

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1.INTRODUCCIÓN**

Con el surgimiento del tiempo crece la importancia de las vías, la invención de nuevos y más cómodos sistemas de transportes requiere cada vez y más complejas vías de comunicación terrestre. Dado el elevado costo de las vías ahora utilizadas surge inmediatamente la necesidad de realizar un mantenimiento periódico de las mismas a fin de prolongar su vida útil y reducir los gastos.

A lo largo de las últimas décadas, muchos han sido los esfuerzos de los organismos de administración de la infraestructura vial de los países por encontrar métodos que se les permitan racionalizar y mejorar sus prácticas de conservación y mantenimiento de vías, procurando optimizar los recursos. Los países desarrollados han sido pioneros en el estudio e implementación de este tipo de metodologías, aunque también estos conceptos se han ido arraigando en los países emergentes como el nuestro.

Una de las principales herramientas computacionales elaboradas para definición de políticas de conservación de las vías fue el modelo HDM -3 del Banco Mundial, de amplio uso en Latinoamérica a lo largo de las dos últimas décadas.

Desde el año 2000 está asimismo disponible la versión más reciente de este programa denominado HDM-4, que presenta un importante número de mejoras respecto al HDM-3, en múltiples aspectos.

Este programa permite analizar la contaminación ambiental causada por los vehículos, actualiza los modelos de deterioro y actividades de conservación de pavimento asfálticos, e introduce la evaluación de comportamiento de pavimentos de hormigón, entre otras mejoras.

Los modelos matemáticos de predicción del deterioro de pavimentos incorporados en estos programas computarizados son resultados de estudios teórico-empírico del comportamiento de dichos pavimentos ante las sollicitaciones del tránsito y las condiciones climáticas a lo largo de su vida útil. Estos modelos fueron desarrollados de información provista por bases de datos internacionales y por lo tanto deben ser calibrados a las

condiciones locales si se los pretende aplicar con una confiabilidad aceptable en la evaluación de carreteras ya sea a nivel nacional, departamental o regional.

Los modelos de predicción de deterioro en pavimentos de hormigón fueron recientemente incorporados a la versión HDM-4 y no existían en las anteriores versiones. De ahí la necesidad de llevar a cabo la calibración y ajuste de estos modelos, considerando que en Tarija existen varios kilómetros de vías pavimentadas con hormigón, muchas de las cuales ya han superado su vida útil. Esto permitirá aplicar el HDM-4 con confiabilidad en la optimización del mantenimiento de los pavimentos de hormigón existentes, como así también con antecedentes para el análisis de futuros diseños de este tipo de pavimentos.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA**

En los últimos años el tema de construcción de vías en todos los países y también en el nuestro han adquirido mucha importancia, la ejecución de nuevos y mas tramos viales han dado lugar a nuevas experiencias en la construcción de vías sean estas urbanas o carreteras cuyo comportamiento a través de su vida útil requiere ser evaluada, es común para ello utilizar evaluaciones de estado ya se superficial como estructural sin embargo es importante hacer una evaluación del comportamiento con fines de proyección hacia los años de servicio, esa forma la tiene establecida el HDM-4 que en uno de los módulos de su software establecido para la evaluación, planificación y gestión de las carreteras estas descritas en este programa.

Debido a la importancia de determinar metodologías que permitan evaluar el comportamiento de las vías sean estas urbanas o carreteras a través de los años de servicio y en base a esos indicadores poder planificar las acción es que se deben ejecutar a corto, mediano y largo plazo en las vías nos permite el HDM-4, sin embargo lamentablemente es un programa no desarrollado en nuestro país por lo que algunos de los paramentos necesariamente deben ser calibrados y ajustados de manera que los resultados nos permiten obtener certeza y coherencia con las necesidades de la vía.

Establecer cuales son los parámetros que deben ajustarse y calibrarse para que los resultados nos permitan planificar en forma certera las acciones que deben realizarse en la carretera en los próximos años dentro de su vida útil es una necesidad para hacer viable la utilización del programa en forma correcta.

Los resultados que pueden obtenerse de estudio en nuestro medio pueden ser una base importante para las entidades encargadas en la planificación de las acciones sobre las vías de manera que será un indicador importante que permitirá priorizar algunos tramos sobre otros en la realización de acciones ingenieriles en pos de mejorar sus condiciones.

Significará un aporte académico importante porque permiten profundizar con respecto a los conocimientos dados en las materias de la carrera de ingeniería civil lo que se hace que se convierta en un documento de consulta.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Situación problemática**

El pavimento rígido en Bolivia ha sido aplicado esporádicamente en obras viales, como también se implementó poco a poco en las calles de la ciudad de Tarija, dado que la aplicación de este método es relativamente nuevo, no se tiene un conocimiento real de los datos con los que fueron construidos, es por eso que surge el problema de evaluar las fallas que se presentan en el pavimento rígido, para aplicar una solución oportuna que evite tales deterioros.

El deterioro de las vías depende de la magnitud y composición del tráfico que la utiliza, condiciones medioambientales del lugar don está enclavada, de los materiales empleados en su construcción, de la calidad de esta y de la atención que han recibido en el mantenimiento eficaz y oportuno que este tipo de facilidades requiere.

Las calles de la zona urbana de la ciudad de Tarija a pesar de ser muy transitadas, presentan déficit en la calidad de su pavimento, ya que causa un malestar en conductores, habitantes y peatones que circulan por dichas calles y da una mala presencia.

Existe un reclamo constante de los habitantes de la ciudad para que estas vías se mejores, ya que es una vía de rápido acceso a diferentes puntos de la ciudad y resulta entonces necesario mostrar a las autoridades una solución fundamentada para su conservación.

El constante tráfico en aumento, hoy ya considerable, en la circulación de estas vías y la creación de nuevas calles que se conectan deteriorarían mucho más temprano la misma. De no afrontar el problema a tiempo habrá mayores gastos en el futuro si es que pretende mantenerse con su función actual.

Ante el problema que representa el mal estado de esta vía, los hechos registran que no se ha efectuado un mantenimiento oportuno en los últimos años afectándose en gran parte a los usuarios y sufren restricción es en la circulación y la preocupación por parte de las autoridades de esta ciudad es poca ya que no le dan mantenimiento debido a las calles.

El conocimiento del programa HDM-4 en el país es relativamente bajo , y es por eso que muchas instituciones no están utilizando esta herramienta, y por consiguiente obteniendo una respuesta con alta probabilidad de resultados no apegados a la realidad de nuestras carreteras, ya que no existe un módulo de deterioro calibrado y ajustado para los tipos de pavimentos rígidos de nuestra ciudad de Tarija de acuerdo a la situación ambiental , trafico, procesos constructivos de la zona para optimizar los recursos en la gestión de las vías.

### **1.3.2. Problema**

¿Será que con la calibración y ajuste del módulo de deterioro HDM-4 y su posterior aplicación para evaluación de los tramos de Tarija permitirá establecer acciones a corto, mediano y largo plazo para mantener a las vías en estudio en condiciones adecuadas?

## **1.4. OBJETIVOS:**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar la aplicación sobre la evaluación del comportamiento de vías de pavimento rígido utilizando el modelo de deterioro HDM-4 cuyos parámetros deben calibrarse y ajustarse a las condiciones de la región y realizar una aplicación en tramos de pavimento rígido en la ciudad de Tarija.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir los conceptos fundamentales sobre los elementos componentes de un pavimento rígido, sus propiedades y características.
- Describir los principios del HDM-4 en general, particularmente del módulo de deterioro y comportamiento de pavimentos.
- Investigar, medir y calcular cada uno de los datos requeridos por el modelo de deterioro.

- Realizar la calibración y ajuste de parámetros del programa HDM-4 que sean necesarios para aplicar el software en los pavimentos rígidos en estudio.
- Realizar la aplicación del HDM-4 para la evaluación del comportamiento en los tramos en estudio de manera que se pueda establecer acciones a corto, mediano y largo plazo que se deben ejecutar para mantener a las vías en estudio en condiciones adecuadas.
- Detectar las posibles debilidades y limitaciones que pueden resultar en el proceso de calibración de los modelos de deterioro generados por el programa HDM-4.

## **1.5. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.5.1. Componentes**

#### **1.5.1.1. Unidades de estudio**

Los pavimentos rígidos

#### **1.5.1.2. Población**

Los pavimentos rígidos de la ciudad de Tarija

#### **1.5.1.3. Muestra**

Tres tramos de pavimento rígido en la ciudad de Tarija.

#### **1.5.1.4. Muestra**

Se estudiara los tramos de Avenida Circunvalación, Avenida Padilla, Avenida las Américas.

## **1.5.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS**

### **1.5.2.1. Definición, selección y elaboración de los métodos y técnicas en función del objetivo**

El método es el modelo de deterioro del programa computarizado HDM-4

#### **1.51.2.2.Técnicas**

Las técnicas empleadas en este trabajo de investigación son documentales, de inspección, calibración y ajuste.

Recolección de datos de archivos sobre los pavimentos y el área de estudio.

Recopilación, inspección visual, medición de datos y procesamiento de información obtenida en las zonas de estudio.

Calibración y ajuste del módulo de deterioro HDM-4 para la zona.

#### **1.5.2.3. Descripción de los instrumentos para obtención de datos**

Mira y Nivel de ingeniero

GPS

Flexómetro

Huinchas

Regla

Vernier

Cámara fotográfica

#### **1.5.2.4. Procedimiento de aplicación**

Para la evaluación de pavimentos y la calibración y ajuste del modelo de deterioro HDM-4 se seguirán principalmente los siguientes pasos:

##### **Elección de los tramos de estudio:**

Se realiza en función de su ubicación, estado de las vías, los problemas que presenten estos, tráfico y su severidad de deterioro.

##### **Recolección de datos sobre el área de estudio:**

Cada tramo en estudio tienen características particulares, se obtendrán datos de archivos de las instituciones encargadas como el historial de las reparaciones de pavimento, diseño geométrico, diseño estructural, los estándares de conservación, datos climatológicos.

**Evaluación del pavimento rígido en los tramos de estudio:**

Mediante observación, ubicación de las fallas, cuantificación mediante el tipo de falla, severidad y extensión para conocer en qué estado se encuentra el pavimento en dichos tramos.

**Aplicar el módulo de deterioro del HDM-4 para evaluar el comportamiento del pavimento rígido:**

Se realiza una evaluación de los tramos de estudio con el programa para poder determinar las acciones a corto, mediano y largo plazo en esos tramos a partir de sus condiciones actuales con los costos optimizados por el programa.

**Analizar los parámetros que utiliza el programa HDM-4:**

Calibrar, calcular los factores de ajuste para la ciudad de Tarija y ajustar los parámetros para su utilización del programa en estos tramos de estudio.

**Análisis de los resultados y planteamiento del acciones correctivas****Establecer conclusiones y recomendaciones****1.5.2.5. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información**

El procesamiento de datos se realizara mediante el programa HDM-4 (modelo de deterioro). Los resultados que se obtendrán en el siguiente trabajo son:

- Evaluación técnica del pavimento rígido.
- Planificación, programación, reparación y operación de acciones preventivas ante el deterioro.

**1.6. ALCANCE DEL ESTUDIO**

El presente trabajo va enfocado a determinar una metodología para lograr una primera calibración de los modelos de deterioro generados por el programa HDM-4; y así con dicha calibración, permitir el uso de los valores obtenidos por el programa mencionado, de forma confiable y con resultados ajustados, coherente a nuestra condición climática,

condiciones de tránsito, etc.; lo que ayudaría a crear un sistema de gestión de pavimentos que se ajuste fielmente a las necesidades locales, tendiendo a la optimización de los recursos disponibles y minimizando los costos totales de operaciones de las vías.

El alcance del proyecto de grado tendrá los siguientes componentes:

El marco teórico sobre los aspectos relacionados con los componentes, principios, características y condiciones de comportamiento de las vías con pavimentos rígidos y la evaluación deterioros y gestión del mismo.

Describir la metodología de manejo del programa HDM-4 en general y en particular en el modelo de deterioro como su procedimiento, sensibilidad del mismo, datos requeridos, limitaciones y aplicabilidad de la calibración para evaluar el comportamiento de las vías con pavimentos rígidos, añadiendo los parámetros que deben ser calibrados y ajustados para su utilización en forma confiable en nuestro medio.

La aplicación práctica que se realizara consiste en aplicar el programa HDM-4 en particular el modelo de deterioro en la evaluación de comportamiento de tres tramos de pavimento rígido en la ciudad de Tarija de manera que con la utilización de parámetros ajustados y calibrados obtengamos las acciones de que deben realizarse en los próximos años de servicio a partir de sus condiciones actuales y con esos elementos planificar las acciones y costos de mantenimiento y rehabilitación de dichas vías.

## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

#### **2.1. GENERALIDADES DE LOS PAVIMENTOS**

##### **2.1.1. Definición actual de pavimento**

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

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

### **2.1.2. Elementos que conforman la estructura de un pavimento**

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la subrasante, sub-base, base, capa de rodamiento y sello; sin embargo, es necesario aclarar que no siempre se encontrarán todas las capas que se detallan. En tales casos, la ausencia de una o varias de ellas dependerá de factores como la capacidad de soporte del terreno de fundación, la clase de material a utilizarse, el tipo de pavimento, intensidad de tránsito, carga de diseño, etc.

## **2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS**

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse de dos formas:

De acuerdo al material que compone su capa de rodadura

Según la forma en que la estructura de éstos atiende y transmite las cargas aplicadas sobre su superficie.

Según el material que compone su capa de rodadura los pavimentos pueden ser:

Pavimentos de Concreto Asfáltico. (Figura 2.1)

Pavimentos de Concreto Hidráulico. (Figura 2.2)

### **Figura 2.1 Carretera de Concreto Asfáltico**



**Figura 2.2 Carretera de Concreto Hidráulico**



Por la forma en que la estructura del pavimento transmite las cargas aplicadas sobre él, éstos se pueden dividir en:

Pavimentos Flexibles.

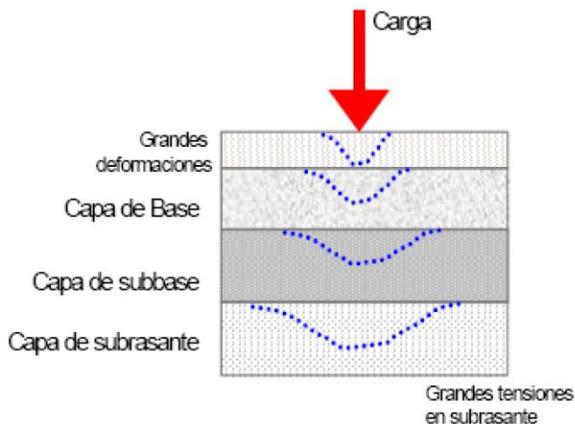
Pavimentos Rígidos.

### **2.2.1. Pavimentos flexibles**

Una definición de uso común es la siguiente: “Un pavimento flexible es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la sub-rasante, su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión. De modo que los pavimentos flexibles comprenden en primer lugar, a aquellos que están formados por una serie de capas granulares, rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad y relativamente delgada, la cual es capaz de acomodarse a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. En este tipo de pavimentos la calidad de los materiales utilizados en cada una de las capas aumenta conforme nos acercamos a la superficie, de modo de lograr una

estructura competente ante las cargas esperadas y que a la vez resulte lo más económica posible.

**Figura 2.3 Sección transversal de un pavimento flexible.**



El espesor de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico varía grandemente, desde menos de 2.5 cm en los tratamientos superficiales usados en caminos de tránsito liviano, hasta 15 cm o más de concreto asfáltico usado en caminos destinados al tránsito pesado. La carpeta de rodadura asfáltica puede ser de cuatro tipos:

Mezcla asfáltica en caliente.

Mezcla asfáltica en frío.

Tratamiento superficial.

Macadam Asfáltico

### **2.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS**

Los pavimentos rígidos son losas construidas en el sitio sobre una capa de base y a veces sobre una capa subbase, estas capas pueden ser o no ser estabilizadas.

El pavimento más empleado es el de hormigón masa, dividido en losas mediante juntas para evitar por un lado, las fisuras que aparecerían por la retracción del hormigón y las variaciones de temperatura y por otro lado para evitar el alabeo de las losas. De esta forma el pavimento suele tener juntas longitudinales de alabeo entre carriles y juntas transversales de contracción distancias de 4 o 5 metros. En estas últimas se disponen a veces pasadores (barras lisas de acero no adheridas al hormigón) para transmisión de

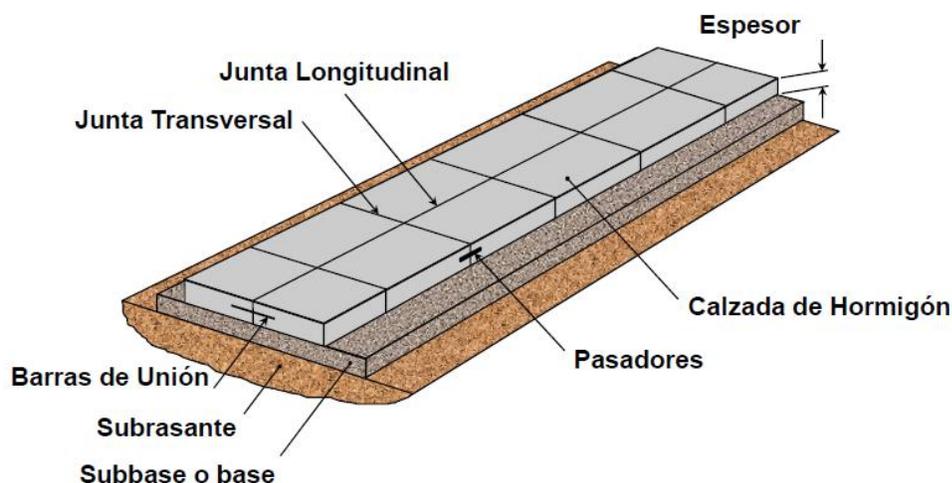
cargas de una losa a la siguiente, con lo que se asegura la continuidad de rodadura a largo plazo bajo tráfico pesado.

El hormigón de las losas debe tener en cualquier caso suficiente resistencia y durabilidad y en particular la necesaria resistencia a flexotracción, resistencia al desgaste superficial y una superficie antideslizante y regular.

A continuación indicaremos en forma resumida los objetivos que tienen los pavimentos de hormigón:

- Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico a lo largo de un periodo suficientemente largo de tiempo.
- Resistir las sollicitaciones de tráfico previsto durante el periodo de proyecto y repartir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la subrasante sólo llegue una pequeña fracción de aquellas, compatible con su capacidad de soporte.
- Proteger la subrasante de la interperie y en particular de las precipitaciones, con sus efectos en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.

**Figura 2.4 componentes del pavimento de hormigón**



### 2.3.1. Composición del pavimento rígido

### 2.3.1.1.Subrasante

Como consecuencia de su rigidez, el pavimento de hormigón tiene considerable resistencia de flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas. Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

Para asegurar el comportamiento satisfactorio del pavimento de hormigón, es necesario que el suelo de la subrasante posea características y densidad uniformes, es decir, soporte uniforme. En las superficies inestables que aparecen durante la construcción, debe excavarse el material y reemplazarse por otro del mismo tipo de las zonas adyacentes, compactado a similar densidad: es equivocado el criterio de llenar los baches de áreas débiles con material granular de mejor calidad que el adyacente, porque de este modo se intenta contra el soporte uniforme que necesita el pavimento de hormigón.

Con una razonable uniformidad de la subrasante y previniendo los cambios volumétricos excesivos de los suelos expansivos con un cuidadoso control de la humedad y densidad durante la compactación, se logra una superficie adecuada para el asiento del pavimento. La compactación de los suelos expansivos con un cuidadoso control de la humedad y densidad durante la compactación, se logra una superficie adecuada para el asiento del pavimento.

El soporte que la subrasante presta al pavimento se expresa con el valor del módulo de reacción "k" de la subrasante y puede ser determinado mediante ensayos de carga en el terreno o por correlación con valores soportes establecidos mediante otros ensayos.

Para el diseño de pavimentos suelen usarse los siguientes valores del módulo k de la subrasante:

K (kg/cm <sup>3</sup> )	Tipo de suelo	Comportamiento
-------------------------	---------------	----------------

2,8	Limo y arcilla	Satisfactorio
5,5	Arenoso	Bueno
8,3	Grava arenosa	excelente

Cuando es necesaria una subbase se construye casi siempre con materiales tratados concemento; en este caso pueden adoptarse los valores de k que se expresan a continuación:

<b>Espesor de la subbase en cm. (subrasante con k=2,8 kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Valor k para el diseño (kg/cm<sup>3</sup>)</b>
10	8,4
12,5	11,2
15	14

En caso de construirse subbases granulares no cementadas se aconsejan los siguientesvalores de k:

<b>Espesor de la subbase en cm. (subrasante con k=2,8 kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Valor k para el diseño (kg/cm<sup>3</sup>)</b>
10	3,6
15	3,9
22,5	4,4
30	5,3

### **2.3.1.2.Subbase**

Además de encontrarnos algunas veces con subrasantes de mala calidad, ya sea muy plástica o mucha cantidad de finos, surge también el incremento del tráfico de vehículos pesados en las carreteras y la necesidad de un apoyo adecuado en la vida de las losas de concreto, como consecuencia en la actualidad se ha establecido en la norma de construir una subbase apropiada en todas las carreteras de tráfico pesado. Esta subbase en una capa de material granular que cumpla con el CBR requerido.

Los materiales están compuestos por gravas, mezclas de arena, limo, gravas, etc. El material empleado deberá cumplir con lo siguiente.

#### **Agregado grueso para subbase**

<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa</b>
11/2	100
3/4	72-100
3/8	50 - 84
N°4	37 - 70
N°20	16 - 45
N°60	9 - 35
N°200	5 - 25

Adicionalmente el material deberá cumplir con lo que se indica a continuación

Limite liquido	25 % max.
Índice de plasticidad	6 % max.
Desgaste de los ángeles	40 % max.
Contracción Lineal	4 % max.
Equivalente de arena	25 % min.
CBR	
Menos de 500 veh. Pesados por día	50 % min.
Más de 500 veh. Pesados por día	60 % min.

Las principales funciones de la subbase de un pavimento rígido son las siguientes:

Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto.

Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo respecto a lo que es común en las terracerías y capa subrasante.

Reducir a un mínimo las consecuencias de los cambios de volumen que puedan tener lugar en el suelo que forme las terracerías o la subrasante.

Reducir a un mínimo las consecuencias de la congelación de los suelos de la capa subrasante.

### **2.3.1.3. Capa de rodamiento (losa)**

Un pavimento rígido se halla constituido por un elemento estructural fundamental una losa de concreto (hormigón). Debido a la rigidez que presenta esta losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde el punto de vista teórico, apoyarse sobre una explanada o capa de elevada capacidad de soporte. Las presiones verticales bajo las losas son muy pequeñas: las máximas no suelen superar los  $0,35\text{kp/cm}^2$  con carga interior de 6.5 Tn. Sobre una losa de 20cm y son algo mayores en bordes y esquinas.

No obstante, el aumento de las cargas por eje y de la intensidad de tráfico hace necesaria la disposición de bases y eventualmente de subbases para evitar el descalce por la erosión de su apoyo y formación de huecos bajo las mismas, así como para obtener unas adecuadas condiciones de trabajo. En zonas donde el clima es bastante frío se tiene la necesidad de proteger ciertos suelos susceptibles a las heladas y a su penetración. En consecuencia, el proyecto de un pavimento rígido o de hormigón para tráfico importantes no debe limitarse únicamente a la determinación de su espesor, sino que también debe abarcar aspectos relativos a las juntas y a los elementos que rodean: subbase y bermas.

### **2.3.2. Calidad del hormigón**

La elección de materiales y su dosificación para elaborar hormigones tiene por fin obtener:

Durabilidad satisfactoria para las condiciones de servicio previstas

Resistencia a la flexión deseada.

Considerando que las tensiones críticas en el pavimento de hormigón son las de flexión, se utiliza para su diseño este tipo de resistencia, expresada por su módulo de rotura  $f_r$ . Para condiciones promedio, el hormigón que posee un módulo de rotura (método de

ensayo IRAM 1547 – ASTM C78) comprendido entre 45 y 55 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, resulta económicamente más conveniente.

La cantidad de agua de la mezcla y su consolidación tiene una influencia crítica sobre la durabilidad del hormigón endurecido. Para un determinado y adecuado contenido de cemento, la menor cantidad de agua que produzca un hormigón plástico, trabajable y fácilmente consolidable, permitirá obtener la mayor durabilidad del hormigón endurecido.

Cuando se necesitan condiciones especiales de durabilidad, se aconseja la incorporación de aires al hormigón, la que además de mejorar la durabilidad del hormigón endurecido, mejora las condiciones del hormigón plástico al:

Prevenir la segregación de los materiales

Aumentar su trabajabilidad

Disminuir la exudación

Reducir la cantidad de agua necesaria para obtener una satisfactoria trabajabilidad

### **2.3.3. Juntas**

Las juntas tienen por fin mantener las tensiones que soporta el pavimento de hormigón, dentro de los límites admisibles, previniendo la formación de fisuras y grietas irregulares.

#### **2.3.3.1. Juntas longitudinales**

Se instalan para controlar el agrietamiento longitudinal, espaciándose a intervalos de 2,5 a 4,0 m, coincidiendo generalmente con las líneas divisorias de trochas de tránsito. No es aconsejable superar el intervalo de 4,0 m a menos que la experiencia local indique que el pavimento con esas condiciones ha observado comportamiento satisfactorio.

La profundidad de la ranura superior de estas juntas no debe ser inferior al cuarto del espesor del pavimento. Estas juntas llevan normalmente barras de unión que impiden la separación de sus bordes. Para más de cuatro trochas es conveniente intercalar una junta longitudinal machihembrada o ensamblada de bordes libres.

#### **2.3.3.2. Juntas transversales**

Estas juntas denominadas de contracción, controlan el agrietamiento transversal al disminuir:

- Las tensiones de tracción que se originan cuando la losa se contrae
- Las tensiones que causa el alabeo producido por diferenciales de temperatura y de contenido de humedad en el espesor de la losa.

Cualquiera fuere el procedimiento constructivo de las juntas, la profundidad de la ranura debe ser por lo menos igual al cuarto del espesor de la losa.

Una separación adecuada entre juntas que controle el agrietamiento eliminará la necesidad del uso de armadura distribuida en la losa.

La mejor guía con respecto a la separación entre juntas transversales, es la experiencia local sobre el comportamiento de pavimentos en servicio. Si no se cuenta con esta experiencia, pueden seguirse las siguientes indicaciones con razonable seguridad de obtener un satisfactorio control del agrietamiento.

<b>Tipo de agregado grueso</b>	<b>Máxima separación entre juntas transversales</b>
Granítico partido Calcáreo partido Grava calcárea	6,00m
Grava silícea Grava menor de 20mm(3/4") escoria	4,5m

La necesidad de colocar en las juntas transversales elementos para la transferencia de cargas (pasadores), depende de las condiciones de la subrasante y del tránsito que llevará el pavimento. Los pasadores no son necesarios en calles residenciales o de tránsito liviano, pero deben colocarse en calles que soporten el tránsito diario, de más de 60 a 90 camiones pesados (200 a 300 ejes pesados) por día, a menos que el pavimento asiente sobre una sólida subbase de material tratado con cemento.

### **2.3.3.3. Juntas de expansión**

Su objeto es disminuir las tensiones de compresión, proveyendo un espacio entre losas, que permita el movimiento del pavimento cuando se expande.

Cuando las juntas de contracción están adecuadamente separadas, la necesidad de las juntas de expansión depende, en gran medida de la temperatura ambiente predominante durante la construcción y de las características de expansión del agregado grueso empleado.

Los estudios teóricos, el comportamiento de pavimentos en servicio y los resultados de ensayos experimentales, muestran que con excepción de su colocación frente a estructuras existentes y en intersecciones irregulares, las juntas de expansión no son necesarias en los pavimentos de hormigón si:

- Los agregados empleados tienen características normales de expansión
- La construcción tiene lugar con temperaturas normales
- Las juntas de contracción se ubican a intervalos que controlen el agrietamiento Transversal
- Las juntas de contracción se mantienen perfectamente selladas para impedir la infiltración de materiales incompresibles.

Si el pavimento se construye en invierno con bajas temperaturas, o si los agregados empleados son anormalmente expansivos, se colocarán juntas de expansión a distancias de 240 m. En condiciones normales, salvo las excepciones citadas anteriormente, debe prescindirse del uso de las juntas de expansión.

## **2.4. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS**

### **2.4.1. Concepto de deterioro de pavimentos**

En términos generales se entenderá por deterioro de pavimentos a una serie de manifestaciones superficiales de la capa de rodamiento, haciendo que la circulación vehicular sea menos segura, confortable y que los costos de operación sean mayores.

El comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil es regido generalmente por un ciclo, el cual ha llegado a considerarse como normal debido a la frecuencia con que se presenta, los indicadores (deterioros del pavimento) de cada una de las etapas de este ciclo son diferentes según el tipo de pavimento, sin embargo, la tendencia en la evolución de la estructura a través del tiempo es común.

#### **2.4.2. Etapa de construcción**

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

#### **2.4.3. Etapa de deterioro lento y poco visible**

Durante algunos años, el pavimento experimenta un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodamiento y en menor medida en el resto de su estructura. Este desgaste es producido por los diversos tipos de vehículos que circulan sobre él, también por la influencia que ejercen otros factores como el clima, la radiación solar, el agua de lluvias, cambios de temperatura, etc. La calidad de la construcción inicial también incide en la evolución del deterioro.

A través de toda esta etapa el pavimento se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste. A pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios y está en condiciones de ser conservado.

#### **2.4.4. Etapa de deterioro acelerado y de quiebre**

Luego de varios años de uso, el pavimento entra en una etapa de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito. Al inicio de esta etapa, la estructura básica del pavimento se conserva intacta y las fallas en la superficie son menores, por eso el usuario común tiene la impresión que este se mantiene aún bastante sólido. Sin embargo, no es

así, ya que cada vez se pueden observar más daños en la superficie y comienza a deteriorarse la estructura básica, la cual no es visible.

Entonces, podemos asegurar que cuando en la superficie de un pavimento se detectan graves fallas a simple vista, la estructura básica del pavimento está seriamente dañada. Los daños al inicio son puntuales, pero luego se van extendiendo en la mayor parte del pavimento, cuando esto ocurre la destrucción es acelerada; si no se interviene en algún momento durante esta etapa el pavimento llega al punto de quiebre en el cual se produce una falla generalizada, tanto en la superficie como en la estructura básica.

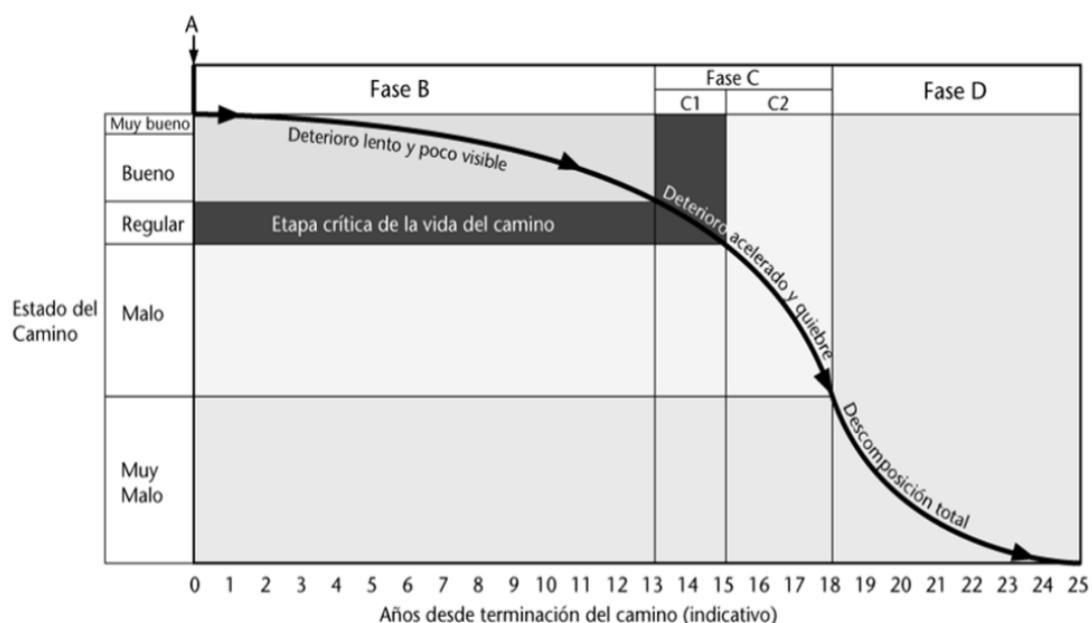
A medida que se desarrolla esta etapa, los vehículos circulan experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie, tales como: grietas, baches, depresiones y deformaciones.

