



# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Toda infraestructura vial es susceptible de ser evaluada para saber que tan buen servicio está presentando y con el programa HDM-4 podremos saber qué servicio nos brindará cada año que pasa y cómo será el deterioro del mismo pavimento a lo largo de su vida útil.

Las redes de vías son indispensables en todo país, puesto que fueron construidos como fundamento sólido para el desarrollo económico y social de la región.

Las vidas de los caminos parecen estar sometidos a un ciclo de: construcción, mantenimiento insuficiente, degradación, destrucción, reconstrucción y así sucesivamente. La causa fundamental de este proceso, es económicamente alta, es la falta de una eficiente planificación.

Con el surgimiento de nuevas ideas y el pasar de los años se creó la idea del HDM-4. Se han utilizado ampliamente distintas versiones de los modelos en diversos países que han sido fundamentales para justificar los cada vez mayores presupuestos de conservación y rehabilitación de las carreteras en muchos de ellos.

Los modelos se utilizaron para investigar la viabilidad económica de proyectos en más de 100 países y para optimizar los beneficios económicos de usuarios de carreteras bajo diferentes niveles de gastos, como tal proporcionan avanzadas herramientas de análisis de inversiones en caminos carreteros.

Con el manejo del HDM-4 y el manejo de datos técnicos, manejo de datos económicos, y la modelación de deterioros y recomendaciones de acciones con sus respectivos costos e inversiones a lo largo de la vida útil del proyecto, se podrá analizar el pavimento de concreto de la ciudad de Yacuiba.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El aumento de tamaño y densidad de la población en zonas urbanas ha generado la necesidad de realizar una evaluación y un diagnóstico de pavimentos en la ciudad de Yacuiba, que refleje el estado en el que se encuentran los mismo para comenzar a elaborar un sistema de mantenimiento.

En la ciudad de Yacuiba se presenta este problema, y se requiere resolverlo dando solución a las calles que se encuentran con mayor tráfico tanto vehicular como poblacional, ya que estas calles deben brindar un mejor servicio a los usuarios.

El modelo HDM-4 abarca todas las necesidades puesto que no es solamente un programa de lectura para el manejo automático del cálculo, sino también es el modelo que contiene un conjunto muy extenso y consistente de datos empíricos sobre el tema.

Abarca relaciones físicas y económicas derivadas de un extenso estudio sobre el deterioro de los caminos, el efecto del mantenimiento en los caminos y costos de operación de vehículos.

La aplicación del HDM-4 nos facilita el cálculo del deterioro y los efectos del mantenimiento en caminos pavimentados o no pavimentados, para una serie de alternativas de mantenimiento, es por eso que se hará el estudio de los deterioros de las calles con pavimento de concreto en la ciudad de Yacuiba.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

### **1.3.1. Situación de la problemática**

Las calles y avenidas de la ciudad de Yacuiba han sido construidas con pavimentos de concreto las cuales deben ser evaluadas por el crecimiento vehicular y de la población que han ido aumentando y han provocado algunos problemas en las calles y avenidas de algunas de estas es por eso que se aplica el programa HDM – 4 para determinar si éstas aún son aceptables para el tránsito vehicular o si es que se debe hacer algún mantenimiento de las mismas en algún momento de su vida útil.

Una importante responsabilidad de las autoridades nacionales y provinciales es la de poseer pavimentos seguros y que brinden una buena calidad de servicio al usuario, pero generalmente la disponibilidad de recursos es inferior a la requerida para mantener esa red en un nivel ideal de servicio para los usuarios.

Yacuiba requiere una vialidad de calidad segura, confortable y duradera. Para eso se debe hacer los mantenimientos requeridos y debemos conocer la vida útil de los pavimentos para brindar mejores vías a los usuarios.

### **1.3.2. Problema**

¿Aplicando el programa HDM-4 para estudiar los pavimentos de concretos de la ciudad de Yacuiba nos va a representar las condiciones de deterioro de los pavimentos a través de su vida útil?

## **1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.4.1. Objetivo general**

Aplicar el Programa HDM-4 para un análisis eficiente de la vida útil de los pavimentos de concreto urbanos de la ciudad de Yacuiba.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Ubicar las calles con mayor tráfico vehicular y peatonal.
- Obtener la información de las características de los pavimentos de concretos en estudio.
- Aplicar el programa HDM-4 a los pavimentos de concretos en estudio.
- Analizar los resultados de comportamiento del deterioro de los pavimentos.
- Establecer conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos.

## **1.5. COMPONENTES**

### **1.5.1. Métodos y técnicas empleadas**

Para las simulaciones y cálculos pertinentes, se utilizará el programa HDM-4 del Banco Mundial (Modelo de análisis de inversiones viales o Highway design and maintenance

standard model) que permite simular el proceso de deterioro de los pavimentos de concreto.

### **1.5.1.1. Método inductivo**

De acuerdo a Ander-Egg, E. (1997, p. 97) “es el razonamiento que, partiendo de casos particulares, se eleva a conocimientos generales. Este método permite la formación de hipótesis, investigación de leyes científicas y las demostraciones. La inducción puede ser completa o incompleta”.

Es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares.

El método inductivo cuando se emplea como instrumento de trabajo es un procedimiento en el que, comenzando por los datos, se acaba llegando a la teoría; se asciende de lo particular a lo general. La secuencia metodológica propuesta por los inductivistas es la siguiente:

Observación y registro de los hechos.

Análisis de lo observado.

Establecimiento de definiciones claras de cada concepto obtenido.

Clasificación de la información obtenida.

Formulación de los enunciados universales inferidos del proceso de investigación que se ha realizado.

El método inductivo puede distinguirse en cuatro pasos esenciales que son los siguientes:

La observación de los hechos para su registro.

La clasificación y el estudio de estos hechos.

La derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización-La contrastación.

Aplicando el método inductivo a la aplicación del HDM-4 para el análisis de pavimentos de concreto urbanos de la ciudad de Yacuiba los pasos son los siguientes:

Hacer el reconocimiento del lugar y un registro y recopilación de datos de todas las calles que serán analizadas por el HDM-4

Efectuar un análisis de todos los registros de datos, el paquete estructural, el clima y temperatura.

Instaurar un análisis del tráfico además de hacer un estudio a los pavimentos de concreto urbanos en su creación inicial, además de hacer un estudio de las fallas que se presentan en los pavimentos de concreto de las calles que están siendo analizadas.

Clasificar las calles para un mejor análisis para aplicar el programa HDM-4.

Efectuar con todos los resultados relacionados con el programa HDM-4 un análisis de resultados de la durabilidad del pavimento en cada año que pasa, para tomar decisiones adecuadas a los usuarios y el buen uso de la vía.

### **1.5.2. Procedimiento de aplicación**

La aplicación del programa HDM-4 en los pavimentos de concreto en la ciudad de Yacuiba se aplica a todas las calles urbanas de la ciudad. La ubicación de estas calles se las seleccionará de acuerdo a su vida útil en servicio desde que fueron construidas.

Para esto se hará una entrevista a los funcionarios públicos para que accedan a darnos la información adecuada de los pavimentos de concreto los cuales serán parte del estudio.

Una vez que se tenga la información de las ubicaciones de los pavimentos que serán analizados, se hará una revisión bibliográfica en cuanto a los pavimentos de concreto y al programa HDM-4.

Con toda la información requerida, se elegirá 30 calles que serán analizadas, realizando una inspección del estado actual de las calles; éstas serán aquellas que tengan cerca un tráfico vehicular recurrente o un uso de los usuarios muy concurrente.

Sucesivamente se tendrá que hacer un aforo de los vehículos y el análisis del paquete estructural en su inicio.

Se ingresará al programa HDM-4 con todos los datos necesarios, se analizará el deterioro del pavimento con cada año que pasa y se podrá observar los resultados de las curvas de deterioro.

Se examinará los resultados y se considerará la durabilidad del pavimento de cada calle con el programa del HDM-4.

## **1.6. ALCANCE**

Para realizar el presente trabajo se seguirá el siguiente procedimiento:

Se analizarán las bases teóricas que tiene el programa HDM 4 para su aplicación en la evaluación de pavimentos de concreto, de manera que se pueda desarrollar un procedimiento adecuado para evaluar estos pavimentos y establecer las bases para las acciones y gestión a través del tiempo.

Se hará una evaluación de las condiciones con las que funciona el pavimento de concreto tanto en tráfico como en sus propiedades del pavimento para optimizar el uso de la infraestructura vial. Se podrán planificar el tráfico que tendrá en el futuro, con el fin de tomar medidas necesarias para que los pavimentos tengan un comportamiento seguro tanto de personas como de los vehículos.

También se obtendrán datos reales de la construcción y el diseño de las vías que serán analizadas para que se pueda introducir al programa y se pueda evaluar su deterioro.

Se aplicará el programa del HDM 4 para evaluar las condiciones actuales y futuras de los pavimentos en el estudio de manera que se obtengan un conjunto de acciones a corto y largo plazo para mantener el pavimento en condiciones aceptables técnicamente para los usuarios.

Con los resultados obtenidos en el programa HDM 4 se procederá a realizar un plan de gestión a través de los años de vida útil para los pavimentos de concreto estudiados.

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO**

#### **2.1. PAVIMENTOS**

El pavimento es un elemento de vital importancia en la red de infraestructura vial urbana. En las vías urbanas los pavimentos no solamente sirven para el transporte de personas y bienes, sino que brindan un entorno físico y social en el cual el ciudadano desarrolla sus actividades cotidianas, influyendo de forma significativa en su calidad de vida. El primer pavimento urbano de concreto se construyó en la avenida principal de la ciudad de Bellefontaine en Ohio, Estados Unidos en 1891. Al iniciarse el siglo XX el pavimento de concreto era predominante a escala internacional, por facilitar la comunicación y los negocios. La intrincada geografía de Bolivia, impulsó un rápido desarrollo de la aeronáutica. Los primeros pavimentos de concreto corresponden a la construcción del aeropuerto de la ciudad de La Paz, concluyéndose su construcción en 1965 con 34 años de operación y en 1999 tuvo su primer mantenimiento. Desde 1974 hasta 1977 se concluye la autopista de La Paz – El Alto y los primeros pavimentos de concreto urbanos fueron construidos en La Paz Sopocachi – Miraflores.

Un pavimento puede definirse como una estructura constituida por un conjunto de capas de materiales apropiados, cuyas funciones son:

Proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tránsito de vehículos en forma segura, rápida, cómoda y económica.

Transmitir adecuadamente a las terracerías las cargas aplicadas por las llantas de los vehículos.

Ser estable ante las solicitaciones ambientales a que se verá sometido, de tal forma que se conserve en buen estado durante su vida útil.

La Ingeniería de Pavimentos tiene por objetivo el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la gerencia de pavimentos, de tal modo que las funciones sean desempeñadas con el menor costo para la sociedad. Tratándose, esencialmente, de una actividad multidisciplinaria, donde están involucrados conceptos y técnicas de las



Ingenierías: geotécnica, de estructuras, de materiales, de transportes y de sistemas, y en vista de su importancia se debe estimar y efectuar el mantenimiento de pavimentos existentes.

En un camino no pavimentado, las condiciones de funcionamiento son precarias, lo que genera limitaciones en las velocidades y las cargas de los vehículos, también se elevan los costos operacionales (mantenimiento y combustible). La utilización de un camino de tierra depende de las condiciones climáticas y de un drenaje satisfactorio. En un camino con revestimiento primario (cascajo o un suelo pedregoso arenoso), las condiciones climáticas pueden ser menos importantes, pero si un drenaje eficaz.

Un pavimento difícilmente sufre una ruptura catastrófica a menos que exista un error en el proyecto geotécnico en casos como los de pavimentos asentados en terraplenes sobre suelos expansivos. Esa degradación se da, usualmente, de forma continua a lo largo del tiempo, desde la abertura al tráfico por medio de mecanismos complejos y que no están íntegramente relacionados, donde gradualmente se van acumulando deformaciones plásticas y siendo formadas a través de las capas (asfálticas o cementadas), provenientes de una combinación entre la acción de las cargas del tráfico y los efectos de la intemperie (variaciones de temperatura y humedad a lo largo del tiempo). Además, la condición de “ruptura” de un pavimento es, hasta cierto punto, indefinida y subjetiva, existiendo divergencias entre los técnicos y administradores en cuanto al mejor momento para restaurar un pavimento que presenta un cierto nivel de deterioro estructural y/o funcional.

**Tabla 2.1 Beneficios de los pavimentos de concreto.**

Beneficios	Concreto
Seguridad vial	Reduce el salpiqueo de agua superficial (nose ahuella, no se empoza). Mejor adherencia superficial: textura rugosa para mejor adherencia entre pavimento y neumáticos
	Mayor visibilidad: * 3 veces más reflejante que el asfalto. * Ahorro en costos de iluminación en vías urbanas hasta un 30% de energía.
	Planicidad superficial: Conserva textura superficial por más tiempo.
Cuidado del medio ambiente	Ahorro de combustible en camiones puede ir de 0,8 % a 6,9 % en Comparación al asfalto.
	Se reduce las emisiones de dióxido de carbono y otras.
	Requiere de 3 a 5 veces energía en su construcción, mantenimiento y rehabilitación.
	Es 100 % reciclable.
	Reduce el efecto de calor urbano, por su color y propiedad reflectora.

