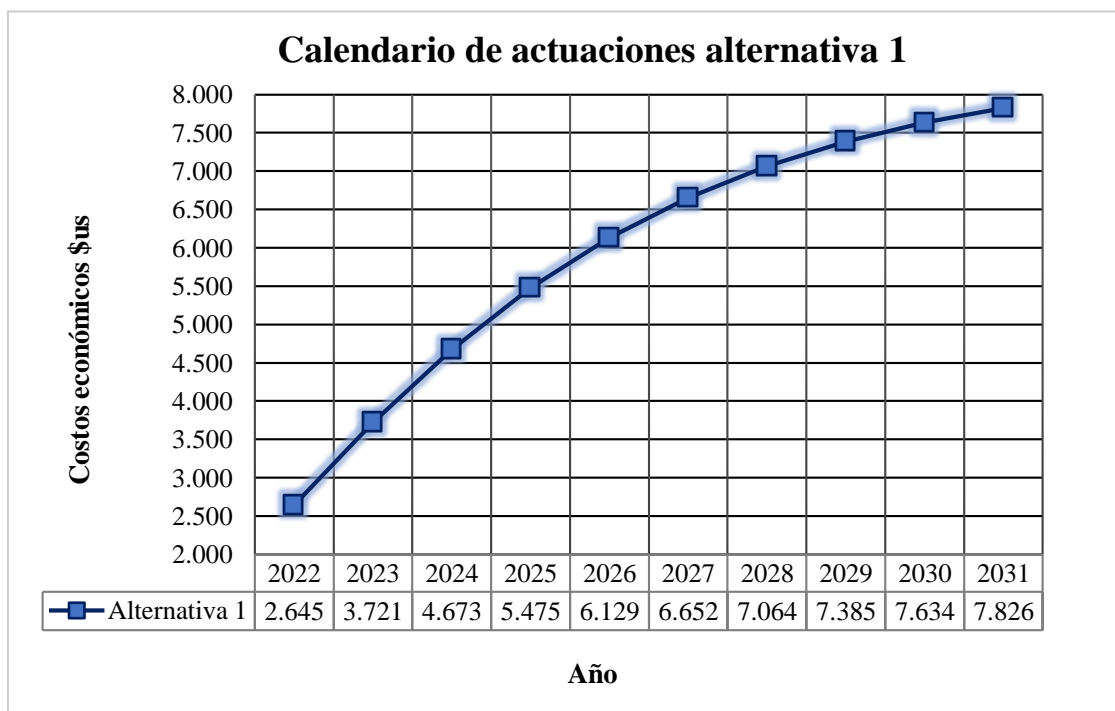
**Tabla 3.31: Tabla de resumen de costos bolivianos Bs**

	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Total</b>
2022	18.409	53.614	72.023
2023	25.898	71.202	97.101
2024	32.524	37.095	69.619
2025	38.106	41.551	79.657
2026	42.658	53.259	95.917
2027	46.298	28.237	74.535
2028	49.165	47.442	96.608
2029	51.400	55.142	106.542
2030	53.133	32.053	85.186
2031	54.469	56.827	111.296
Total	412.060	476.424	888.484