#### **2.4.5. Etapa de descomposición total**

Constituye la última etapa de la existencia de un pavimento, y puede durar varios años, lo primero que se observa es la pérdida de la capa de rodadura, ya que cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de ésta, por lo que al final la vía termina siendo un camino de grava, y a la larga, de tierra. El paso de vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida en un gran porcentaje. Los vehículos comienzan a presentar daños en neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis; los costos de operación vehicular suben de manera considerable y se incrementa la cantidad de accidentes graves. En esta última etapa llega un momento en que ya no pueden transitar los automóviles normales, sólo algunos camiones y vehículos todo terreno.

Como ya se dijo anteriormente, los detalles del ciclo de vida de los pavimentos varían dependiendo de su tipo, pero en general, el mensaje que debe atenderse es el mismo y consiste en que las acciones de conservación de cualquier pavimento deben planificarse debidamente de modo que nunca se permita el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

**Figura 2.4 Deterioro de los pavimentos a través del tiempo [CEPAL]**



#### 2.4.6. Factores que afectan el comportamiento del pavimento de concreto

El pavimento de concreto es una estructura de gran superficie expuesta en relación a su volumen, y en tal sentido pasa gran parte del tiempo solicitado a la acción del medioambiente a través de los gradientes térmicos (de ciclo diario) y de los gradientes de humedad (de ciclo estacional). Asimismo, a las sollicitaciones propias del tránsito. Tales factores (clima y tránsito) tienen una acción preponderante y temporal sobre el comportamiento del pavimento como veremos más adelante.

Cabe resaltar que estos factores son simultáneamente causa y efecto de los deterioros en los pavimentos, es decir, que de algunos deterioros existentes pueden devenir nuevos deterioros. Esto será un desarrollo continuado de daños si no se toman las medidas y precauciones convenientes.

Al desarrollarse deterioros en el pavimento se produce una pérdida de serviciabilidad lo que origina una reducción en la vida de servicio prevista del pavimento. Es por esto, que es necesario cuantificar el valor de su influencia de cada uno de estos factores en el comportamiento del pavimento.

En la figura 2.4, se puede apreciar como el clima, en especial las lluvias afectan los materiales que conforman la estructura del pavimento modificando sus propiedades

físicas y mecánicas, que pueden tener cierto efecto sobre la resistencia, estabilidad, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y de los suelos de la subrasante. De igual manera el tráfico, en especial los ejes de carga pesada, ayudan a contribuir a un rápido deterioro de la estructura del pavimento. A medida que pasa el tiempo, el daño causado por estos factores va aumentando, lo que origina fallas a lo largo de la superficie del pavimento, que si no son tratadas o corregidas a tiempo pueden traer como consecuencia el colapso total de éste.

#### **2.4.6.1. Tráfico**

Cuando los ejes cargados transitan sobre el pavimento pasando de una losa a otra produciendo grandes efectos: esfuerzos de flexión en la losa de concreto y deflexiones en juntas, grietas, esquinas y borde del pavimento.

En el primero se inducen esfuerzos internos y deformaciones que acumulan fatiga en cada pasada, dichos esfuerzos son críticos cuando la losa presenta una deformación de alabeo cóncavo, tal como lo muestra el isograma de tensiones de la figura 2.5, donde los esfuerzos son máximos en el centro de la cara superior de la losa y en la zona central de los bordes superiores. Al cabo de muchas repeticiones de carga, el material alcanza un fatigamiento que se manifiesta en la aparición de fisuras en dichos puntos, los que luego se propagan hacia abajo afectando todo el espesor de la losa, como se ilustra en la figura 2.6. Es claro que si en los sectores de altos esfuerzos de flexo-tracción preexisten fisuras iniciadas por retracción plástica en el concreto fresco, la propagación de las fisuras se facilita grandemente y el fatigamiento se acelera.

**Figura 2.5 Efecto del clima y el tráfico en el comportamiento del pavimento**

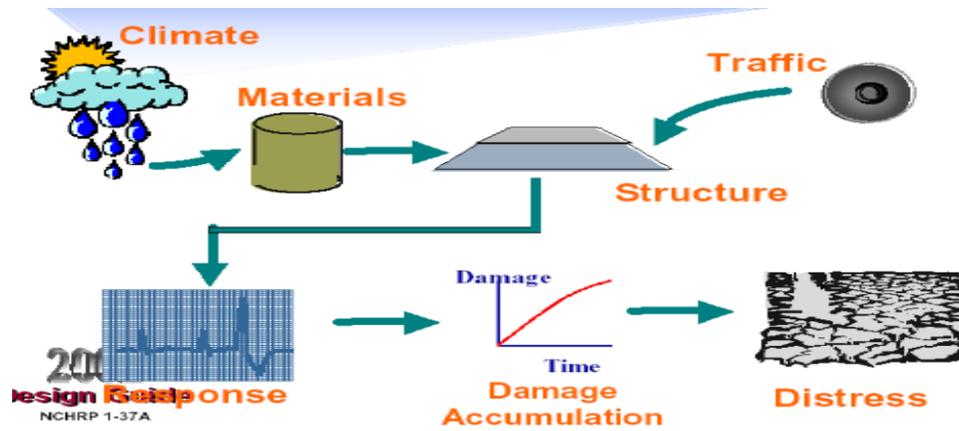


Figura 2.6 Curvas de isoesfuerzos (Mpa) de tracción en la cara superior de una losa de alabeo cóncavo

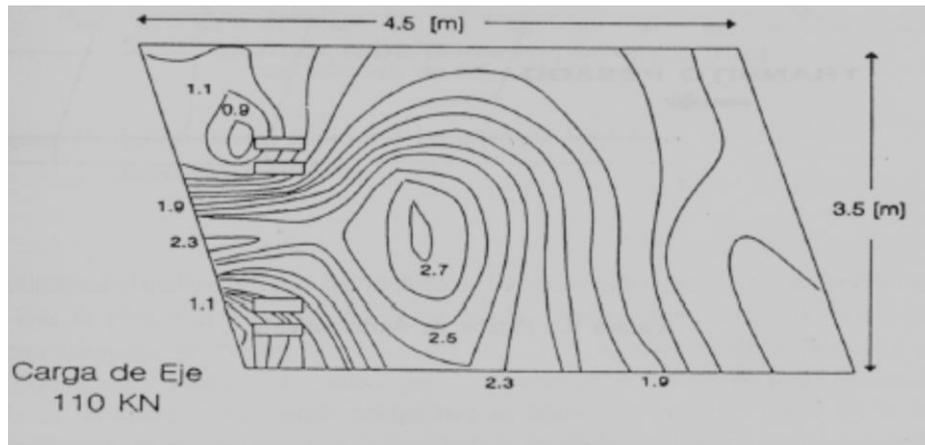
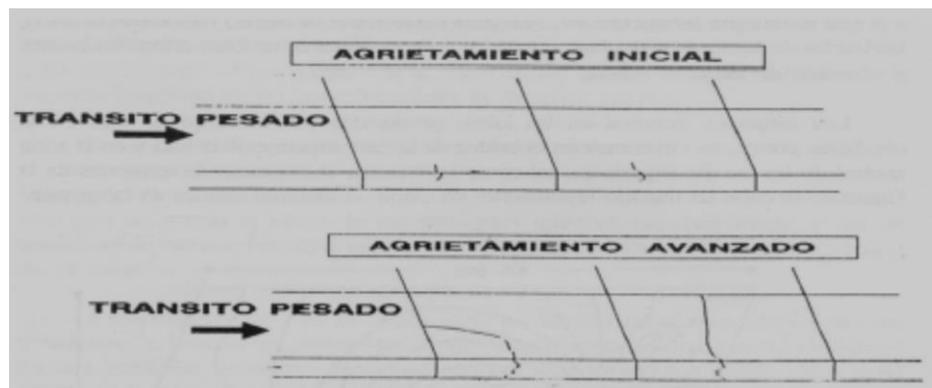


Figura 2.7 Patrón de agrietamiento



El segundo efecto y el más perjudicial, es cuando las cargas del camión se ubican en el borde exterior del pavimento, lo cual origina las deflexiones más críticas que cualquier otra posición de carga.

Muchas repeticiones de carga por eje pesado en las esquinas y borde de la losa causan bombeo; erosión de los materiales de la subrasante, subbase, y berma de concreto; vacíos debajo y al lado de la losa; y la falla de las juntas del pavimento, especialmente en pavimentos con juntas sin pasadores.

Desde un principio los resultados del ensayo AASHTO han demostrado que la evolución de las deformaciones y de las fisuras en un pavimento están ligadas a la magnitud y ubicación de la carga por eje y a la duración de su aplicación, así como al número de pasadas.

#### **2.4.6.2. Medio ambiente**

El medio ambiente puede afectar el comportamiento del pavimento en varias formas. Los cambios de temperatura y humedad pueden tener cierto efecto sobre la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y de los suelos de la subrasante.

Asimismo, estos gradientes deforman las losas de pavimento produciéndole alabeos que modifican continuamente las condiciones de apoyo y de contorno. Con propiedad puede decirse que el pavimento de concreto es una estructura viva que se mueve al compás de la naturaleza.

La infiltración de agua a través de la superficie, juntas, grietas, o como agua subterránea proveniente de un alto nivel freático, acuíferos interrumpidos y manantiales localizados contribuyen al desarrollo de fallas en los pavimentos de concreto como son: inestabilidad de la subrasante, bombeo con la consecuente pérdida de soporte y deterioro del concreto debido a fisuras de durabilidad.

El agua libre en la interfase subrasante- pavimento es la responsable de muchos problemas. Cerdegreen demostró que las cargas dinámicas producen incrementos más importantes de la presión de poros justo en el momento del pesaje de la carga y en consecuencia, hay una reducción notable de la capacidad de carga.

En adición al efecto perjudicial del agua, las losas de concreto están sometidas al alabeo y curvado. El alabeo es la deformación cóncava hacia arriba de la losa debido a variaciones de su contenido de humedad con la profundidad. El efecto de alabeo es doble:

pérdida desoporte a lo largo de los bordes de la losa y restricción de los esfuerzos a la compresión en el fondo de la losa. El curvado se refiere al comportamiento de la losa debido a las variaciones de temperatura. Durante el día, cuando la cara superior está más caliente que la parte inferior, se desarrollan esfuerzos restringidos de tensión en el fondo de la losa.

Durante la noche, la distribución de temperatura es a la inversa y los esfuerzos restringidos de tensión se desarrollan en la superficie de la losa.

## **2.5. TIPOLOGÍA DE DAÑOS**

Los pavimentos fallan en modos diversos y por causas variadas, los daños más frecuentes dependen del tipo de estructura del pavimento, de los materiales empleados en su construcción y de las condiciones climáticas en las que la estructura se encuentra sometida. El agrietamiento por fatiga, la deformación longitudinal permanente que causa el aumento sostenido del IRI (Índice de Rugosidad Internacional), y el agrietamiento térmico, son los modos de fallo más frecuentes.

El Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales unifica la clasificación de daños en los pavimentos, utilizando una terminología común. Es frecuente que el mismo deterioro sea conocido con nombres diferentes a nivel regional, por lo que es necesario estandarizarlos a fin de ser identificados correctamente, por lo que es necesario recalcar que la tipología de daños expuesta en esta investigación ha sido tomada del Catálogo Centroamericano de Daños a Pavimentos Viales y se muestra a continuación:

### **2.5.1. Tipología de daños de pavimentos rígidos**

#### **2.5.1.1. Fisuras**

##### **2.5.1.1.1. Fisura longitudinal**

###### **Descripción:**

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

###### **Posibles causas:**

Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales.

Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

**Figura 2.8 Fisura longitudinal**



#### **2.5.1.1.2. Fisura transversal o diagonal**

##### **Descripción:**

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos.

##### **Posibles causas:**

Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

**Figura 2.9 Fisura transversal o diagonal**



### **2.5.1.1.3. Fisura de esquina**

#### **Descripción:**

Es una fisura que intercepta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

#### **Posibles causas:**

Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

La presencia de arenas angulosas sueltas, muy próximas a la pista, hace que aumente la abrasión de las llantas que ascienden y descienden del pavimento, provocando peladuras severas que pueden conducir a la desintegración.

**Figura 2.10 Fisura de esquina**



### **2.5.1.1.4. Losas subdivididas**

**Descripción:**

Fracturamiento de la losa de concreto conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos. Se miden contando la cantidad total que existe en una sección muestra, en términos del número de losas afectadas según su severidad. Si se registro como de severidad mediana a alta, no se cuenta otros daños que pudieran evidenciar la losa. El registro se lleva separadamente para cada nivel de severidad.

**Posibles causas:**

Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.

Cuando no se toman medidas preventivas o correctivas oportunas, las "Losas Subdivididas" se degeneran en "Fisuras en Bloque".

**Figura 2.11 Losas subdivididas**

**2.5.1.1.5. Fisuras en bloque****Descripción:**

Fracturamiento que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloque pequeños de área inferior a 1 metro cuadrado.

**Posibles causas:**

Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolución final del proceso de fisuración, que comienza formando una malla más o menos cerrada; el tránsito y el continuo deflexionar de los planos aceleran la subdivisión en bloques más pequeños, favoreciendo el despostillamiento de sus bordes.

De no tomarse medidas correctivas el deterioro progresa formando a corto plazo un bache. Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

**Figura 2.12 Fisuras en bloque**



#### **2.5.1.1.6. Fisuras inducidas**

##### **Descripción:**

Se incluyen bajo esta denominación un conjunto de fisuras de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas.

##### **Posibles causas:**

Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetadas; eventualmente este fisuramiento puede

continuar subdividiendo los planos resultantes identificándose este caso particularmente como "Fisuras en Bloques", Fisuras alrededor de estructuras pueden inducirse cuando no se proveen elementos de aislamiento.

**Figura 2.13 Fisuras inducidas**



## **2.5.1.2. Deformaciones**

### **2.5.1.2.1. Levantamiento de losas (escalonamiento)**

#### **Descripción:**

Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal.

#### **Posibles causas:**

Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta.

Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.

**Figura 2.14 Levantamiento de losas**



#### **2.5.1.2.2.Desportillamiento**

##### **Descripción:**

Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.

Los Desportillamientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra, generalmente en términos de número de losas afectadas.

##### **Posibles causas:**

Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Son manifestaciones del fenómeno de bombeo, cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.

**Figura 2.15 Desportillamiento**



### **2.5.1.2.3. Hundimiento**

#### **Descripción:**

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento.

Los hundimientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra.

#### **Posibles causas:**

Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de las losas.

**Figura 2.16 Hundimiento**



### **2.5.1.3. Desintegraciones**

#### **2.5.1.3.1. Peladura**

##### **Descripción:**

Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena-cemento del concreto, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades.

Se miden en términos de losas afectadas. Una vez identificada la severidad de la falla, se registra como una losa con su grado de severidad correspondiente. Se totaliza el número de losas afectadas en la muestra o sección para cada nivel de severidad.

##### **Posibles causas:**

Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de calidad pobre, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.).

**Figura 2.17 Peladura**



#### **2.5.1.3.2. Pulimiento de la superficie**

##### **Descripción:**

Superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimiento de los agregados que la componen.

##### **Posibles causas:**

Esta deficiencia es causada principalmente por el tránsito, el mismo que produce el desgaste superficial de los agregados de naturaleza degradable, particularmente cuando el concreto es de calidad pobre y favorece la exposición de los mismos. Cuando el agregado en la superficie favorece la exposición de los mismos. Cuando el agregado en la superficie llega a ser muy suave al tacto, la adherencia con las llantas de los vehículos se reduce considerablemente. La reducción de la fricción o resistencia al deslizamiento, puede alcanzar niveles de riesgo para la seguridad del tránsito. El pulimiento de los agregados puede ser considerado cuando un examen de cerca revela que el número de contactos con el agregado sobre la superficie es muy reducido y este presenta una superficie suave al tacto.

**Figura 2.18 Pulimiento de la superficie**



### **2.5.1.3.3. Descascaramiento y fisuras capilares**

#### **Descripción:**

Descascaramiento es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a interceptarse en ángulos de  $120^\circ$ .

#### **Posibles causas:**

Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la retracción. Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos de concreto armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.

**Figura 2.19 Descascaramiento y fisuras capilares**



#### **2.5.1.3.4. Bache**

##### **Descripción:**

Descomposición o desintegración la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares. Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente: a) Contando el número de baches por cada nivel de severidad y registrando estos separadamente, y b) Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.

##### **Posibles causas:**

Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

**Figura 2.20 Bache**



#### **2.5.1.4. Deficiencia de juntas**

##### **2.5.1.4.1. Deficiencias en material de sello**

###### **Descripción:**

Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o desportillamientos de juntas.

###### **Posibles causas:**

Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son: Endurecimiento por oxidación del material de sello, pérdida de adherencia con los bordes de las losas, levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas, escasez o ausencia del material de sello, material de sello inadecuado.

**Figura 2.21 Deficiencias en material de sello**



##### **2.5.1.4.2. Desportillamiento**

**Descripción:**

Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 m de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intersectan la junta en ángulo

**Posibles causas:**

Los desportillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.

**Figura 2.22 Desportillamiento**

**2.5.1.4.3. Fisuras por mal funcionamiento de juntas****Descripción:**

Fisuras sinuosas aproximadamente paralelas a la junta, en algunos casos transversalmente y en forma de arcos erráticos, localizados muy próximas a las mismas.

**Posibles causas:**

La falta de verticalidad y la inadecuada inserción de los elementos empleados para inducir el corte de la junta, cortes poco profundos, excesiva disturbación durante la ejecución de las juntas son algunas causas frecuentes que provocan una fisura paralela muy próxima a las mismas (doble junta).

Típicamente, la colocación de barras pasadores mal alineados, el empleo de barras de insuficiente diámetro y/o longitud, o bien la corrosión de éstas, impiden el movimiento normal de las juntas, provocando fisuras próximas a la junta transversal, a una distancia de 0.20 m a 0.40 m.

**Figura 2.23 Fisuras por mal funcionamiento de juntas**



#### **2.5.1.5. Otros deterioros**

##### **2.5.1.5.1. Parchados y reparaciones de servicios públicos**

###### **Descripción:**

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

Los parchados disminuyen la servicialidad de la pista, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma.

En muchos casos, los parchados, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas. Si bien los parches por reparaciones en servicios públicos se deben a causas bien diferentes, los niveles de severidad se definen en forma idéntica.

**Figura 2.24 Parchados y reparaciones de servicios públicos**



## **2.6. EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

Un requerimiento importante en el diseño de refuerzo, es la condición del pavimento existente. La evaluación de éste consiste de tres elementos principales: evaluación de la serviciabilidad (condición funcional), evaluación de la capacidad estructural y por último la observación visual del pavimento existente. Cualquiera de las tres, o en combinación, contribuye a tomar una decisión acerca del tipo de refuerzo más indicado para el proyecto.

En general, la evaluación de un pavimento consiste en determinar los daños existentes en éste, así como las causas de origen. Asimismo, tiene por objeto establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la solución de mantenimiento o rehabilitación más adecuada para cada uno de los tramos homogéneos en que puede dividirse la carretera en estudio.

En la evaluación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Debe ser sistemática y permanente, a fin de detectar los daños tan pronto como se presentan y tomar de inmediato las medidas preventivas o correctivas más adecuadas.

- No se debe asumir determinadas condiciones o propiedades de los materiales, dado que esto puede impedir que se obtengan los resultados deseados.

- Se debe distinguir entre los daños que influyen en la calidad del tránsito, y aquellos que se refieren al deterioro y reducción de la capacidad de carga del pavimento.
- Condición de drenaje. La presencia de bombeo en juntas y grietas me indica que hay deficiencias en el drenaje.

## **2.7. EVALUACIÓN FUNCIONAL**

Se entiende por evaluación funcional la inspección superficial realizada en una vialidad con el objeto de determinar los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento.

Existen diferentes indicadores para establecer el estado superficial de un pavimento. Cada indicador generalmente es expresado a través de fórmulas, en las que se recoge una serie de parámetros del pavimento. Para cada indicador existen tablas en las cuales se dan valores que indican en que condición se encuentra el pavimento, generalmente cada país en su norma de pavimentos establece estos límites.

En el caso de nuestro país no existe una norma respecto a estos indicadores, solo existe un reglamento de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras, aprobado con R.D.N 1146 – 2000 – MTC / 15.17 del 27 de diciembre del 2000. En este reglamento, en lo referente al tema de rehabilitación sólo se hace mención de algunas técnicas de rehabilitación superficial para pavimentos asfálticos.

Los diversos organismos internacionales que investigan los pavimentos han creado diversos índices que permiten evaluar en que estado se encuentra, esto con la finalidad de recomendar una rehabilitación oportuna.

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

Índice de serviciabilidad presente (PSI).

Índice de regularidad internacional (IRI).

Índice de estado (IE).

Cada uno de estos indicadores establece rangos para evaluar el pavimento. Su finalidad principal es definir en que estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también puede ser un indicador de la necesidad de realizar una evaluación estructural.

### **2.7.1. Métodos para evaluación superficial de pavimentos**

Una evaluación superficial consiste en comparar las condiciones funcionales y estructurales de los pavimentos a través de la identificación de las patologías de los defectos presentes en la superficie del pavimento.

En este tipo se aplicarán tres métodos de evaluación superficial de pavimentos rígidos, los cuales se explicarán a continuación:

Método de evaluación PCI

Método de evaluación PSI

Método de evaluación IRI

#### **2.7.1.1. Método de evaluación PCI (pavimentconditionindex) Índice de Condición de Pavimentos**

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

La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas: el procedimiento es enteramente manual y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada. El procedimiento ofrece buena repetibilidad y confiabilidad estadística de los resultados; el mismo fue originalmente desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos y presentado en el año 1978 por los Ingenieros M.Y. Shahin y S.D Khon en el Reporte N° M-268.

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

- Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método

permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (ya que no se realizan mediciones que permitan calcular directamente esta integridad).

- Cuando se habla de integridad estructural, se hace referencia a la capacidad que tiene el paquete estructural de soportar solicitaciones externas, como cargas de tránsito o condiciones ambientales. En cambio, el nivel de servicio se refiere a la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro al conductor.
- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y, de esta manera, justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

El PCI es un índice numérico, desarrollado para obtener el valor de la irregularidad de la superficie del pavimento y la condición operacional de éste. El PCI varía entre 0 para pavimentos fallados y un valor de 100 para pavimentos en excelente condición. En el siguiente cuadro se representa los rangos del PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición de un pavimento.

**Tabla 2.1 Rangos de calificación del PCI**

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</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:** PavimentConditionIndex (PCI)

**Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.**

El procedimiento para la evaluación de un pavimento comprende:

- Una etapa de trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de cada uno de ellos.
- Una segunda fase que será el cálculo.

Para la evaluación de pavimentos, la clase está relacionada con el tipo de degradación que se presenta en la superficie de un pavimento entre las que tenemos piel de cocodrilo, exudación, agrietamiento en bloque, abultamientos, entre otros, cada uno de ellos se describe en el Manual de Daños de la Evaluación de la Condición de Pavimentos.

La severidad representa la criticidad del deterioro en términos de su progresión; entre más severo sea el daño, más importantes deberán ser las medidas para su corrección. De esta manera, se deberá valorar la calidad del viaje, ósea, la percepción que tiene el usuario al transitar en un vehículo a velocidad normal; es así que se describe una guía general de ayuda para establecer el grado de severidad de la calidad de transito:

**Bajo (B):**

Se perciben vibraciones en el vehículo (por ejemplo, por corrugaciones), pero no es necesaria la reducción de velocidad en aras de la comodidad o la seguridad. Los abultamientos y hundimientos individuales causan un ligero rebote del vehículo pero no provoca incomodidad.

**Medio (M):**

Las vibraciones del vehículo son significativas y se requiere una reducción de la velocidad en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos individuales causan un rebote significativo creando incomodidad.

**Alto (A):**

Las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable en aras de la comodidad y la seguridad; los abultamientos o hundimientos

individuales causan un excesivo rebote del vehículo creando una incomodidad importante o un alto potencial de peligro o daño severo al vehículo.

La calidad del tránsito se determina recorriendo la sección de un pavimento en un automóvil de tamaño estándar a la velocidad especificada por el límite legal. Las secciones del pavimento cercanas a las señales de detención deben calificarse por la velocidad de desaceleración normal de aproximación a la señal.

El último factor que se debe considerar para calificar un pavimento es la extensión, que se refiere al área o longitud que se encuentra afectada por cada tipo de deterioro.

### **Unidades de Muestreo:**

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:

En carreteras con capa de rodadura asfáltica con ancho menor de 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 siguiente cuadro se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada

**Tabla 2.2 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas**

<b>Ancho de calzada (m)</b>	<b>Longitud de la unidad de muestreo (m)</b>
5.00	46.00
5.50	41.80
6.00	38.30
6.50	35.40
7.30 (máx.)	31.50

**Fuente:** PavimentConditionIndex (PCI)

**Procedimiento:**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo al Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se debe conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimiento de medida de daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad de muestreo y en los formatos de cada región se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

**Cálculo del PCI de las Unidades de Muestreo.**

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

El cálculo del PCI, puede realizarse en forma manual o computarizada y el cálculo para cada tipo de pavimento es similar. A continuación se describe, de manera comprensible, el cálculo del PCI para cada pavimento flexible, mediante diversos pasos:

**Paso 1 Determinación de los Valores Deducidos (VD):**

- Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna de “Total” del formato. El daño puede medirse en área, longitud o por su número, según sea el tipo.
- Divida la “Cantidad total” de cada tipo de daño, en cada nivel de severidad, entre el “área de muestra” de la unidad de muestreo y exprese el resultado en porcentaje. Esta es la “densidad” del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.
- Determine el “Valor Deducido” para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas o tablas denominadas “valor deducido del daño”, que se encuentra en el anexo II; de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

**Paso 2 Determinación del número máximo admisible de valores deducidos (m):**

- Si ninguno o tan solo uno de los “valores deducidos” es mayor que 2, se usa el “valor deducido total” en lugar del “valor deducido corregido” (CDV), obtenido en el Paso 4; de lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b y 2.c.
- Liste los valores deducidos individuales en orden descendente.
- Determine el “Número Máximo de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación, para carreteras pavimentadas:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100.00 - HDV_i)$$

Dónde:

Mi = Número máximo admisible de “valores deducidos”, incluyendo la fracción para la unidad de muestreo i. ( $m_i \leq 10$ )

HDVi = El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo

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

**Paso 3 Determinación del máximo valor deducido corregido (CDV):**

Este paso se lo realiza mediante un proceso iterativo que se lo describe a continuación:

Determine el número de valores deducidos (q) mayores que 2.

Determine del “valor deducido total” sumando todos los valores deducidos individuales.

Determine el CDV con q y el “valor deducido total” en la curva de corrección, de acuerdo al tipo de pavimento.

Reduzca a 2 el menor de los valores deducidos individuales, que sea mayor a 2 y repita las etapas de la a hasta c.

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

**Paso 4 Calcule el PCI, restando el “máximo CDV” de 100**

$$PCI = 100 - \text{Máx. CDV}$$

Dónde:

PCI = Índice de condición presente

Max. CDV = Máximo valor corregido deducido

### **Cálculo del PCI de la sección**

Si las unidades de muestra inspeccionadas han sido escogidas al azar, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra (PCI<sub>r</sub>) utilizando la siguiente ecuación:

$$PCI_r = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

Donde:

PCI<sub>r</sub> = PCI ponderado del area de las unidades de muestra

PCI<sub>ri</sub> = PCI de la unidad de muestra aleatoria

A<sub>ri</sub> = Area de la unidad de muestra aleatoria

n = Numero de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas

### **2.7.1.2. Método de evaluación IRI (international roughness index) Índice de Rugosidad Internacional**

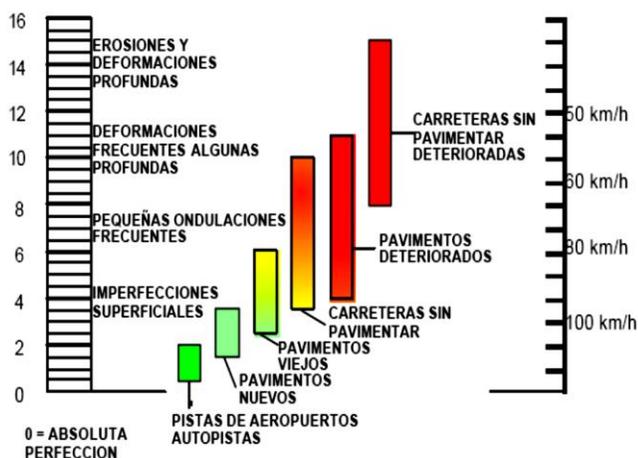
La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, a veces la única característica que percibe el usuario de la carretera, fundamentalmente, a través de la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto al perfil teórico del proyecto”.

“El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador estadístico de la regularidad superficial del pavimento, representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, IRI igual a cero) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

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

**Figura 2.25 Escala del IRI según el banco mundial**

### ESCALA DE IRI (m/km)



**Fuente:** Adoptado de UMTRI ResearchReview

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

**Tabla 2.3 Índice Internacional de Rugosidad**

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>		<i>Malo</i>		
10 000 – 19 999					<i>Muy malo</i>		
> 20 000							

**Fuente:** El IRI: Un Indicador de la Regularidad Superficial (Revista de Ingeniería de Construcción N° 6, Enero - Junio 1989)

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

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

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

Delta X (Dx)

Identificación del tramo

Entrada de información

Cálculo IRI

Gráfica

Imprimir información

Terminar

**Delta x (Dx):**

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

50 mm

100 mm

152.4 mm (0.5 ft)

166.7 mm

200 mm

250 mm

304.8 mm (1 ft)

333.3 mm

500 mm

609.6 mm (2 ft)

### **Identificación del tramo:**

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

Estas características son:

Código del tramo

Nombre del tramo

Abscisa inicial y final

La abscisa inicial y final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo al siguiente cuadro:

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

### **Entrada de información:**

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

### **Cálculo del IRI :**

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

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

Delta X= Delta escogido

Número total de datos = Es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.

Z1, Z2, Z3, Z4, Y,  $\sum R_{si}$ = Variables requeridas por el sistema.

IRI = Valor del Índice de Rugosidad Internacional.

### **Gráfica:**

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

### **2.7.1.3.Método de evaluación PSI (present service index) Índice de Serviciabilidad Presente**

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento. Inicialmente esta condición se cuantificó a través de la opinión de los conductores, cuyas respuestas se tabulaban en la escala de 5 a 1.