**Fuente: Asociación Canadiense del Concreto Premezclado**

## 2.2. ANÁLISIS DE PAVIMENTOS

En la actualidad, la mayoría de los pavimentos importantes del país están constituidas por un sistema de pavimento rígido con juntas o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP).

Los pavimentos pueden ser definidos como estructuras en capas, las cuáles son diseñadas para disipar la energía producida por las cargas de los vehículos, personas o medios de transporte; sin que ésta rebase la capacidad de carga del terreno natural.

Con la edad del pavimento, su condición gradualmente se deteriora hasta un punto donde es necesario algún tipo de tratamiento de rehabilitación. Así, el periodo de desempeño es aquel periodo que se encuentra entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El periodo de desempeño también puede denominarse como periodo de diseño. La selección del periodo dependerá de la clasificación funcional del pavimento, el tipo y nivel de mantenimiento aplicado, los fondos disponibles para la construcción inicial, ciclos de costo de vida, y otras consideraciones ingenieriles. Para el periodo de desempeño, el diseñador debe seleccionar los límites mínimos y máximos, los cuales vienen dados por la experiencia de la agencia de transportes y sus políticas. Debe tenerse claro que el periodo de desempeño

máximo, es una cantidad práctica máxima del tiempo que el usuario puede esperar de una etapa dada. Es decir, si la experiencia indica que las áreas de pavimentos originalmente diseñados para al menos 20 años, requerirán algún tipo de rehabilitación dentro de los primeros 15 años posteriores a la construcción, será este periodo de 15 años el que corresponderá al periodo de desempeño máximo para ese pavimento.

### **2.2.1. Tipos de pavimentos**

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse de dos formas:

- a) De acuerdo al material que compone su capa de rodadura.
- b) Según la forma en que la estructura de éstos atiende y transmite las cargas aplicadas sobre su superficie.

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

Pavimentos de tierra.

Pavimentos de piedra.

Pavimentos de adoquines.

Pavimentos de concreto hidráulico.

Pavimentos de concreto asfáltico.

**Figura 2.1 Pavimento de tierra**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.2 Pavimento de piedra**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.3 Pavimento de adoquines.**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.4 Pavimento de concreto hidráulico.**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.5 Pavimento de concreto asfáltico.**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**B) Según la forma:** Los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, pero además aparece otro tipo de pavimento llamado semirígido, que no es más que un pavimento a cuya base se le ha aumentado su rigidez por efecto de la adición de asfalto o cemento.

Pavimentos flexibles.

Convencionales de base granular, base asfáltica. o pavimentos full-depth.



Fuente: (Cámara de comercio del cemento, 2014)

Pavimentos con tratamiento superficial (pueden ser rígidos y semirígidos también).

Pavimentos rígidos.

Pavimentos semirígidos.

**Figura 2.7 Sección transversal pavimento rígido**



Fuente. (Cámara de comercio del cemento, 2014)

### **2.2.1.1. Pavimento con tratamiento superficial**

Los tratamientos superficiales dobles o triples pueden ser utilizados como capas de revestimiento en carreteras de tráfico leve a medio. Se construyen mediante la aplicación de capas de ligantes bituminosos sobre las cuales se conforman capas de materiales pétreos compactados cuya granulometría debe ser rigurosamente controlada para satisfacer las exigencias de las especificaciones técnicas adoptadas en el proyecto.

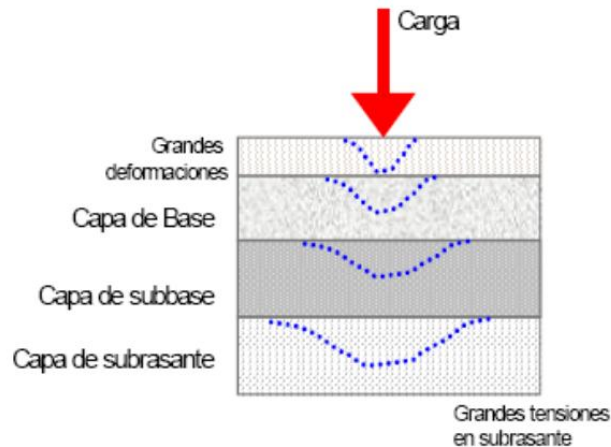
El deterioro del revestimiento se produce principalmente por la fisuración debida a la fatiga y/o al desgaste. Los tratamientos superficiales simples que deben ser utilizados apenas para accesos donde el tráfico de proyecto es del orden del 1% del tráfico de proyecto de las fajas de rodadura, o para la protección provisoria de bases granulares hasta que el revestimiento definitivo sea construido.

### **2.2.1.2. Pavimentos flexibles**

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento

producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento es significativa.

**Figura 2.8 Sección transversal de deformaciones de un pavimento flexible**



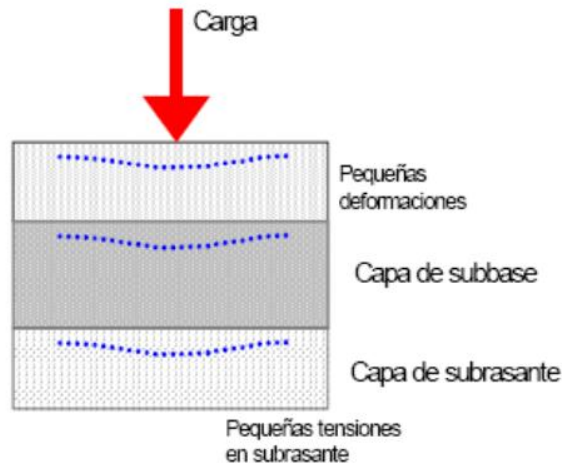
Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

### **2.2.1.3. Pavimentos rígidos**

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción debajo de la losa se produce su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. es denominada sub base. Por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte es inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles.



**Figura 2.9 Sección transversal de deformaciones de un pavimento rígido**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

#### **2.2.1.4. Pavimentos semirígidos**

En términos amplios, un pavimento semirígido o compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico.

La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves.

### **2.3. PAVIMENTO DE CONCRETO**

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que los constituye. Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante.

Existen diferentes tipos de pavimentos de concreto:

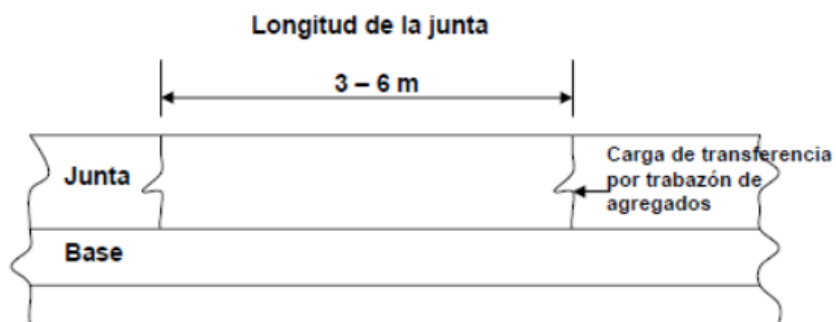
Pavimentos de concreto simple con juntas

Pavimentos de concreto reforzado con juntas

Pavimentos de concreto continuamente reforzados

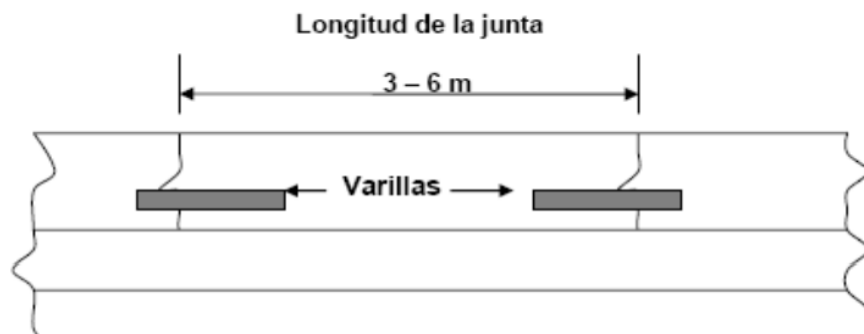
Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean.

**Figura 2.10 Pavimento de concreto sin dovelas o barras de transferencia (JPCP)**



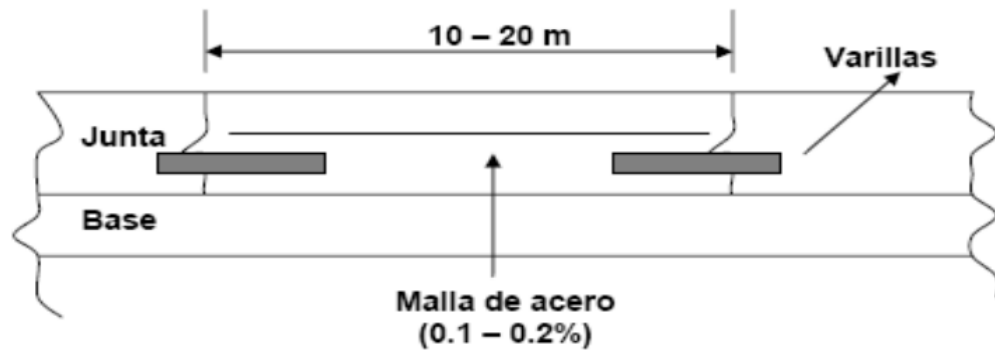
Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.11 Pavimento de concreto con dovelas o barras de transferencia (JPCP)**



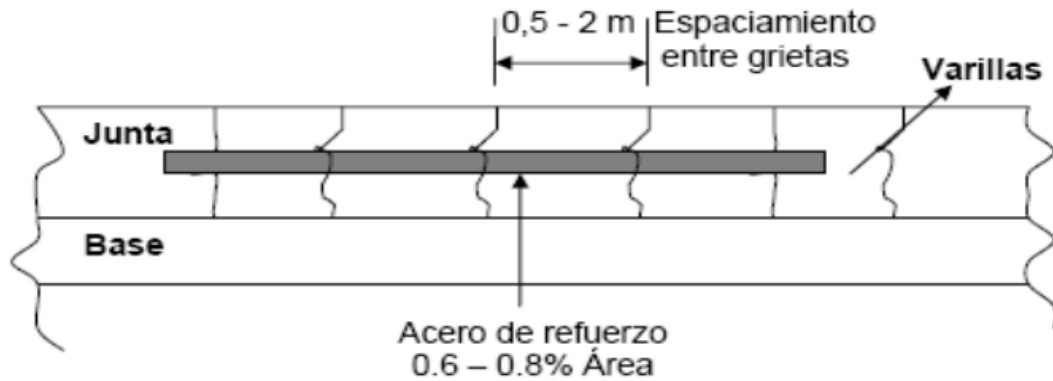
Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.12 Pavimento de concreto con refuerzo discontinuo distribuido sin función estructural (JRCP)**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

**Figura 2.13 Pavimento de concreto con refuerzo continuo sin función estructural (CRCP)**



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos.

## 2.4. TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

La superficie de rodamiento de un pavimento de concreto es proporcionada por losas de hormigón hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su rigidez, distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasa juntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin

que se presente la falla estructural. Este punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculos de pavimentos de concreto, sistemas que combinan el espesor y la resistencia de hormigón de las losas, para una carga y suelos dados. Aunque en teoría las losas de hormigón hidráulico pueden colocarse de forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de hormigón hidráulico y la subbase que se construye sobre la capa subrasante.

### **Existen 5 tipos de pavimentos de concreto:**

Hormigón simple

Hormigón simple con barras de transferencia de carga.

Hormigón reforzado y con refuerzo continuo.

Hormigón presforzado.

Hormigón fibroso.

#### **a. Pavimentos de hormigón simple**

Se construyen sin acero de refuerzo y sin barras de transferencia de cargas en las juntas. Dicha transferencia se logra a través de la trabazón entre los agregados de las dos caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o corte de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso tener losas cortas. Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo.

#### **b. Pavimentos de hormigón simple con barras de transferencia de carga**

Se construyen sin acero de refuerzo; sin embargo, en ellos se disponen de barras lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de cargas, requiriéndose también que las losas sean cortas para controlar el agrietamiento.

### **c. Pavimentos reforzados**

Contienen acero de refuerzo y pasa juntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de carga a través de ellas.

### **d. Pavimentos con refuerzo continuo**

Por su parte, se construyen sin juntas de contracción. Debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia de refuerzo, se desarrolla una gran transferencia de carga en las caras de las fisuras. Normalmente un espaciamiento de juntas que no exceda los 4,50 m tiene un buen comportamiento en pavimentos de hormigón simple, así como uno no mayor a 6m en pavimentos con pasa juntas, ni superior a 12 m en pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a estos, han sido empleados con alguna frecuencia, pero han generado deterioros, tanto en las juntas, como en las fisuras transversales intermedias.

### **e. Los pavimentos con hormigón presforzado**

Están constituidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120 m de longitud, con una reducción del 50 % del espesor de la losa. Sin embargo, pese a los esfuerzos para desarrollar esta técnica, en carreteras se han producido más dificultades que ventajas. Ha tenido en cambio más aplicación en aeropuertos en los cuales han habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.