Fuente: Elaboración propia

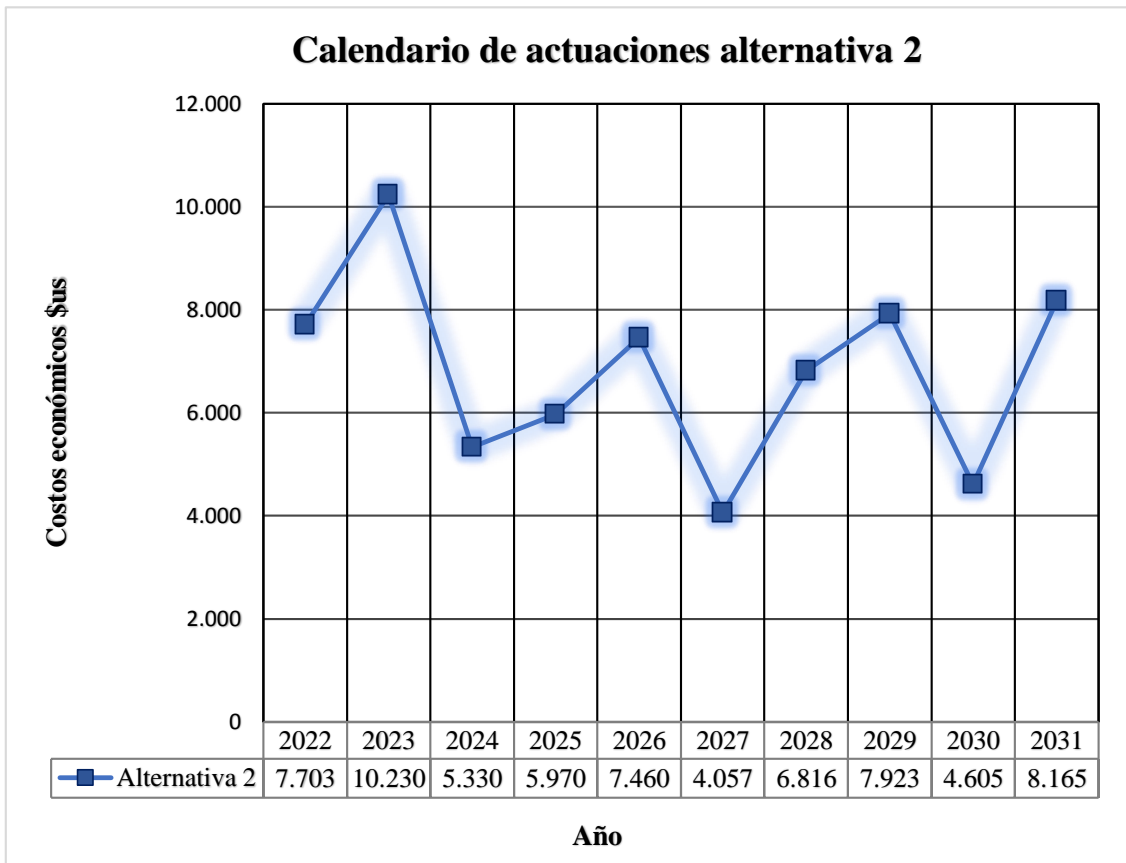
En las siguientes gráficas se puede observar los resúmenes de costos por año, en eje “x” muestra los años y en el eje “y” los costos económicos en dólares por año, para cada alternativa se puede observar de una manera gráfica la variación de los costos económicos en el transcurso de los años.

**Gráfica 3.3: Calendario de actuaciones alternativa 1**



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3.4: Calendario de actuaciones alternativa 2



Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- El sistema de gestión y desarrollo de carreteras (HDM-4), está basado en el método de AASHTO, el programa computacional utiliza los modelos técnicos que predicen el deterioro de la carretera tomando los datos de la condición de la misma, y los factores de comportamiento que afectan el deterioro. De la misma manera los modelos técnicos nos dan a conocer los deterioros /efectos de los trabajos, efecto sobre el usuario, el cual permite realizar un análisis técnico económico considerando el ciclo de vida de la carretera, determinando los costos y beneficios en período de 10 años.
- Se consideró las condiciones de la carretera en estudio, desde la ubicación del proyecto para una correcta simulación de las características de comportamiento y datos de diseño de la carretera, teniendo presente condiciones ambientales como clima, humedad, altitud, etc., las cuales inciden en el comportamiento del pavimento asfáltico y su desgaste por los vehículos.
- Para el trabajo en campo del método PCI (índice de condición presente), se realizó para evaluar el estado de la carretera para tener el conocimiento en qué condiciones se encuentra la carretera en estudio, como resultado se obtuvo un valor en totalidad del tramo de 99% clasificando el estado de la carretera como excelente.

Dentro del trabajo en campo se realizó el IRI (índice de rugosidad internacional), mediante el método de merlín, obteniendo un resultado de 1,52 m/km la calificación del estado de la carretera es de excelente, es un dato fundamental en la metodología de HDM-4 debido a que es un indicador de la condición global de la carretera.