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

**Tabla 2.4 Calificación de la Serviciabilidad según el valor PSI**

<b>Índice de Servicibilidad (PSI)</b>	<b>Clasificación</b>
5 - 4	Muy buena
4 - 3	Buena
3 - 2	Regular
2 - 1	Mala
1 - 0	Muy mala

**Fuente:** AASHTO, Guide for Design of Paviment Structures 1993

**Tabla 2.5 Relación entre el IRI, PCI, PSI**

<b>IRI m/km</b>	<b>PCI</b>	<b>clasificación</b>	<b>PSI</b>	<b>descripción</b>
0 - 1,6	90 - 100	MUY BUENO, EXCELENTE	3 - 5	El pavimento es completamente nuevo.
1,6 - 2,8	60 - 90	BUENO	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches.
2,8 - 5,2	40 - 60	REGULAR	1 - 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros vestigios de deterioros.
2,8 - 5,2	20 - 40	MUY POBRE	1 - 2,5	Baches ocasionales (1-3 baches cada 50m, 2% de baches), depresiones (20 - 40mm. Cada 5m o de 10 - 20mm. Cada 3m), velocidad normal de conducción 80 km/hr.
5,2 - 8,8	0 - 20	FALLADO	0,4 - 1	El pavimento está severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20mm/3m), baches frecuentes (15 - 20 baches cada 50m o 15% de baches).

**Fuente:** Norma ASTHO







## **2.8.GESTIÓN DE PAVIMENTOS**

Los pavimentos forman parte de un conjunto de elementos que son indispensables para permitir el desplazamiento seguro y confortable de los vehículos de un punto a otro, este conjunto recibe el nombre de infraestructura vial, e incluye además de los pavimentos, a los puentes, túneles, obras de drenaje, señalización, dispositivos de seguridad, etc. Es de gran importancia la formulación de planes para la gestión de la infraestructura vial en todos sus elementos, ya que deben trabajar integralmente para que puedan prestar servicio a los usuarios con la calidad deseada.

Sin embargo, dentro de la gestión de la infraestructura vial, los pavimentos deben recibir especial atención, por ser el elemento primario sobre el cual se llevan a cabo los desplazamientos de los vehículos. Es decir, que todos los demás componentes actúan como elementos secundarios que ayudan al confort y seguridad de los usuarios, así como a lograr mantener la calidad de servicio de la vía durante el período previsto en el diseño.

La gestión de pavimentos debe ser entonces, el primer paso para alcanzar una adecuada gestión de la infraestructura vial, y debe contemplar la planificación, ejecución, y un adecuado control de las diversas acciones de desarrollo y mantenimiento aplicadas en el tiempo; con la finalidad de mantener un nivel de servicio adecuado para los usuarios.

Podemos apreciar entonces que la gestión de pavimentos como tal, es de suma importancia para impulsar el desarrollo de las actividades económicas de un país o de una región, ya que, además de ser indispensable una selección adecuada del tipo de actividad a realizar para la construcción y/o mantenimiento de una vía, el ejecutar labores de conservación demasiado anticipadas o postergarlas a un tiempo diferente del óptimo tiene un costo. Si se hace antes de tiempo se pierde la posibilidad de utilizar los recursos en algo más rentable durante el periodo del adelanto, pero la situación es más grave si se deja pasar el momento oportuno para intervenir, y como consecuencia los daños llegan hasta la estructura básica del pavimento. En este caso, el tipo de intervención necesaria será una rehabilitación, con un costo mucho más alto que el de los trabajos que pudieron haberse efectuado de manera oportuna. Es más, existe otro efecto perjudicial de postergar la conservación, y es el incremento de los costos de operación de los usuarios; esto se traduce en un aumento de los costos de transporte, lo que significa una presión inflacionaria de carácter estructural.

Vemos entonces que el realizar una adecuada gestión de pavimentos representa, especialmente para los países en desarrollo, la posibilidad de ahorrar valiosos recursos que pueden ser utilizados en otros rubros.

Para preparar un programa global de conservación de una red vial de manera que sea conveniente para la economía nacional, se debe comenzar por identificar para cada camino:

El momento preciso para cada intervención.

El tipo óptimo de intervención.

Un sistema de gestión de pavimentos debe permitir un uso sencillo, de manera que el ingreso de datos y actualización de la información sea fácil. Además, debe ser capaz de analizar diversas estrategias al efectuar una evaluación, identificando la alternativa económicamente más conveniente.

Debe utilizar procesos racionales con criterios cuantificables sobre los cuales se tomen las decisiones, y finalmente debe ejecutar una evaluación permanente de la eficacia de las actividades realizadas mediante retroalimentaciones del sistema.

### **2.8.1. Niveles de la gestión de pavimentos**

La gestión de pavimentos se realiza en dos niveles principales, los cuales son interactivos entre sí y están definidos según el área que debe ser analizada, y el tipo de datos que son necesarios para generar los modelos de predicción del deterioro de las estructuras a lo largo del tiempo. Estos niveles de la gestión de pavimentos son la Gestión a Nivel de Proyecto y la Gestión a Nivel de Red.

#### **Gestión de pavimentos a nivel de proyecto:**

En este nivel, la gestión lo que pretende es analizar el pavimento de una vía en particular, de manera que se pueda determinar la alternativa óptima para la construcción de una nueva estructura, o bien el tipo de acciones de mantenimiento necesarias, y los momentos en que éstas han de aplicarse a un pavimento existente. Para realizar una gestión a nivel de proyecto se necesitan datos específicos de secciones del pavimento, como por ejemplo:

Cargas que recibe (o recibirá) el pavimento.

Factores ambientales que lo afectan (o lo afectarán).

Características de los materiales que lo constituyen (o constituirán).

Propiedades de su base, sub-base y subrasante.

Variables de construcción y mantenimiento.

Costos.

### **Gestión de pavimentos a nivel de red:**

A nivel de red la gestión de pavimentos busca desarrollar un programa prioritario y organizado para el mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos, en base a la disponibilidad presupuestaria del ente administrador de la red vial de una región o país, para un período determinado.

La gestión a nivel de red involucra decisiones para la rehabilitación o mantenimiento de la red como un todo, por lo cual los modelos deben ser diseñados con el fin de optimizar el uso de los fondos disponibles. Debe considerarse para este propósito la serviciabilidad de los pavimentos existentes o el porcentaje de pavimentos deficientes, datos que deben ser recolectados en campo usando metodologías adecuadas. Entre las actividades que comprende la gestión a nivel de red tenemos:

- Identificación de aquellas vías en las que debido a su estado actual, las actividades de mantenimiento o mejora podrían ser consideradas como prioritarias dentro de la red de caminos.
- Generación de diferentes alternativas de tratamiento en aquellas vías que serán intervenidas, seleccionando adecuadamente variables como el período de análisis, tasa de descuento, nivel de calidad mínimo de pavimento, etc. de manera que se pueda realizar un conveniente análisis técnico-económico en base al cual han de tomarse las decisiones.
- Desarrollo de un programa de largo plazo para el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos de la red, así como de nuevas construcciones.

## **2.9.SISTEMAS DE GESTIÓN DE PAVIMENTOS**

Los sistemas de gestión de pavimentos son un conjunto de procedimientos y herramientas que tienen como propósito asistir a estas organizaciones en la aplicación sistemática de

procesos relacionados con este aspecto. Entre las principales componentes de un sistema de gestión pueden mencionarse: un conjunto de programas de cómputo para la información requerida por el sistema; herramientas de análisis para la predicción del deterioro de pavimentos; evaluación económica de proyectos carreteros, y la formulación de programas.

En términos generales, los sistemas de gestión de pavimentos son conjuntos de procedimientos y herramientas que tienen como propósito asistir a las organizaciones operadoras de carreteras en la aplicación sistemática de procesos relacionados con la gestión de pavimentos, particularmente la identificación de alternativas técnica y económicamente óptimas para la conservación de la red en el corto y mediano plazos, así como la formulación de programas de mantenimiento anuales y/o multianuales.

De acuerdo con las recomendaciones de la Norma ASTM E1166 – 00, la adopción de un sistema de gestión de pavimentos involucra la integración de las siguientes componentes (ASTM, 2003)

### **1) Sistema de referencia**

Se refiere a un método único y estable para la identificación y referencia espacial de los tramos que constituyen la red de carreteras, así como de la información sobre las características y el estado físico de los mismos. Entre los métodos más utilizados pueden mencionarse el sistema arco-nodo, el cadenamiento, y las coordenadas geográficas.

### **2) Información requerida por el sistema**

Normalmente, los sistemas de gestión utilizan datos pertenecientes a las siguientes categorías.

#### **Inventario de la red:**

El cual comprende la clasificación funcional, longitud, número de carriles, ancho de carril y hombros, pendiente y curvatura de cada uno de los tramos; diseño estructural de la sección, incluyendo espesores y propiedades de los materiales de las capas constitutivas; características del drenaje e historial de reparaciones.

**Estado del pavimento:**

Expresado en términos de la irregularidad de la superficie de rodamiento; presencia y magnitud de deterioros; deflexiones y otros parámetros de la capacidad estructural del pavimento; espesores y propiedades reales de las capas constitutivas; resistencia al deslizamiento y textura y estado del drenaje

**Características del tránsito:**

Volumen, composición vehicular y cargas por tipo de vehículo

**Datos climatológicos:**

Entre los cuales pueden mencionarse precipitación, humedad, promedios de temperatura y rangos de variación de la misma

**Costos:**

Incluyendo, por una parte, los costos de construcción, mantenimiento, rehabilitación y modernización de los pavimentos, y por otra, los costos relacionados con el uso de la infraestructura por parte de los usuarios, es decir, costos de operación vehicular, costos asociados con el valor del tiempo de pasajeros y la demora de mercancías, y costos de accidentes.

**3) Manejador de bases de datos:**

Dependiendo del tamaño de la red por analizar, el volumen de información requerido por los sistemas de gestión de pavimentos puede llegar a tener una magnitud considerable, por lo que en la mayoría de los casos, implica el uso de un manejador de bases de datos y de procedimientos computarizados para el almacenamiento, consulta y análisis de la información. Como consecuencia de la vinculación de las carreteras con el entorno y el desarrollo de tecnologías, como los sistemas de posicionamiento global y los sistemas de información geográfica, en los últimos años se ha observado una tendencia mundial hacia el uso de bases de datos georreferenciadas como respaldo para el desarrollo de sistemas de gestión de pavimentos.

**4) Herramientas de análisis**

Se refieren a un conjunto de modelos matemáticos que se utilizan como apoyo para las siguientes tareas:

- Predicción del deterioro del pavimento a lo largo de su vida útil, y estimación de los efectos de las acciones de conservación
- Evaluación económica de proyectos de conservación y mejoramiento para tramos específicos, así como de políticas aplicables a toda la red o a partes de ella. Para este propósito se utilizan métodos como el análisis del ciclo de vida o el de costo-beneficio
- Definición de prioridades con respecto a los requerimientos de conservación y mejoramiento de la red, a través del análisis de proyectos candidatos, y la programación de los trabajos. Usualmente, los algoritmos para definir prioridades utilizan criterios como el estado del pavimento, tasa de deterioro del mismo, y volumen de tránsito, entre otros
- Optimación de los programas de conservación con objeto de maximizar los niveles de desempeño del pavimento o la rentabilidad de las inversiones correspondientes. En la mayoría de los casos, los modelos de optimación utilizan técnicas de programación matemática
- Evaluación del impacto de distintas estrategias de conservación y niveles de disponibilidad de recursos en el desempeño de la red

### **2.9.1.El HDM-4 en la gestión de pavimentos**

El HDM-4 es una herramienta de gestión vial, incorpora nuevas alternativas para los análisis y toma en cuenta una mayor diversidad de variables, lo cual vuelve más frágil su implementación en diversas realidades. De hecho, entidades financieras internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo, lo usan para la evaluación de factibilidades en los países sujetos a créditos. En la Gestión de pavimentos el HDM-4 realiza las siguientes funciones:

#### **Planificación:**

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

### Programación:

Consiste en el desarrollo de programas plurianuales de obras tanto de construcción como de conservación de tramos de la red, que generalmente están condicionados por limitaciones presupuestarias, teniendo que definirse las actuaciones a realizar en función de un análisis costo - beneficio.

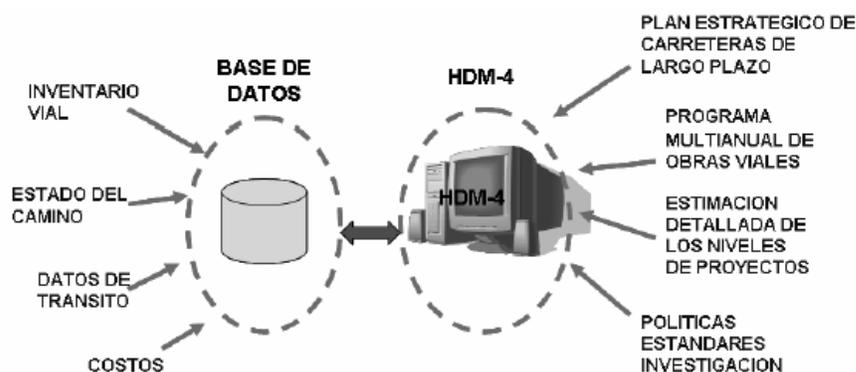
### Preparación:

En este nivel se define en detalle cómo se llevarán a cabo los distintos tipos de obras a ejecutar sobre un tramo de carretera.

### Operaciones:

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

**Figura 2.25 El HDM-4 en la gestión de pavimentos**



El HDM-4 es una herramienta de ayuda al gestor de una red de carreteras, que le permite de una manera analítica identificar dónde resulta más rentable (socialmente) invertir, para conseguir maximizar el beneficio de la red de carreteras para el conjunto de la sociedad.

Así, a través de las distintas funcionalidades de la herramienta se pueden analizar los resultados de distintas alternativas en la planificación de redes de carreteras. Se pueden analizar los resultados de diferentes programas de actuación en una determinada red y se pueden llegar a definir trabajos a realizar maximizando el beneficio de los mismos.

## **CAPÍTULO III**

### **MODELO DE DETERIORO DE PAVIMENTOS POR EL HDM-4**

#### **3.1. MODELOS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS POR EL HDM-4**

En el desarrollo de los modelos de deterioro del HDM-3 se adoptó un enfoque empírico estructurado, el cual consistió en identificar la forma funcional y las principales variables a partir de fuentes externas, y en evaluar sus impactos utilizando diversas técnicas

estadísticas. De esta manera, se logró combinar en las relaciones obtenidas las bases teóricas y experimentales de los modelos mecanicistas con los comportamientos observados en estudios empíricos. Puesto que los modelos de deterioro del HDM-3 constituyeron la base para la integración de los modelos correspondientes en el HDM-4, estos últimos mantuvieron el carácter empírico estructurado de los primeros.

A fin de ampliar el rango de aplicación de los modelos a regiones con condiciones distintas a las de los sitios en los que se desarrollaron los estudios empíricos considerados, se ha incorporado a las distintas relaciones una serie de factores de calibración diseñados para modificar la escala de los resultados.

Desde el punto de vista de la naturaleza de los resultados pronosticados, los modelos de deterioros del HDM-4 se dividen en dos tipos, absolutos y de incrementos. Los modelos absolutos predicen la magnitud de los deterioros al final de un determinado periodo, en tanto que los modelos de incrementos calculan el cambio en la magnitud con respecto a un valor inicial. En términos generales, los modelos de deterioro para pavimentos asfálticos se clasifican como modelos de incrementos.

La forma de los modelos es incremental, es decir que predicen el cambio en la condición del pavimento a lo largo de un cierto incremento de tiempo como función de la condición actual del pavimento, de sus características estructurales y de las solicitaciones externas (tránsito y condiciones climáticas).

Dentro de la estructura de HDM-4 se mencionaron tres modelos como los que trabaja el programa.

Deterioro de Carretera y Efecto de las Obras (RDWERoad Deterioration and Works Effects)

Efectos para los Usuarios (RUERoad UserEffects)

Efectos Sociales y Medioambientales (SEESafety, Energy and EnvironmentalEffects)

El modelo que trabaja con el deterioro de pavimentos es el RDWE y lo hace por medio de los modelos empíricos y mecanicistas y se basan en parámetros que son difíciles de cuantificar en el terreno de trabajo. Los modelos empíricos se basan en análisis estadísticos que utilizan la información obtenida de la observación del deterioro del

pavimento y es difícil de aplicar a otros escenarios que no presenten las mismas condiciones con que se hizo el análisis.

Para minimizar el problema Paterson (1987) utilizó un método empírico estructural para generar los modelos que se trabajaron en HDM -3. De esta forma se hacía un estudio de la forma funcional y las variables primarias de los impactos. Así, los modelos resultantes tenían una ventaja ya que trabajaban con las bases teóricas y experimentales de los modelos mecanicistas y el comportamiento observado con las técnicas empíricas.

La misma línea de trabajo se utilizó para los modelos de HDM-4 y sus características hacen parte de lo que es el modelo RDWE que dentro de sus variables de trabajo.

### **3.2. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CONFIABILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO**

Entre los principales factores que determinan el deterioro de los pavimentos, pueden mencionarse:

Aspectos climatológicos

Solicitaciones del tránsito

Historial de reparaciones del pavimento

Diseño geométrico

Diseño estructural

En los siguientes párrafos se describen a grandes rasgos las variables utilizadas por el HDM-4 para modelar el impacto de los factores anteriores.

#### **3.2.1. Factores climatológicos**

El HDM-4 incorpora al análisis los aspectos climatológicos mediante parámetros relacionados con la humedad y la temperatura. Para caracterizar las condiciones de humedad se utilizan variables que describen la precipitación y la humedad libre en la zona de estudio, mientras que las condiciones de temperatura se especifican con base en

promedios anuales, rangos de variación mensual y número de días con temperaturas por arriba de un cierto límite.

Específicamente, el sistema considera los siguientes parámetros relacionados con la humedad, además de la precipitación media mensual:

**Índice de humedad:**

Este parámetro está basado en el índice de Thornthwaite e indica que tan seco o húmedo es una zona climática determinada.

**Duración de la estación seca:**

Este indicador divide al año en dos estaciones y se indica como fracción del mismo.

En lo que se refiere a la temperatura, incluyendo a la temperatura media mensual, el HDM-4 utiliza las siguientes variables:

**Rango promedio de temperaturas:**

Es el rango que comprende todas las temperaturas medias mensuales del año, o la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura media mensual, de cada uno de los meses del año.

**Días con temperaturas mayores a 32° C :**

**Tabla 3.1 Clasificación por humedad.**

<b>Categoría</b>	<b>Precipitación media anual (mm.)</b>
Árido	< 300
Semiárido	de 300 a 800
Subhúmedo	de 800 a 1600
Húmedo	de 1500 a 3000
Muy húmedo	> 2400

**Tabla 3.2 Clasificación por temperatura**

<b>Categoría</b>	<b>Promedio anual de rangos de temperatura (mm.)</b>
Tropical	20 a 35
Subtropical	-5 a 45

Subtropical frio	-10 a 30
Templado frio	-20 a 25
Templado con congelamiento	-40 a 20

### 3.2.2. Solicitaciones de tránsito

El HDM-4 utiliza los siguientes parámetros para representar el tránsito:

#### **Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA):**

En el caso de caminos con un carril por sentido, se calcula como el total del tránsito aforado en los dos sentidos del tramo en estudio, dividido entre los 365 días del año. En carreteras con más de un carril por sentido, suele calcularse el TPDA que corresponde a cada sentido.

#### **Composición Vehicular:**

Se expresa en términos de los porcentajes de participación de los diferentes tipos de vehículos que utilizan el camino, con respecto al TPDA.

#### **Tasa de Crecimiento:**

Normalmente, corresponde a un porcentaje de incremento anual del TPDA.

#### **Número Total de Ejes:**

Es el número total de ejes que cruzan determinada sección del tramo en estudio durante un año. Se calcula con la expresión:

$$YAX = \frac{T_k \times \text{NUM\_AXLESK}}{\text{ELANES} \times 10^6}$$

Donde:

YAX= número total anual de ejes

K= número de tipos de vehículo considerados

Tk= volumen anual de tránsito del vehículo tipo k

NUMAXLESK= número de ejes por vehículo tipo k

ELANES=númeroefectivodecarrilesen la sección

### **3.2.3. Historial de reparaciones**

Serefierea lasaccionesdemantenimiento, rehabilitación y construcción que se han efectuado en el camino a lo largo del tiempo. El HDM-4 toma en cuenta este factor mediante los siguientes parámetros relacionados con la antigüedad de los trabajos:

AGE1=Tiempo transcurrido en años desde el último tratamiento preventivo, sello, sobre carpeta, reconstrucción, o construcción nueva.

AGE2= Tiempo transcurrido en años desde el último sello, sobre carpeta, reconstrucción o construcción nueva.

AGE3=Tiempo transcurrido en años desde la última sobre carpeta, reconstrucción o construcción nueva.

AGE4=Tiempo transcurrido en años desde la última reconstrucción o construcción nueva.

### **3.2.4. Diseño geométrico**

En este rubro se incluyen parámetros como los anchos de carril y el alineamiento horizontal (expresado en términos de la curvatura media del tramo, y el promedio de sobre elevación en curvas), y el alineamiento vertical (caracterizado por el número de ascensos y descensos en el tramo, y el desnivel medio del mismo).

### **3.2.5. Características estructurales del pavimento**

La capacidad estructural del pavimento se define mediante variables como el número estructural, deflexiones, espesores de capas, tipos de material y rigidez de la subrasante.

## **3.3. TIPOS DE PAVIMENTOS CONSIDERADOS**

Los modelos de deterioro del HDM-4 permiten analizar el comportamiento de una amplia gama de pavimentos asfálticos e hidráulicos. Para ello, se utilizan variantes de los modelos específicos en la estimación de cada tipo de daño, o se modifican los coeficientes de los mismos. El HDM-4 clasifica los pavimentos asfálticos en función del tipo de superficie y del tipo de base, como puede apreciarse en la Tabla 3.3 y en la cual se resaltan los pavimentos que nos conciernen en

esta investigación.

**Tabla 3.3: Clasificación de los pavimentos en el HDM-4**

<b>Tipode Pavimento</b>	<b>Tipode Superficie</b>	<b>Tipode Base</b>	<b>Descripción</b>
AMGB	AM	GB	Mezclaasfálticasobrebasegranular
AMAB		AB	Mezclaasfálticasobre baseasfáltica
AMSB		SB	Mezclaasfálticasobrebaseestabilizada
AMAP		AP	Mezclaasfálticasobrepavimentoasfáltico
STGB	ST	GB	Tratamientosuperficialsobrebasegranular
STAB		AB	Tratamientosuperficialsobrebaseasfáltica
STSB		SB	Tratamientosuperficialsobrebaseestabilizada
STAP		AP	Tratamientosuperficialsobrepavimentoasfáltico
JPGB	JP	GB	Concretohidráulicoconjuntassobrebase granular
JPAB		AB	Concretohidráulicoconjuntassobrebase asfáltica
JRGB	JR	GB	Concretohidráulicoconrefuerzodiscontinuo sobrebasegranular
JRAB		AB	Concretohidráulicoconrefuerzodiscontinuo sobrebaseasfáltica
JRSB		SB	Concretohidráulicoconrefuerzodiscontinuo sobrebaseestabilizada
CRG	CR	GB	Concretohidráulicoconrefuerzocontinúoso sobre basegranular

### **3.4. MODELOS DE DETERIOROS EN HDM-4 PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES**

El HDM-4 modela el deterioro de pavimentos mediante los siguientes tipos

#### **3.4.1. Deterioros superficiales**

En esta categoría se incluyen:

Agrietamiento

Desprendimientos o peladuras

Baches

Desintegración de borde.

De los deterioros anteriores, los tres primeros se caracterizan por dos fases, denominadas de inicio y de progreso. La fase de inicio se refiere al lapso de tiempo previo al desarrollo de un determinado tipo de deterioro. La fase de progreso comprende el periodo durante el cual se incrementa el área afectada y la magnitud del deterioro. La desintegración de bordes se modela considerando únicamente la fase de progreso.

### **3.4.2. Deterioros relacionados con la deformación del pavimento**

En el HDM-4, la deformación de la estructura del pavimento se modela con:

Ahuellamientos

Irregularidad

Se considera que estos tipos de deterioros varían en forma continua, por lo que sólo se modelan mediante ecuaciones de progreso.

### **3.4.3. Deterioros relacionados con la textura superficial**

Están relacionados con la capacidad del pavimento para evitar el deslizamiento de vehículos, particularmente en presencia de agua sobre la superficie. Para evaluar el estado del pavimento en esterubro, el HDM-4 utiliza los siguientes indicadores:

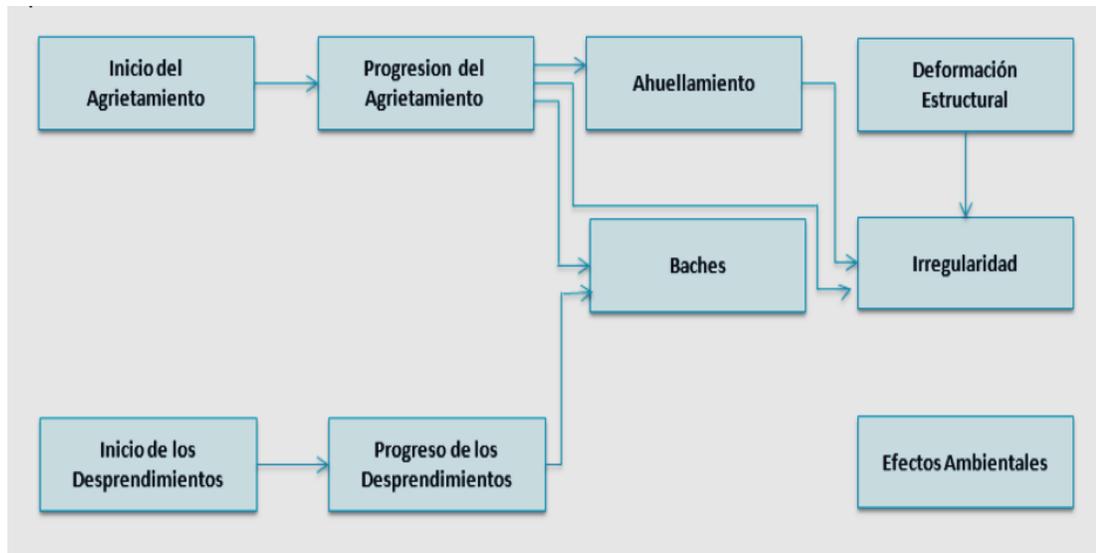
Profundidad de la textura

Resistencia al deslizamiento

Los parámetros anteriores también varían en forma continua, por lo que, como los ahuellamientos o la irregularidad, sólo se modelan mediante ecuaciones de progreso.

El HDM-4 modela cada uno de los deterioros anteriores en forma separada, sin embargo, en última instancia, combina los resultados para obtener un pronóstico de la irregularidad del pavimento.

## **Figura 3.1 Interacción entre los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos**



### 3.5. MODELOS DE DETERIOROS EN HDM-4 PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

La forma funcional general de los modelos de deterioro de concreto es la siguiente:

Deterioro = (Tráfico o Edad) (Diseño + Subrasante + Clima + Material)

Dichos modelos abarcan numerosas actividades de restauración y recapados, para los cuales ha sido posible formular modelos de escalonamiento de juntas, deterioro de juntas, agrietamiento, deterioro de grietas y reflexión de grietas. A continuación se muestra la lista de los modelos actualmente disponibles para pavimentos rígidos.

#### a) Pavimento de Concretos simple con juntas JPCP

Escalonamiento de juntas con barras de traspaso de carga

Escalonamiento de juntas sin barras de traspaso de carga

Desportillamiento de junta transversales

Agrietamiento Transversal

IRI, Índice de rugosidad internacional

#### b) Pavimento de concreto reforzado con juntas JRCP

Escalonamiento de juntas con barras de traspaso de carga

Escalonamiento de juntas sin barras de traspaso de carga

Desportillamiento de junta transversales

Agrietamiento Transversal

IRI, Índice de Rugosidad Internacional

c) Pavimento de concreto continuamente reforzado CRCP

Fallas

Serviciabilidad

IRI, Índice de Rugosidad Internacional

**Tabla 3.4: Modelos de deterioro en el HDM- 4**

<b>Deterioro</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Tipo de capa de rodadura</b>
Grietas	Porcentaje de losas agrietadas	JP
Grietas	Numero por milla	JR
Escalonamientos	Pulgadas	JP y JR
desportillamientos	Porcentajes de juntas desportilladas	JP y JR
Falla por fatiga	Número por milla	CR
Perdida de serviciabilidad	adimensional	JR y CR
rugosidad	Pulgada por milla o km.	JP, JR y CR

### **3.5.1. Procedimiento de cálculo**

#### **Características estructurales:**

En esta sección se describen los principales datos estructurales para pavimentos que serán necesarios para predecir el deterioro de los pavimentos de concreto. Esto incluye lo siguiente:

Propiedades de los materiales

Condiciones de Drenaje

Eficiencia de Transferencia de Carga

Ensanchamiento de Carriles Exteriores

### **Propiedades de los materiales:**

#### **Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ):**

El módulo de elasticidad del concreto representado por ( $E_c$ ) puede ser obtenido a partir de un análisis de mediciones de deflexiones o de ensayos de laboratorios (por ejemplo, de acuerdo al procedimiento descrito en la norma ASTM C469). Así mismo puede ser estimado de una correlación de esfuerzo a la compresión del concreto por medio de la siguiente ecuación

$$E_c = 5700 f_c^{0.5}$$

Donde:

$E_c$ =Módulo de Elasticidad del concreto (psi)

$f_c$ =Esfuerzo a la compresión del concreto (psi), determinado utilizando el procedimiento AASHTO (T22-92), AASHTO (T140-92) o ASTM C39

El valor de Modulo de Elasticidad del concreto utilizado en el modelo de deterioro de pavimento es de 5,000,000 psi.

#### **Módulo de ruptura del concreto (MR28):**

Las tensiones en pavimentos de concreto son causadas principalmente por los efectos del tráfico y de la acción ambiental. El módulo de ruptura es una medida de la fuerza flexural concreta en el abastecimiento de una resistencia continua a las tensiones. Durante la vida útil del pavimento los niveles de tensión pueden exceder el módulo de ruptura en ciertos puntos, estropeando la fatiga y agrietándose en las losas.

$$MR_{28} = RUP * F_c^{0.5}$$

Donde:

MR28 = Módulo de ruptura del concreto después de los 28 días (psi)

$F_c$  = Esfuerzo a la compresión del concreto, en psi, determinado a partir de los procedimientos AASHTO (T22-92), AASHTO (T140-92) o ASTM C39

RUP = Parámetro del modelo (varía entre 8 y 10, valor por defecto = 9)

El Módulo de <sup>ruptura</sup> también puede estimarse usando el módulo de elasticidad del concreto, el cual puede ser obtenido a partir de resultados de ensayo con el Deflectómetro de Impacto (FWD) o ensayos de laboratorio. La ecuación empírica (Foxworthy, 1985) para estimar el Módulo de Ruptura es la siguiente:

$$MR = \left( \frac{E_c}{10^6} \right) + 488,5$$

Donde;

MR = Módulo de Ruptura del concreto (psi)

$E_c$  = Módulo de Elasticidad del concreto (psi)

Para los modelos de deterioro de pavimentos de concreto se considera un módulo de ruptura (MR) a largo plazo. El valor para este periodo se estima con un incremento del 11% del Módulo de Ruptura a los 28 días ( $MR_{28}$ ).

#### **Coefficiente térmico del concreto ( $\alpha$ ):**

El coeficiente térmico de expansión utilizado para determinar el abeo producido por esfuerzos en el pavimento de concreto cuando este se encuentra sujeto a diferentes temperaturas entre la parte superior e inferior de la losa. Los mayores esfuerzos ocurren en el borde de la losa, y podrían resultar en agrietamientos cerca del punto medio de la losa.

El coeficiente térmico de expansión varía según los factores como: relación Agua-Cemento, edad del concreto, proporción de la mezcla, humedad relativa y el tipo de agregado. Tabla 3.5 muestra los valores típicos de coeficiente térmico de concreto según el tipo de agregados.