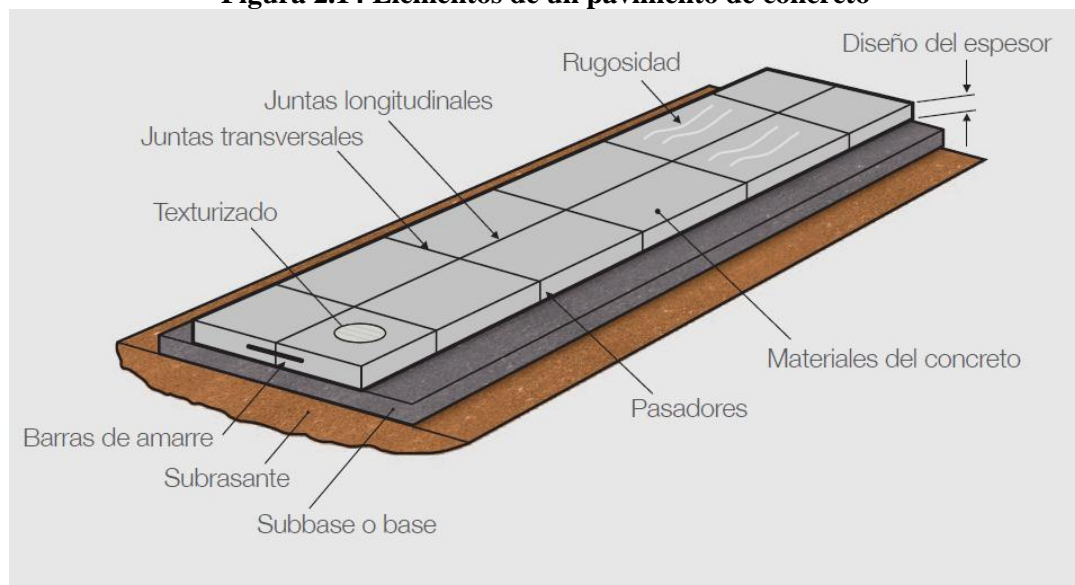
## f. Pavimentos de hormigón fibroso

En este tipo de losas el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de la resistencia a la tensión y a la fatiga, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. con una dosificación de unos 40 kg/m<sup>3</sup> de hormigón, es posible reducir el espesor de la losa en 30 % y aumentar el espaciamiento entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo.

## 2.5. ELEMENTOS DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

La estructura de un pavimento se halla formada por diferentes capas las cuales son: la sub-rasante, 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.

**Figura 2.14 Elementos de un pavimento de concreto**



**Fuente: American Concrete Pavement Association (ACPA)**

### 2.5.1. Suelo subrasante

Es el suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural, se define como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura del pavimento; es decir, que es el terreno de cimentación del mismo. Puede ser también el suelo natural, pero si éste es deficiente se debe seleccionar un material con mejores propiedades. Existen dos condiciones básicas que debe cumplir el suelo de soporte, y son:

Debe mantener el mayor valor posible de soporte, ya que entre más fuerte se considere ésta superficie menor será el costo de las capas superiores.

El movimiento diferencial vertical debe ser mínimo, de ésta forma las ondulaciones en la superficie serán menores y el rodamiento vehicular será más suave.

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 de soportes establecidos mediante otros ensayos.

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

**Tabla 2.2: Valores para 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

Fuente: Fiuba apuntes de pavimentos

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

**Tabla 2.3: Valores para k de la subrasante para espesores de sub base**

Espesor de la subbase en cm. (subrasante con $k=2,8 \text{ kg/cm}^3$ )	Valor k para el diseño ( $\text{kg/cm}^3$ )
10	8,4
12,5	11,2
15	14

Fuente: Fiuba apuntes de pavimentos

En caso de construirse subbase granulares no cementadas se aconsejan los siguientes valores de k:

**Tabla 2.4: Valores para k de la subbase granulares no cementadas**

Espesor de la subbase en cm. (subrasante con $k=2,8 \text{ kg/cm}^3$ )	Valor k para el diseño ( $\text{kg/cm}^3$ )
10	3,6
15	3,9
22,5	4,4
30	5,3

Fuente: Fiuba apuntes de pavimentos

### 2.5.2. Sub base

Es una capa de materiales pétreos de buena graduación construida sobre la sub -rasante Este elemento subyace a la capa base cuando ésta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. En el caso de los pavimentos rígidos, en ocasiones resulta conveniente colocar una sub-base cuando las especificaciones son más exigentes. Las funciones que ésta capa debe cumplir son:

Atenuar o suavizar aquellas deformaciones perjudiciales para la sub -rasante como por ejemplo, los cambios volumétricos producidos por cambios de humedad, evitando que se reflejen en la superficie del pavimento.

Lograr espesores menores de la capa base para pavimentos flexibles. Servir de drenaje al pavimento, esto quiere decir que debe ser capaz de desalojar el agua que se infiltra en la capa de rodadura.

Transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante en forma adecuada.



Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que, por estar bajo la base, queda sujeta a esfuerzos menores y requiere de especificaciones menos rígidas.

Una sub base apropiada en todas las carreteras de tráfico pesado. 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:

**Tabla 2.5 Agregado grueso para sub base**

Tamiz	% que pasa
1 ½ "	100
¾ "	72-100
3/8 "	50 - 84
N° 4	37 - 70
N° 20	16 - 45
N° 60	9 - 35
N° 200	5 - 25

Fuente: Fiuba apuntes de pavimento

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

Límite líquido	25 % max.
Índice de plasticidad	6 % max.
Desgaste de los ángeles	40 % max.
Contracción lineal	4 % max.
Equivalente de arena	25 % min.
<b>CBR</b>	
Menos de 500 veh. pesados por día	50 % min.
Más de 500 veh. pesados por día	<b>60 min.</b>

### **2.5.3. Base**

Constituye la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la sub-base. Generalmente se usa en los pavimentos flexibles y se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Entre sus funciones tenemos:

Drenar el agua que se filtra a través de las carpetas y hombros.

Resistir los cambios de temperatura, humedad y la desintegración por abrasión producida por el tránsito.

Reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten a las capas inferiores.

Proveer suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella, y transmitirla a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una subbase o una sub-rasante.

Función económica, permite reducir el espesor de la carpeta asfáltica, que es la más costosa.

#### **Las bases se pueden clasificar en dos tipos:**

Base granular: los materiales empleados pueden ser grava o piedra triturada, suelo y arena; la estabilidad del material depende de su fricción interna y de su cohesión. Una base granular es un conjunto de agregados mezclados entre sí, en donde una alta fricción interna se consigue con agregados bien graduados, de forma irregular y con una pequeña cantidad de finos limo – arenosos.

Base estabilizada: suelo con cemento Portland, cal o asfalto. Se recurre a ella por motivos de tipo económico, en los casos en que resulta más favorable recurrir al mejoramiento del suelo existente en el lugar, sin tener que transportar otros materiales desde grandes distancias. Como ejemplo de este tipo de bases podemos mencionar: grava-emulsión, suelo-emulsión, suelo-cemento, etc.

### **2.5.4. Capa de rodamiento**

Formada por una o varias capas que se colocan sobre la base, dichas capas consisten en materiales granulares con o sin liga, y por lo general son de concreto asfáltico o hidráulico.

Este es el elemento del pavimento sobre el cual circulan directamente los vehículos y peatones.

**Tabla 2.6 MR recomendado por tipo de vía**

Tipo de vía	MR recomendado (Kg/cm <sup>2</sup> )
Autopistas	48
Urbanas principales	45
Urbanas secundarias	42

Fuente: Duravía concretando caminos-UNICON

Las funciones que esta capa debe cumplir son:

Recibir y absorber en primera instancia el peso de los vehículos que circulan sobre la vía.

Minimizar sensiblemente los esfuerzos que se transmiten hacia la terracería.

Si la rodadura posee un espesor mayor o igual a cinco centímetros, se considera que trabaja junto al resto de capas para soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

Proveer una superficie estable para el tránsito, uniforme, prácticamente impermeable, con una textura y color convenientes y que a la vez sea capaz de resistir los efectos abrasivos del tráfico.

### **2.5.5. Las juntas**

Por la naturaleza misma del concreto es necesario controlar la fisuración y permitir el movimiento relativo entre paños adyacentes mediante el empleo de juntas.

Las juntas son cortes longitudinales y transversales que tienen el rol de inducir fisuras por contracción del concreto, aislar el movimiento de los paños de elementos ajenos al pavimento, como buzones, por ejemplo, y ser incluso parte del procedimiento constructivo del pavimento.

### **2.5.5.1. Juntas longitudinales**

Se instalan para controlar el agrietamiento longitudinal, espaciándolas 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 en el pavimento con esas condiciones se ha observado un 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 con bordes libres.

### **2.5.5.2. 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.

**Tabla 2.7 Separación entre juntas transversales**

Tipo de agregado grueso	Máxima separación entre juntas transversales (m)
Granítico partido Calcáreo partido Grava calcárea	6,0
Grava silíceo Grava menor de 20mm (3/4") escoria	4,5

Fuente: Fiuba apuntes de pavimentos

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.

### **2.5.5.3. 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 tramos 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.

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.

#### **2.5.6. Mecanismo de transferencia de carga y confinamiento**

Dependiendo del tipo de solicitaciones de carga de tránsito y del diseño geométrico de la vía, el pavimento contará con mecanismos de transferencia de cargas entre paños adyacentes y confinamiento lateral.

##### **Transferencia de carga**

Se puede dar mediante la trabazón de los agregados o mediante el empleo de pasadores en las juntas de contracción transversal. Los pasadores son barras de acero lisas con bordes redondeados que se colocan en el plano perpendicular al corte de la junta transversal. Deben estar centrados y permitir el movimiento de los paños adyacentes. No deben restringir su movimiento.

**Tabla 2.8 Características de los pasadores con relación al espesor de la losa.**

Espesor del concreto		Barras pasajuntas		
		Diametro	Longitud	Separacion
		mm	cm	cm
13	15	19	41	30
15	20	25	40	30
20	30	32	45	30
30	43	38	50	35
43	50	45	55	45

Fuente: Duravía concretando caminos-UNICON

### **Confinamiento lateral**

El confinamiento lateral es importante ya que controla las tensiones por flexión, así como las deflexiones en las losas. Las bermas son una forma de confinamiento que pueden ser: de concreto, como una extensión del pavimento o independientes vinculadas o no vinculadas de asfalto o de material granular. Adicionalmente un mecanismo que aporta al confinamiento lateral es el empleo de barras de amarre.

Las barras de amarre son de acero corrugado que controlan el movimiento lateral de los carriles. Se colocan perpendiculares a la junta longitudinal, siendo por lo general de: 3/8, 1/2 o 5/8 de pulgada de diámetro; con longitudes que varían desde 50 cm hasta 100 cm; y que están espaciadas entre 50 y 100 cm.

### **2.5.7. Texturizado (micro y macro)**

El objetivo de texturizar la superficie del concreto es entregarle al pavimento las cualidades necesarias que logren el contacto neumático – carpeta de rodadura que permitan el tránsito de los vehículos en condiciones seguras.

El micro texturizado es el que se logra aplicando una llana húmeda sobre la superficie del pavimento.

El macro texturizado se logra mediante herramientas mecánicas como peines con cerdas metálicas o aparatos más sofisticados que pueden ser incorporados en el tren de pavimentado.

**Figura 2.15 Micro texturizado**



Fuente: Duravía concretando caminos-UNICON

**Figura 2.16 Macro texturizado**



Fuente: Duravía concretando caminos-UNICON



## **2.5.8. Materiales necesarios para la elaboración de una estructura de pavimento de concreto.**

### **2.5.8.1. Cemento**

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Portland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas NMX - C-414 - 1999 - ONNCCE. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Portland Ordinario) y CPP (Cemento Portland Puzolánico) dependiendo del caso y con sub - clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP.

Es importante que se cumplan respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02.004-C de las Normas de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7 m) de altura. Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día ó una jornada de producción normal. Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

### **2.5.8.2. Agua**

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma NMX-C122, debe ser potable y, por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

**Tabla 2.9 Especificaciones- materiales- sustancias perjudiciales en el agua**

Sustancias perjudiciales	Ppm máximo
Sulfatos (convertidos a Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	1,0
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,0
Materia orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50,0
Turbiedad y/o lignito	1,5

Fuente: CEMEX

El pH, medido según norma ASTM D -1293, no podrá ser inferior a cinco (5).

El contenido de sulfatos, expresado como SO<sub>4</sub>, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l).

### **2.5.8.3. Materiales pétreos**

Estos materiales se sujetarán al tratamiento o tratamientos necesarios para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en cada caso, debiendo el contratista prever las características en el almacén y los tratamientos necesarios para su ulterior utilización. El manejo y/o almacenamiento subsecuente de los agregados, deberá hacerse de tal manera que se eviten segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y de que se mantenga una condición de humedad uniforme, antes de ser utilizados en la mezcla.