- Para la evaluación del índice de serviciabilidad presente (PSI) del pavimento flexible se evaluó a través del valor de IRI, mediante una correlación entre el IRI y el PSI desarrollado por la AASHTO, obteniendo como resultado de 3,56 clasificando el estado de la carretera como buena.

- Para el proyecto se realizó el tráfico promedio diario anual (TPDA) actual, mediante el método de la ABC, obteniendo un valor de 1038 del año 2022, se proyectó con el índice de crecimiento de 7,79% que fue obtenida con datos del INE.
- Al utilizar el modelo HDM-4 para la evaluación del proyecto se obtienen muchos tipos de resultados, se presentan en estos informes: tráfico, deterioros/efectos de los trabajos y efectos sobre el usuario, los que se considera los más importantes de acuerdo con el proyecto evaluado. Los resultados están relacionados con el estado de la carretera que involucra directamente el costo, representados en los costos de inversión que constan de aquellos derivados del mantenimiento.
- En el informe de deterioros/efectos de los trabajos se presentan los resultados del estado del tramo evaluado de acuerdo con las alternativas consideradas, en el informe de calendario de actuaciones nos indicó que la alternativa 1 “mantenimiento rutinario”, en sellado de grietas se obtuvo un costo económico de 2.382 \$ en el año 2022, al finalizar la gestión 2023 el costo económico fue de 3.352 \$, el incremento del año 2022 al 2023 fue un costo de 970 \$, debido a que al ser un mantenimiento rutinario las actividades mencionadas se los realizan de una manera más continuó el mantenimiento de la carretera, desde otro punto de vista se incrementan los costos de mantenimiento rutinario debido a que los costos del material y maquinaria aumenta su precio.

En la alternativa 2 “mantenimiento periódico” en el año 2022 se realizó solo dos actividades, y para el año 2026 se realizaron todas las actividades propuestas del mantenimiento periódico: sellado de grietas, sellado de fisuras, bacheo superficial y bacheo profundo; la variación de las actividades en el transcurso de los años es debido a que el tiempo entre mantenimientos es mucho menos recurrente que el mantenimiento rutinario ocasionando que varíe cada año el tipo de fallas en el tramo, debido a que cada año los factores climáticos cambian y los volúmenes de tráfico.

## 4.2 Recomendaciones

- El detalle de las características de comportamiento, la identificación de las fallas y deterioro en la carretera es crucial en el análisis de HDM-4, es un elemento necesario que se debe hacer un énfasis en la entrada de datos, como ser en la red de carreteras, parque de vehículos y estándares de mantenimiento, es importante verificar que los valores estén correctamente introducidos al software HDM-4.
- Para evitar el deterioro de los pavimentos asfálticos se deben establecer procedimientos de administración vial capaces de generar un completo control en cuanto al mantenimiento. Para realizar dichos procesos se deben establecer alternativas que permiten identificar el problema, establecer el estado de la vía y consecuentemente proponer el tipo de tratamiento requerido. Lo ideal sería que no se realizaran actividades de rehabilitación, sino que, a través de actividades previas de supervisión, se ejecute un mantenimiento preventivo que garantice el buen estado de los pavimentos.
- Se recomienda que al realizar los estudios de tránsito en nuestras carreteras se identifiquen correctamente los vehículos que usan, para modelar efectivamente estos en el software HDM-4 y no otros diferentes que puedan distorsionar los resultados obtenidos con el software.
- En cuanto al software HDM-4 se recomienda estudiar y analizar detalladamente los manuales del programa computacional para tener buenos resultados, ya que en nuestro país no cuentan con cursos sobre el manejo del mismo.
- Se recomienda la implementación del software para lograr su uso de las nuevas tecnologías de la información que ayude al desarrollo social de Bolivia, por lo que sería de mucha utilidad la implementación de la metodología del programa HDM-4, ya que si fuera posible se tendría un monitoreo óptimo y permitiría alargar la vida útil de los pavimentos asfálticos.