Usualmente para el análisis en pavimentos de concreto se considera un valor de  $5.5 \times 10^{-6}$  per<sup>o</sup>F.

**Tabla 3.5: Valores típicos del coeficiente térmico del concreto.**

<b>Tipodeagregado</b>	<b>Coefficientetérmicodelconcreto(<math>\alpha</math>) (<math>10^{-6}</math>per<math>^{\circ}</math>F)</b>
Cuarzo	6.6
Arenisca	6.5
Grava	6.0
Gravito	5.3
Basalto	4.8
PiedraCaliza	3.8

### **Condiciones de drenaje:**

Se reconoce extensamente que el drenaje es un factor principal que influye en el funcionamiento de muchos pavimentos de concreto. El agua que infiltra a través de las grietas y en los empalmes de las losas, dando lugar a menudo a la pérdida de soporte uniforme de la plataforma de base y a la dislocación del pavimento debido a la redistribución del material de la base/subbase.

El efecto del drenaje sobre el funcionamiento del pavimento de concreto se incorpora en los modelos de la deterioración HDM-

4 con el uso de un coeficiente de drenaje ( $C_d$ ). El coeficiente de

drenaje es definido por la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo durante el año que la estructura del pavimento sería expuesta normalmente a los niveles de la humedad que se acercan a la saturación (AASHTO, 1986). La calidad del drenaje se basa en la velocidad a la cual el agua se quita de la estructura del pavimento.

### **Eficiencia de la transferencia de carga:**

La transferencia eficaz de las cargas del tráfico a partir de una losa a otra reduce los niveles de tensión extensible en las losas y las deformaciones asociadas de las losas en los empalmes. Esta situación ayuda a disminuir la deterioración reduciendo el bombeo, la pérdida de soporte y la fractura de los bordes de la losa. La transferencia de la carga a través de empalmes transversales se puede efectuar con barras de pasador, dispositivo de seguridad agregado o una combinación de ambos mecanismos.

La transferencia de la carga en los empalmes puede evaluarse con el FWD, colocando las deformaciones de los lados cargados y descargados del empalme. El porcentaje de la carga transferida a través de un empalme, denotado por el LT, se expresa como sigue:

$$LT = \frac{DEF_{unid}}{DEF_{load}} * 100$$

Donde:

LT = Porcentaje de transferencia de carga a través de la junta

DEF<sub>unid</sub> = Deflexión en el lado descargado de la junta (pulg)

DEF<sub>load</sub> = Deflexión en el lado cargado de la junta (pulg)

La eficiencia de la transferencia de la carga se utiliza en el cálculo de la tensión máxima del sistema pasador-concreto. Teóricamente, si un pasador es el 100% eficiente, se puede asignar la mitad de la carga aplicada a cada losa adyacente. Sin embargo, una reducción en la eficacia de la transferencia de la carga ocurrirá durante la vida del pavimento, cualquiera de losa debido a la pérdida de la eficiencia en la zona donde el dispositivo de transferencia de la carga se encuentra en el bloque de cemento o debido a la deterioración del agregado.

### **Eficiencia en la transferencia de carga entre la losa y el hombro**

$$LTE_{sh} = \frac{STRESS_{unid}}{STRESS_{load}} * 100$$

Donde:

LTE<sub>sh</sub> = Eficiencia en la transferencia de carga entre la losa y el hombro (%)

STRESS<sub>unid</sub> = Tensión en el lado descargado del empalme (psi)

STRESS<sub>load</sub> = Tensión en el lado cargado del empalme (psi)

### **Ensanchamiento de carriles exteriores:**

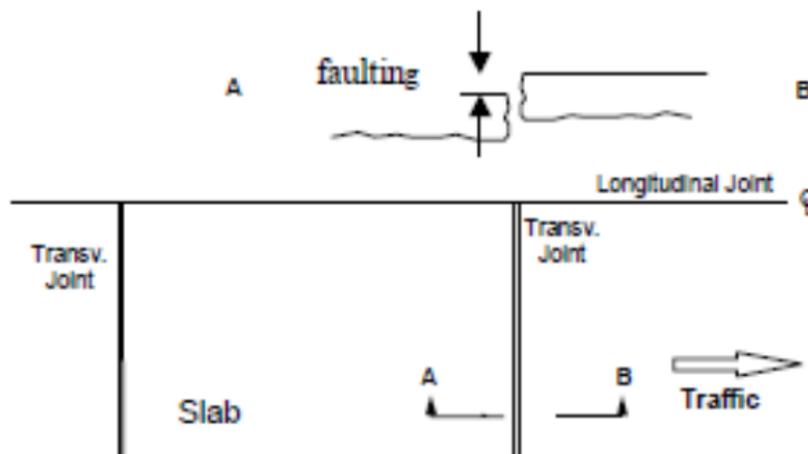
Se refiere a la construcción original que incorpore un carril más ancho adyacente a los hombros.

La ventaja principal asociada a la disposición de un carril externo más ancho es la reducción de la tensión en el borde externo de la losa que las cargas de la rueda guardan en una

distancia del borde del pavimento. Los efectos de carriles exteriores ensanchados sobre el funcionamiento del pavimento de concreto se consideran en los modelos de agrietamiento y escalonamiento.

### 3.5.2. Escalonamiento

**Figura 3.2 Esquema de escalonamiento de losas para pavimentos de concreto hidráulico JPCP.**



El modelo de este deterioro trabaja para concreto simple con dovelas o sin dovelas y considera las siguientes variables para su formulación:

#### Escalonamiento de juntas con barras de traspaño de carga:

$$\begin{aligned} \text{FAULT} = & K_{jpd} * NE4^{0,25} * 0,0628 * 1 - C_d + 3,673 * 10^{-9} * \text{BSTRESS}^2 + 4,116 \\ & * 10^{-9} * \text{JTSPACE} + 7,466 * 10^{-10} * \text{FI}^2 * \text{PRECIP}^{0,5} - 0,009503 \\ & * \text{BASE} - 0,01917 * \text{WIDENED} + 0,0009217 \text{AG} \end{aligned}$$

Donde:

FAULT = Escalonamiento transversal promedio (m)

$C_d$  = Coeficiente de drenaje modificado por AASHTO

NE4 = Número de ejes sencillos equivalentes acumulados (ESALs) desde construcción (millones de ejes de 18kip (8,181.8 kg) por carril)

BSTRESS = Máximo esfuerzo de resistencia del concreto, en el sistema dovela-concreto (psi-Pa). La combinación concreto y acero de refuerzo permite una mejora

en la reacción del pavimento y por ende en el esfuerzo máximo que es capaz de resistir el sistema en conjunto.

BASE = Tipo de base; 0 = no estabilizada, 1 = estabilizada

FI = Índice de congelamiento (°F-días)

JTSPACE = Distancia entre juntas transversales (m)

PRECIP = Precipitación promedio anual (m)

WIDENED= Carril ancho; 0 = No anchado, 1= Carril ancho o bermas hechas durante construcción, 0,5 = Bermas en concreto colocadas después de la construcción

Kjpdf = Factor de calibración (defecto = 1,0)

AGE= Número de años del pavimento desde la construcción. La edad del pavimento debe tenerse en cuenta pues a medida que pasa el tiempo los materiales se van alterando y perdiendo propiedades como resistencia entre otros

#### **Escalonamiento de juntas sin barras de traspaso de carga:**

$$\begin{aligned} \text{FAULT} = & 25,4 * NE4^{0,25} * \text{MAX } 0,02347 - 0,1516 Cd - 2,88 \times 10^{-7} Hp * L^{0,25} \\ & - 0,0115BASE + 6,45 \times 10^{-8} FI^{1,5} MMP^{0,25} - 0,002478(DAYS90)^{0,5} \\ & - 0,0415 WIDENED \end{aligned}$$

Donde:

NE4 = Número de ejes sencillos equivalentes acumulados (ESALs)

Cd = Coeficiente de drenaje modificado por AASHTO

Hp = Espesor de losa, en mm

L = Distancia entre juntas transversales en m.

BASE = Tipo de base; 0 = no estabilizada, 1 = estabilizada

FI = Índice de congelamiento (°F-días)

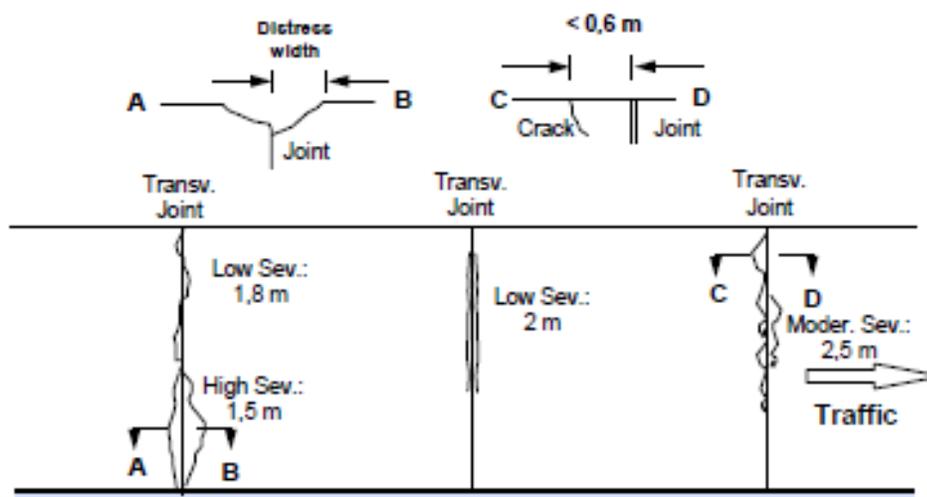
MMP = Precipitación promedio mensual, en mm/mes

DAYS90 = Número de días con temperatura >32°C

WIDENED =Carril ancho; 0 = No anchado, 1= Carril ancho o bermas

### 3.5.3. Desportillamiento de juntas transversales (JPCP)

Figura 3.3 Esquema de desportillamiento de juntas (JPCP)



$$\begin{aligned} \text{SPALL} = & K_{jps} * \text{AGE} * \text{JTSPACE} * 10^{-6} * 549,9 - 895,7 * \text{LIQSEAL} + \text{PREFSEAL} \\ & + 1,11 * 10^{-3} \text{DAIS90}^3 + 375 \text{DWLCOR} + 29,01 - 27,6 \text{LIQSEAL} * \text{FI} \\ & - 28,59 \text{PREFSEAL} + 27,09 \text{SILSEAL} * \text{FI} \end{aligned}$$

Donde:

SPALL= Porcentaje de juntas descascaradas

AGE= Edad en años desde la construcción

JTSPACE= Espaciamiento entre juntas promedio (m)

LIQSEAL= Presencia de líquido sellante en las juntas. Todas las juntas, ya sean de construcción y contracción deben sellarse para prevenir la entrada de agua bajo la losa.

El HDM tiene en cuenta el sellante líquido (usualmente asfáltico) pero no lo considera en gran detalle, solo su presencia u ausencia, Así: 0 = No presente, 1 = Presente

PREFSEAL= Presencia de sellante preformado en las juntas. Existen diferentes tipos desellantes, entre los cuales se tienen preformados de goma. HDM

considera la presencia u ausencia de ellos, Así: 0 = No presente, 1 = Presente

DAYS90= Número de días con la temperatura media mayor a 90

DWLCOR=Protección a la corrosión de la dovela. La protección de las dovelas es tenida en cuenta dentro del programa a manera general, así:

0 = inexistencia de dovela o dovelas protegidas

1 = Dovelas no protegidas

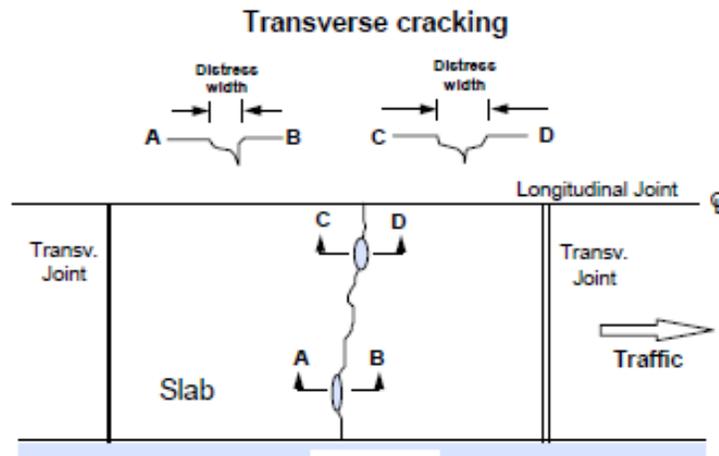
FI= Índice de congelamiento (°F-días)

SILSEAL= Presencia de silicona en las juntas. Al igual que los sellantes, HDM tiene la posibilidad de especificar si las juntas tienen silicona para la protección de la losa del agua. Numéricamente: 0 = No presente, 1 = Presente

Kjps = Factor de calibración (defecto = 1,0)

#### 3.5.4. Agrietamiento transversal

**Figura 3.4 Esquema de agrietamiento transversal de losas de concreto hidráulico (JPCP).**



Las grietas transversales se modelan en función del daño de la fatiga acumulada en las losas

$$PCRACK = \frac{100}{1 + k_{jpc} * FD^{-1,66}}$$

Donde:

PCRACK=Porcentaje de losas agrietadas

FD=Daño de fatiga acumulada, adimensional

K<sub>jpc</sub>=Factor de calibración (1,0 por defecto).

**Determinación del daño de la fatiga:**

$$FD = \frac{ntg}{Ntg}$$

Donde:

FD = Daño de fatiga acumulada

T<sub>g</sub> = Gradiente de temperatura

N<sub>tg</sub> = Número carga de ejes equivalentes de 18 kips durante el gradiente de temperatura t<sub>g</sub> (ESALs por carril)

N<sub>tg</sub> = Número máximo de repeticiones estándar de ejes equivalentes de carga de 18 kips durante el gradiente de temperatura t<sub>g</sub> antes de la falta flexural ocurre (ESALs por carril)

En este caso se considera que la falla por fatiga acumulada temperatura incluye fase de hielo y deshielo, por lo que no se considera por escapar de los objetivos de este trabajo.

### 3.5.5. IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

El IRI es un indicador de los estados superficiales del pavimento que se puede ver reflejado en su deterioro, el cual se define como de aceleraciones verticales no deseadas que sufre el usuario de una carretera al circular por ella, las cuales son provocadas por las desviaciones del perfil longitudinal real respecto al perfil teórico del proyecto. HDM-4 utiliza los deterioros de Juntas Despostilladas, Escalonamiento y Losas Fisuradas para modelar este indicador.

El IRI se modela con la siguiente ecuación:

$$IRI = k_{jpr} * (IRI_0 + 2,6098 \text{ fault} + 1,8407 \text{ spall} + 2,2802 * 10^{-6} * \text{Tracks}^3)$$

Donde:

IRI<sub>t</sub> = Regularidad en el tiempo t (pulgadas/milla – m/km)

IRI<sub>0</sub> = Regularidad inicial en momento de construcción (m/km) (defecto = 98.9)

TFAULT = Escalonamiento transversal total de juntas por milla (pulg/milla – m/km)

SPALL = Porcentaje de juntas descascaradas

TCRACKS = Número total de losas agrietadas por milla (N°/km)

K<sub>jpr</sub> = Factor de calibración (defecto = 1,0)

Número total de las agrietadas por milla:

$$TCRACKS = \frac{5280 \text{ PCRACK}}{100 \text{ JTSPACE}}$$

Donde:

TCRACKS = Número total de las agrietadas por milla (N°/km), Al igual que con el escalonamiento, esta fórmula presentada es la conversión a (N°/km)

PCRACK = Porcentaje de las agrietadas

JTSPACE = Espaciamiento entre juntas promedio (m)

### **3.6. CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA EL ESTUDIO**

Las variables principales usadas en la modelización del rendimiento de los firmes de concreto se pueden considerar como características estructurales del firme, tales como condición, historial, tráfico, geometría y medio ambiente.

#### **3.6.1. Características estructurales del firme**

Incluye medidas de resistencia del firme, del espesor de la losa, de los tipos y propiedades de los materiales, de la cantidad del refuerzo de acero, de la presencia de arcnos de hormigón pegado y carriles ensanchados exteriores y de la rigidez de la explanada.

##### **a) Propiedades de los materiales**

Módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ )

Módulo de ruptura del hormigón ( $MR_{28}$ )

Coefficiente termal del hormigón ( $\alpha$ )

Coefficiente de encogimiento del hormigón por falta de humedad ( $\gamma$ )

Relación de Poisson del hormigón ( $\mu$ )

Módulo de elasticidad de las barras de los pasadores ( $E_s$ )

Módulo de elasticidad de las bases ( $E_{base}$ )

Módulo de reacción de la explanada (KSTAT)

##### **b) Coeficiente del drenaje**

El efecto del drenaje en la resistencia de los firmes de hormigón se incorpora a los modelos de deterioro de HDM-4 a través del uso de coeficiente de drenaje ( $C_d$ ).

Este coeficiente se define por la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo del año en que la estructura del firme estará generalmente expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación (AASTHO 1986). La calidad del drenaje se basa en la velocidad a la cual el agua es retirada de la estructura del firme.

#### **3.6.2. Historial del firme**

Son los datos relacionados con la edad del firme y con el año de la última conservación mayor y trabajos de construcción realizados.

### **3.6.3. Geometría y medio ambiente**

Los datos claves de la geometría de la carretera requeridos son el ancho de la calzada y de los arcenes. Se usan diferentes parámetros relacionados con el medio ambiente para concretar la modelización del deterioro. Estos incluyen la precipitación media anual, índice de congelación, el índice de humedad Thornthwaite, la escala de temperatura y el número de días con temperatura mayor de 32°C

### **3.6.4. Tráfico**

Los datos de tráfico requeridos son el flujo anual de ejes equivalentes (ESAL) y de ejes equivalentes acumulativos (NE4) ambos expresados en millones por carril. Estos datos se calculan para cada año analizado basados en el tráfico especificado por el usuario y las características del vehículo.

### **3.6.5. Medición y procesamiento de la información de deterioro**

Considerando que dentro del estudio serían utilizados además de los datos auscultados, datos medidos en proyectos anteriores, los cuales deberían de ser obtenidos y aprobados mediante la aplicación de rigurosos procedimientos estadísticos que garanticen la confiabilidad de la información, para que la variabilidad y dispersión de los datos recolectados en los tramos testigos nuevos sea lo menor posible, para garantizar que el nivel de confiabilidad de la información fuera similar a la de proyectos anteriores.

Debido a lo anterior, para recolectar la información de deterioro de los nuevos tramos, es necesario establecer una metodología de medición, que definiera desde la cantidad de muestras que debían ser medidas, hasta la forma como se recogerían en terreno los datos de cada tramo.

El objetivo principal de la metodología de medición es obtener un número de muestras que permita estimar el deterioro promedio con una confiabilidad aceptable y un rendimiento óptimo de medición en terreno.

### **Tabla 3.6 Información a incorporar en la base de datos ampliada.**

<b>Información primaria</b>		<b>Información secundaria</b>
Tránsito	TMDA clasificación vehicular, tasas de crecimiento, factores de equivalencia	Distribuciones por carril, distribuciones de carga por sentido
Estructura	Espesor, ancho y longitud de losas, presencia de pasadores, módulo de rotura del concreto, tipo de base y tipo de suelo de fundación	Diámetro y protección de pasadores, módulos de elasticidad del concreto y acero, coeficiente térmico y de retracción del concreto, módulo de elasticidad de la base y módulo de reacción de la subrasante.
Misceláneos	Drenaje utilizado, edad del pavimento	Tipo de sello en juntas, separadores en armaduras continuas
Climáticos	Temperatura media anual y precipitaciones anuales	Índice de congelamiento y de Thormthwaite, cantidad de días con temperaturas a 32 °C, rango de temperaturas, gradientes térmicos en espesores de losas
Indicadores de deterioro	Escalonamiento y deterioro de juntas transversales, grietas transversales e irregularidad longitudinal (IRI)	Fisuras y grietas longitudinales de esquina de durabilidad, tipo mapa, etc. Descascaramiento y pérdida de material superficial.

La tabla 3.6 establece una diferencia entre datos primarios y datos secundarios, en el sentido que si bien toda la información es requerida por los modelos de predicción del HDM-4, la determinación precisa de algunos datos es notablemente más importante e

incidente sobre los resultados de la predicción, en relación con otros datos. De allí que se deba establecer un orden de prioridades para la recopilación de información.

### **3.6.6. Metodología estadística para recolectar datos de deterioro**

Entre las actividades de especial interés en la metodología a emplear para el muestreo estadístico del deterioro en los pavimentos, se describe brevemente a continuación.

Con el propósito de racionalizar el mecanismo de toma de datos de deterioro en terreno, considerando que la inspección visual del deterioro en pavimentos es una operación lenta y minuciosa, que insume importantes cantidades de tiempo y recursos humanos, se decidió utilizar un procedimiento estadístico para determinar qué cantidad del tramo debía inspeccionarse por kilómetro. Para ello se utilizó como base estudios de países como Chile, que ha realizado campañas de este tipo para fines similares de los que busca esta investigación.

En base a los resultados obtenidos en los estudios mencionados, para el caso específico de pavimentos de concreto hidráulico, se llega a la conclusión que resulta suficiente muestrear un sector de pavimento del orden de 140 m continuos por carril, cualquiera fuese el tipo de pavimento de concreto hidráulico (con juntas, simple o reforzado, o bien continuamente reforzado). De esta manera, se trabaja con un tamaño de muestra correspondiente a un 14% de la superficie total del pavimento, lo cual permite estimar con una confiabilidad del orden del 90% o superior el promedio kilométrico de los distintos tipos de deterioro presentes en la carretera.

Como algunos tramos tienen una longitud bastante importante (hasta 30 km), se recomienda asimismo, establecer rangos para determinar qué cantidad de kilómetros se inspeccionaría en cada caso en función de la longitud total del tramo, de manera de compatibilizar confiabilidad y economía de recursos. En base a estudios similares de calibración de modelos de deterioro HDM-III realizados en Chile, se definió la cantidad de kilómetros a muestrear por tramo de acuerdo al siguiente criterio:

Si la longitud del tramo es inferior a 2 km se inspecciona todo el tramo

Si el tramo tiene entre 2 y 10 km de longitud, se inspecciona 1 de cada 2 km (el 50 % del tramo)

Si el tramo tiene más de 10 km, se inspeccionan 2 km consecutivos cada 5 km (el 40% del tramo)

A partir de la aplicación de este procedimiento, según la experiencia, se cuenta con buena cantidad de información sobre el estado de los pavimentos inspeccionados. El deterioro superficial de los pavimentos (fisuras, saltaduras, peladuras, etc.) ha sido registrado en planillas diseñadas a tal efecto.

### **3.6.7. Configuración del HDM-4**

El papel principal de la configuración del sistema de datos en HDM-4 es la gestión de todos los datos redefinidos que serán usados durante el análisis. Los datos en la configuración del HDM-4 se estructuran en tres grupos principales:

Red de carreteras

Modelos técnicos

Cambios de monedas y categorías de presupuestos

#### **3.6.7.1. Red de carreteras**

La Red se divide en cinco grupos de datos principales:

##### **1) Clase de carretera**

Es conveniente clasificar los tramos de una red por clase de carretera de acuerdo a una jerarquía funcional. Las siguientes clases de carreteras vienen predefinidas: Primaria o nacional, Secundaria o regional y Terciaria o local.

##### **Tipo de relación capacidad-velocidad:**

Los factores que determinan la relación capacidad-velocidad son:

##### **Capacidad:**

Es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto o atravesar un tramo de carretera en una hora (total en ambos sentidos). Los valores de la capacidad determinan la línea de la curva de capacidad-velocidad estableciendo el valor final de la capacidad.

##### **Velocidad libre:**

Es la velocidad de cada vehículo a flujo nulo o muy bajo. El promedio de velocidad libre se calcula para cada tipo de vehículo.

### **Velocidad a máxima capacidad:**

Cuando la intensidad del tráfico aumenta, el promedio de la velocidad para todos los vehículos converge hacia las velocidades de los vehículos más lentos. Un estimado de velocidad promedio también conocido como velocidad de embotellamiento, se necesita para describir la relación capacidad-velocidad.

El número de tipo de relación capacidad-velocidad se define a discreción del usuario como se muestra en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7 Ejemplo de parámetros de modelos de capacidad y capacidad velocidad para diferentes tipos de carretera**

<b>Tipo de carretera</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>QLult (PCSE/carril/hr)</b>	<b>Sult (km/hr)</b>	<b>qmaxr (m/s<sup>2</sup>)</b>
Carril sencillo	<4	600	10	0,75
Intermedia	4 a 5,5	900	20	0,70
De dos carriles	5,5 a 9	1400	25	0,65
Ancho de dos carriles	9 a 12	1600	30	0,60
Cuatro carriles	> 12	2000	40	0,60

Donde:

$S_{ult}$  = Velocidad de embotellamiento

$q_{maxr}$  = Ruido máximo de aceleración

Distribución horaria de la intensidad del tráfico (patrón de intensidad del tráfico)

Es importante tener los diferentes niveles de congestión del tráfico a distintas horas del día y en los diferentes días de la semana. Por definición, los datos de intensidad media diaria (11VID) se pueden convertir en flujos horarios a partir de las 8.760 horas del día (365 días x 24 horas al día). Los parámetros claves son los siguientes:

El flujo de tráfico horario para cada periodo de frecuencia de flujo, se expresa como una proporción de IMD tal y como sigue:

$$HV_p = \frac{365 * PCNADTp}{100 * HRYP}$$

donde:

$HV_p$  = Flujo de tráfico por hora en periodo p

$PCNADTp$  = Porcentaje de IMD en periodo p

$HRYP$  = Número de horas por año en periodo p

El flujo de tráfico durante cada periodo de flujo se calcula como sigue:

$$QP = \sum_{K=1}^{KPQ} HVP * PCSE_K * IMD_K$$

donde:

$QP$  = Flujo de tráfico por hora en periodo p (PCSE por hora).

$IMD_K$  = Intensidad media diaria de tipo de vehículo K.

$PCSE_K$  = Equivalentes de espacio de pasajero por vehículo K.

## 2) Zona climática

Clima en el cual se sitúa una carretera tiene un impacto significativo en la forma en que sufrirá deterioro y en algunos otros aspectos de los costos del usuario.

Clasificación por humedad; en una de las siguientes: árida, semi-árida, sub-húmeda, húmeda y muy húmeda.

Clasificación por temperatura, una de las siguientes: tropical, subtropical-cálida, subtropical-fría, templada-fría y templada-helada.

**Tabla 3.8 Detalle de los datos relacionados a la clasificación por humedad**

Datos	Clasificación por humedad				
	Árida	Semi-árida	Sub-húmeda	Húmeda	Muy húmeda

Precipitación mensual media (mm)	15	50	100	175	210
índice de humedad esperada	-80	-40	0	+60	+100
Proporción durante el año de duración de la estación seca	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10

**T a b l a 3 . 9 Detalle de los datos relacionados a la clasificación por temperatura**

Datos	Clasificación por temperatura				
	Tropical	Sub-tropical Cálida	Sub-tropical fría	Templada fría	Templada helada
Temperatura anual media (°C)	27	22	18	12	8
Variación de temperatura (°C)	15	50	40	45	60
N° días/año en que la temperat. excede los 32 °C	90	60	30	15	10
Índice de congelación (°C-días)	0	0	0	55	220
Uso de sal en la carretera	No	No	No	si	si
% de vehículos con neumáticos claveteados	0	0	0	10	20
% de viajes en carreteras con nieve	0	0	0	10	20
% de, viajes en carreteras con agua	20	10	15	5	10
Densidad del aire (kg/m-)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

### 3) Volumen del tráfico

Para cada tramo de la carretera se especifica el nivel del tráfico en término de flujo de

intensidad media diaria (IMD). Como un nivel de datos añadidos, el volumen del tráfico se podrá definir por oleadas o niveles.

El número de oleadas de tráfico que se pueden definir para cada clase de capa de rodadura. La tabla 3.10 muestra los niveles con los niveles predefinidos (bajo, medio y alto):

**Tabla 3.10 Definición de oleadas de tráfico por clase de capa de rodadura**

Oleada de tráfico	Volumen de tráfico (IMD promedio) por clase de capa de rodadura		
	Bituminosa	Sin pavimentar	Hormigón
Bajo	750	75	3000
Medio	3000	175	7500
Alto	7500	800	15000

#### 4) Geometría

Los siguientes datos detallados (ver tabla 3.11) define una clase de geometría:

Descripción.

Promedio de inclinación máxima de pendiente (m/km).

Número de rampas y pendientes por kilómetro (n°/km).

Promedio del arqueamiento horizontal (grados por km).

Súper elevación (en inclinación %).

Velocidad límite (km/hr).

Factor de cumplimiento de la velocidad límite (predefinido = 1,1).

Factores de reducción de la velocidad.

**Tabla 3.11 Definición de clase de geometría**

N°	Clases	Rampa + pendiente (m/km)	N° de rampas y pendientes por km	Arqueamiento horizontal (grados/km)	Súper-elevación (%)	Velocidad límite (km)
1	Recta y nivelada	1	1	3	2	110
2	Algo recta y muy ondulada	10	2	15	2,5	100
3	Curva y gral. nivelada	3	2	50	5,5	100
4	Curva y algo ondulada	15	2	75	3	80
5	Curva y muy ondulada	25	3	150	5	70
6	Accidentada y algo ondulada	20	3	300	5	60
7	Accidentada y muy ondulada	40	4	500	7	5

### 5) Características del pavimento

Los parámetros que se usan en HDM-4 para describir las características del pavimento, varían de acuerdo a las clases de capa de rodadura y pueden ser los siguientes:

#### Pavimento bituminoso:

La resistencia de los pavimentos bituminosos se define por su idoneidad estructural expresada en términos como bueno, regular y pobre. Los valores de datos detallados relacionados con esto se definen en términos de Número estructural del pavimento (SN para las diferentes oleadas de tráfico, se detallan en la tabla 3.12)

**Tabla 3.12 Definición de idoneidad estructural**

<b>Idoneidad estructural</b>	<b>Oleadas de tráfico</b>		
	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
Buena	2.5	3.5	5.0
Regular	2.0	2.5	3.5
Pobre	1.5	2.0	2.5

### **Pavimento de hormigón:**

La definición de idoneidad estructural para pavimentos de hormigón se obtiene del espesor de la losa de hormigón, el nivel del tráfico y el módulo de ruptura o el porcentaje de acero, dependiendo del tipo de pavimento. Para cada medida y por cada una de las oleadas de tráfico predefinidas definirá el detalle de datos que se nombran a continuación:

Pavimento de hormigón con juntas.

Pavimento de hormigón armado conjuntas

Pavimento de hormigón armado continuo, sin juntas.

El usuario puede revisar y modificar los valores predefinidos de otras variables usadas para la modelización de pavimentos de hormigón detallados en la tabla 3.13

**Tabla3.13Valores predefinidos de otras variables**

<b>Variable</b>	<b>Predefinido</b>	<b>Unidad</b>
-----------------	--------------------	---------------

Módulos de elasticidad, EC	2,9E+07	KN/M2
Espacio entre juntas del pavimento de hormigón JP	4,0	m
Espacio entre juntas del pavimento de hormigón JR	20	m
Transferencia de carga a las juntas, LT	45	%
Transferencia de carga al borde de la losa, LTE	0	%
Coefficiente de Poisson	0,15	
Coefficiente de encogimiento por secado, GAMMA (y)	4,0E-04	
Coefficiente de expansión terminal, ALPHA (a)	1,0E-05	
Tipo de sellador	Líquido	
Diámetro del pasador	30	mm.
¿Se utilizarán separadores para colocar los pasadores?	Sí	
¿Están protegidos los pasadores contra la corrosión?	No	
Tipo de arcén	Monolítico	
Carril ensanchado	Ninguno	
Tipo de base	Granular	
Tipo de a explanada	Granular	
Módulos de reacción de la explanada, KSTAT	54	MPa/m
Coefficiente de drenaje, Cd	1,0	
Drenajes longitudinales	Ninguno	

### Condición de la carretera:

Los datos de la condición de la carretera se agrupan de la siguiente manera:

**Calidad de rodadura:**

La calidad de la rodadura es una indicación de la regularidad de la carretera, se define en términos de medidas cualitativas tales como buena, regular, pobre, deficiente, etc.