#### **Grava**

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia de la concreta señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

**Tabla 2.10 Especificaciones- materiales-granulares de la grava**

Malla		% Que pasa
2"	50 mm	100
1 1/2 "	37,5 mm	95-100
3/4"	19 mm	37-70
3/8 "	9,5 mm	10-30
N° 4	4,75 mm	0-5

**Fuente: CEMEX**

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla

**Tabla 2.11 Especificaciones- materiales- sustancias perjudiciales en grava**

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>%</b>
Partículas deleznable	0,25
Partículas suaves	5,0
Pedernal como impureza	1,0
carbón mineral y/o lignito	1,0

**Fuente: CEMEX**

El agregado grueso, además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Desgaste “Los Ángeles” 40 % máximo

Intemperismo Acelerado 12 % máximo (utilizando sulfato de sodio)

Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el especificador podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en la que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en

donde vayan a ser utilizados. En ninguno de los casos mencionados se deberán obtener desgastes mayores del cuarenta por ciento (40%).

En caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado grueso a juicio del supervisor se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor al doce por ciento (12%), en el entendido que el cumplimiento de esta característica no excluye las mencionadas anteriormente.

Arena: el agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve puntos cincuenta y un milímetros (9.51 mm) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

**Tabla 2.12 Especificaciones- materiales-granulometría de la arena**

Malla		% Que pasa
3/8	9,50 mm	100
N° 4	4,75 mm	95-100
N° 8	2,36 mm	80-100
N° 16	1,18 mm	50-85
N° 30	600 µm	25-60
N° 50	300 µm	10-30
N° 100	150 µm	2-10
N° 200	75 µm	4 máximo

Fuente: CEMEX

La arena deberá estar dentro de la zona que establece esta tabla excepto en los siguientes casos:

Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables, en el concreto elaborado con ellos, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría.

El porcentaje de material que pasa la malla N° 200 esta modificado según los límites de consistencia lo cual se indica en la siguiente Tabla 2.13:

**Tabla 2.13 Especificaciones- materiales- ajustes granulometría**

Límite líquido	Índice Plástico	Material máximo permisible en masa que pasa por la criba 0,075 (N° 200), en porcentaje.
Hasta 25	Hasta 5	18
Hasta 25	5-10	16
Hasta 25	10-15	6
Hasta 25	15-20	4
Hasta 25	20-25	1
25-35	Hasta 5	16
25-35	5-10	14
25-35	10-15	11
25-35	15-20	8
25-35	20-25	1
35-45	Hasta 5	15
35-45	5-10	9
35-45	10-15	6
35-45	15-20	2
35-45	20-25	1
45-55	Hasta 5	9
45-55	5-10	8
45-55	10-15	5
45-55	15-20	4
45-55	20-25	1

Fuente: CEMEX

La arena no deberá tener un retenido mayor al cuarenta y cinco por ciento (45 %), entre dos (2) mallas consecutivas; además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Equivalente de arena 80 % máximo
- Módulo de finura 2,30 mínimo y 3,10 máximo
- Intemperismo acelerado 10 % máximo (empleando sul. sodio)

Al ser modificado el porcentaje de material que pasa la malla N° 200 según los límites de consistencia el equivalente de arena también debe de ser modificado.

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

**Tabla 2.14 Especificaciones- materiales-sustancia perjudiciales en la arena**

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>% Máximo</b>
Partículas deleznales	1
Carbón mineral y/o lignito	1

**Fuente: CEMEX**

En caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio de la secretaría se llevará a cabo la determinación de la pérdida por Intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor al 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.

Reactividad.

Deberá verificarse mediante análisis petrográficos y/o la prueba química rápida que los agregados (grueso y fino) para la elaboración de la mezcla de concreto no sean potencialmente reactivos.

#### **2.5.8.4. Aditivos.**

Deberán emplearse aditivos del tipo “D” reductores de agua y retardantes con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23° C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado. Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora. Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla, también se utilizará un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260. Estos aditivos se transportarán desde la fábrica hasta la planta de concreto en camiones cisternas y se depositarán en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

#### **2.5.8.5. Concreto**

El diseño de la mezcla, utilizando los agregados provenientes de los bancos ya tratados, será responsabilidad del productor de concreto quien tiene la obligación de obtener la resistencia y todas las demás características para el concreto fresco y endurecido, así como las características adecuadas para lograr los acabados del pavimento. Durante la

construcción, la dosificación de la mezcla de concreto hidráulico se hará en peso y su control durante la elaboración se hará bajo la responsabilidad exclusiva del proveedor, es conveniente que el suministro se realice por proveedores profesionales de concreto.

### Resistencia

La resistencia de diseño especificada a la tensión por flexión ( $S'c$ ) o Módulo de Ruptura (MR) a los 28 días, se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15 x 15 x 50) centímetros, compactando el concreto por vibro compresión y una vez curados adecuadamente, se ensayarán a los 3, 7 y 28 días aplicando las cargas en los tercios del claro. (ASTM C 78).

Especímenes de prueba se deberán tomar muestras de concreto para hacer especímenes de prueba para determinar la resistencia a la flexión durante el colado del concreto. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto cuando la resistencia del mismo a temprana edad límite la apertura del pavimento al tránsito. El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma ASTM C 172. La frecuencia de muestreo será de 6 especímenes para prueba de módulo de ruptura y 3 especímenes más para determinar el módulo elástico y resistencia a la compresión por cada 150 m<sup>3</sup> de producción de concreto. En el caso de la determinación del módulo de ruptura, se ensayarán dos especímenes a los 3 y 7 días de colado, y los otros dos restantes a los 28 días. En el caso de la determinación del módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, se ensayará un espécimen por cada prueba a los 3 y 7 días de colado, y el restante a los 28 días de transcurrido el colado. La apertura al tránsito vehicular del pavimento no podrá realizarse antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura del setenta y cinco por ciento (75 %) de la especificada de proyecto como mínimo. En caso de ser necesario, con ayuda de un consultor capacitado, se podrán revisar los esfuerzos actuantes a los que estará sometido el pavimento y se permitirá abrir al tráfico cuando la relación entre esfuerzo actuante entre resistente sea de 0.5.

**Tabla 2.15 Especificaciones- materiales-resistencia de concreto recomendado**

<b>Sustancias perjudiciales</b>	<b>Kf/cm2</b>
Autopistas y carreteras	48
Zonas industriales y urbanos principales	45
Urbanos secundarios	42

**Fuente: CEMEX**

Trabajabilidad.

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá especificarse de acuerdo con el procedimiento de colocación a utilizar:

Para tendido con cimbra deslizante deberá ser de cinco centímetros (5 cm) mas – menos uno punto cinco centímetros (1,5 cm) al momento de su colocación.

Para colados con cimbra fija deberá ser de diez centímetros (10 cm) mas– menos dos centímetros (2 cm)) al momento de su colocación.

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes, y no se permitirá su colocación para la losa de concreto.

El concreto deberá de ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. El concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie del pavimento, así como el que no presente una apariencia pastosa. Cuando aparezca agua en la superficie del concreto en cantidades excesivas después del acabado se deberá efectuar inmediatamente una corrección por medio de una o más de las siguientes medidas:

Rediseño de la mezcla

Adición de relleno mineral o de agregados finos

Incremento del contenido de cemento

Uso de un aditivo inclusor de aire o equivalente, previamente aprobado.



#### **2.5.8.6. Membrana de curado.**

Para el curado de la superficie del concreto recién colada deberá emplearse una membrana de Curado de emulsión en agua y base parafina de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en las normas ASTM C171, ASTM C309, Tipo 2, Clase A, AASHTO M 148, Tipo 2, Clase A. Este tipo de membranas evitan que se tapen las esperas de los equipos de rociado.

Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención del agua de la mezcla. El pigmento blanco refleja los rayos solares ayudando a mantener la superficie más fresca y prevenir la acumulación de calor.

#### **2.5.8.7. Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante ó pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

##### **Barras de amarre.**

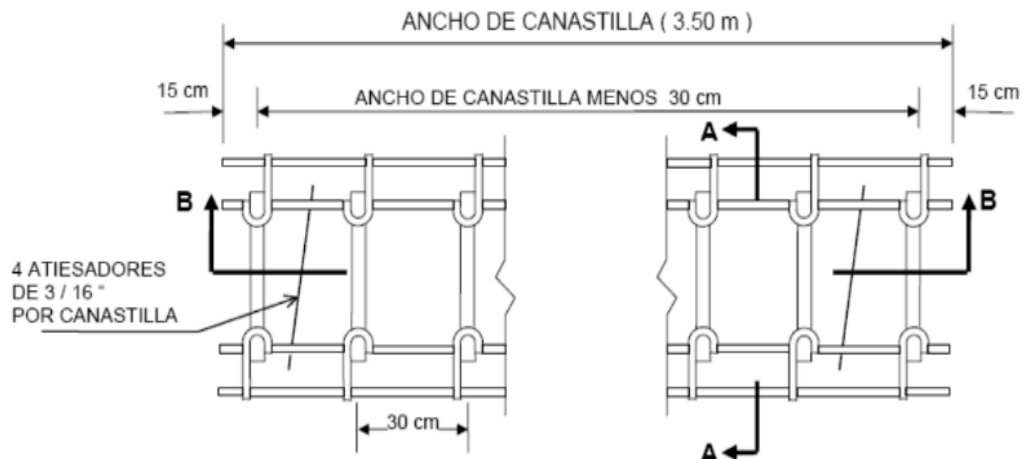
En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia ( $f_y$ ) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado (4,200 kg/cm<sup>2</sup>), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

##### **Barras pasajuntas.**

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el supervisor del proyecto se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto. Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su

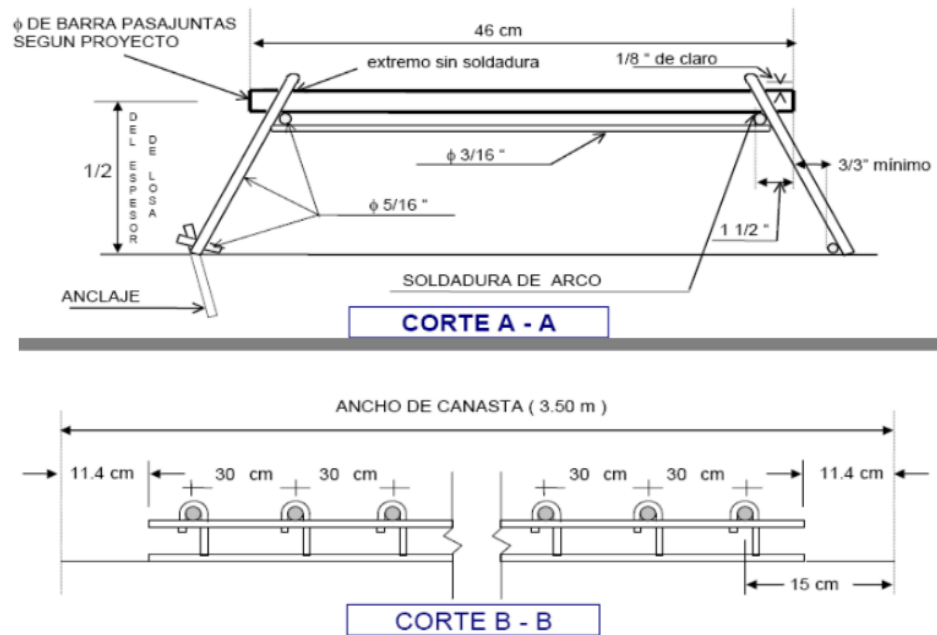
plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ( $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ ), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el especificador del proyecto. Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

**Figura 2.17 Pasajuntas en juntas transversales de contracción vista en planta**



Fuente: UNI Deterioro de Pavimento

**Figura 2.18 Pasajuntas en juntas transversales de contracción vista en cortes**



Fuente: UNI Deterioro de Pavimento

#### 2.5.8.8. Sellador para juntas.

El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente. A menos de que se especifique lo contrario, el material para el sellado de juntas deberá cumplir con los requerimientos aquí indicados. El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles. En ningún caso se podrá emplear algún material sellador no autorizado por el especificador. Para todas las juntas de la losa de concreto se deberá emplear un sellador de silicón o similar de bajo módulo autonivelable. Este sellador deberá ser un compuesto de un solo componente sin requerir la adición de un catalizador para su curado. El sellador deberá presentar fluidez suficiente para autonivelarse y no requerir de formado

adicional. Asimismo se deberá colocar respetando el factor de forma (altura de silicón / ancho del silicón en el depósito) mismo que deberá proporcionar o recomendar el fabricante del sellador.

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas en los documentos de construcción. La tirilla de respaldo deberá ser compatible con el sellador de silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

Se denomina pasajuntas, a una barra de acero redondo liso  $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$  la cual no se debe adherir al concreto permitiendo el libre movimiento de losas longitudinalmente, pero si debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa a la adyacente. Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa.