**Deterioro superficial:**

Como un nivel adicional la condición de la capa puede ser definida por una medida cualitativa por ejemplo: nueva, buena, regular, pobre, deficiente, etc.

**Textura superficial:**

La textura superficial se puede definir por medidas cualitativas, por ejemplo buena, regular, deslizante, etc.

**Historial del pavimento:****Calidad de la construcción:**

La calidad de la construcción de los pavimentos bituminosos se describe por valores tales como buena, regular, pobre, etc. El usuario define el número de clases de calidades de construcción,

**Edad:**

Las edades del perfilado que se necesitan para la modelización del deterioro de los pavimentos bituminosos pueden ser obtenida de los datos entrados del año del último perfilado.

**Condición anterior:**

Los datos de la condición anterior, en el nivel de detalle, incluye también la cantidad de fisuración, anterior al último perfilado. Los datos que deberían definir el usuario son los siguientes:

Área de "fisuración estructural total" anterior .

Área de "fisura estructural gruesa" anterior .

Número de fisuración termal transversal por km .

**Drenaje:**

Lo que representa el factor de drenaje (DF) se puede definir con las siguientes medidas: excelente, buena, regular, pobre, muy pobre, etc., para los diferentes tipos de drenajes como se muestra en la tabla 3.14.

**Tabla 3.14 Valores predefinidos de DF para condición de drenaje**

Tipo de drenaje	Condición del drenaje				
	Excelente	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
Totalmente alineado	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Alineado a la capa	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Con forma de V fuerte	1,0	2,0	2,7	3,5	4,0
Con forma de V suave	1,5	2,5	3,2	4,3	5,0
Superficial fuerte	2,0	3,0	3,8	4,5	5,0
Superficial suave Sobre dimensionado	2,0	3,0	3,8	4,5	5,0
	3,0	3,5	4,0	4,6	5,0
Sin efecto de drenaje	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### 3.6.8. Procedimiento de cálculo

La lógica general de cálculo en la modelización del deterioro de cada tramo de la carretera en cada año analizado se puede resumir en los siguientes pasos:

- 1) Inicio de la entrada de datos y de las condiciones al comienzo del año.
- 2) Conversión de los datos del sistema métrico a unidades imperiales inglesas.
- 3) Cálculo de los parámetros de la resistencia del firme.
- 4) Cálculo de la cantidad de cada forma de deterioro en el año analizado en el orden siguiente, dependiendo del tipo de cada firme:

Fisuración

Resalto

Desconchado

Rotura

5) Cálculo de la escala de utilidad presente, PSR según el tipo de firme.

6) Cálculo del valor promedio de regularidad en el año analizado.

7) Archivo de los resultados en unidades imperiales inglesas, para su uso en el módulo de los efectos de los efectos de los trabajos (WE) en el siguiente año analizado.

8) Conversión de los informes requeridos al sistema métrico para su uso en los módulos RUE y VER y para la obtención de informes.

### **3.6.9. Tipos de trabajo en pavimento de hormigón**

La modelización en el contexto del sistema de HDM-4 implica lo siguiente:

Definición de los trabajos en forma lógica para alcanzar un objetivo estándar.

Distribución de los trabajos sobre el periodo analizado.

Cálculo de las cantidades físicas o de la cantidad de trabajo que se llevara a cabo.

Estimado de los costes de los trabajos como parte del análisis de flujo de dinero usado en el análisis económico y en la preparación de los presupuestos.

Reajuste y cambio de una o más de las características que definen la carretera como un resultado de la implantación del trabajo.

Los métodos que definen para las siguientes clases de trabajo:

Rutina de conservación

Conservación periódica

Trabajos especiales

Trabajos de construcción

### **3.6.9. Procedimiento del análisis de proyecto**

El procedimiento para el análisis del proyecto sigue en orden las siguientes tareas:

Crear el proyecto que será estudiado definiendo la carretera que será analizada.

Definir el proyecto especificando lo siguiente:

**Información general sobre el proyecto:**

Especificar la siguiente información: descripción (descripción somera de los trabajos incluidos en el proyecto), año de comienzo del periodo de análisis, duración del periodo de análisis, moneda utilizada (en la que se presentarán los informes) y la tasa de cambio (factores de conversión entre la moneda unitaria del parque de vehículos y la del trabajo de carretera).

**Tramos que serán analizados:**

Los tramos de análisis se seleccionan y almacenan en la carpeta Red de carreteras, para el estudio se pueden seleccionar uno o más tramos.

**Tipos de vehículos:**

Los tipos de vehículos que usarán los tramos seleccionados se obtienen de un parque de vehículos predefinidos en la carpeta Parque de vehículos.

**Características del tráfico:**

Las características del tráfico se especifican para cada uno de los tramosseleccionados. La información requerida es la siguiente: Intensidad media diaria (IMD) y año en el que se aplican los niveles de tráfico.

Los detalles del tráfico se especifican para cada elemento de la red ya se explicaron en subtítulos anteriores al igual que el periodo de crecimiento.

**Alternativas:**

Las alternativas que serán analizadas en términos de:

**Alternativas de tramos:**

La asignación de uno o más estándares, para un tramo resulta en la formación de una alternativa. Una alternativa de tramos se define como sigue: Descripción , estándares de conservación y/o mejora, tráfico generado y beneficios y costos externos (no

están previamente calculados).

### **Alternativas de proyecto:**

Una alternativa de proyecto puede constar de uno o más tramos. A cada tramo del proyecto se le asigna un grupo de estándares. Una alternativa de proyecto se define con los siguientes parámetros: descripción, listado de tramos incluidos y tráfico incluido.

### **Métodos de análisis:**

Se puede seguir dos métodos para el análisis de inversión dentro de HDM-4:

#### **Análisis por tramo:**

Analiza individualmente cada uno de los tramos que componen el proyecto. Se pueden definir varias alternativas para cada tramo como se indica en la Tabla 3.15, con una alternativa designada como caso básico contra el cual se comparan todas las otras alternativas. Se calculan para cada tramo los indicadores económicos tales como VAN, TIR, etc.

**Tabla 3.15 Análisis por tramos**

Tramos	Alternativas de tramo				
	1	2	3	4	5
Tramo A	RM	Resellado	Refuerzo		
Tramo B	RM	Refuerzo	Reconstrucción	Ensanchado	
Tramo C	RM	Resellado	Rehabilitación	Adición de carril	Mejora de trazado
Tramo D	Perfilado	Recargo	Pavimentado		

#### **Análisis por proyecto:**

Analiza los tramos de la carretera agrupados en un conjunto para considerar las alternativas como una unidad básica al realizar el análisis económico. En primer lugar, los costos y beneficios económicos anuales se añaden a todos los tramos de forma que cada

alternativa de proyecto ofrezca unos totales anuales.

### **3) Ejecución del análisis**

#### **Configuración:**

En la configuración el usuario puede especificar los modelos técnicos que se usarán. Incluye:

Análisis económico (análisis del proyecto).

Tasa de descuento (%).

Análisis de accidentes.

Análisis de balance de energía.

Emisiones de los vehículos.

Efectos de aceleración.

#### **Ejecutar el análisis:**

Después de la configuración, al pulsar el botón **iniciode análisis de proyecto,ejecutar análisis** comienza el proceso de análisis.

### **4) Descripción de los datos de salida de HDM-4**

Los estándares de datos de salida que ofrece HDM-4 han sido definidos como:

#### **Datos de entrada:**

Los datos de entrada son muy útiles para verificar, revisar y actualizar la información que será utilizada en un estudio. Los datos de entrada que se usan en un análisis de proyecto se agrupan de la siguiente manera:

Parámetros del análisis.

Características de la red de carreteras.

Datos del parque de vehículos.

Estándares de inversión y alternativas.

#### **Resultados de los análisis:**

Se presentan en forma tabulada, aunque en caso necesario, se puede ofrecer un formato

gráfico.

Los resultados de los análisis que realiza HDM-4 se agrupan de la siguiente manera:

Efectos del deterioro / trabajos; este grupo incluye los siguientes tipos de informes:

Cronometraje de los trabajos.

Estado del firme a través del tiempo.

Resistencia del firme.

Cambios en los tipos de la capa de rodadura a través del análisis.

Datos del tráfico.

Trabajos de conservación.

Resumen de informes de deterioro.

Efectos sobre los usuarios de la carretera; los informes relacionados con los usuarios de la carretera incluyen los siguientes parámetros:

Velocidades de los vehículos.

Intensidad del tráfico.

Consumo vehicular de recursos.

Consumo de tiempos.

Seguridad en la carretera.

Resumen de informes.

Efectos ambientales:

Emisiones de los vehículos.

Cambio neto en la emisión de los vehículos.

Nivel de ruido del tráfico.

Uso de la energía; el informe del uso de energía está disponible como sedetalla a continuación:

Uso de energía nacional y uso de energía global.

Uso de energía renovables y no renovables.

Flujode costos; este informe se divide en los siguientes subgrupos:

Costos de administraciones componentes.

Costos sobre los usuarios de las carreteras.

Costos netos externos.

Costos totales de transporte.

### **3.7. SENSIBILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO DE HDM-4**

#### **3.7.1. Importancia de la sensibilidad del HDM-4.**

Para conocer la incidencia de datos de entrada y parámetros de calibración de un modelo sobre indicadores técnicos y económicos del pavimento, proyectados en el tiempo, es necesario llevar a

cabona sensibilización de dichos parámetros. De esta manera es posible determinar a qué parámetros se debe dar mayor importancia durante la modelación. Luego, mediante una jerarquización de los resultados obtenidos en una sensibilización es posible definir el grado de importancia de cada parámetro sobre el desempeño del pavimento en el tiempo. Para aquellos parámetros con mayor incidencia sobre indicadores técnicos y económicos del pavimento será necesario realizar evaluaciones periódicas para controlar su evolución en el tiempo.

El HDM-4 incorpora un número importante de relaciones que modelan en forma muy detallada

distintos aspectos relacionados con el deterioro de los pavimentos; los costos de operación vehicular; la evaluación económica de proyectos; y la jerarquización y optimización de programas de obra. El nivel de detalle empleado por el HDM-4 permite modelar la mayoría de los factores que intervienen en la evaluación de los proyectos viales; por ejemplo, en lo que se refiere al deterioro de pavimentos, el sistema analiza prácticamente todos los indicadores que se emplean para caracterizar este fenómeno: irregularidad, deterioros superficiales, resistencia al deslizamiento, capacidad estructural, etc.

Sin embargo, para lograr este nivel de detalle, el HDM-

4 utiliza un número muy importante de variables de entrada. Afín de ilustrar este hecho, considérese que la evaluación de un proyecto de conservación con tres posibilidades para un tramo carretero de concreto o asfáltico, con una flota vehicular compuesta por cinco tipos de unidades requiere unos 800 datos de entrada. Si

bien, para un alto porcentaje de estos datos pueden utilizarse como primera aproximación valores por omisión definidos dentro del HDM-4; es claro que a la revisión de estos valores para verificar que se ajusten razonablemente a los datos reales, puede significar una tarea sumamente ardua. Por otro lado, algunas de las variables para las que no es recomendable utilizar los valores por omisión, como los espesores de las capas del pavimento, resultan muy difíciles de conseguir en forma directa.

De lo ya señalado se desprende la necesidad de estudiar la sensibilidad de los modelos internos del HDM-4, a fin de jerarquizar cada uno de los parámetros que intervienen en ellos de acuerdo con su impacto en los resultados del sistema, y generar un listado de las variables cuyos valores resultan indispensable obtener en campo o en gabinete, para garantizar que esos resultados correspondan a la realidad. El conocimiento de la sensibilidad del HDM-4 resulta de gran utilidad no sólo para optimizar los recursos disponibles para la recopilación de información, destinándolos a conseguir variables con mayor influencia en los resultados, sino también para encausar los esfuerzos que se emprendan para la calibración de los modelos bajo condiciones nacionales, actividad que resulta imprescindible si se desea que el sistema modele en forma fidedigna las condiciones de la red carretera.

### **3.8. Calibración del HDM-4**

Calibrar un modelo de deterioro consiste en definir un procedimiento de cálculo de factores de calibración numéricos, que modifican la predicción del modelo ajustándolo de acuerdo a la información provista por bases de datos de pavimentos de una región o país. Esto se realiza a través de la minimización de la diferencia entre las predicciones del modelo y un conjunto de datos de deterioro medidos en terreno.

El objetivo de la calibración es obtener modelos de predicción ajustados, que ofrezcan estimaciones más realistas y confiables de los deterioros y que permitan establecer planes de conservación que tiendan a optimizar los recursos disponibles y minimizar el costo total de operación del camino ( $\text{costo total} = \text{costo de operación vehicular} + \text{costo}$

deconservación+costo exógeno).

La calibración de los modelos de deterioro puede realizarse a dos niveles: para un camino o pavimento específico, o bien para un grupo de caminos, es decir calibración a nivel de proyecto y calibración a nivel de red respectivamente.

### **3.8.1. Limitaciones y aplicabilidad de la calibración**

Ya que los modelos de deterioro son desarrollados con una base de datos empírica determinada y bajo condiciones específicas de clima, tipo y forma, materiales, etc., al ser estos utilizados bajo condiciones distintas, pueden presentarse diferencias considerables entre los deterioros que el modelo predice y los que se observan en la realidad, para reducir estos errores sólo para verificar si el modelo es inadecuado o incompleto, detectando posibles debilidades y limitaciones, los procedimientos de calibración o ajuste resultan muy útiles. Las causas de las diferencias son las siguientes:

- Errores en los datos observados: debido a inadecuadas técnicas de medición, mal registro de los datos o toma de datos que no correspondan.
- Errores en los datos estimados: en aquellos datos sobre los cuales no se disponga toda la información necesaria y deben ser estimados, el error en la estimación muy probablemente ocasiona error en la predicción.
- Condiciones diferentes a las originales del modelo: si el modelo se aplica fuera de su espacio de inferencia original.
- Modelo Inadecuado: si el modelo no contiene algunas variables que son claramente importantes, y a se a por que no resultaron estadísticamente significativas con los datos originales o por que un proceso de análisis poco profundo o incompleto no las tuvo en cuenta, esto puede ocasionar una mala predicción.
- Aleatoriedad del comportamiento de los materiales y las estructuras: siempre existe un cierto margen de error introducido por un comportamiento aleatorio o estocástico de los materiales que componen las estructuras en el mundo real que genera dispersión en los resultados.

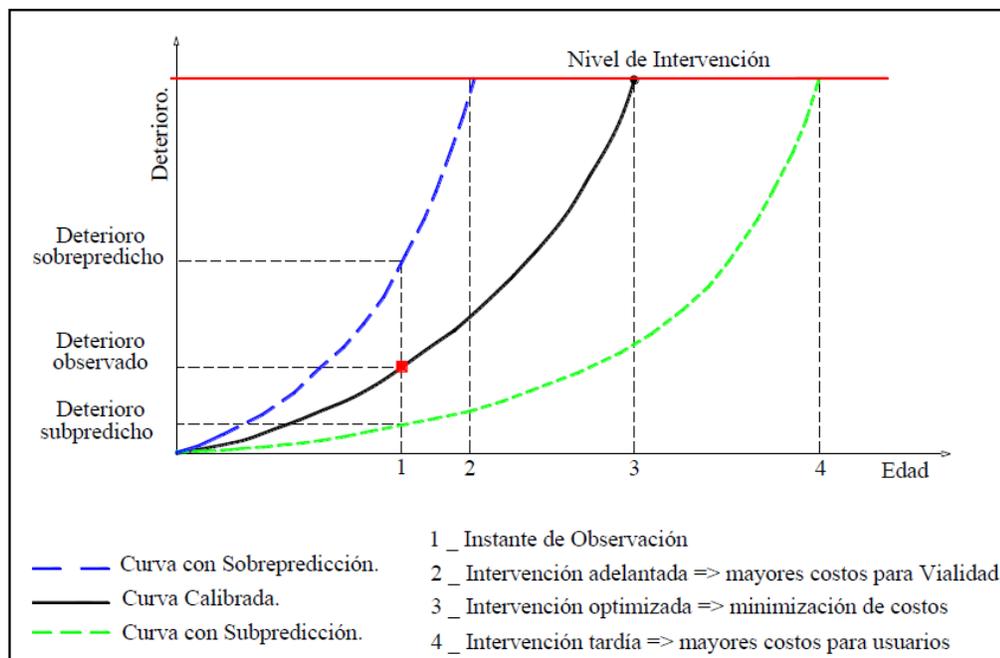
Para calibrar un determinado modelo de comportamiento de pavimentos es necesario contar con un conjunto de datos de deterioro que permitan reconstruir la curva de su

comportamiento real, por lo que es conveniente que estos datos pertenezcan a un período más o menos prolongado de tiempo. La calibración, consiste entonces en encontrar factores ( $k_i$ ) que logren el mejor ajuste entre las predicciones del modelo y los datos medidos en terreno.

Para poder efectuar este mantenimiento o rehabilitación de un pavimento en el momento oportuno es necesario predecir con la mayor precisión posible el comportamiento de estos a través del tiempo, lo que se logra realizando la calibración de las curvas de evolución del deterioro.

En la Fig. 3.5 se muestran curvas genéricas con el objetivo de comprender mejor y justificar los beneficios del proceso de calibración. La curva ajustada es la que pasa por el valor observado de deterioro. Las otras curvas corresponden a situaciones de sobrepredicción o subpredicción del deterioro.

**Figura 3.5. Comparación entre curvas de deterioro calibradas, con sobrepredicción y con subpredicción**



Del esquema presentado en la Fig. 3.5 se deduce lo siguiente:

- En una curva con sobrepredicción, se estiman deterioros superiores a los que se presentan en la vida real de un pavimento, para un mismo instante. La sobrepredicción de deterioros genera mayores gastos de mantenimiento del pavimento, ya que las intervenciones se aplican antes del necesario.
- En una curva con subpredicción, por el contrario, se predicen deterioros inferiores a los que realmente se presentan, y las intervenciones se aplican tardíamente. En consecuencia los que serán afectados, con mayores costos en este caso, son los usuarios del camino por el deficiente estado del mismo.
- Por último en una curva calibrada, se está en el caso ideal. Se rehabilita el pavimento en el momento oportuno, por lo que se logra la optimización de los recursos disponibles.

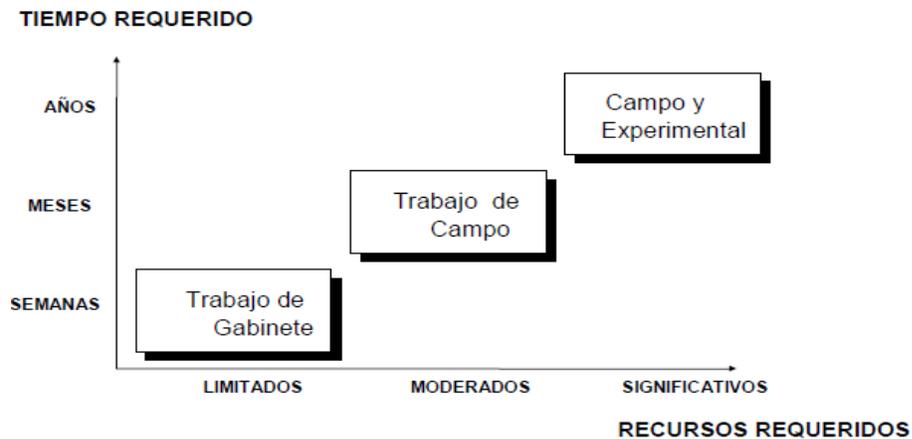
En definitiva, la calibración de modelos posibilita no sólo contar con ecuaciones que tengan una mejor predicción del deterioro a futuro, sino también optimizar los programas de conservación de carreteras, y profundizar el conocimiento del comportamiento real de los pavimentos a nivel local o regional.

### **3.8.2. Niveles de calibración**

Hay tres niveles de calibración de HDM, que implican bajos, moderados y grandes niveles de esfuerzo y recursos.

La figura 3.7 ilustra este concepto de aumentar el esfuerzo y el aumento de los recursos. Es preciso tener presente que existe una relación directa entre el tiempo y el esfuerzo invertido en la creación de HDM y la fiabilidad y exactitud de sus resultados.

**Figura 3.6 Recursos y tiempo necesarios para las calibraciones.**



### Nivel1 Aplicación:

Determinar los valores de los parámetros básicos requeridos, adoptar muchos valores por defecto, y calibrar el más sensible a las mejores estimaciones de parámetros, más de estudios en encuestas sobre el terreno mínimo.

Para ejecutar HDM siempre es necesario llevar a cabo al menos un Nivel 1 de calibración, lo que puede considerarse como un conjunto de inversiones para el modelo. Una vez hecho esto, por lo general no necesita ser repetido en la mayoría de los archivos de datos de entrada durante las futuras aplicaciones en el mismo país, ya que muchos elementos de datos y la mayoría de los parámetros del modelo son relativamente estables en el tiempo.

Una calibración de nivel 1 se basa principalmente en fuentes secundarias, es decir, se trata de un estudio teórico. Por ejemplo, los parámetros de RUE se pueden calcular usando los datos desde las fuentes tales como las gubernamentales, publicaciones de la industria, las organizaciones y diversos informes RUE de los estudios anteriores. Para carreteras deterioradas, las fuentes estadísticas que incluyen el clima, el tráfico de la carretera y las condiciones estadísticas, geometría estándar, programas de mantenimiento y presupuestos.

Se puede suponer que la mayor parte de los parámetros del modelo HDM por defecto son adecuados para las condiciones locales de modo que sólo los más críticos deben abordarse. Los siguientes datos de entrada deben obtenerse para un Nivel 1 de calibración:

Los costos unitarios. (RUE y RDWE)

Determinadas características de los vehículos representativos.

Análisis económico de datos. (tasas de descuento y el período de análisis)

Características del pavimento. (RDWE estudios)

Composición del tráfico y las tasas de crecimiento.

Tipo de clima regional.

El IHDM a menudo requiere una amplia gama de entrada de datos y parámetros de calibración, esto es lo más importante para establecer la necesidad de utilizar el Nivel 1 de Calibración, por lo que los valores por defecto del IHDM deben ser de uso casi exclusivo.

### **Nivel 2 Calibración:**

Requiere la medición de otros parámetros de entrada y moderada de las encuestas sobre el terreno de predicción clave para calibrar las relaciones a las condiciones locales. Este nivel puede dar lugar a una ligera modificación del modelo de código fuente.

Un nivel 2 de calibración utiliza mediciones directas de las condiciones locales para verificar y ajustar la capacidad predictiva del modelo. Se requiere un mayor grado de recolección de datos y la precisión que el de un Nivel 1 de Calibración, y se extiende el ámbito de aplicación. Para RUE, se concentra en la velocidad, el consumo de combustible, el consumo de neumáticos, consumo de las partes y los costos fijos relacionados con la utilización de vehículos y la edad. Para RDWE, se concentra en los modos de inicio del deterioro superficial, progresión de ahuellamientos, y los efectos de mantenimiento, y mejora la estimación de los impactos ambientales. Para el análisis económico, esto destaca los datos de costos más cerca que los costos observados y nivel de precios mediante la recopilación de datos de encuestas. Con Nivel 2 de calibraciones, los datos de entrada poseen mayor detalle que los recogidos con Nivel 1.

### **Nivel 3 Adaptación:**

Lleva a cabo importantes estudios sobre el terreno y experimentos controlados para

mejorar la relación existente predictivo o para desarrollar nuevas relaciones específicas a nivel local y de sustitución en el código fuente del modelo.

En términos de esfuerzo, estos tres niveles se pueden ver cómo se manifiestan en semanas, meses y años. Un analista debe ser capaz de realizar una calibración de nivel 1 en alrededor de una semana. Para una calibración de nivel 2 hay un aumento en la cantidad de esfuerzo necesario para que se tome al menos un mes. Nivel 3 calibraciones exigen un compromiso a largo plazo de la recopilación de datos básicos por lo que usualmente se extiende durante un año o más. Cada análisis HDM requiere al menos un Nivel 1 de calibración.

Un nivel 3 de calibración generalmente comprende de dos componentes:

Mejorar la recopilación de datos.

La investigación fundamental.

Algunos elementos de datos se puede estimar con bastante precisión utilizando cuenta a corto plazo, por ejemplo, la distribución horaria del volumen de tráfico, sin embargo la fiabilidad es mucho mayor por la recogida de datos en más sitios en un periodo más largo.

La investigación fundamental considera las relaciones utilizadas en HDM. Esta estructura se compone de las encuestas sobre el terreno y los estudios experimentales realizados en virtud de las condiciones locales que conducen a otras relaciones. Por ejemplo, las funciones alternativas se pueden desarrollar para predecir el consumo de combustible o el deterioro de un pavimento nuevo y las funciones de efecto de mantenimiento para diferentes tipos de pavimento. Esta labor exige un gran compromiso con una buena calidad y buena estructura de investigación de campo y análisis estadísticos durante un periodo de varios años. Deterioro del pavimento es una investigación a largo plazo, por lo general requiere de un mínimo de 5 años.

## CAPÍTULO IV

## APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA CIUDAD DE TARIJA

### 4.1. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto está incluido en las vías urbanas de la ciudad de Tarija, la capital del departamento de Tarija, estado plurinacional de Bolivia.

### 4.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Tarija, fue creado por ley del 24 de septiembre de 1831, durante la presidencia del Mariscal Andrés de Santa Cruz, el territorio del departamento se encuentra situado en el extremo sur de la república de Bolivia entre las coordenadas de 20°50' y 22°50' de latitud sur y los 60°15' y 65°20' de longitud oeste. La zona urbana se encuentra a una altura de 1850-1920 m.s.n.m.

El área de estudio comprende los proyectos de pavimento rígido ejecutados en las diferentes zonas de la ciudad de Tarija. Los diferentes proyectos en los que se ejecutó el pavimento que constituye el área de estudio se detalla a continuación.

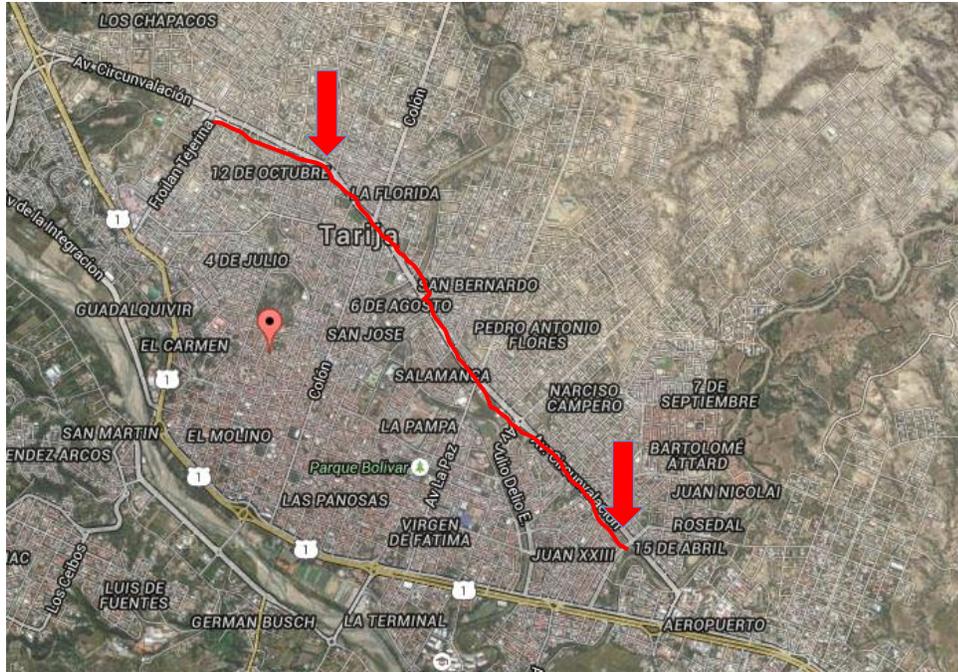
**Tabla 4.1 Áreas de estudio**

<b>Tramo</b>	<b>Año de construcción</b>	<b>Área ejecutada (m<sup>2</sup>)</b>
Avenida Circunvalación	2003	49600
Avenida Padilla	1979	5223
Avenida Las Américas	1987	5292

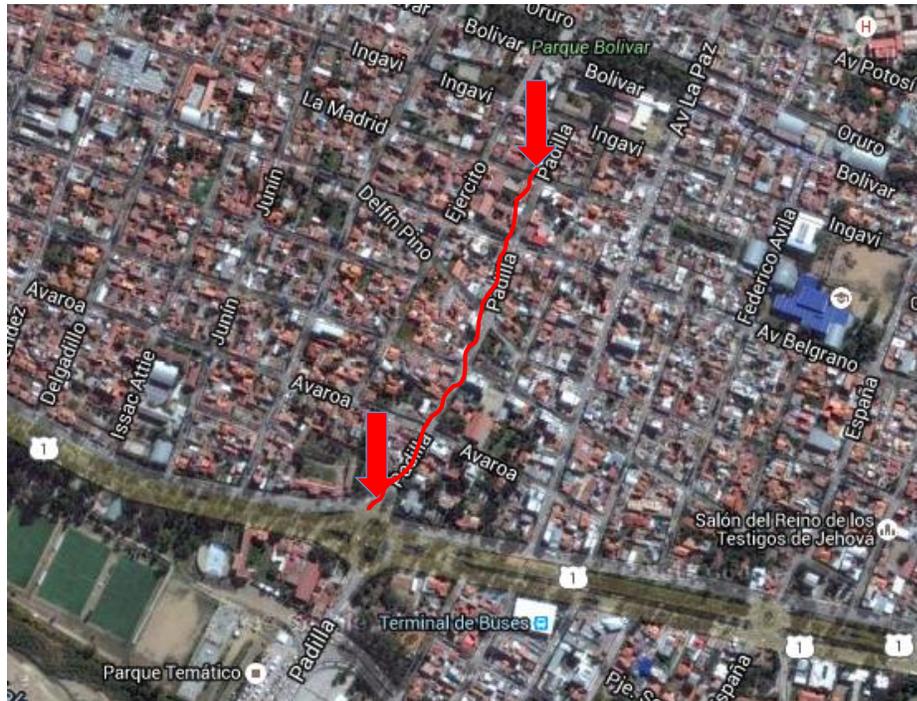
**Fuente:** Elaboración propia

La ubicación de cada uno de los tramos indicados se encuentra en las siguientes figuras:

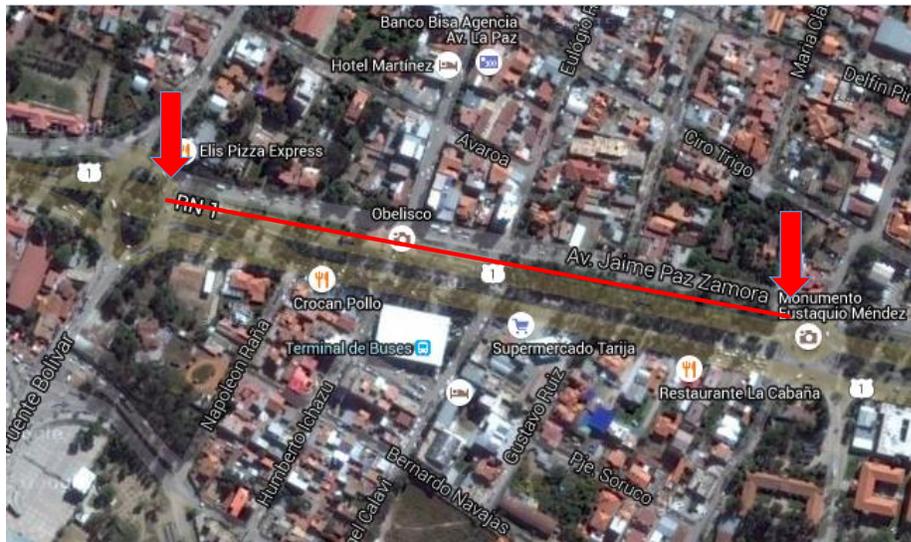
**Figura 4.1 Avenida Circunvalación**



**Figura 4.2 Avenida Padilla**



**Figura 4.3 Avenida Las Américas**



### 4.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Estos tramos se encuentran en el Sur del país en la provincia Cercado del departamento de Tarija, mas propiamente en la ciudad de Tarija.

Estas zonas juegan un papel importante dentro del desarrollo regional, la capital se ubica en el valle central, la misma tiene una temperatura media anual es de 18,2 °C y una precipitación pluvial media anual 700mm, una vegetación escasa, una zona topográficamente plana.

#### 4.3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

##### **Avenida Circunvalación:**

La avenida Circunvalación nace en “La salida al Norte” de la ruta de “Tomatitas”, hasta el Barrio “15 de Abril” recorre aproximadamente 5,8 Km. de este a oeste por la zona norte de la ciudad.

Consta de dos carriles de circulación delimitados por cordones de cemento, con jardineras centrales para la separación de dichos carriles. Atraviesa dos quebradas “El Monte” y “San Pedro”.

El tramo en estudio será desde la Av. Mejillones hasta la Av. Romero teniendo aproximadamente una longitud de 3.1 Km.

Este tramo se lo construyó en la primera fase de la Av. Circunvalación en el periodo 2003-2005, por la empresa Erika de la ciudad de Tarija.

**Características geométricas:**

**Ancho de carril**=La Av. Circunvalación presenta un ancho de vía de 8m. por carril y un ancho de jardinera central de 3m aproximadamente.

**Secciones**=La sección de cada una de las losas de la Av. Circunvalación es de 4m de largo por 3.90m de ancho.

**Altura de losa**=El espesor de la losa es de 21 cm.

**Longitud del tramo**=3.1 Km.

**Pavimento**=carpeta de concreto hidráulico

**Año de construcción**=2003

**Vida útil**=30 años

**Vida actual del pavimento**=13 años

**Definición de clases de geometría:**

**Definición**=Recta y nivelada

**Rampa + pendiente (m/km)**=1

**Nº de rampas y pendientes por km**=1

**Arqueamiento horizontal (grados/km)**=3

**Súper elevación (%)**=2

**Velocidad límite (km/h)**=110

**Tabla 4.2 Propiedades de los materiales avenida Circunvalación**

Módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ )	2400000
Módulo de ruptura del hormigón ( $MR_{28}$ )	4.5 MPa
Coefficiente termal del hormigón ( $\alpha$ )	1,0E-05
Coefficiente de encogimiento del hormigón por falta de humedad ( $\gamma$ )	4,0E-04
Relación de Poisson del hormigón ( $\mu$ )	0,15
Módulo de elasticidad de las barras de los pasadores ( $E_s$ )	2100000
Módulo de elasticidad de las bases ( $E_{base}$ )	4000
Módulo de Reaccion de la explanada ( $k$ )	6

**Fuente:** Proyecto a diseño final (ERICKA)

**Coefficiente del drenaje ( $C_d$ )= 1,1**

**Avenida Padilla:**

Este tramo nace en la zona de la Terminal, hasta la zona de Fátima.

**Intersección=** entre Avenida Las Américas y calle Ingavi

**Ancho de carril=** 4,65m.

**Altura de losa=** 15cm.

**Longitud del tramo=**1,12 Km.

**Pavimento=** carpeta de concreto hidráulico

**Año de construcción=** 1979

**Vida útil=**30 años

**Vida actual del pavimento=** 37 años

**Definición de clases de geometría:**

**Definición**=Recta y nivelada

**Rampa + pendiente (m/km)**=1

**Nº de rampas y pendientes por km**=1

**Arqueamiento horizontal (grados/km)**=3

**Súper elevación (%)**=2

**Velocidad límite (km/h)**=110

**Tabla 4.3 Propiedades de los materiales avenida Padilla**

Módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ )	2100000
Módulo de ruptura del hormigón (MR28)	4.5 MPa
Coefficiente termal del hormigón ( $\alpha$ )	1,0E-05
Coefficiente de encogimiento del hormigón por falta de humedad ( $\gamma$ )	4,0E-04
Relación de Poisson del hormigón ( $\mu$ )	0,15
Módulo de elasticidad de las barras de los pasadores ( $E_s$ )	2100000
Módulo de elasticidad de las bases ( $E_{base}$ )	4000
Módulo de Reaccion de la explanada (k)	4

**Fuente:**Alcaldía municipal de Cercado

**Coefficiente del drenaje ( $C_d$ )**= 1,0

#### **Avenida Las Américas:**

Este tramo nace en la rotonda de la avenida Padilla y abarca hasta la rotonda Moto Méndez ,consta de dos carriles de circulación de circulación en ambos sentidos, este tramo se lo construyó en 1987, por la empresa Dos Arroyos de la ciudad de Tarija.

**Intersección**=entre Avenida Padilla y calle España rotonda Moto Méndez.

**Ancho de carril**=3,5m.

**Altura de losa=20cm.**

**Longitud del tramo=0,76 Km.**

**Pavimento= carpeta de concreto hidráulico**

**Año de construcción=1987**

**Vida útil=30 años**

**Vida actual del pavimento=29 años**

**Definición de clases de geometría:**

**Definición=Recta y nivelada**

**Rampa + pendiente (m/km)=1**

**Nº de rampas y pendientes por km=1**

**Arqueamiento horizontal (grados/km)=3**

**Súper elevación (%)=2**

**Velocidad límite (km/h)=110**

**Tabla 4.4 Propiedades de los materiales avenida Las Américas**

Módulo de elasticidad del hormigón ( $E_c$ )	2100000
Módulo de ruptura del hormigón (MR28)	4.5 MPa
Coefficiente termal del hormigón ( $\alpha$ )	1,0E-05
Coefficiente de encogimiento del hormigón por falta de humedad ( $\gamma$ )	4,0E-04
Relación de Poisson del hormigón ( $\mu$ )	0,15
Módulo de elasticidad de las barras de los pasadores ( $E_s$ )	2100000
Módulo de elasticidad de las bases ( $E_{base}$ )	4000
Módulo de Reaccion de la explanada (k)	5

**Fuente:**Alcaldía municipal de Cercado

**Coefficiente del drenaje ( $C_d$ )= 1,1**

#### **4.4.EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA VÍA**

Para realizar una adecuada evaluación de las condiciones en las que se encuentra las vías en estudio se procedió a la inspección de sus elementos y la posterior realización de un inventario.

En principio se deberá realizar una inspección a todo el sector para la determinación de los tramos a analizar.

Estos tramos serán elegidos de acuerdo al estado del pavimento de concreto, es decir; se elegirá tramos en los que el concreto presente deficiencias tales como fisuras, desportillamiento de juntas, agrietamientos, roturas, etc.

Una vez realizada la inspección y elegidos los tramos, estos tramos serán de 200 metros cada uno a ambos lados de la vía, es decir en ambos sentidos.

Se procederá a elegir las losas o llamadas también unidades de muestreo.

Las unidades de muestreo elegidas también presentarán fallas; estarán distribuidas en todo el tramo y se deberá tomar como mínimo 20 unidades de muestreo a excepción del método IRI, ya que este método tiene otro procedimiento.

Como resultado del inventario e inspección se obtuvieron los siguientes índices.

#### **4.4.1. Índice de Estado(PCI)**

El índice de estado, está en función de la gravedad de los deterioros (fisuración, deformaciones, desintegraciones, deficiencia de juntas). Los resultados se muestran en la tabla, este índice nos indicará el estado de la carretera y en forma a priori las necesidades de mantenimiento, como se puede resumir en la tabla siguiente (tabla 4.5)

**Tabla 4.5 Interpretación del Índice de Estado**

<b>Tramo</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Índice de estado actual</b>	<b>Descripción de condición del pavimento</b>
<b>Avenida Circunvalación</b>	24180	53,8	Regular
<b>Avenida Padilla</b>	5223	36	Malo
<b>Avenida Las Américas</b>	5292	32	Malo

**Fuente:**Elaboración propia

#### 4.4.2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

La superficie en el presente estudio para el cálculo del IRI es una franja de 50m. en cada calle o avenida, constituyéndose en un área representativa de acuerdo a la metodología utilizada.

El cálculo del IRI se lo realizó por el método de mira y nivel es decir mediante desniveles, cada franja de 50m. fue dividida a su vez en puntos cada 50cm.

**Tabla 4.6 Índice de rugosidad internacional (IRI)**

<b>Ubicación</b>	<b>Tramo</b>		
	<b>Avenida Circunvalación (m/km)</b>	<b>Avenida Padilla (m/km)</b>	<b>Avenida Las Américas (m/km)</b>
<b>IRI actual</b>	6,73	8,45	8,87
<b>Condición del pavimento</b>	Regular a malo.	Malo.	Malo.

**Fuente:**Elaboración propia

## 4.5. DATOS REQUERIDOS POR EL HDM-4

### 4.5.1. Características del tráfico

El Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), se estableció en base a los registros de aforo obtenidos de estudio de tráfico realizado en la zona.

#### Avenida Circunvalación

<b>Tráfico medio diario anual (veh/día) avenida Circunvalación</b>
5962

**Tabla 4.7 Proyección de TMDA (veh/día) avenida Circunvalación**

Tipo de vehículo	TMDA (veh/día)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
liviano	2981	3268	3582	3927	4305	4719
mediano	417	458	502	550	603	661
pesado	1491	1634	1791	1963	2152	2359
Motocicleta	1073	1176	1290	1414	1550	1699
Total	5962	6536	7165	7854	8609	9438

**Fuente:**Elaboración propia

#### Avenida Padilla

<b>Tráfico medio diario anual (veh/día) avenida Padilla</b>
3509

**Tabla 4.8 Proyección de TMDA (veh/día) avenida Padilla**

Tipo de vehículo	TMDA (veh/día)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
liviano	2456	2693	2952	3235	3547	3888
mediano	386	423	464	508	557	611
pesado	35	38	42	46	51	56
Motocicleta	632	692	759	832	912	1000
Total	3509	3846	4216	4622	5067	5554

**Fuente:**Elaboración propia

## Avenida Las Américas

<b>Tráfico medio diario anual (veh/día) avenida Las Américas</b>
6380

**Tabla 4.9 Proyección de TMDA (veh/día) avenida Las Américas**

Tipo de vehículo	TMDA (veh/día)					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
liviano	4466	4896	5367	5883	6449	7069
mediano	447	490	537	588	645	707
pesado	319	350	383	420	461	505
Motocicleta	1148	1259	1380	1513	1658	1818
Total	6380	6994	7667	8404	9213	10099

**Fuente:**Elaboración propia

### 4.5.1.1. Características del parque de vehículos

Las características principales del parque de vehículos son datos como: características básicas de los vehículos, costos económicos, utilización del vehículo, como nos muestra la siguiente tabla.

**Tabla 4.10 Parámetros de vehículos requeridos**

Descripción	Unidad	Motocicleta	Vehículo liviano	Vehículo mediano	Vehículo pesado
<b>CARÁCTERÍSTICAS BÁSICAS</b>					
Peso bruto	Tm.	0,20	1,80	7	11
N° de ejes equivalentes	E4	0	0,001	0,758	3,896
N° de ejes		1	2	2	3
N° de neumáticos		2	4	6	10
N° de pasajeros		0	4	20	0
<b>COSTOS ECONÓMICOS</b>					
Vehículo nuevo	\$us	2000	15000	35000	50000
Neumático nuevo	\$us	30	50	100	100
Mantenimiento	\$us	0,98	1,28	1,28	1,28
Tripulación	\$us	1,49	3,49	8,9	2,61
Tiempo pasajero	\$us	0,5	1,16	0,4	0,26
Tiempo carga	\$us	0	0	4,36	13,3
<b>UTILIZACIÓN DEL VEHÍCULO</b>					
Vida útil	Años	6	10	10	10
Código de depreciación		1	1	1	1

Código de utilización		1	1	3	3
Tasa de interés anual	%	18	18	18	18
Km. Conducidos por año	Km.	5000	14000	30000	54000

**Fuente:**Elaboración propia

**Tabla 4.11 Precio de lubricantes para la ciudad de Tarija**

<b>Precio de lubricantes</b>		
Gasolina	\$us/ lt.	0,54
Diesel	\$us/ lt.	0,49
Lubricante	\$us/ lt.	2,5

**Fuente:**Elaboración propia

#### **4.5.2. Otros datos requeridos por el módulo de deterioro HDM-4**

**Modelo de tráfico**=estacional

**Clase de carretera o vía**=Terciaria o local

**Altitud**=1850 m.s.n.m.

**Zona climática**=sub tropical , semiárida (tabla manual del HDM-4 )

**Precipitación media**=56, 5 mm.

**Precipitación máxima**=125,0 mm.

**Índice de congelación**=0

**Temperatura anual media (°C)** =20,5

**Número de días con temperatura mayor de 32°C**= 30

#### **4.6. CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO.**

Las alternativas de mantenimiento fueron elegidas según el tipo de tramo, sus características y condiciones. Las actividades están dirigidas a mantener la superficie de rodadura y no así en lo que se refiere al mantenimiento de puentes, ni señalización.

Las alternativas son cuatro:

- Mantenimiento de rutina
- Mantenimiento de rutina + Sellado de juntas y grietas
- Mantenimiento de rutina + Parchado y sellado de grietas
- Parchado, resellado y reconstrucción

El estudio realizado con la aplicación del HDM-4, evalúa posibles alternativas de mantenimiento según las condiciones en las que se encontraría la carretera en función del modelo de deterioro.

#### **4.7. ANÁLISIS DE PROYECTO**

Un proyecto de HDM-4 contiene, como se analizó anteriormente, información sobre los tramos de la carretera existente, de los tipos de vehículos, del tráfico y de las alternativas de inversión. Una alternativa es en este caso una combinación de estándares de mantenimiento que se aplican a un tramo.

Este estudio presenta el análisis económico de los estándares alternativos de mantenimiento para el tramo o vías Avenida Circunvalación, Avenidas las Américas y avenida Padilla. Estas vías se encuentran en regular y malas condiciones por tratarse de un tramo viejo y con mucho volumen de tráfico.

El objetivo de este estudio es presentar la definición de alternativa a este tipo de análisis y mostrar los modelos de deterioro de carreteras pavimentadas de HDM-4. La definición y la programación de los Estándares de Conservación de carreteras se avalúan y se examinan sus resultados.

#### **4.8. PROCESO DE ANÁLISIS DE PROYECTO.**

##### **1) Configuración**

Se realizó la configuración del sistema de datos en DHM-4, puesto que la gestión de todos estos datos serán usados en el análisis. La configuración se divide en tres grupos.

##### **Modelo de tráfico:**

Los patrones de la intensidad del tráfico se definen como periodos de flujo que representan las horas del día (a través de un año) con la misma intensidad. Puesto que las condiciones de intensidad de tráfico del tramo en estudio son muy especiales, tomé como patrón de

intensidad de tráfico el predefinido en el HDM-4, con el nombre de **seasonal**, mostrado en la pantalla siguiente.

Tramo: AVENIDA LAS AMERICAS

Definición | Geometría | Pavimento | Estado

Nombre del tramo: AVENIDA LAS AMERICAS

ID del tramo: AMERICAS 1

Nombre ruta: AVENIDA LAS AMERICAS

ID de ruta:

Tipo de vel/cap: Two Lane Narrow

Modelo de tráfico: Seasonal

Zona climática: Subtropical - Hot / Semi-arid

Clase carretera: Tertiary or Local

Tipo c.rodadura: Hormigón

Tipo firme: JPCP con pasadores (Jointed Plain Concrete)

Longitud: 0.76 km

Ancho de calzada: 7 m

Ancho de arcén: 0 m

Número de carriles: 2

Trafico

Motorizado: 7668 IMD

No motorizado: 0 IMD

Año: 2015

Sentido: Sentido ascendente

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

### Tipo de capacidad – velocidad:

La función principal de la relación capacidad –velocidad es presentar las características de la capacidad de los diferentes tipos de carretera. Data la característica de la carretera el tipo adoptado para el estudio es vía de dos carriles.

### Zona climática:

Las zonas climáticas se usan para representar las condiciones del clima en las diferentes partes de la red de carreteras. Los datos se representan estas condiciones afectan al deterioro del pavimento. Los datos de las zonas climáticas se dividen en dos categorías: humedad y temperatura. La zona climática definida con los datos del tramo en estudio es **Subtropical –templado Semi –Árido** y el grupo de parámetros se muestran en la pantalla siguiente.

**Zona climática: Subtropical - Hot / Semi-arid**

Clima

Nombre: Subtropical - Hot / Semi-arid

Clasificación por humedad: Semiárido

Índice de humedad: -40

Duración estación seca: 0,75 (como parte de un año)

Precipitación media mensual: 50 mm

Clasificación temperatura: Subtropical - cálido

Temperatura media: 22 °C

Rango temperaturas medias: 50 °C

Días T > 32°C: 60 días

Índice de helada: 0 °C-día

Porcentaje de tiempo que se conduce

Carreteras cubiertas nieve: 0 0<=PCTDS<=100

Carreteras cubiertas agua: 10 0<=PCTDW<=100

Aceptar

Cancelar

Por defecto...

Nombre de esta zona climática

## 2) Localización

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

### Datos de la red de carretera:

Una Red carreteras HDM-4 almacena los detalles de la carretera que se desea analizar. La hoja de cálculo que se muestra a continuación muestra algunos atributos del tramo.

ID	Descripción	Fecha últ. modif.	Tipo de capa de rodadura	Tipo de firme	Longitud (km)	Ancho calzada(m)	Intensidad de Tráfico	Carriles	Ancho Arcén (m)	Tipo de velocidad/cap	Model tráfico
CIRCUN	AVENIDA CIRCUNVALACION	28/01/2016	Hormigón	JPCP con pasadores (Jointed Pla	3.1	8.00	Sentido a	2.00	0.00	Two Lane N.	Season

Para ayuda presionar F1

La caja de diálogo perteneciente al tramo nos da acceso a todos los atributos del tramo. El tramo de carretera está almacenada en dos niveles:

Tramo: AVENIDA CIRCUNVALACION

Definición | Geometría | Pavimento | Estado

Nombre del tramo: AVENIDA CIRCUNVALACION Longitud: 3,1 km  
 ID del tramo: CIRCUNVALACION 1 Ancho de calzada: 8 m  
 Nombre ruta: AVENIDA CIRCUNVALACION Ancho de arcén: 0 m  
 ID de ruta: Número de carriles: 2

Tipo de vel/cap: Two Lane Narrow  
 Modelo de tráfico: Seasonal  
 Zona climática: Subtropical - Hot / Semi-arid  
 Clase carretera: Tertiary or Local  
 Tipo c.rodadura: Hormigón  
 Tipo firme: JPCP con pasadores (Jointed Plain Concre)

Trafico  
 Motorizado: 7668 IMD  
 No motorizado: 0 IMD  
 Año: 2015  
 Sentido: Sentido ascendente

Detalles... Aceptar Cancelar

Nombre del tramo

### Datos del parque de vehículos:

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

Los tipos de vehículos definidos se visualizan en la base de datos de la ventana Parque de vehículos con el nombre de Avenida Circunvalación, Avenidas las Américas y avenida Padilla

Se puede editar la mayoría de los atributos en la base de datos como se ve en la ventana a continuación

Espacio de trabajo Parque Ver Ventana Ayuda

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
MOTOCICLETA 1	Motocicletas	26/01/2016	Motocicleta	Motorizado
VEHICULO LIVIANO	Coche de pasajero	26/01/2016	Coche pequeño	Motorizado
VEHICULO MEDIANO	Autobuses	26/01/2016	Mínibus	Motorizado
VEHICULO PESADO	Camiones	26/01/2016	Camión mediano	Motorizado

 Añadir nuevo
  Borrar
  Editar
  Info
  Grabar
  Cerrar

Como en los datos de la red de carretera, también en el parque de vehículos los datos se guardan en dos niveles:

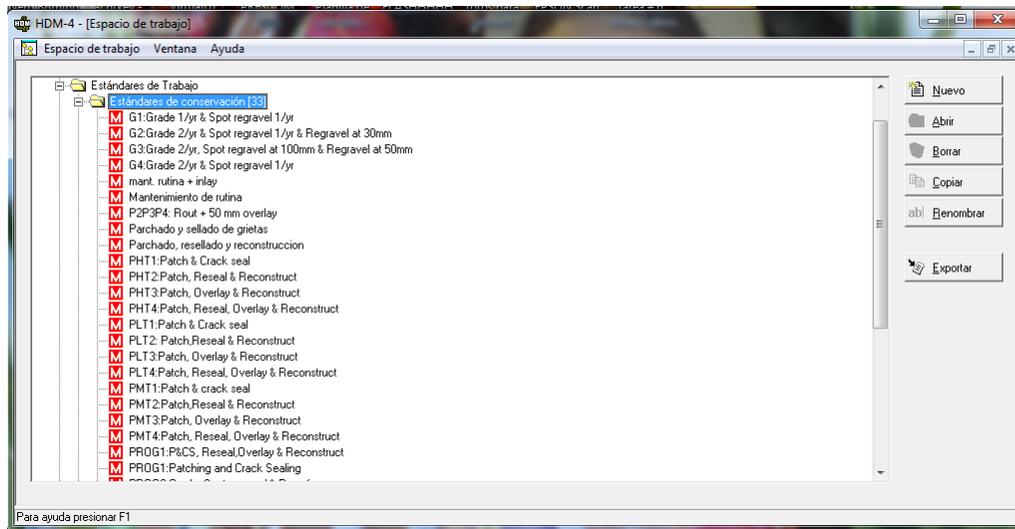
Atributos clave del vehículo (datos disponibles, según el tipo de vehículo, pueden ser visualizados y editores).

Atributos detallados del vehículo (incluyen parámetros no disponibles, según ciertas circunstancias, solo modificadas al calibrar el modelo).

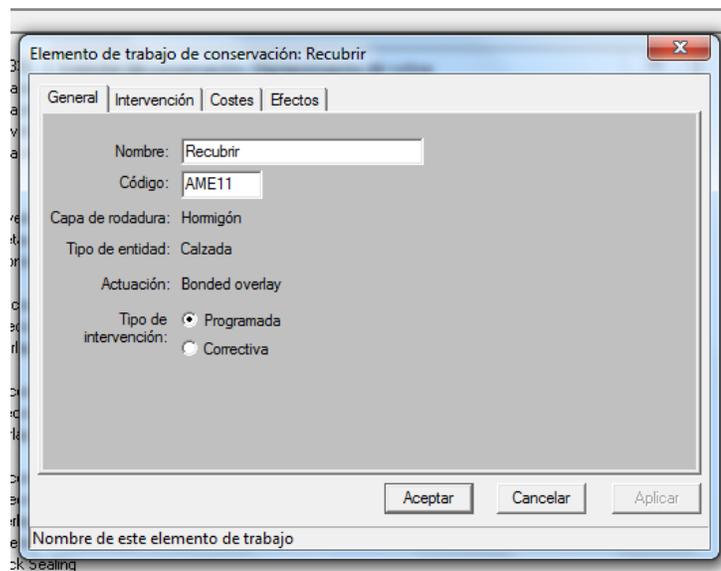
### **Estándares de los trabajos:**

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. En el caso, para definir los trabajos requeridos para mantener el tramo en el nivel deseado, se realizara los estándares de conservación.

En la ventana siguiente se muestran los estándares definidos para el caso en estudio, localizados con los nombres de: Mantenimiento de rutina, Mantenimiento de rutina + Sellado de juntas y grietas, Mantenimiento de rutina + Parchado y sellado de grietas, Parchado, resellado y reconstrucción

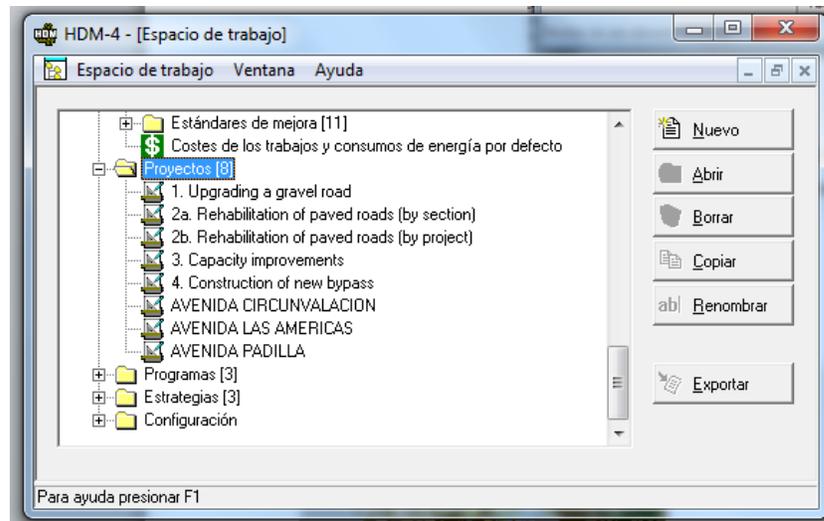


Cada estándar consiste en un grupo de trabajos, cada trabajo se define en términos de la clase de la capa de rodadura de la carretera, de un nivel de intervención, un tipo de operación y del efecto resultante sobre el pavimento. Los datos que definen los trabajos se separan en cinco categorías a cada una se le asignan diferentes páginas según el tipo de operación, en general las paginas son: General, diseño, intervención, costos y efectos.



### Análisis de proyecto:

La base de datos para este estudio está localizada en la carpeta **Proyectos** en el espacio de trabajo de casos estudiados. El nombre del estudio es **Mantenimiento de carretera (por proyecto)**. Como se muestra en la ventana siguiente.



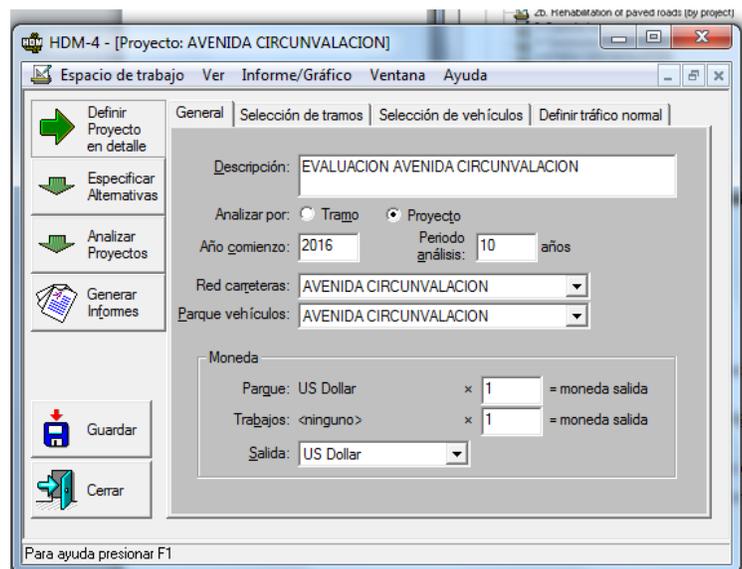
### 3) Revisión

La revisión de los datos la podemos dividir en dos grupos

Detalles de definición del proyecto :se despliegan las siguientes pantallas

#### General:

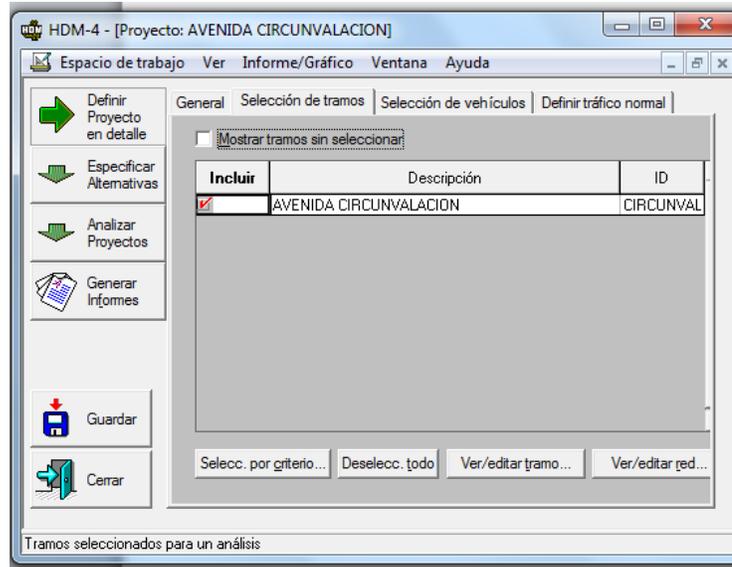
Esta pantalla confirma la descripción del proyecto; tipo de análisis, el periodo de análisis y los datos predefinidos de Red de carretera y Parque de vehículos.



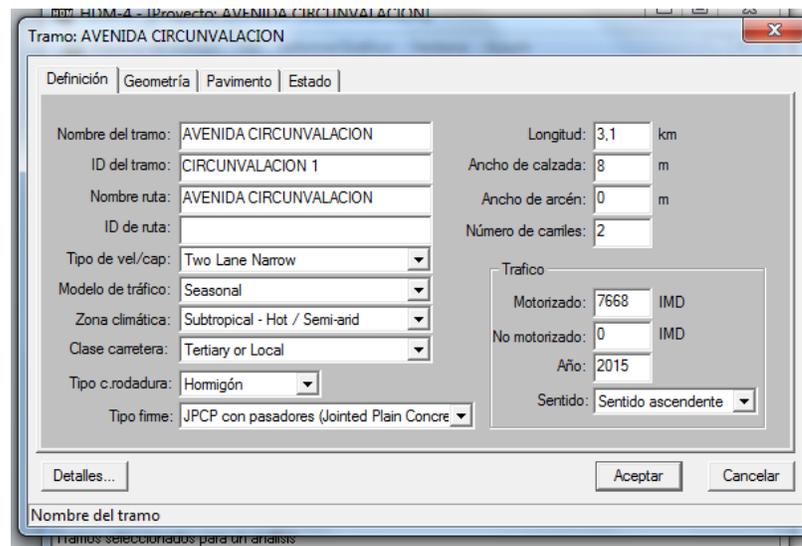
El periodo de análisis se define comenzando en el año 2016 con una duración de 10 años (es decir, 2016 a 2026).

### Selección de tramo:

Esta pantalla indica que tramo se incluirá en el análisis. Se puede ver la descripción del tramo, donde se muestran los detalles de dicho tramo.



En la pantalla definición se muestra los detalles de las características básicas del tramo incluyendo la clase de carretera, la velocidad la intensidad de tráfico.



En la pantalla geométrica se muestra los detalles de la geometría del tramo de la carretera, incluyendo los datos de pendiente, límite de velocidad, etc.