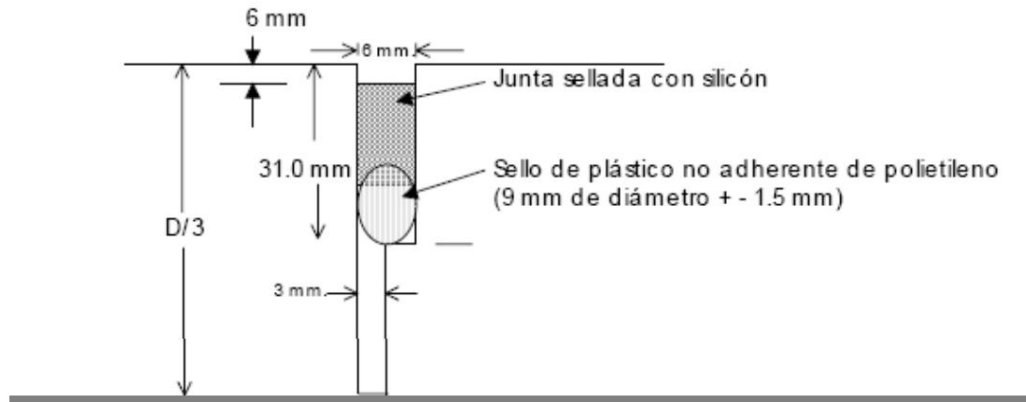
El diámetro, longitud y separación de las pasajuntas está en función del espesor de las losas principalmente. Algunas recomendaciones prácticas para la selección de la barra son las siguientes:

**Tabla 2.16 Diámetro, longitud y separación de las pasajuntas está en función del espesor**

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13a15	5-6	19	3/4	41	16	30	12
15a20	6-8	25	1	46	18	30	12
20a30	8-12	32	1 1/4	46	18	30	12
30a43	12-17	38	1 1/2	51	20	38	15
43a50	17-20	45	1 3/4	56	22	46	18

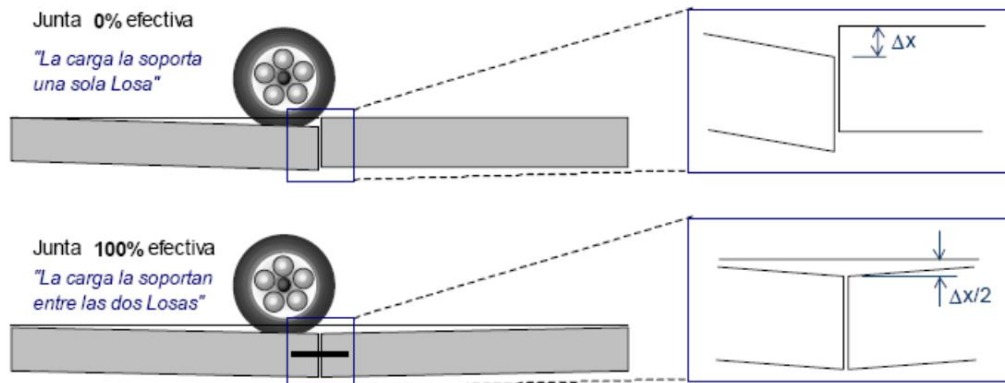
Fuente: U.N.I. Deterioros de pavimentos de concreto 2017

**Figura 2.19 Detalle de construcción de la junta**



Fuente: U.N.I. Deterioros de pavimentos de concreto 2017

**Figura 2.20 Transferencia de carga**



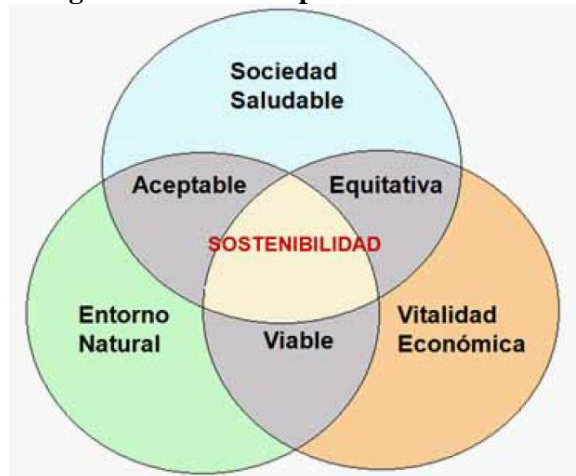
Fuente: U.N.I. Deterioros de pavimentos de concreto 2017

## 2.6. SOSTENIBILIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO URBANOS

El aumento de tamaño y densidad de la población en zonas urbanas han generado nuevos requerimientos tecnológicos a los pavimentos. Las obras de infraestructura urbana son actualmente concebidas siguiendo los principios de sostenibilidad. Las obras de infraestructura sostenible, como es el caso del pavimento urbano, implican un equilibrio entre los aspectos sociales, medioambientales, y económicos. El objetivo de este equilibrio es el de crear las condiciones necesarias para mantener un desarrollo socio-económico

sostenido que esté en armonía con el entorno natural. El concepto de sostenibilidad se ilustra en la siguiente imagen

**Figura 2.21 El concepto de sostenibilidad**



Fuente: El Pavimento Urbano de Concreto como Estructura Sostenible

El diseño, construcción y preservación de pavimentos sostenibles requiere el empleo de materiales y técnicas constructivas que mitiguen el impacto medio ambiental, brinden mayor seguridad y comodidad al usuario y minimicen los costos durante su ciclo de vida. La necesidad de dotar las ciudades de pavimentos urbanos sostenibles, como son los pavimentos de concreto, se ha vuelto más crítica en la actualidad en que los fenómenos de cambio climático como el calentamiento global, la contaminación ambiental por emisión de gases CO<sub>2</sub>, el ahorro de energía, y el reciclado de los materiales son considerados preferentemente, dado que el ignorarlos pone en peligro la salud de los ciudadanos.

El pavimento urbano de concreto es una estructura sostenible por ser un material de larga vida útil, que en desuso puede ser reciclado. Permite un elevado ahorro de energía. Contribuye al confort urbano por ser cómodo para el habitante, no tiene impactos negativos sobre el entorno ni contribuye a la contaminación atmosférica.

## **2.7. PAVIMENTOS URBANOS, ILUMINACIÓN, SEGURIDAD, Y AHORRO DE ENERGÍA**

Mantener una buena iluminación en las zonas urbanas contribuye a brindar una mayor seguridad a los usuarios de las vías urbanas. La iluminación está relacionada con la reflectancia de los materiales. A mayor reflectancia de un material mayor es la iluminación. Los pavimentos se clasifican en cuatro categorías de reflectancia que varían desde R1 (alta reflectancia) a R4 (baja reflectancia):

R1: Pavimento de concreto de cemento Portland

R2: Pavimento de asfalto de 10 cm de espesor con 60% de agregado grueso

R3: Pavimento de asfalto con agregados de color obscuro y textura áspera después de unos cuantos meses de uso

R4: Pavimento de asfalto con una textura muy lisa.

Los pavimentos de concreto son más reflectantes que los pavimentos de asfalto teniendo una influencia directa en la seguridad vial de los peatones y de los vehículos que transitan las vías urbanas. La reflectancia en el pavimento de concreto de cemento Portland es de cuatro a cinco veces mayor que la del pavimento de asfalto. La visibilidad nocturna aumenta al aumentar la reflectancia, y con ella la seguridad de los transeúntes.

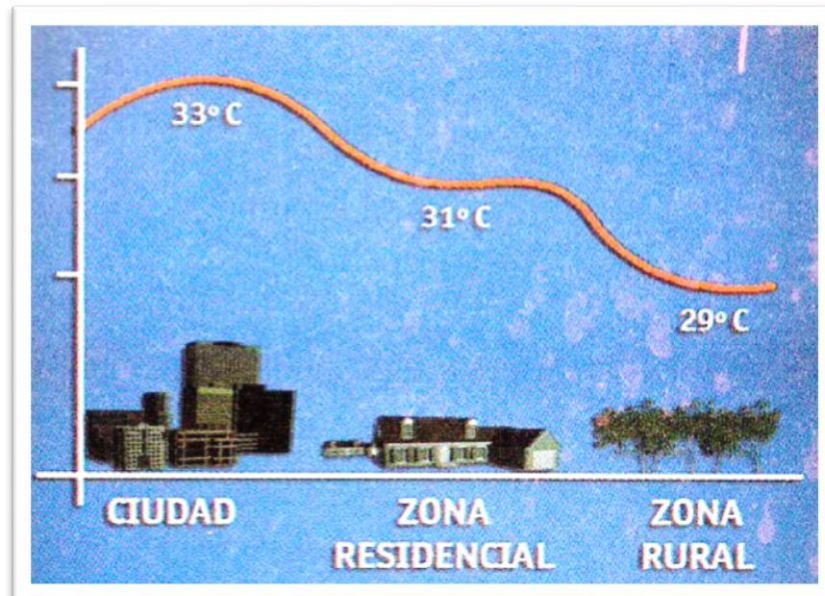
La reflectancia del pavimento tiene también una relación directa con el consumo de energía eléctrica en lo que a iluminación respecta. Para lograr el mismo nivel de iluminación en una calle, el pavimento de asfalto con un nivel de reflectancia R3 requiere de más iluminación que el pavimento de concreto tipo R1. Debido a la mayor reflectancia de los pavimentos de concreto, se puede obtener el nivel especificado de luminancia con un número menor de luminarias. Es así que, para obtener el mismo nivel de iluminación, los pavimentos de concreto requieren de menos instalaciones y por consiguiente menos gastos de instalación y operación. Así, por ejemplo, el pavimento R1 de concreto requiere de 27 postes instalados por milla, mientras que el pavimento R3 de asfalto requiere de 39 postes para obtener un nivel de iluminación equivalente.

Esta es una diferencia de 12 postes de iluminación por milla que implica ahorros del orden del 30% en promedio con respecto a los pavimentos asfálticos.

### 2.7.1. Las ciudades, los pavimentos, y el efecto “Isla Calor”

En zonas urbanas densamente pobladas la temperatura del aire es mayor que en la periferia de la ciudad. Este fenómeno se conoce como “isla calor”. El fenómeno de “isla calor” aumenta con el tamaño de la ciudad y es directamente proporcional al tamaño del núcleo urbano. Las grandes ciudades acumulan grandes cantidades de calor durante el día y tienen dificultad para disiparlo durante la noche.

**Figura 2.22 Efecto isla calor en ciudades**



Fuente: El Pavimento Urbano de Concreto como Estructura Sostenible

Los materiales utilizados en la construcción de viviendas y en la red vial urbana, así como el porcentaje de áreas verdes en la ciudad son factores que influyen en la acumulación y disipación del calor. En promedio, alrededor del 35 % de la superficie total de una ciudad es ocupada por pavimentos, 25 % por edificaciones, 20 % por áreas verdes, y 20 % por otros. Por lo tanto, una reducción de las temperaturas de la superficie ocupada por los pavimentos es ciertamente significativa.



Las propiedades térmicas de los materiales de construcción influyen en forma significativa en la cantidad de calor a absorber. Los materiales con los que se construyen los pavimentos tienen una alta capacidad de absorción térmica y su superficie se mantiene más caliente que la temperatura del aire, emitiendo este exceso de calor al medio-ambiente. Propiedades termo-físicas de los materiales como el albedo tienen un fuerte impacto en el equilibrio termo-energético de las ciudades. Los pavimentos se construyen de asfalto o concreto y estos materiales tienen propiedades termo-físicas distintas.

**Albedo** es la capacidad de un material de reflejar la radiación de onda corta como es la luz. El albedo es la relación expresada en porcentaje, de la radiación que la superficie refleja con respecto a la radiación que incide sobre la misma. En general, el albedo se correlaciona con el color. Las superficies claras tienen valores de albedo mayor a las oscuras y las brillantes más que las mates. Un material con un albedo más alto significa que tiene una capacidad mayor para reflejar la luz.

Los materiales utilizados en los pavimentos tienen albedos que van desde 0,05 a 0,40 cuando son nuevos. Pavimentos de asfalto nuevos tienen un albedo promedio de 0,10 y los pavimentos de concreto de 0,24. Pavimentos construidos con materiales de albedos más altos absorben menos calor y se mantienen más “frescos” mitigando el efecto de isla calor.

Los pavimentos urbanos de concreto tienen un albedo alto debido al color claro del cemento y de los agregados utilizados en su fabricación. muestra tecnología infrarroja y la comparación de temperaturas entre un pavimento de concreto y uno de asfalto. Comparados con los pavimentos de asfalto, los pavimentos de concreto permiten una disminución de la temperatura del aire entre 1 a 3 °C.

Al igual que los pavimentos construidos con materiales con un albedo alto, los pavimentos porosos ayudan a mitigar el efecto isla calor. La permeabilidad en los pavimentos facilita que el agua y el vapor de agua almacenados dentro de los vacíos del concreto pasen a través de los poros permitiendo que el pavimento se enfrie por la evaporación y el flujo de aire por convección. Los pavimentos porosos contribuyen también a disminuir el ruido generado al transitar los vehículos.

Otros factores que influyen en la cantidad de calor a almacenar son: el espesor del pavimento, la conductividad, y la emisividad. La capacidad para almacenar calor es mayor a mayor espesor. Sin embargo, la conductividad mide la velocidad a la cual el calor se transfiere a través del pavimento, y un pavimento construido con materiales de baja conductividad calienta la superficie más rápido, pero no almacenan más calor que uno con mayor conductividad. Por otro lado, la emisividad es una medida de la velocidad a la que un objeto puede irradiar el calor de su superficie. Los objetos con mayor emisividad irradiaran el calor más rápido.

La Agencia de Protección Medio-Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América recomienda el uso de pavimentos “frescos” de concreto como parte de la estrategia a implementar para reducir el efecto isla calor: La reducción del efecto isla calor beneficia al medio ambiente, la salud y el nivel de confort de los ciudadanos

## **2.8. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO**

### **2.8.1. Deterioro de pavimentos**

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

El comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida útil se rige 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.

### **2.8.2. 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.

### **2.8.3. 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.

### **2.8.4. 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.

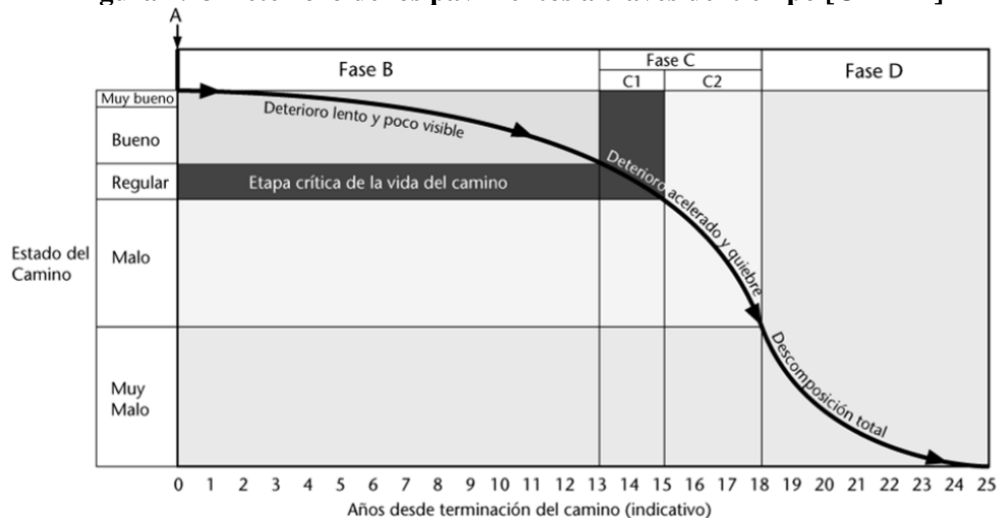
A medida que se desarrolla esta etapa, los vehículos circulan experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie, tales como grietas, baches, depresiones y deformaciones.

### 2.8.5. 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.

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



Fuente: Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos generados por el programa HDM-4

## **2.9. COSTOS DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO**

Los costos durante la vida útil del pavimento son utilizados en la evaluación económica de las alternativas desarrolladas durante la fase de diseño.

Usualmente los costos se clasifican en costos de la agencia y costos del usuario.

### **Costos de la administración**

Los costos de la administración son todos los costos directos efectuados por la administración durante el período de análisis incluyendo:

Costo de la construcción inicial: Estos costos representan entre un 70 a 90 % del costo total.

Costos de mantenimiento a lo largo del período de análisis: La incidencia de los costos de mantenimiento es significativa en el costo total en aquellas alternativas de pavimento que requieren de mantenimiento frecuente. Los costos de mantenimiento comprenden mantenimiento preventivo y correctivo.

Costos de rehabilitación: Estos costos representan entre 10 a 25 % del costo total.

Valor residual o remanente al final del periodo de análisis.

### **Costos del Usuario**

Los costos del usuario incluyen costos operativos del vehículo y costos por demoras. Estos costos se estiman de la siguiente manera:

Costos operativos del vehículo: simulando las características geométricas de la vía y de los vehículos que la transitan y su efecto en el consumo de combustible, lubricante, neumáticos.

Costos del usuario: estimando un costo por hora debido a demoras, paradas, y disminución de la velocidad en la zona donde se realizan las obras.

## **2.10. DETERIOROS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

### **2.10.1. Tipos de daños en estructuras de pavimentos de concreto**

En cada uno de los deterioros se ilustra una descripción, posibles causas y prevención.

Es pertinente aclarar que la idea del instructivo abarca desde el reconocimiento de los tipos de fallas en pavimentos de concreto hasta la prevención durante la etapa de construcción y los procedimientos inmediatos a seguir una vez identificadas.

#### **2.10.1.1. Fisura transversal o diagonal**

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

Posibles Causas: Se producen 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 excesivo, 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.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo a las características de las fisuras, según la siguiente guía:

**B (Bajo)** :existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello en condición satisfactoria; no hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

**M (Mediano)**: existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm.

Fisuras de 10 mm de ancho con despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

**A (Alto)**: existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras activas de ancho promedio mayor de 10 mm.

Fisuras selladas, con despostillamiento severos y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

Medición: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede medirse:

En metros lineales, totalizando metros lineales en sección o muestra.

Registrándola por losa, totalizando el número de losas afectadas por fisuras transversales y/o longitudinales.

Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.

**Figura 2.24 Fisura transversal o diagonal**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### **2.10.1.2. 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.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) de acuerdo al ancho de la fisura, condición y estado de los bordes, según la siguiente guía:

B (Bajo): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria; no hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento.

M (Mediano) : existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras activas, de ancho promedio entre 3 y 10 mm.

Fisuras de hasta 10 mm de ancho acompañadas de despostillamiento y dislocamiento de hasta 10 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con material de sello en condición insatisfactoria y/o despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

(Alto): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho mayor de 10 mm.

Fisuras selladas o no, de cualquier ancho, con despostillamientos severos y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

Medición: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede ser medida:

En metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra.

En términos de número de losas afectadas, totalizando el número de estas que evidencien fisuras longitudinales.

Si existen dos fisuras en una misma losa, se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante.



**Figura 2.25 Fisura longitudinal**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.1.3. Fisura de esquina**

**Descripción:** Es una fisura que intersecta 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:** Se producen 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.

**Niveles de severidad:** Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) considerando la severidad misma de la fisura que la origina, como el estado del pavimento comprendido por la misma y los bordes de la losa, de acuerdo con la siguiente guía:

**B (Bajo):** el Fracturamiento es definido por una fisura de severidad baja y el área entre ésta y las juntas no se encuentra fisurado o bien hay alguna pequeña fisura.

**M (Mediano):** el fracturamiento es definido por una fisura de severidad moderada y el área entre ésta y las juntas se encuentra medianamente fisurada.

A (Alto): el fracturamiento es definido por una fisura de severidad alta y el área entre ésta y las juntas se encuentra muy fisurada o presenta hundimientos

Ver " Fisuras Longitudinales"

Medición: Las fisuras de esquina son medidas contando el número total que existe en una sección o muestra, generalmente en término de número de losas afectadas por una o más fisuras de esquina. Se contabiliza como una losa cuando ésta:

Contiene una única fisura de esquina.

Contiene más de una fisura del mismo nivel de severidad;

Contiene dos o más fisuras de diferentes niveles de severidad; En este caso se registra el nivel de severidad correspondiente a la más desfavorable.

También puede medirse en metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra evaluada.

**Figura 2.26 Fisura de esquina**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### 2.10.1.4. 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.

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.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) en base a la severidad de las fisuras que detienen la malla y el número de paños en que queda dividida la losa, de acuerdo a lo siguiente:

Clase	Nivel de severidad de la fisura	N° de paños en que se divide la losa
B	Bajo	4 ó 5
M	Medio	De 6 a 8
A	Alto	Más de 8

Medición: Se miden contando la cantidad total que existe en una sección muestra, en términos del número de losas afectadas según su severidad. Si se registró 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.

**Figura 2.27 Losas subdivididas**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.1.5. Fisuras en bloque**

Descripción: fracturamiento que subdividen generalmente una porción de la losa en planos o bloques pequeños de área inferior a 1 metro cuadrado.

Posibles causas: se producen 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.

Niveles de severidad: Se establecen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) en base a la severidad de las fisuras que detienen la malla, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): bloques definidos por fisuras de severidad baja\*; los planos relativamente amplios y se mantienen ligados.

M (Mediano): bloques definidos por fisuras de severidad moderada\*; los planos son más pequeños evidenciándose un moderado despostillamiento de los bordes de las fisuras.

A (Alto): bloques definidos por fisuras de severidad alta\*; los planos son más pequeños evidenciándose un severo despostillamiento de los bordes de las fisuras, con tendencia a formar bache.

Ver " Fisuras Longitudinales"

Medición: Una vez identificada la severidad de la falla, ésta puede ser medida:

En metros cuadrados, totalizando metros cuadrados en la sección o muestra.

En términos de cantidad de losas afectadas, totalizando el número en la sección o muestra; de existir en una misma losa dos manifestaciones se adopta el nivel de severidad de la fisura predominante. En ambos casos se registran separadamente las fallas según su severidad.

**Figura 2.28 Fisuras en bloque**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### **2.10.1.6. 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 bloque" Fisuras alrededor de estructuras pueden inducirse cuando no se proveen elementos de aislamiento que eviten restricción en el movimiento de las losas.

Niveles de severidad: Se establecen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) considerando ancho, condición y estado de los bordes de la fisura, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras finas, no activas, de ancho promedio menor de 3 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con el material de sello en condición satisfactoria.

No hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento

M (Mediano): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio entre 3 y 10 mm.

Fisuras selladas, de cualquier ancho, con sello en condición satisfactoria.

No hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento menor de 10 mm.

A (Alto): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio mayor de 10 mm.

Fisuras selladas o no, con despostillamiento severo y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

Medición: Una vez identificada la severidad de la fisura, esta puede ser medida:

En metros lineales, totalizando metros lineales en la sección o muestra.

Registrándola por losa, totalizando el número de losas afectadas por "Fisuras Inducidas".

**Figura 2.29 fisuras inducidas**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

## **2.10.2. Deformaciones en estructuras de pavimento de concreto**

### **2.10.2.1. Levantamiento de losas**

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

Posibles causas: Se producen 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.

Niveles de Severidad: Según la incidencia en la comodidad de manejo, se diferencian tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): baja incidencia en la comodidad de manejo, apenas perceptible a velocidad de operación promedio.

M (Mediano): moderada incidencia en la comodidad de manejo, genera incomodidad y obliga a disminuir velocidad de circulación.

A (Alto): el levantamiento causa un excesivo salto del vehículo, generando la pérdida de control del mismo, una sustancial incomodidad, y/o riesgo para la seguridad y/o daños al vehículo, siendo necesario reducir drásticamente la velocidad.

Medición: Los levantamientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, en general en términos de la cantidad existente de losas afectadas en una sección o muestra, de acuerdo con las premisas siguientes:

Levantamiento en fisura cuenta como una losa afectada.

Levantamiento en juntas se cuenta como dos losas afectadas

**Figura 2.30 Levantamiento de losas**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.2.2. Dislocamiento**

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.

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.

Niveles de severidad: la severidad se determina en función del desnivel medido en correspondencia con las juntas, se diferencian tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): diferencia de nivel de 3 a 10 mm.

M (Mediano): diferencia de nivel de 10 a 20 mm.

A (Alto): diferencia de nivel mayor de 20 mm.

Medición: Los dislocamientos 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, de acuerdo a las siguientes premisas:



El dislocamiento a través de una junta, se cuenta como una losa.

El dislocamiento a través de una grieta es una falla combinada; no se computa como dislocamiento, pero se considera al definir la severidad de la grieta.

La medición se efectúa a una distancia de 0.30 a 0.50 metros del borde externo de las losas. No se efectúa la medición en juntas afectadas por parchados temporales.

**Figura 2.31 Dislocamiento**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.2.3. 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.

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.

Niveles de severidad: siendo en general de gran longitud de onda, se pueden diferenciar tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) según su incidencia en la comodidad de manejo, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): el hundimiento causa al vehículo un balanceo o salto característico, sin generar incomodidad.

M (Mediano): el hundimiento causa a los vehículos un significativo salto o balanceo, que genera incomodidad.

A (Alto): el hundimiento causa un excesivo salto que provoca una pérdida de control de los vehículos, siendo necesario recurrir a una reducción de velocidad.

Medición: los hundimientos se miden contando y registrando separadamente según su severidad, la cantidad existente en una sección o muestra. Los resultados pueden computarse sobre la base de:

Los metros cuadrados afectados.

El número de losas afectadas.

Simplemente el número de daños observados.

Tratándose de una falla de tipo puntual, originada en causas localizadas, suele excluirse de los procedimientos para inventarios de condición, limitándose a informar su existencia.

**Figura 2.32 Hundimiento**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.3. Desintegraciones en estructuras de pavimento de concreto**

#### **2.10.3.1. 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 intersectarse en ángulos de 120°.

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.

Niveles de severidad: se diferencian tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) según el tipo de daño y el área de la losa afectada, de acuerdo con la siguiente guía:

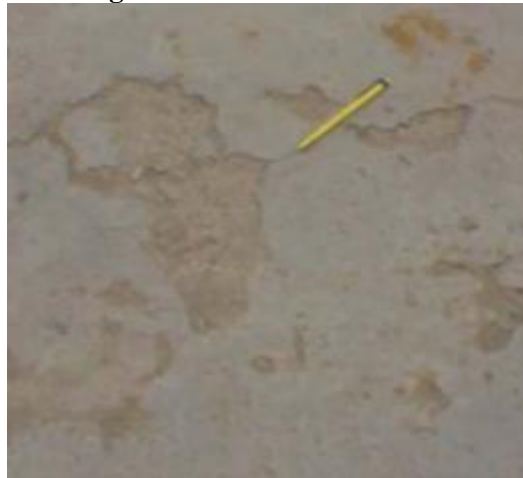
B (Bajo): fisuras capilares se extienden sobre toda la losa; la superficie se encuentra en buena condición sin descascaramiento.