Tramo: AVENIDA CIRCUNVALACION

Definición | Geometría | Pavimento | Estado

Rampas + pendientes: 1 m/km

Curvatura horizontal media: 20 %/km

Velocidad límite: 40 km/h

Altitud: 1850 m

Drenes borde:

Detalles... Aceptar Cancelar

Datos de geometría

Los requisitos detallados del pavimento requeridos por HDM-4 para este tipo de pavimento se indican en la pantalla siguiente:

Tramo: AVENIDA CIRCUNVALACION

Definición | Geometría | Pavimento | Estado

Capa de rodadura

Esesor: 150 mm

Construcción

Año de construcción: 2003

Capa de base

Tipo base: Granular

Esesor: 100 mm

Módulo: 2000 MPa

Permeable:

Explanada

Tipo: Granular

K módulo estático de reacción: 54 MPa/m

Detalles... Aceptar Cancelar

Detalles de construcción del firme

El tipo de pavimento se actualiza automáticamente después de cualquier trabajo de conservación, en la tabla 4.12 se muestra los ajustes a los pavimentos luego de los trabajos de conservación .

**Tablas 4.12Ajustes a los tipos de pavimentos después de los trabajos de conservación.**

Actividad	Tipo de pavimento existente
Trabajo preventivo	AMGB
Sellado	AMGB
refuerzo	STAP

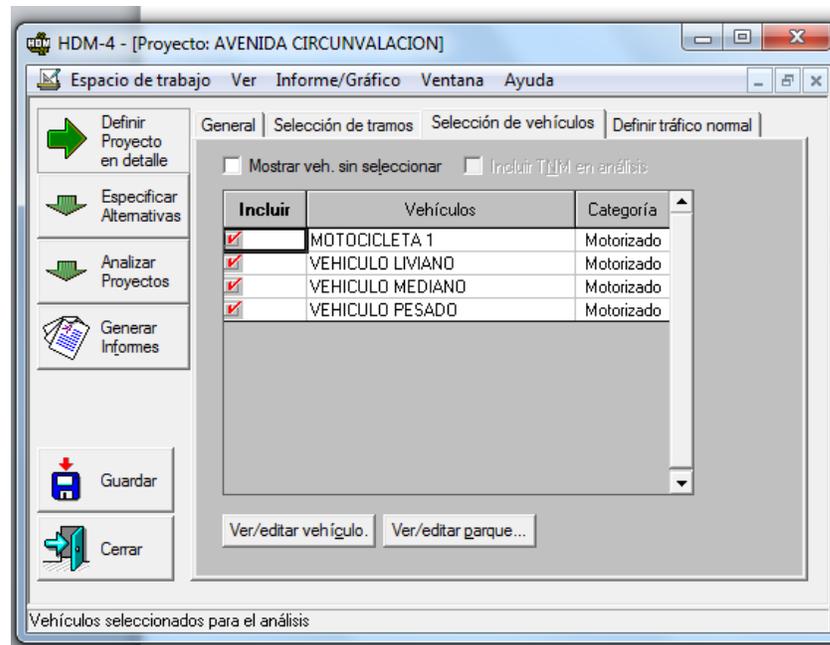
**Fuente:** Manual HDM-4

La condición de la carretera se puede ver en la pantalla Estado, estos datos como ya se explicó fueron recogidos como parte de un análisis detallado de condiciones.

Tramo: AVENIDA CIRCUNVALACION		
Definición   Geometría   Pavimento   Estado		
Estado a final de año	2003	2016
Regularidad (IRI - m/km)	1.00	6.73
Desnivel medio entre losas (mm)	2.00	5.00
Juntas desconchadas (%)	0.00	60.00
Losas fisuradas (%)	0.00	70.00
Fisuras deterioradas (Nº/km)	0.00	10.00
Roturas por km	0.00	20.00

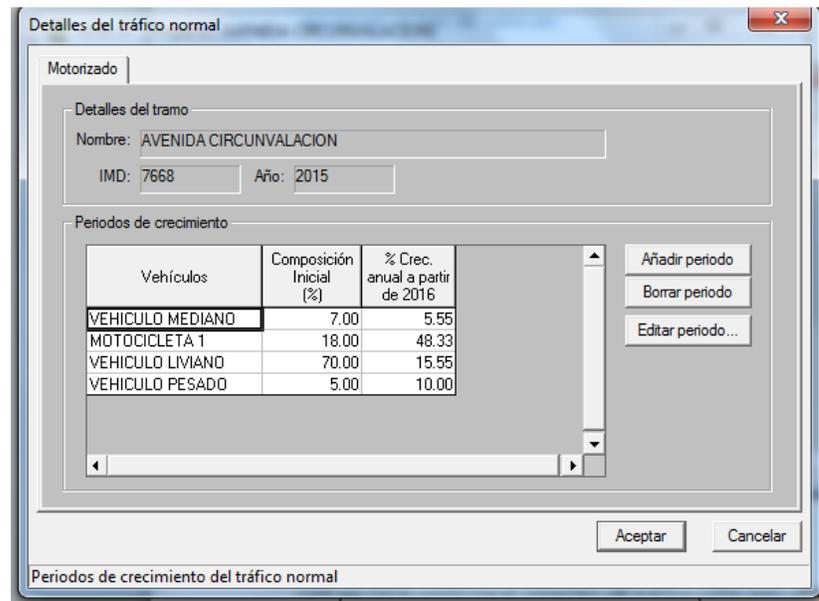
### Selección de vehículos:

Esta pantalla confirma la selección de los vehículos (del parque predefinido de Avenida Circunvalación, Avenidas las Américas y avenida Padilla). Los atributos se pueden modificar entrando a la descripción apropiada al tipo de vehículo.



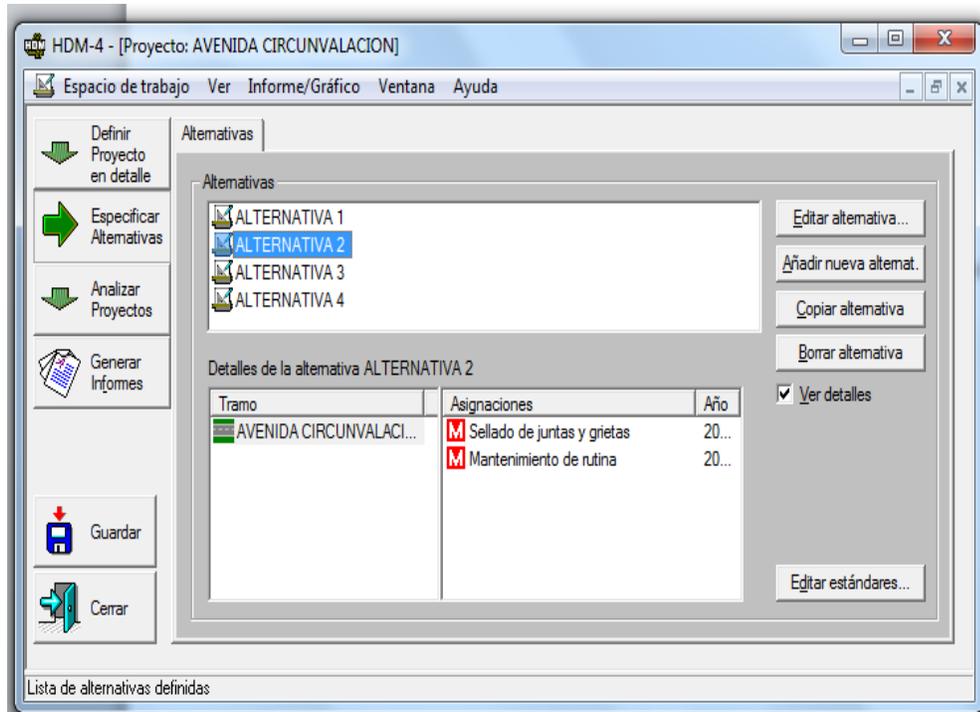
### Definición de tráfico normal:

Esta pantalla confirma al volumen de tráfico (IMD solo motorizado según este tipo de caso) usando el tramo seleccionado de carretera en el año corriente. La composición del tráfico inicial y las tasas de crecimiento (por el tipo de vehículo) se pueden modificar entrando a la línea apropiada.



## Alternativas:

La pantalla de alternativas se divide en dos partes, en la parte superior muestra los nombres de las cuatro alternativas que han sido seleccionadas para el estudio de este caso.



La parte inferior muestra los detalle de los Estándares de Trabajo asociados con cada sección alternativa.

Las alternativas de mantenimiento fueron elegidas según el tipo de vía, sus características y condiciones

**Tabla 4.13 Alternativas planteadas para tipo de intervención programada y correctiva**

<b>Alternativas</b>	<b>Trabajo de conservación propuesto</b>
1	El mantenimiento de rutina del pavimento se realiza basado en la condición del pavimento en que se encuentre el mismo, reparar colocando un pequeño parche asfáltico.
2	En esta alternativa se recomienda un sellado de juntas con betún y se recomienda un recubrimiento de las grietas cuando el área agrietada sea mayor o igual al 5%. Durante este periodo se aplicarán también las rutinas de mantenimiento.
3	En esta alternativa se recomienda una reparación parcial, recubrir con una mezcla asfáltica y garantizar la adherencia cuando el agrietamiento sea mayor al 20% y menor al 50% y un resellado de juntas y esquinas desportilladas.
4	En esta alternativa se recomienda una reparación en todo el espesor y área de la losa, reemplazo longitudinal y transversal de toda la zona afectada.

**Fuente:**Elaboración propia

Los estándares de trabajo y trabajos asociados y asignados a cada alternativa se indican en la tabla 4.14

**Tabla 4.14 Detalles de los estándares de trabajo para cada alternativa de proyecto**

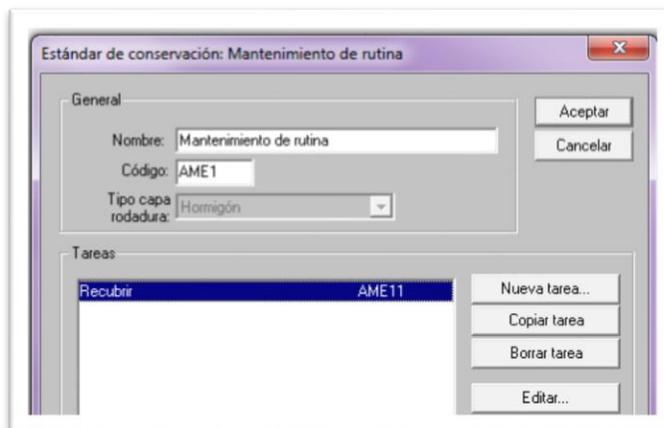
<b>Alternativa</b>	<b>Estándares de trabajo</b>	<b>Efectivo desde</b>	<b>Trabajo de conservación</b>
Mantenimiento de rutina	Mantenimiento de rutina	2016	Recubrimiento
Mantenimiento de rutina + Sellado de juntas y grietas	Sellado de juntas y grietas	2016	Recubrimiento Sellado de juntas
Mantenimiento de rutina + Parchado y sellado de grietas	Parchado y sellado de grietas	2016	Recubrimiento Reparación parcial
Mantenimiento de rutina + Parchado, resellado y reconstrucción	Parchado, resellado y reconstrucción	2016	Recubrimiento Reparación parcial Reparación profunda

**Fuente:**Elaboración propia

Situaciones relacionadas con los estándares para trabajos de conservación de cada alternativa se detalla a continuación:

**Alternativa 1 mantenimiento de rutina:**

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son de rutina como sellados de fisuras, de roturas de esquinas, pequeños bacheos, las mismas se detallan en la pantalla abierta a continuación.



Las especificaciones para cada uno de estos trabajos se describe a continuación

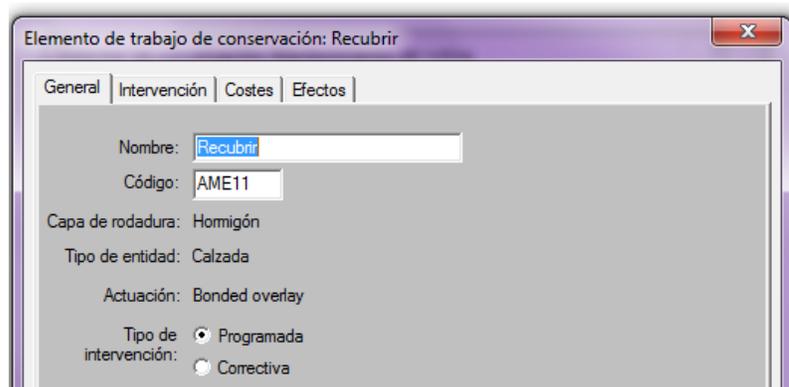
### **Recubrimiento de fisuras:**

Corrige las fisuras con una pequeña capa asfáltica, no obstante se asume que este sellado no se aplica para corregir fisuración profunda o estructural, si el área de la fisura excede el 30%.

Las especificaciones para el recubrimiento de fisuras está contenido en cuatro pestañas: General, intervención, Costos y efectos. Los detalles requeridos para cada pestaña se detallan a continuación:

#### **General:**

Confirma el nombre, el código asignado, el tipo de rodadura, la actividad se especifica cómo garantizar su recubrimiento y el tipo de intervención es programada.



#### **Intervención:**

Confirma el criterio de respuesta cuando el agrietamiento y fisuración afecta más del 5% y menor al 30% del área de la losa.

Elemento de trabajo de conservación: Recubrir

General Intervención Costes Efectos

Criterio correctivo

Cracks deteriorated  $\geq 5$ ,  $\leq 30$  %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2025

Regularidad max: 8 IRI (m/km)

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

Intervalo: 1

Minimo Máximo

1 10 año(s)

IMD: 0 3000

Costos:

Confirma el costo unitario de los trabajos de recubrimiento de fisuras expresado en dólares americanos por metro cuadrado.

Elemento de trabajo de conservación: Recubrir

General Intervención Costes Efectos

Coste unitario: 9,91 0 por m<sup>2</sup>

Coste unitario de trabajos preparatorios:

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

Efectos:

Confirma el porcentaje de superficie que debe ser reparada.

Elemento de trabajo de conservación: Recubrir

General | Intervención | Costes | Efectos

Estado después de la actuación

Espesor:	50	mm	Losas repuestas:	100	%
Regularidad:	2	IRI (m/km)	Fisuras reparadas:	100	%
Sellado de juntas:	Betún		Anchura reparación fisuras:	0	m
Coefficiente de drenaje:	0		Juntas reparadas:	0	%
Diámetro de pasadores:	0	mm	Ancho de junta reparada:	0	m
Eficiencia transmisión cargas:	0	%	Defectos reparados:	100	%
Coef. transmisión de cargas:	0	%	Fallos de área reparados:	0	m <sup>2</sup>
Revest. anticorrosión:	<input type="checkbox"/>				

Aceptar Cancelar Aplicar

Porcentaje de roturas a reparar

### Alternativa 2 mantenimiento de rutina + sellado de juntas y grietas:

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son de rutina como sellados de fisuras, de roturas de esquinas, pequeños bacheos, sellado de juntas y grietas las mismas se detallan en la pantalla abierta a continuación.

Estándar de conservación: Sellado de juntas y grietas

General

Nombre: Sellado de juntas y grietas

Código: AM2

Tipo capa rodadura: Hormigón

Aceptar Cancelar

Tareas

recubrir	AME 35
sellado de juntas	AME34

Nueva tarea... Copiar tarea Borrar tarea Editar...

Lista de elementos de trabajos de conservación asociados a este estándar

## Sellado de juntas:

General:

Confirma el nombre, el código asignado, el tipo de rodadura, la actividad se especifica cómo garantizar el sellado de juntas y el tipo de intervención es programada cada año.

Elemento de trabajo de conservación: Sellado de juntas

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: Sellado de juntas  
 Código: AME12  
 Capa de rodadura: Homigón  
 Tipo de entidad: Calzada  
 Actuación: Joint sealing  
 Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Aceptar Cancelar Aplicar

Nombre de este elemento de trabajo

Intervención:

Confirma un intervalo de tiempo igual a 10 años y un Índice de rugosidad menor a 8 (m/km).

Elemento de trabajo de conservación: Sellado de juntas

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio de intervención  
 Intervalo de tiempo: 10 Años

Límites

	Mínimo	Máximo
Último año: 2026		
Regularidad max: 8 IRI (m/km)	Intervalo: 1	10 año(s)
Cantidad max.: 5000 m <sup>2</sup> /km/año	IMD: 0	3000

Aceptar Cancelar Aplicar

Ultimo año para el que se debe considerar la implementación del estándar

Costos:

Confirma el costo unitario de los trabajos de recubrimiento de fisuras expresado en dólares americanos por metro.

	Económico	Financiero	
Coste unitario:	6,2	0	por m
Costes unitarios de trabajos preparatorios:			
Reparación puntual:	0	0	por m <sup>2</sup>
Bacheo:	0	0	por m <sup>2</sup>
Repar. de bordes:	0	0	por m <sup>2</sup>
Sellado de fisuras:	0	0	por m <sup>2</sup>
Drenaje:			
Factor coste mantenimiento drenaje:	1	0 < DMCF <= 1	

Efectos:

Confirma que el sellado de juntas se realizara con betún el porcentaje de juntas a reparar.

### Alternativa 3 mantenimiento de rutina + parchado y sellado de grietas:

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son de rutina como sellados de fisuras, de roturas de esquinas, pequeños bacheos, sellado de grietas y una reparación parcial de las losas, las mismas se detallan en la pantalla abierta a continuación.

#### Reparación parcial:

Se puede especificar para reparar solamente área con baches sellando con una mezcla asfáltica los agrietamientos y astillamientos cuando estos no representen más del 50% de deterioro, también incluye sellado de juntas y esquinas con roturas moderadas.

General	
Nombre:	Parchado y sellado de grietas
Código:	AME3
Tipo capa rodadura:	Hormigón

Tareas	
recubrir	AME21
reparacion parcial	AME22

#### General:

Confirma el nombre, el código asignado, el tipo de rodadura, la actividad se especifica cómo reparar a una profundidad parcial y el tipo de intervención es correctiva.

Elemento de trabajo de conservación: reparacion parcial

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre:

Código:

Capa de rodadura: Homigón

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Partial depth repair

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Aceptar Cancelar Aplicar

una cadena limitada a 6 caracteres usada como un código corto

Intervención:

Confirma el criterio de respuesta cuando el agrietamiento y astillamiento afecta más del 20% y menor al 50% del área de la losa y esta tenga un IRI menor a 8,5 (m/Km).

Elemento de trabajo de conservación: reparacion parcial

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año:	<input type="text" value="2025"/>	Mínimo	<input type="text" value="1"/>	Máximo	<input type="text" value="10"/>	año(s)
Regularidad max:	<input type="text" value="8,5"/>	IRI (m/km)	Intervalo:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100000"/>	
Max. cantidad:	<input type="text" value="5000"/>	<input type="text" value="m²/km/año"/>	IMD:			

Aceptar Cancelar Aplicar

Valor de regularidad máxima aplicable, por encima del cual la operación no se realizará

Costos:

Confirma el costo unitario de los trabajos de reparación de profundidad parcial de los agrietamientos y astillamientos expresado en dólares americanos por metro cuadrado.

The screenshot shows the 'Costes' tab of the 'Elemento de trabajo de conservación: reparación parcial' dialog box. It features two columns for 'Económico' and 'Financiero' costs. The 'Coste unitario' is set to 10.85 in the 'Económico' column and 0 in the 'Financiero' column, with a unit of 'por m²'. Below this, there is a section for 'Costes unitarios de trabajos preparatorios' with input fields for 'Recargo puntual', 'Bacheo', 'Repar. de bordes', and 'Sellado de fisuras', each with values of 0 and a unit of 'por m²'.

Efectos:

Confirma el porcentaje de superficie que debe ser reparada.

The screenshot shows the 'Efectos' tab of the 'Elemento de trabajo de conservación: reparación parcial' dialog box. It contains a section titled 'Estado después de la actuación' with various parameters and their values: 'Espesor' (0 mm), 'Regularidad' (2 IRI (m/km)), 'Sellado de juntas' (Silicona), 'Coeficiente de drenaje' (0), 'Diámetro de pasadores' (0 mm), 'Eficiencia transmisión cargas' (0 %), 'Coef. transmisión de cargas' (0 %), 'Revest. anticorrosión' (unchecked), 'Losas repuestas' (0 %), 'Fisuras reparadas' (0 %), 'Anchura reparación fisuras' (0 m), 'Juntas reparadas' (100 %), 'Ancho de junta reparada' (0 m), 'Defectos reparados' (0 %), and 'Fallos de área reparados' (0 m²). At the bottom, there are 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Aplicar' buttons, and a label 'Porcentaje de juntas desconchadas a reparar'.

#### **Alternativa 4 mantenimiento de rutina + parchado, resellado y reconstrucción:**

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son de rutina como sellados de fisuras, de roturas de esquinas, pequeños bacheos, resellado de grietas y juntas, reparación

a profundidad parcial de las losas y reparación en todo el espesor reemplazando longitudinal y transversalmente toda la zona afectada, las mismas se detallan en la pantalla abierta a continuación.

Estándar de conservación: Parchado, resellado y reconstrucción

General

Nombre: Parchado, resellado y reconstrucción

Código: AME4

Tipo capa rodadura: Hormigón

Tareas

Recubrir	AME41
Reparación parcial	AME42
Reparación profunda	AME44

Buttons: Aceptar, Cancelar, Nueva tarea..., Copiar tarea, Borrar tarea, Editar...

**Reparación profunda:** se define como el sellado de fisuras y juntas, un reemplazo longitudinal y transversal en el área afectada por agrietamientos profundos, con roturas y pérdidas del material, baches grandes y profundos.

General:

Confirma el nombre, el código asignado, el tipo de rodadura, la actividad se especifica cómo reparación de la profundidad total y el tipo de intervención es programada.

Elemento de trabajo de conservación: Reparación profunda

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: Reparación profunda

Código: AME44

Capa de rodadura: Hormigón

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Full depth repair

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Buttons: Aceptar, Cancelar, Aplicar

Nombre de este elemento de trabajo

### Intervención:

Confirma el criterio de respuesta cuando el grado de deterioro afecta más del 50% del área de la losa y esta tenga un IRI menor a 9,5 (m/Km).

The screenshot shows the 'Intervención' tab of a software dialog box titled 'Elemento de trabajo de conservación: Reparacion profunda'. The dialog has four tabs: 'General', 'Intervención', 'Costes', and 'Efectos'. The 'Intervención' tab is active. It contains the following fields:

- Criterio de intervención:** Intervalo de tiempo: 3 Años
- Límites:**
  - Último año: 2025
  - Regularidad max: 8 IRI (m/km)
  - Cantidad max: 5000 m<sup>2</sup>/km/año
  - Intervalo: 1
  - Mínimo: 1
  - Máximo: 10 año(s)
  - IMD: 0
  - Máximo: 100000

At the bottom, there are three buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', and 'Aplicar'. A status bar at the very bottom reads: 'Valor de regularidad máxima aplicable, por encima del cual la operación no se realizará'.

### Costos:

Confirma el costo unitario de los trabajos de reparación a una profundidad total de los agrietamientos y roturas expresado en dólares americanos por metro cuadrado.

The screenshot shows the 'Costes' tab of the same software dialog box. It contains the following fields:

- Coste unitario:** 18,21 (Económico) | 0 (Financiero) | por m<sup>2</sup>
- Costes unitarios de trabajos preparatorios:**
  - Recargo puntual: 0 | 0 | por m<sup>2</sup>
  - Bacheo: 0 | 0 | por m<sup>2</sup>
  - Planos de bordes: 0 | 0 | por m<sup>2</sup>

### Efectos:

Confirma el porcentaje de agrietamientos, baches, roturas y juntas que deben ser reparadas.

Elemento de trabajo de conservación: Reparación profunda

General | Intervención | Costes | Efectos

Estado después de la actuación

Espesor: 0 mm      Losas repuestas: 0 %

Regularidad: 2 IRI (m/km)      Fisuras reparadas: 100 %

Sellado de juntas: Silicona      Anchura reparación fisuras: 0,1 m

Coeficiente de drenaje: 0      Juntas reparadas: 100 %

Diámetro de pasadores: 0 mm      Ancho de junta reparada: 0,1 m

Eficiencia transmisión cargas: 0 %      Defectos reparados: 100 %

Coef. transmisión de cargas: 0 %      Fallos de área reparados: 0 m<sup>2</sup>

Revest. anticorrosión:

Aceptar      Cancelar      Aplicar

Área media de reparación por rotura

#### 4.8.1. Ejecución del HDM – 4

La pantalla de configuración se activa pulsando el botón análisis de proyecto

Proyecto: AVENIDA CIRCUNVALACION

Configurar ejecución | Ejecutar análisis

Realizar análisis económico

Alternativa de la base: ALTERNATIVA 1

Tasa descuento: 1 %

Incluir costes de accidentes

Average accident category

Mortales: 0      Daños: 0

Heridos: 0      Todos: 0

Inclusión en el modelo

Balance de energía

Emisiones

Efectos de la aceleración

Archivo de registro

Escribir archivo de registro

Detalle de exportación de datos de ejecución

Excluir datos anuales de vehículos

Excluir datos de vehículos del periodo

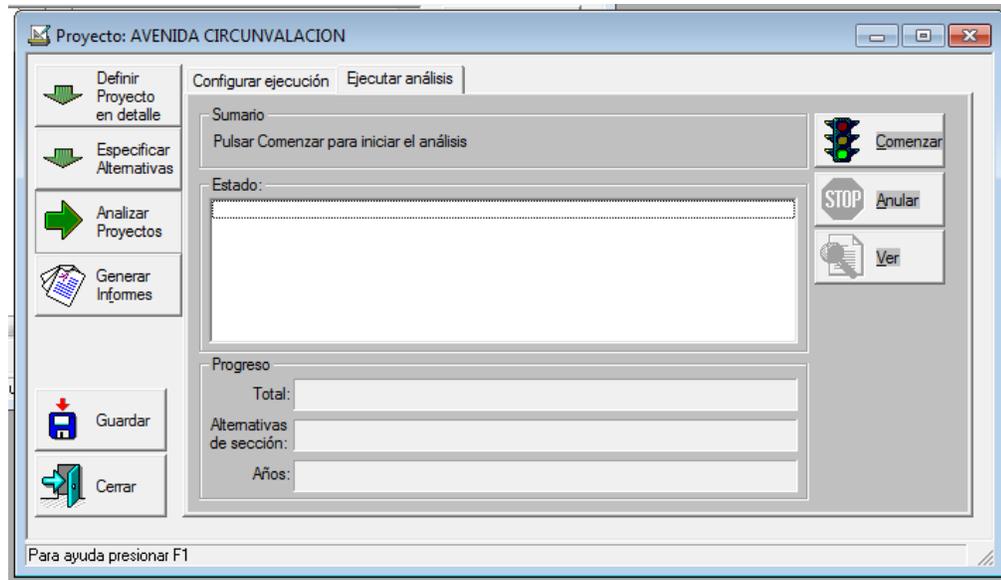
Carpeta de exportación de datos de ejecución

C:\Users\PROYECT GRADO 2\hdm CIRCUNVALACION      Cambiar...

Para ayuda presionar F1

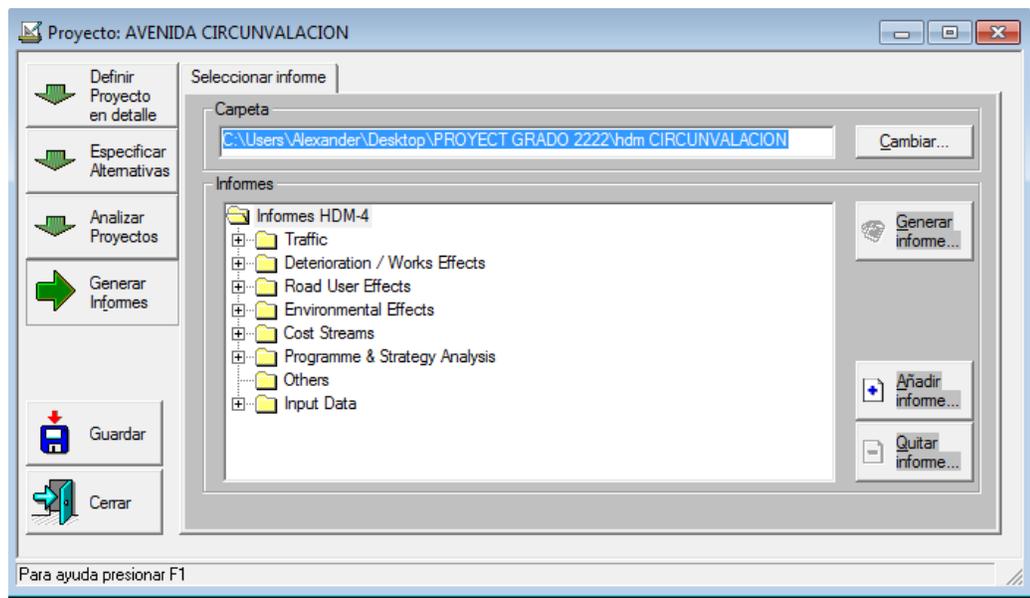
En el estudio de este caso, el costo de accidentes y los efectos causados por las emisiones del balance de energía y aceleración no se incluyen en el análisis.

Comienza el análisis y se produce la salida de datos necesarios para producir un informe.



#### 4.8.2. Generación de informes

Los datos generados del análisis de HDM – 4 se obtienen en los siguientes informes.



Los informes que se generan según el caso en estudio son: Trafico, deterioro/ efectos de trabajos, efectos sobre el usuario.

**Tramo avenida Circunvalación****Tráfico:**

Los informes de tráfico se presentan en tablas que se muestran a continuación

- Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) detalles sobre las alternativas de sección (grafico AADT detailsforsectionalternatives)
- Relación volumen capacidad por periodos

**Section:** AVENIDA CIRCUNVALACION  
**Alternative:** ALTERNATIVA 1

**Section:** AVENIDA CIRCUNVALACION  
**Alternative:** ALTERNATIVA 2

**Section:**AVENIDA CIRCUNVALACION

**Alternative:**ALTERNATIVA 3

**Section:**AVENIDA CIRCUNVALACION

**Alternative:**ALTERNATIVA 4

Study Name: **AVENIDA CIRCUNVALACION**Run Date: **26-06-2016****Section:** ALTERNATIVA 1**Alternative:** AVENIDA CIRCUNVALACION

Sect ID: CIRCUNVALACION 1  
Length: 3,10 km      Width: 8,00 m  
Curvature: 20,00deg/km

Road Class: Tertiary or Local  
Rise+Fall: 1,00 m/km

- Periodo 1
- Periodo 2
- Periodo 3
- Periodo 4
- Periodo 5

**Section:**ALTERNATIVA 2**Alternative:**AVENIDA CIRCUNVALACION

Sect ID: CIRCUNVALACION 1

Road Class: Tertiary or Local

Length: 3,10 km Width: 8,00 m

Rise+Fall: 1,00 m/km

Curvature: 20,00deg/km

- Periodo 1
- Periodo 2
- Periodo 3
- Periodo 4
- Periodo 5

**Section:**ALTERNATIVA 3**Alternative:**AVENIDA CIRCUNVALACION

Sect ID: CIRCUNVALACION 1

Road Class: Tertiary or Local

Length: 3,10 km Width: 8,00 m

Rise+Fall: 1,00 m/km

Curvature: 20,00deg/km

- Periodo 1
- Periodo 2
- Periodo 3
- Periodo 4
- Periodo 5

**Section:**ALTERNATIVA 4**Alternative:**AVENIDA CIRCUNVALACION

Sect ID: CIRCUNVALACION 1  
Length: 3,10 km      Width: 8,00 m  
Curvature: 20,00deg/km

Road Class: Tertiary or Local  
Rise+Fall: 1,00 m/km

- Periodo 1
- Periodo 2
- Periodo 3
- Periodo 4
- Periodo 5

**Deterioro - efecto de trabajo:**

Los trabajos resultantes del estándar de conservación especificado por alternativa son identificados a continuación. Se muestran la progresión de defectos y niveles de intervención asociados a las de condición de respuesta, de acuerdo a la intervención ya sea correctiva o programada.