M (Mediano): la losa evidencia descascaramiento, pero estas son de reducida área, afectando menos del 10 % de la losa.

A (Alto): la losa evidencia descascaramiento en áreas significativas, afectando más del 10 % de la losa.

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

**Figura 2.33 Descascaramiento**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.3.2. Pulimento de la superficie**

Descripción: superficie de rodamiento excesivamente lisa por efecto del pulimento de los agregados que la componen.

Posibles causas: Esta deficiencia se origina 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 pulimento 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.

Niveles de severidad: No se definen niveles de severidad. El grado de pulimento de la superficie debe ser significativo para ser informado. La medición de ser necesario puede medirse en metros cuadrados de superficie afectada

**Figura 2.34 Pulimento de superficie**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

### **2.10.3.3. Peladuras**

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.

Posibles causas: se produce 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.).

Niveles de severidad: se diferencian tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) según la magnitud de los desprendimientos, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): pequeñas peladuras muy superficiales, puntuales o concentradas en pequeñas áreas, como remiendos.

M (Mediano): peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una textura abierta, pero los desprendimientos se limitan a material fino, solo superficialmente.

A (Alto): peladuras generalizadas, se extienden en la superficie dando lugar a una superficie muy rugosa, con desprendimiento de agregado grueso formando cavidades o pequeños baches superficiales.

Medición: 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.

**Figura 2.35 Peladuras**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### **2.10.3.4. Bache**

Descripción: descomposición o desintegración la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

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.

Niveles de severidad; Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano, alto) en función del área afectada y de la profundidad del bache, asociada ya sea a hundimientos como a la pérdida de material, de acuerdo a la siguiente:

Profundidad máxima ( cm)	Diámetro Promedio del Bache (cm)		
	Menor a 70	70 – 100	Mayor a 100
Menor de 2.5	B	B	M
De 2.5 – 5.0	B	M	A
Mayor de 5.0	M	M	A

Medición: Los baches descubiertos pueden medirse alternativamente:

Contando el número de baches por cada nivel de severidad y registrando estos separadamente.

Computando éstos en metros cuadrados de superficie afectada, registrando separadamente las áreas, según su nivel de severidad.

**Figura 2.36 Baches**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

## **2.10.4. Deficiencias de juntas en estructuras de pavimento de concreto**

### **2.10.4.1. 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 despostillamientos 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

Niveles de severidad: Se diferencian tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): el material de sello se encuentra en general en buena condición en toda la sección o muestra evaluada; pueden presentarse, pero solo en cantidad reducida, algunos de los defectos arriba indicados, pero no existe riesgo de infiltración de material incompresible.

M (Mediano): el material de sello se encuentra en general en condición regular, en toda la sección o muestra; uno o más defectos de la relación arriba indicados ocurren en grado moderado; el material de sello necesita ser reemplazado en un período de dos años.

A (Alto): el material de sello se encuentra en general en condición pobre, o bien no existe; en toda la sección o muestra, uno o más defectos de la relación arriba indicada ocurren con grado de severidad alto, las juntas requieren ser selladas o reselladas a la brevedad.

Medición: las deficiencias del material de sello no se contabilizan de losa en losa. La calificación asignada se refiere a la condición del material de sello en toda el área.



**Figura 2.37 Deficiencia de material de sello**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### **2.10.4.2. Desportillamiento**

Descripción: rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros 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.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) combinando el estado de las "piezas" que se forman por el fracturamiento en contacto con la junta, así como el ancho y longitud afectada, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): pequeños fracturamiento, que no se extienden más de 8 cm a cada lado de la junta, dan lugar a pequeñas piezas que se mantienen bien firmes, aunque ocasionalmente algún pequeño trozo puede faltar.

M (Mediano): las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 8 cm a cada lado de la misma, dando origen a piezas o trozos relativamente sueltos, que pueden ser

removidos; algunos o todos los trozos pueden faltar, pero su profundidad es menor de 25 mm.

A (Alto): las fracturas se extienden a lo largo de la junta en más de 8 cm a cada lado de la misma, las piezas o trozos han sido removidos por el tránsito y tienen una profundidad mayor de 25 mm.

Medición: Se miden contando y registrando el número de juntas afectadas con cada nivel de severidad, expresándolos en términos de números de losas afectadas, de acuerdo a las siguientes premisas:

Si el despostillamiento afecta un solo borde de la losa se controla como una losa con despostillamiento.

Si el desportillamiento ocurre a cada lado de la junta, afectando dos losas adyacentes, se registra como 2 losas.

Si el desportillamiento se observa en más de un borde de la misma losa se registra como una losa indicando el nivel de severidad correspondiente al borde más dañado. una profundidad mayor de 25 mm.

**Figura 2.38 Desportillamiento**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

#### **2.10.4.3. 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 a 0.40 metros.

Niveles de severidad: Se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) según las características de las fisuras y el estado del pavimento entre éstas y la junta correspondiente, de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): existen algunas de las condiciones siguientes: Fisuras finas bien delgadas, de ancho menos de 3 mm. Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello en condición satisfactoria; no hay signos visibles de despostillamiento y/o dislocamiento.

M (Mediano): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio de 3 a 10 mm.

Fisuras hasta 10 mm con despostillamiento y/o dislocamiento hasta 10 mm.

Fisuras selladas de cualquier ancho, con sello en condición insatisfactoria.

Por despostillamiento, el área entre la fisura y la junta ha comenzado a fracturarse en trozos pequeños.

A (Alto): existen algunas de las condiciones siguientes:

Fisuras de ancho promedio mayor de 10 mm.

Fisuras, selladas o no, con despostillamiento y/o dislocamiento mayor de 10 mm.

El área entre las fisuras y la junta se ha fracturado en trozos pequeños que se encuentran sueltos y/o removidos por el tránsito.

Medición: una vez identificada la severidad del daño, se mide contabilizando el número existente en una muestra o sección, en términos de juntas afectadas. Se totaliza el número de juntas que presentan este daño para cada nivel de severidad

**Figura 2.39 Fisuras por mal funcionamiento de juntas**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

## **2.10.5. Otros deterioros en estructuras de pavimento de concreto.**

### **2.10.5.1. Parchados y reparaciones para 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 serviciabilidad 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.

Niveles de severidad: se definen tres niveles de severidad (bajo, mediano y alto) de acuerdo con la siguiente guía:

B (Bajo): el parche se comporta satisfactoriamente, con muy poco deterioro.

M (Mediano): el parche se encuentra moderadamente deteriorado: se evidencia un moderado deterioro o descascaramiento alrededor de sus bordes y/o existe un pequeño desnivel con el pavimento continuo; si se presentan daños en su interior, éstos afectan su superficie.

A (Alto): el parche está severamente dañado. La extensión o importancia de estos daños indican una condición de falla, siendo el reemplazo del parche necesario.

Medición: Se miden contando separadamente según su nivel de severidad, el número de losas afectadas en una determinada sección o muestra, de acuerdo a las siguientes premisas:

Si una losa tiene uno o más parches con el mismo nivel de severidad, se cuenta como una losa conteniendo esa falla.

Si una losa tiene parches con más de un nivel de severidad, se cuenta como una losa con el mayor nivel de severidad observado.

**Figura 2.40 Parchado y reparaciones del servicios público**



Fuente: Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras

## **2.11. ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO.**

Un pavimento de concreto bien diseñado y construido correctamente requiere de mantenimiento mínimo. El mantenimiento básico comprende el sellado de las juntas de espaciamiento de las losas para evitar el ingreso de agua u otros agentes intrusivos, y el tratamiento de fisuras en los casos que fuese necesario. Si las losas están muy deterioradas, se realiza parchado superficial o profundo, o en último caso el reemplazo completo de la losa de concreto dañada.

Cuando los pavimentos de concretos alcanzan el límite máximo de su capacidad estructural, puede colocarse una recapa de concreto que puede ser ligada o no ligada al pavimento existente, dependiendo si se desea que la recapa actúe en forma conjunta o independiente con respecto al pavimento existente. También pueden colocarse recapas por razones de carácter funcional con el objeto de mejorar la serviciabilidad, o por seguridad para recuperar la resistencia a la fricción. En situaciones en que el pavimento rígido ha alcanzado el término de su vida útil, puede contemplarse la opción del reciclado dependiendo de la extensión y severidad del sector a rehabilitar.

El cuadro siguiente resume las alternativas de reparación y mantenimiento preventivo recomendadas por el AASHTO 2008 para pavimentos de concreto.

**Tabla 2.17 Alternativas de reparación y mantenimiento preventivo para pavimentos rígidos**

<b>Falla</b>	<b>Tratamientos Preventivos</b>	<b>Alternativas de Reparación</b>
Bombeo en JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement - Pavimento de Concreto con Juntas Simples)	Resellar las juntas	Subsellar o gatear losas PCC (la efectividad depende de los materiales y procedimientos)
	Restaurar la transferencia de carga de la junta	
	Drenes subterráneos	
	Soporte en el borde (PCC monolítico de borde )	
Escalonamiento de la Junta en JPCP	Subsellar juntas	Triturar la superficie; Recapado estructural
	Resellar las juntas	
	Restaurar la transferencia de carga	
	Drenas terráneos	
	Soporte en el borde (PCC monolítico en el borde)	
Descamado de la Losa en JPCP	Subsello (pérdida de soporte)	Reparación en profundidad total
	Restaurar la transferencia de carga	Reparación en profundidad parcial
	Recapado estructural	
Descamado de la Fisura o Junta de JPCP	Resellar las juntas	Reparación en profundidad total
		Reparación en profundidad parcial
Punzonamientos en CRCP (Continuos Reinforced Concrete Pavement, Pavimento de Concreto Continuamente Reforzado)	Llenar con polímero o epóxico	Reparación en profundidad total
	Subsello (pérdida de soporte)	
Desintegración PCC (Pavimento de Concreto de Cemento Portland)	Ninguna	Reparación en profundidad total
		Recapado de mayor espesor

Fuente: Basada en la Guía de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos AASHTO 2008.

## **2.12. EL RECICLADO**

El pavimento de concreto, como estructura sostenible permite el reciclado al final de su vida útil. Esta alternativa es importante en localidades que carecen de fuentes de

provisionamiento de agregados o cuando ellos deben ser transportados de distancia apreciables, con la correspondiente emisión de CO<sub>2</sub> de los camiones

El concreto triturado y seleccionado permite la utilización o agregado en el relleno como sub-base o base del pavimento; también como agregado del concreto nuevo. Es posible utilizar en obras de importancia trituradoras móviles ubicadas en el sitio.

El pavimento de concreto es una obra con materiales reciclables. Al final de su vida útil, el concreto puede ser triturado y reutilizado de diversas formas: relleno, sub-base, o base. Se puede utilizar también como agregado para un pavimento nuevo. El uso de agregados reciclados disminuye la demanda de recursos naturales no renovables. También es posible utilizar en obra trituradoras móviles que permiten disminuir la distancia de transporte de agregados. Además, los agregados reciclados almacenados al aire libre pueden absorber entre 15 y 35 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> en un período de 2 a 3 años.

### **2.13. VENTAJAS DE UTILIZAR EL PAVIMENTO DE CONCRETO**

Ventajas:

El hormigón refleja la luz, lo que aumenta la visibilidad y puede disminuir los costos de iluminación en las calles hasta un 30%, en cantidad de luminarias y consumo de energía.

El hormigón no se ahuella nunca, por lo tanto, no hay acumulación de agua y, por ende, tampoco se produce hidropneumático. Por otra parte, se disminuye el efecto "spray", que es el agua que despiden los vehículos que van adelante sobre el parabrisas del de atrás, impidiendo la visibilidad.

Es fácil darles "rugosidad" a los pavimentos de hormigón durante su construcción, para generar una superficie que provea de mayor adherencia.

La rigidez del hormigón favorece que la superficie de rodado mantenga la planeidad.

La lisura es el factor más importante para los usuarios. Actualmente, los pavimentos de hormigón se pueden construir más suaves que los de asfalto.

A diferencia del asfalto, el hormigón puede soportar cargas de tráfico pesadas sin que se produzca ahuellamiento, deformaciones o lavado de áridos.



La superficie dura del hormigón hace más fácil el rodado de los neumáticos. Estudios han demostrado que aumenta la eficiencia de combustible de los vehículos.

El hormigón se endurece a medida que pasa el tiempo. Después del primer mes, el hormigón continúa lentamente ganando 40% de resistencia durante su vida.

El hormigón tiene una vida promedio de 30 años.

Los pavimentos de hormigón frecuentemente sobrepasan la vida de diseño y las cargas de tráfico.

Los pavimentos de hormigón se pueden diseñar para que duren desde 10 hasta 50 años, dependiendo de las necesidades del sistema.

Las técnicas de restauración de pavimentos pueden extender su vida hasta tres veces la de diseño.

Los pavimentos de hormigón tienen un mayor valor a largo plazo debido a su mayor expectativa de vida con los mínimos requerimientos de mantención.

La durabilidad del hormigón disminuye la necesidad de reparación y/o mantenciones anuales, en comparación con pavimentos asfálticos.