- Condición del pavimento por alternativas o resumen anual del deterioro de las vías ( tabla Pavementcondition concrete)
- Sumario de condición del pavimento por alternativas ( tabla Pavementconditionsummary)
- Rugosidad media por proyecto y alternativa (grafica Averageroughnessforeachproject).
- Plan de actuaciones por año ( tabla road Works summary)
- Resumen de costos económicos totales anuales.



























Study Name: AVENIDA CIRCUNVALCION

Run Date: 26-06-2016

All costs are expressed in the following currency: US Dollar.

**ALTERNATIVA 1**

Year	Section Quantity	Works Description	Economic	Work
2016	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	22,479.0	2.268,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	268,246.0	
2017	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	17,983.0	1.814,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	263,750.0	
2018	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	14,386.0	1.451,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	260,153.0	
2019	Avenida CIRCUNVAL	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	11,509.0	1.161,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	257,276.0	
2020	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	9,207.0	929,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	254,974.0	
2021	Avenida CIRCUNVAL	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	7,366.0	743,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	253,133.0	
2022	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrir	5,892.0	594,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	251,659.0	
2023	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800.00 sq.m
		Recubrir	4,714.0	475,00 sq.m
		<b>Total Annual Cost.</b>	250,481.0	

2024Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
	Recubrir	3,771.0	380,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		249,538.0	
2025Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
	Recubrir	3,017.0	304,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		248,784.0	
<b>Total Costs for Alternative:</b>		2,557,994.0	

**ALTERNATIVA 2**

<b>Year</b>	<b>Section Quantity</b>	<b>Works Description</b>	<b>Economic</b>	<b>Work</b>
2016	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2017	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.800,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2018	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrimiento	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrimiento	85,451.0	8.622,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		331,218.0	
2019	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2020	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2021	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrimiento	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrimiento	51,270.0	5.173,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		297,037.0	
2022	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2023	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
2024	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrimiento	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Recubrimiento	30,762.0	3.104,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		276,529.0	
2025	Avenida CIRCUNVALACION	Sellado de juntas	38,440.0	6.200,00 m
	<b>Total Annual Cost.</b>		38,440.0	
	<b>Total Costs for Alternative:</b>		1,173,864.0	

**ALTERNATIVA 3**

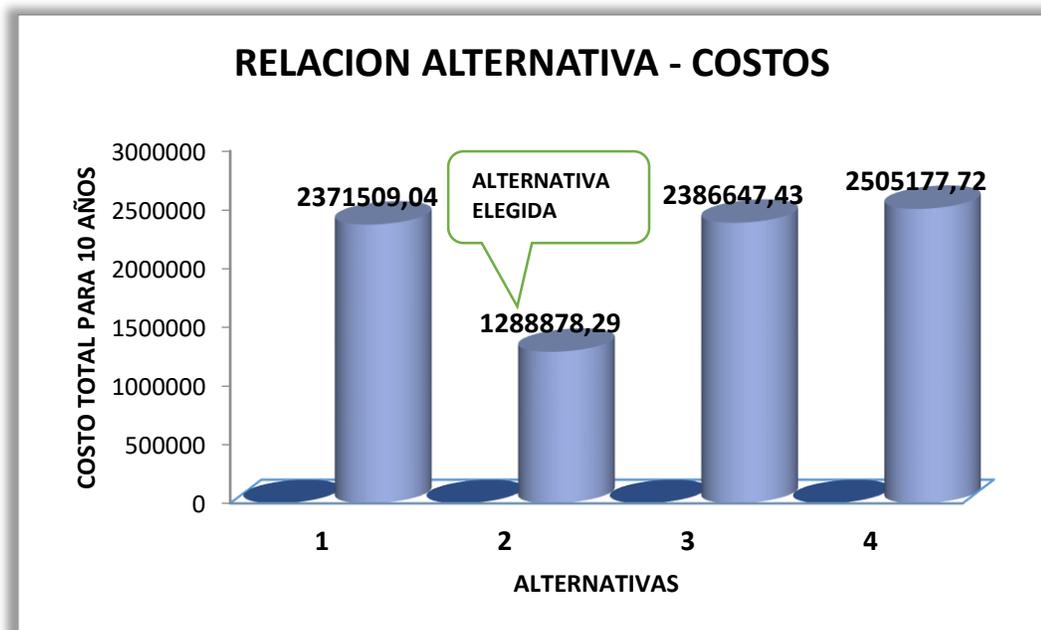
<b>Year</b>	<b>Section</b>	<b>Works Description</b>	<b>Economic</b>	<b>Work</b>
2016	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		Reparacionparcial	24,611.0	2.268,00 sq.m
			270,378.0	
2017	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total AnnualCost.</b>		Reparacion parcial	19,689.0	1.814,00 sq.m
			265,456.0	
2018	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		Reparacionparcial	15,751.0	1.451,00 sq.m
			261,518.0	
2019	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		Reparacionparcial	12,601.0	1.161,00 sq.m
			258.368.0	
2020	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total AnnualCost.</b>		Reparacion parcial	10,080.0	929,00 sq.m
			255,847.0	
2021	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total AnnualCost.</b>		Reparacionparcial	8,064.0	743,00 sq.m
			253,831.0	
2022	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		Reparacionparcial	6,451.0	594,00 sq.m
			252,218.0	
2023	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total AnnualCost.</b>		Reparacionparcial	5,161.0	475,00 sq.m
			250,928.0	
2024	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total Annual Cost.</b>		Reparacionparcial	4,129.0	380,00 sq.m
			249,896.0	
2025	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
<b>Total AnnualCost.</b>		Reparacion parcial	3,303.0	304,00 sq.m
			249,070.0	
<b>Total Costs for Alternative:</b>			2,567,510.0	

**ALTERNATIVA 4**

<b>Year</b>	<b>Section</b>	<b>Works Description</b>	<b>Economic</b>	<b>Work</b>
<b>Quantity</b>				
2016	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	41,306.0	2.268,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		287,073.0	
2017	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacion profunda	33,045.0	1.814,00 sq.m
	<b>Total AnnualCost.</b>		278,812.0	
2018	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	26,436.0	1.451,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		272,203.0	
2019	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	21,149.0	1.161,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		266,916.0	
2020	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacion profunda	16,919.0	929,00 sq.m
	<b>Total AnnualCost.</b>		262,686.0	
2021	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	13,535.0	743,00 sq.m
	<b>Total AnnualCost.</b>		259,302.0	
2022	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	10,828.0	594,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		256,595.0	
2023	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	8,662.0	475,00 sq.m
	<b>Total AnnualCost.</b>		254,429.0	
2024	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacionprofunda	6,930.0	380,00 sq.m
	<b>Total Annual Cost.</b>		252,697.0	
2025	Avenida CIRCUNVALACION	Recubrir	245,767.0	24.800,00 sq.m
		Reparacion profunda	5,544.0	304,00 sq.m
	<b>Total AnnualCost.</b>		251,311.0	
<b>Total Costs for Alternative:</b>			2,642,024.0	

### Summary of Total Annual Costs

Gestión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
2016	268,246.00	38,440.00	270,378.00	287,073.00
2017	263,750.00	38,440.00	265,456.00	278,812.00
2018	260,153.00	331,218.00	261,518.00	272,203.00
2019	257,276.00	38,440.00	258,368.00	266,916.00
2020	254,974.00	38,440.00	255,847.00	262,686.00
2021	253,133.00	297,037.00	253,831.00	259,302.00
2022	251,659.00	38,440.00	252,218.00	256,595.00
2023	250,481.00	38,440.00	250,928.00	254,429.00
2024	249,538.00	276,529.00	249,896.00	252,697.00
2025	248,748.00	38,440.00	249,070.00	251,311.00
<b>Total</b>	<b>2.557.994,00</b>	<b>1.173.864,00</b>	<b>2.567.510,00</b>	<b>2.642.024,00</b>



#### 4.9.DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES REGIONALES DE CALIBRACIÓN

Se realiza a detalle el cálculo de los factores de calibración para la alternativa elegida, es decir alternativa N° 2.

Para comparar el comportamiento observado en terreno con la predicción efectuada por los modelos HDM-4 sin calibrar, es necesario contar con toda la información requerida por las ecuaciones de predicción. En HDM-

4, los deterioros modelados en pavimentos de concreto simple con juntas son:

- Escalonamiento de junta transversales
- Deterioro de junta transversales (Desportillamiento)
- Agrietamiento Transversal
- IRI

Una vez efectuada la predicción de deterioros sin calibrar, y teniendo en cuenta que solamente existe un dato observado en el año 20016 para cada uno de los deterioros arriba citados, se pueden calcular los factores de ajuste de una manera sencilla, siguiendo la metodología establecida por estudios argentinos (Marcelo Bustos, EICAM). Los modelos de predicción del escalonamiento y del deterioro de junta transversales permiten calcular el factor de ajuste dividiendo directamente el valor del deterioro observado en el valor del deterioro predicho por el modelo sin calibrar, como aparecen en la siguiente ecuación.

$$K_i = \frac{V_{\text{det}}}{VP_{\text{det}}}$$

Donde:

$K_i$  = Factor de calibración del modelo

$V_{\text{det}}$  = Valor observado del deterioro

$VP_{\text{det}}$  = Valor de deterioro predicho por el modelo sin calibrar

#### Escalonamiento de junta transversales

**Tabla 4.15 Factores de calibración de escalonamiento de junta transversales**

<b>Tramos</b>	<b>Valor actual observado del deterioro (mm)</b>	<b>Valor de deterioro predicho por el modelo sin calibrar (mm.)</b>	<b>Ki: factor de calibración del modelo</b>
<b>Avenida Circunvalación</b>	6,10	5,48	1,20
<b>Avenida Padilla</b>	8,95	6,46	1,39
<b>Avenida Las Américas</b>	7,21	5,37	1,34
<b>Promedio del factor de calibración</b>			<b>1,31</b>

**Fuente:** elaboración propia

#### **Deterioro de junta transversales (Desportillamiento)**

**Tabla 4.16 Factores de calibración de deterioro de junta transversales (desportillamiento)**

<b>Tramos</b>	<b>Valor actual observado del deterioro (%)</b>	<b>Valor de deterioro predicho por el modelo sin calibrar (%)</b>	<b>Ki: factor de calibración del modelo</b>
<b>Avenida Circunvalación</b>	1,96	2,58	0,89
<b>Avenida Padilla</b>	5,49	4,57	1,20
<b>Avenida Las Américas</b>	4,23	2,87	1,47
<b>Promedio del factor de calibración</b>			<b>1,19</b>

**Fuente:** elaboración propia

#### **Agrietamiento transversal**

**Tabla 4.17 Factores de calibración de agrietamiento transversal**

<b>Tramos</b>	<b>Valor actual observado del deterioro (%)</b>	<b>Valor de deterioro predicho por el modelo sin calibrar (%)</b>	<b>Ki: factor de calibración del modelo</b>
<b>Avenida Circunvalación</b>	59,84	45,73	1,30
<b>Avenida Padilla</b>	50,23	35,74	1,41
<b>Avenida Las Américas</b>	2,06	1,20	1,72
<b>Promedio del factor de calibración</b>			1,48

**Fuente:** elaboración propia

### **Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

Como habitualmente no se dispone del valor de IRI<sub>0</sub>, se debe suponer de la mejor manera posible. En consecuencia, el factor de ajuste del modelo de IRI se obtiene utilizando:

$$K_{IRI} = \frac{IRI_{obs} - IRI_0}{IRI_{pred} - IRI_0}$$

Donde:

$K_{IRI}$  = Factor de calibración del modelo de IRI

$IRI_{obs}$  = Valor de IRI medido para el tramo analizado

$IRI_{pred}$  = Valor de IRI predicho por el modelo correspondiente

$IRI_0$  = Valor de IRI inmediatamente después de construirlo (si no se conoce debe ser estimado).

**Tabla 4.18 Factores de calibración de (IRI)**

<b>Tramos</b>	<b>Valor actual observado del deterioro (m/Km)</b>	<b>Valor de deterioro predicho por el modelo sin calibrar (m/Km)</b>	<b>Ki: factor de calibración del modelo</b>
<b>Avenida Circunvalación</b>	6,73	4,85	1,60
<b>Avenida Padilla</b>	8,45	5,45	1,73
<b>Avenida Las Américas</b>	8,87	5,43	1,86
<b>Promedio del factor de calibración</b>			<b>1,73</b>

**Fuente:** elaboración propia

#### **4.10. AJUSTE DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DEL DETERIORO**

Se realizara un ejemplo de cálculo para el tramo Avenida Circunvalación, alternativa elegida N° 2.

##### **4.10.1. Escalonamiento de juntas con barras de traspaso de carga**

Las ecuaciones de predicción son diferentes dependiendo de si el pavimento tiene dispositivos de transferencia de carga (dovelas) o no. Antes de iniciar el cálculo de los factores de calibración, para obtener mejores resultados se recomienda lo siguiente:

- En secciones donde un valor de escalonamiento se predice como negativo, se reemplaza su valor a cero.
- Se recomienda eliminar todas aquellas secciones que no presentan fallo por escalonamiento para 2 millones o más de ejes equivalentes acumulados.
- Las secciones de pavimento JPCP con escalonamiento alto (más de 5mm) deben ser eliminadas porque están fuera del rango para el cual el modelo fue desarrollado y además, a tales niveles de escalonamiento sería necesario aplicar medidas correctivas.

A continuación se presenta la ecuación de deterioro para escalonamiento para JPCP con barras de transferencia de carga o dovelas, acompañada de su respectivo factor de calibración.

**Formula de escalonamiento con barras de transferencia de carga:**

$$\begin{aligned} \text{FAULT} = & K_{jpd} * NE_4^{0,25} * 0,0628 * 1 - C_d + 3,673 * 10^{-9} * \text{BSTRESS}^2 + 4,116 \\ & * 10^{-9} \text{JTSPACE} + 7,466 * 10^{-10} * \text{FI}^2 * \text{PRECIP}^{0,5} - 0,009503 * \text{BASE} \\ & - 0,01917 * \text{WIDENED} + 0,0009217 \text{AG} \end{aligned}$$

Donde:

FAULT= Escalonamiento transversal promedio (m)

Cd= Coeficiente de drenaje modificado por AASHTO

NE4= Número de ejes sencillos equivalentes acumulados (ESALs) desde construcción (millones de ejes de 18kip (8,181.8 kg) por carril)

BSTRESS= Máximo esfuerzo de resistencia del concreto

BASE:=Tipo de base; 0 = no estabilizada, 1 = estabilizada

FI= Índice de congelamiento (°F-días)

JTSPACE=Distancia entre juntas transversales (m)

PRECIP=Precipitación promedio anual (m)

WIDENED=0 = No anchado, 1= Carril ancho o bermas hechas durante la construcción,  
0,5 = Bermas en concreto colocadas después de la construcción

Ki=Factor de calibración

AGE=Número de años del pavimento desde la construcción.

**Datos:**

Kjpd= 1,31

Cd= 1,1

NE4= 0,77 millones / carril

BSTRESS =725,188 psi

BASE= 1

FI= 0

JTSPACE= 3,90 m.

PRECIP= 0,056 m.

WIDENED = 1

AGE= 12

**FAULT=0,0072m.= 7,13mm.**

#### **4.10.2. Agrietamiento transversal.**

Estalibración requiere un considerable proceso de los datos de inventario, en donde debe tomarse en cuenta los siguientes criterios:

- Se asume que varios parámetros son constantes de acuerdo a las especificaciones del modelo.
- Para calcular exactamente/ con precisión el esfuerzo por fatiga, el modelo requiere saber la distribución de frecuencia de los gradientes termales de la losa. Las distribuciones típicas son como funciones de la zona climática y del espesor de la losa.

La siguiente fórmula también contiene una corrección de deformación por diferencia de temperatura que produce inicialmente un encorvamiento de la losa:

$$PCRACK = \frac{100}{1 + * k_{jpc} * FD^{-1,66}}$$

$k_{jpc} = 1,48$

$FD = 0,237/\text{millas}$

$$PCRACK = 33,04\%$$

#### **4.10.3. Desportillamiento de juntas**

En estos casos se recomienda:

Las secciones que presenten una progresión inusual de desportillamiento en un breve periodo de tiempo (diferencia de más del 40% en valores absolutos observados, en un período de hasta 3 años) deben eliminarse para evitar posibles errores en el registro de la veridicidad de la

cantidad

de deterioro superficial. Por razones similares, también se rechaza en aquellas secciones que presenten una disminución del deterioro con el tiempo.

**Formula de desportillamiento:**

$$\begin{aligned} \text{SPALL} = & K_{jps} * \text{AGE} * \text{JTSPACE} * 10^{-6} * 549,9 - 895,7 * \text{LIQSEAL} + \text{PREFSEAL} \\ & + 1,11 * 10^{-3} \text{DAIS90}^3 + 375 \text{DWLCOR} + 29,01 - 27,6 \text{LIQSEAL} * \text{FI} \\ & - 28,59 \text{PREFSEAL} + 27,09 \text{SILSEAL} * \text{FI} \end{aligned}$$

Donde:

SPALL= Porcentaje de juntas descascaradas

AGE= Edad en años desde la construcción

JTSPACE= Espaciamiento entre juntas promedio (m)

LIQSEAL= Presencia de líquido sellante en las juntas.

HDM tiene en cuenta el sellante líquido (usualmente asfáltico) pero no lo considera en gran detalle, solo su presencia u ausencia. Así: 0 = No presente, 1 = Presente

PREFSEAL= Presencia de sellante preformado en las juntas. Existen diferentes tipos de sellantes, entre los cuales se tienen preformados de goma. HDM considera la presencia u ausencia de ellos,

Así: 0 = No presente, 1 = Presente

DAIS90 = Número de días con la temperatura media mayor a 90°F al año.

DWLCOR= Protección a la corrosión de la dovela. La protección de las dovelas es tenida en cuenta dentro del programa de manera general, así: 0 = inexistencia de dovela o dovelas protegidas, 1 = Dovelas no protegidas

FI = Índice de congelamiento (°F-días)

SILSEAL= Presencia de silicona en las juntas. Al igual que los sellantes, HDM tiene la posibilidad de especificar si las juntas tienen silicona para la protección de la losa de la junta. Numéricamente: 0 = No presente, 1 = Presente

Kjps=Factor decalibración

**Datos:**

Kjps= 1,19

JTSPACE = 3,90

LIQSEAL = 1

PREFSEAL = 0

DAYS90 = 60

DWLCOR = 0

FI = 0

SILSEAL = 0

**SPALL=2,62%**

#### **4.10.4. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

Para calibrar el modelo para JPCP, es necesario proyectar los valores correspondientes de escalonamiento, agrietamiento y desportillamiento de juntas, que permiten calcular el IRI de la sección bajo estudio. Esto permite la comparación del IRI proyectado con el IRI medido en campo.

#### **Formula de IRI**

La ecuación utilizada para IRI, modificada por los factores de calibración, es la siguiente:

$$\text{IRI} = k_{jpr} * (\text{IRIo} + 2,6098 \text{ faultT} + 1,8407 \text{ spall} + 2,2802 * 10^{-6} * \text{Tracks}^3)$$

Donde:

IRIo: Valor inicial IRI (99.59 in/milla en el modelo original)

Kjpr: Factor de ajuste

FaultTT: Escalonamiento total acumulado por milla, in/mi

Tcrack: Cantidad total de grietas transversales por milla, número/milla

Spall: Juntas despostilladas, %

**Datos:**

IRIo = 307,282 in/milla

Kjpr = 1,73

FaultTT = 0,11 in/milla

Tcrack = 0,237 /milla

Spall = 2,20%

**IRI = 307, 828 in/milla = 4,922m/km**

**Tabla 4.19 Resultados de ajuste del modelo deterioro HDM-4 para el año 2016**

Tramo	Escalonamiento de junta transversales (mm.)	Deterioro de junta transversales (desportillamiento) (%)	Agrietamiento Transversal (%)	IRI (m/km)
<b>Avenida Circunvalación</b>	7,13	2,62	33,04	4,92
<b>Avenida Padilla</b>	8,46	5,43	27,49	5,61
<b>Avenida Las Américas</b>	7,034	3,41	3,11	4,71

**Fuente:** elaboración propia

#### 4.11. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados de las alternativas que arroja el HDM-4, deben ser analizados desde dos parámetros principales, para poder elegir una de ellas, estos parámetros son los siguientes:

Costos de mantenimiento:

Es el dinero gastado por la entidad encargada del mantenimiento de la vía, de todas las alternativas de mantenimiento se deberá elegir la que tenga menor costo

Rugosidad promedio:

Es la media aritmética de la rugosidad de la calzada proyectada por el programa, en todo el periodo de análisis. De todas las alternativas propuestas se debe elegir al del menor promedio.

**Tabla 4.20 Elección de la mejor alternativa**

<b>Tramo</b>	<b>Menor costo</b>	<b>Menor rugosidad</b>
Avenida Circunvalación	Alternativa 2	Alternativa 1
Avenida Padilla	Alternativa 2	Alternativa 3
Avenida Las Américas	Alternativa 2	Alternativa 4

**Fuente:** elaboración propia

La alternativa seleccionada es la alternativa es: la **alternativa 2 Sellado de juntas y mantenimiento de rutina** que incluye las siguientes tareas:

**Sellado de juntas:**

Que consiste en una intervención programada cada año aplicable a partir de la gestión 2016, la cual presenta un costo de 6,2 dólares americanos por cada metro lineal.

**Mantenimiento de rutina:**

Se realiza basado en la condición del pavimento en que se encuentre el mismo, reparar colocando un pequeño parche asfáltico, recubrimiento de las grietas cuando el área agrietada sea mayor o igual al 5%, esta intervención será programada cada dos años aplicable a partir de la gestión 2016, o caso contrario de carácter correctivo cuando sea necesario. El costo de esta tarea es de 9,91 dólares americanos por cada metro cuadrado.

**Análisis de rugosidad:**

El Índice de rugosidad internacional (IRI) es el principal parámetro de comparación en el modelo de deterioro y para conocer el estado de las vías.

**Tabla 4.21 Comportamiento de IRI antes y después de la conservación avenida Circunvalación**

<b>Año</b>	<b>IRI (m/km) antes del trabajo de conservación</b>	<b>IRI (m/km) después del trabajo de conservación</b>	<b>Trabajo a realizar</b>
2016	4.87	4.87	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2017	6.13	6.13	Sellado de juntas
2018	7.05	4.85	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2019	4.40	4.40	Sellado de juntas
2020	4.82	4.82	Sellado de juntas
2021	5.16	3.77	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2022	3.87	3.87	Sellado de juntas
2023	4.20	4.20	Sellado de juntas
2024	4.46	4.39	Mantenimiento de rutina Sellado de juntas
2025	3.63	3.63	Sellado de juntas

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 4.22 Comportamiento de IRI antes y después de la conservación avenida Padilla**

<b>Año</b>	<b>IRI (m/km) antes del trabajo de conservación</b>	<b>IRI (m/km) después del trabajo de conservación</b>	<b>Trabajo a realizar</b>
------------	---	---	---------------------------

2016	5.45	5.45	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2017	6.66	4.56	Sellado de juntas
2018	4.40	4.40	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2019	4.84	3.59	Sellado de juntas
2020	3.98	3.98	Sellado de juntas
2021	4.34	3.33	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2022	3.75	3.75	Sellado de juntas
2023	4.08	3.19	Sellado de juntas
2024	3.61	3.61	Mantenimiento de rutina Sellado de juntas
2025	3.86	3.08	Sellado de juntas

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 4.23 Comportamiento de IRI antes y después de la conservación avenida Las Américas**

<b>Año</b>	<b>IRI (m/km) antes del trabajo de conservación</b>	<b>IRI (m/km) después del trabajo de conservación</b>	<b>Trabajo a realizar</b>
------------	---	---	---------------------------

2016	4.59	3.45	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2017	3.75	3.03	Sellado de juntas
2018	3.50	2.90	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2019	3.32	2.81	Sellado de juntas
2020	3.18	2.74	Sellado de juntas
2021	3.08	2.69	Sellado de juntas Mantenimiento de rutina
2022	3.00	2.65	Sellado de juntas
2023	2.93	2.62	Sellado de juntas
2024	2.88	2.59	Mantenimiento de rutina Sellado de juntas
2025	2.82	2.56	Sellado de juntas

**Fuente:** elaboración propia

Los resultados que nos proporciona el paquete computacional son la herramienta con la que el proyectista deberá valerse para definir cuál es la estrategia más adecuada y conveniente para cada tramo, es decir que el programa no define que estrategia sino más bien da todas las características técnicas y económicas de distintas estrategias a través del tiempo, esto nos permite sacar nuestras propias conclusiones de una evaluación que realiza el paquete de manera que no solo se tome en cuenta lo que puede ser factible económicamente sino también que el proyectista tenga la oportunidad de elegir una estrategia.

Los factores de calibración calculados para los tres tramos son valores que oscilan cerca de la unidad, por lo que son considerados aceptables para realizar el ajuste de cada uno de los parámetros de deterioro.

**Tabla 4.24 Factores de calibración**

<b>Deterioros</b>	<b>Factores de calibración</b>
Escalonamiento de junta transversales	1,31

Deterioro de junta transversales	1,19
Agrietamiento transversal	1,48
Indice de Rugosidad Internacional (IRI)	1,73

**Fuente:** elaboración propia

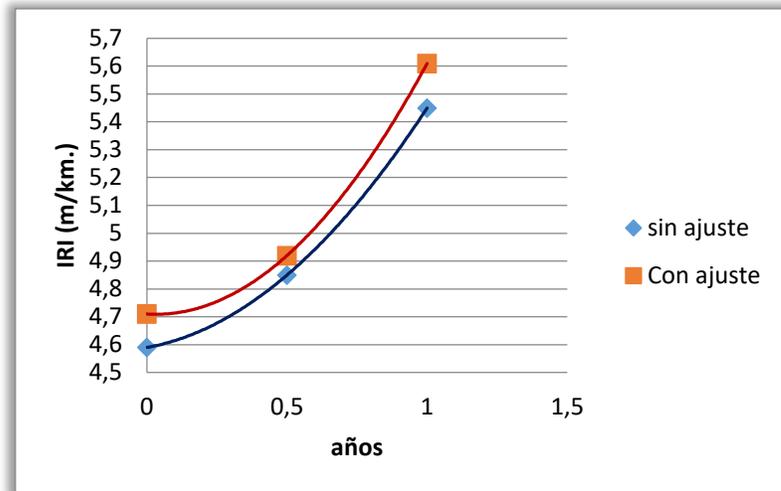
Los valores obtenidos del deterioro de las vías son coherentes antes y después realizar el ajuste con las ecuaciones del modelo de deterioro y sus respectivos factores de calibración, cabe hacer notar que se obtuvieron resultados muy similares para los tres casos de análisis estudiados, por lo que los resultados que se presentan pueden considerarse válidos para todos los tramos de la ciudad de Tarija, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.25 Comparación de resultados de ajuste del modelo deterioro HDM-4 para la gestión 2016**

Tramo	Escalonamiento de junta transversales (mm.)		Deterioro de junta transversales (desportillamiento) (%)		Agrietamiento transversal (%)		IRI (m/km)	
	Sin ajuste	Con ajuste	Sin ajuste	Con ajuste	Sin ajuste	Con ajuste	Sin ajuste	Con ajuste
<b>Avenida Circunvalación</b>	5,48	7,13	2,58	2,62	45,73	33,04	4,85	4,92
<b>Avenida Padilla</b>	6,46	8,46	4,57	5,43	35,74	27,49	5,45	5,61
<b>Avenida Las Américas</b>	5,37	7,034	2,87	3,41	1,20	3,11	4,59	4,71

**Fuente:** elaboración propia

**Figura 4.4 Comportamiento del modelo de deterioro HDM-4 para la ciudad de Tarija**



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Como producto de la evaluación de estado en los tramos de estudio se concluye que los valores de IRI tienen un rango de 6,73 a 8,87, siendo el tramo con mejor Índice de Rugosidad el de Avenida Circunvalación y el más crítico por su valor alto el tramo avenida Las Américas

Ubicación	Tramo		
	Avenida Circunvalación (m/km)	Avenida Padilla (m/km)	Avenida Las Américas (m/km)
IRI actual	<b>6,73</b>	<b>8,45</b>	<b>8,87</b>
Condición del pavimento	Vía transitable con excesiva rugosidad.	Vía transitable con excesiva rugosidad.	Vía casi intransitable con excesiva rugosidad.
PCI	53,8	36	32
Condición del pavimento	Regular	Deteriorado	Deteriorado

- En cuanto al Indicador del PCI Índice de Condición Presente se tiene que el tramo con valor más bajo es avenida Las Américas con PCI igual a 32 y el más alto del tramo avenida Circunvalación de 53,8.
- Como conclusión tenemos que el tramo con mejor condición superficial es el tramo avenida Circunvalación con indicador regular y el tramo con menor condición superficial es el tramo avenida Las Américas con un estado muy deteriorado.
- Se adoptó la metodología del programa HDM-4 para planificar y desarrollar estrategias de acción sobre el pavimento en su periodo de servicio.
- Se concluye que la condición del pavimento en el momento de evaluación y en proyección a los años de servicio del pavimento, los valores que se obtienen son la base

para la toma de decisiones sobre las acciones que deben realizarse en lo inmediato y mediano en el pavimento.

- Las acciones de conservación correctiva y periódica deben realizarse lo más antes posible en todos los tramos en estudio, estas tareas son fundamentales para evitar el deterioro acelerado del pavimento y aumentar su vida útil.
- Para realizar los mantenimientos y/o rehabilitaciones de los tramos en los 10 años de estudio, se necesitará una gran inversión. Dichas medidas de rehabilitación son urgentes, ya que debido al considerable aumento de tráfico en los tramos, estos van requerir una reconstrucción lo cual significa un costo mucho mayor.
- De acuerdo a los costos que deriva del procesamiento del HDM -4 se concluye que el tramo con mayor costo de mantenimiento es el tramo avenida Circunvalación con 267542,40 Dólares americanos para una gestión.
- De acuerdo a los resultados del HDM -4 los tramos que requieren una rehabilitación lo más pronto en el año 2016 son avenida Las Américas y Padilla.

## RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones visuales del pavimento con la finalidad de determinar las fallas presentes en la estructura, tanto en magnitud como en severidad.
- Contar con el equipo mínimo necesario, tales como odómetros, equipo de medición de rugosidad, equipos de auscultación estructural, etc., con el fin de llevar a cabo la recolección de información de deterioros, rugosidades y capacidades estructurales en los pavimentos, las cuales servirán para darle seguimiento al modelo de deterioro HDM-4.
- Elaborar un “Relevamiento de Deterioros” de los pavimentos, por lo menos una vez cada año, para llevar un registro cronológico de los daños, con el fin de utilizar esta información para el posterior modelaje del comportamiento de los pavimentos.
- El modelo de HDM-4 debe ser implementado para el mantenimiento de vías en nuestro departamento y ciudad de Tarija, pero es esencial hacer notar que la exactitud de los resultados depende de la calibración que se realizó y ajuste a las condiciones locales.

**BIBLIOGRAFÍA**

Asociación de Productores de Cemento, (2014) Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos

Calo D. (2012), Diseño de pavimentos rígidos, San Salvador de Jujuy

Kelari H. (2005), Visión general de HDM-4

León M. (2006), Evaluación de pavimento rígido y cálculo del grado de deterioro por el HDM-4

Lockhart j. (2010) Apuntes de pavimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Orozco J. ( 2004), Sistema de evaluación de pavimentos versión 2.0, Publicación Técnica No 245 Sanfandila

Salgado M. (2011), El HDM-4 y su implementación y aplicación en proyectos de Infraestructura vial, Versión 2.08 (nueva versión), El Salvador

Solorio R. (2004), Guía para el reconocimiento de fallas en pavimentos rígidos, Publicación Técnica No. 253 Sanfandila

Universidad de El Salvador (2009), Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos generados por el programa HDM-4

IV congreso regional IRF, (2014), Inventario integral de carreteras de la red vial de Bolivia