Los pavimentos de hormigón se pueden construir y dar al tránsito en tiempos reducidos, incluso de hasta 12 horas.

Desventajas:

Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible

Se deben tener cuidado en el diseño.

#### **2.14. TRÁFICO VEHICULAR**

"Circulación de vehículos por calles, caminos, etc. Movimiento o tránsito de personas, mercancías, etc., por cualquier otro medio de transporte."

**Tabla 2.18 Resumen cronológico sobre definiciones de transporte.**

Definición de Transporte	Autor
No es un fin en sí mismo, es un medio para lograr ciertos fines económicos	(Voigt, 1964)
Desde el punto de vista económico, es una necesidad consecuente de la insuficiencia de producción, en cualquier localidad, de todos los bienes de consumo necesarios, así como la posibilidad de fabricar otros productos, en cantidad superior al consumo local	(Togno, 1975)
Es el traslado de un sitio a otro, de personas y mercancías, motivado por el hecho de que están en un lugar pero se necesitan en otro	(Thompson, 1976)
Es un proceso tecnológico, económico y social que tiene la función de trasladar en el espacio a personas y bienes, o sea, para llevar satisfactores a necesidades distantes o viceversa, para vencer las barreras de tiempo y espacio, de tal forma que se conserven ciertas propiedades cualitativas de ambos.	(Muñoz de Luna, 1976)
El transporte es un sistema integrado por tres elementos fundamentales interaccionados entre sí: la infraestructura, el vehículo y la empresa o servicio.	(Izquierdo, 2001)
El transporte es un sistema organizacional y tecnológico que apunta a trasladar personas y mercancías de un lugar a otro para balancear el desfase espacial y temporal entre centros de oferta y demanda. Lo anterior plantea el problema de realizar este traslado en forma eficiente y sustentable	(Garrido, 2001)
Transporte es el conjunto de acciones que se repite constantemente que tiene como fin el cambio de posición con respecto al espacio de personas o cosas, cuya utilidad es mayor en otro lugar.	(Islas & Lelis, 2007)

fuentes: modificado de (Islas & Lelis, 2007).

En Islas & Lelis (2007), se hace una diferenciación entre los términos transporte, tránsito y tráfico, debido a que una confusión entre estos términos lleva al error de creer que solo con más infraestructura es posible resolver el problema de transporte, o también, de que una cantidad muy grande de vehículos representa un gran tráfico. En este sentido, las definiciones de tránsito y tráfico son las siguientes:

Transito es el fenómeno físico de pasar por un lugar o punto específico (calle, estación, puerto, pasillo, etc.).

Tráfico es la acción (que puede involucrar movimiento o no) de comerciar con bienes, y por lo tanto no es aplicable en la actualidad y personas.

En este contexto, Islas & Lelis (2007) también hace énfasis en la relación que tienen el transporte, el tráfico y el tránsito, e indica que el transporte es un fenómeno con causas y efectos vinculados y traslapados en los contextos sociales, económicos y tecnológicos, relacionado tanto con personas como con cosas, y con determinados objetivos a cumplir. Este autor indica también que el transito es una consecuencia del transporte, es decir, que para transportar algo es necesario transitar por algún lugar o calle. Sin embargo, las acciones de tráfico de objetos solo son posibles mediante la participación del transporte que las lleva de un lugar oferente al lugar demandante, puesto que las partes que trafican se encuentran separadas en el espacio, y por tal razón recurren al transporte.

#### **2.14.1. Volumen de tráfico**

El volumen de tráfico de una carretera está determinado por el número y tipo vehículos que pasan por un punto dado durante un periodo de tiempo específico.

Si la unidad de tiempo en el tramo es el día, se define el Volumen de Tráfico Diario (T. D.).

Si la unidad de tiempo en el tramo es el año, se define el Volumen de Tráfico Anual (TA.).

El tráfico Anual (TA.) y el tráfico diario (TD.) están relacionados a la factibilidad y la estadística técnico-económica.

Si la unidad de tiempo en el tramo es la hora, se define el volumen de tráfico horario (TH.). El Tráfico Horario está estrechamente ligado a la determinación de número de carriles, el ancho de plataforma y algunas características geométricas en el alineamiento horizontal y vertical de carreteras

## **CAPÍTULO III**

### **PROGRAMA HDM-4**

Highway Development and Management Model. (Modelo de desarrollo y gestión de carreteras)

#### **3.1. INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA HDM-4**

Es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión de la conservación y rehabilitación de pavimentos de redes viales, en aplicaciones principalmente dirigidas a la planeación estratégica, la programación de actividades de intervención y la evaluación técnico-económica de planes y políticas de conservación.

El HDM-4 está estructurado de tal forma que sea posible modelar el comportamiento en el tiempo de los pavimentos, de modo tal que, a partir del pronóstico del deterioro, se diseñen estrategias que permitan corregir o mantener el estándar del pavimento.

##### **3.1.1. Alcance**

El Modelo de estándares de diseño y conservación de carreteras (HDMIII), desarrollado por el Banco Mundial, ha sido usado por más de dos décadas combinando evaluaciones técnicas y económicas de proyectos de inversión de carreteras y analizando estrategias y estándares. Un estudio internacional se logró desarrollar para expandir el alcance del modelo HDM-III, con el objetivo de proveer un sistema armónico de gestión de carreteras con herramientas de software adaptable y fácil de usar. El resultado de esto ha sido el desarrollo de Herramientas para el desarrollo y gerencia de carreteras (HDM-4). El alcance de HDM-4 se ha expandido considerablemente más allá de las evaluaciones de proyectos tradicionales para proveer un poderoso sistema de análisis de alternativas de inversión y gestión de carreteras. Además de llevar a cabo nuevos estudios científicos se ha enfatizado en la recolección y aplicación del conocimiento ya existente y se han incorporado algunos nuevos datos. Cuando ha sido posible, nuevos enfoques creativos se han desarrollado aplicando el conocimiento técnico a los problemas y necesidades gerenciales de diferentes países.

### **3.1.2. Antecedentes**

#### **3.1.2.1. Desarrollos pasados**

El primer paso dado para desarrollar un modelo de este tipo fue hecho en el año 1968 por el Banco Mundial. Nuevos términos de referencia para estudio del diseño de carreteras se obtuvieron y consideraron por el Banco Mundial en conjunto con el laboratorio de Transporte e Investigación de Carreteras de Gran Bretaña (TRRL, por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Central Francés de Puentes y Carreteras (LCPC, por sus siglas en inglés). El Banco Mundial comisionó entonces a un grupo del Instituto de Tecnología de Massachussets (MIT, por sus siglas en inglés) para que desarrollaran una encuesta y construyeran un modelo basado en la información obtenida de la misma. El Modelo de costos de carreteras producido por el MIT (Moavenzadeh, 1971 y 1972) fue un considerable avance sobre cualquier otro método existente en ese tiempo que examinaba las relaciones entre costos de carreteras, costos de conservación y costos de operación vehicular. El modelo señaló las áreas en las cuales era necesaria una mayor investigación para desarrollar las relaciones apropiadas al ambiente de cada país a la vez que proveía relaciones adicionales. Después de esto, TRRL (Laboratorio de Investigación de Transporte y Caminos), en colaboración con el Banco Mundial, llevó a cabo un estudio de campo más amplio en Kenya para investigar la deterioración de carreteras con y sin pavimento y factores que afectan al costo de operación vehicular en un país en desarrollo. Los resultados de este estudio fueron usados para calibrar un prototipo de modelo de ordenador (RTIM, por sus siglas en inglés), para evaluar los costos de construcción, conservación y operación vehicular para un proyecto de inversión de carretera en un país en desarrollo (Abaynayaka, 1977). En 1976 el Banco Mundial desarrollo investigaciones más profundas en el modelo de ordenador, dando lugar a la concesión de un contrato de investigación a MIT para producir una versión más extensa del modelo capaz de llevar a cabo directamente análisis económicos fragmentando la carretera en tramos homogéneos y desarrollando sensitivos análisis automáticos de claves variables tales como tasas de descuento o de crecimiento. El trabajo dio origen a la producción del Modelo d estándares de diseño y conservación de carreteras (HDM) (Harral, 1979). Ambos modelos RTIM y HDM se probaron extensivamente en la práctica. Otros estudios más a fondo se llevaron

a cabo, como se indica a continuación, con el propósito general de expandir el campo geográfico de los resultados:

- Caribe - por TRRL

Investigación de los efectos de la geometría en los costes de operación vehicular en una carretera (Morosiuk y Abaynayaka, 1982; Hide, 1982).

- India – por el Instituto central de investigación de carreteras

Estudio de los problemas operacionales particulares de carreteras de la India en términos de la estrechez de sus calzadas y el gran tamaño de los transportes acarreados por animales (CRRI, 1982).

- Brasil – realizado por UNDP

Estudio de la validez de todas las relaciones entre modelos (GEIPOT,1982).

- Desarrollo de modelos paralelos La experiencia del uso de TRRL sugirió la necesidad de un modelo más sencillo que el que existía. Los requisitos fueron obtener un modelo más fácil de usar por los consultores en el campo y por los usuarios en los países en desarrollo. Esto dio como origen al desarrollo de RTIM2 (Parsley y Robinson, 1982). De otra forma, el Banco Mundial vio la necesidad de un modelo más comprensible y desarrolló el HDM-III (Watanatada, 1987). Ambos modelos se diseñaron originalmente para operar en ordenadores corporativos y con el avance de la tecnología la Universidad de Birmingham, a petición de TRLL (Kerali, 1985) produjo la versión RTIM2 para microordenadores. Después, el Banco Mundial (Archondo-Callao y Purohit, 1989) produjo una versión de HDM-III para microordenador.

Desde entonces, se han desarrollado estudios más profundos de ambos modelos. RTIM3 fue producido en 1993 para proveer una versión extremadamente fácil de usar del software que se comportaba como una hoja de cálculo (Cundill y Withnall, 1995). En 1994 el Banco Mundial produjo dos desarrollos más extensos:

HDM-Q

Producido para incorporar los efectos de la congestión del tráfico dentro del programa HDM (Hoban, 1987).

HDM Gestor Producido para proveer una versión a través de menús de HDM-III (Archondo- Callao, 1994).

### **3.1.2.2. Consideraciones del presente desarrollo**

Las diferentes versiones de los modelos han sido usadas en un amplio número de países, y han sido instrumentales en la justificación de los aumentos en los presupuestos de conservación y rehabilitación de carreteras y en la optimización de beneficios económicos para los usuarios de las mismas bajo diferentes niveles de gastos. Por lo tanto, han provisto avanzadas herramientas de análisis en la inversión de carreteras con una extensa adaptabilidad a diferentes climas y condiciones. No obstante, se reconoció la necesidad de un redesarrollo fundamental de varios de los modelos, los cuales reflejasen condiciones cambiantes de uso y prácticas modernas de informática.

Las relaciones, contenidas en los modelos, están ahora diez años atrasadas. En el caso de deterioración de carreteras, los modelos existentes están aún vigentes, pero existe la necesidad de incorporar los resultados de la extensa investigación que está siendo realizada a través del mundo. En el caso de los costes de operación de vehículos, la situación es algo diferente: la tecnología vehicular ha avanzado dramáticamente en los últimos diez años con el resultado de que los costes son ahora considerablemente menores que los predefinidos en los modelos. Por lo tanto, las relaciones se han actualizado para reflejar la situación presente real.

La implementación del HDM-4 se da principalmente por la aparición de nuevas condiciones tanto en materia económica como técnica y la necesidad de incluir más factores que antes no se tomaban en cuenta (factores climáticos, ambientales, seguridad vial, efectos de la congestión de tráfico, etcétera); así como, la necesidad de jerarquizar las inversiones en proyectos carreteros, realizando una optimización de los recursos disponibles y previendo la influencia de condiciones futuras en su estado; desarrollando una visión más amplia de la gestión de carreteras considerando funciones como planificación, programación, preparación y operaciones.



Cómo se puede ver, el ámbito de HDM-4 se ha ampliado considerablemente, superando las evaluaciones tradicionales de los proyectos, para proporcionar un potente sistema para el análisis de la gestión de carreteras y de las alternativas de inversión.

Este capítulo de visión general contiene un resumen de la descripción del sistema HDM-4. Todos los lectores nuevos de HDM-4, en particular los profesionales dedicados al desarrollo de la ingeniería de tránsito, directivos de alto nivel de una organización de carreteras y personas interesadas en el tema, encontrarán en este informe una introducción general al modelo de evaluación y sus posibles aplicaciones en la planificación de proyectos.

### **3.1.3. Objetivos del modelo de desarrollo**

El modelo del HDM-4 tiene por objetivos, el incorporar el conocimiento presente hasta su tiempo de todos los estudios hechos acerca de conservación de carreteras con los programas anteriores, incorporar nuevos conocimientos derivados de investigaciones alrededor del mundo e incorporar nuevas tecnologías computacionales.

Se han utilizado ampliamente distintas versiones de los modelos en diversos países que han sido usados fundamentales para justificar los cada vez mayores presupuestos de conservación y rehabilitación de carreteras. Los modelos se utilizaron para investigar la viabilidad económica de proyectos en más de 100 países y para optimizar los beneficios económicos de usuarios de carreteras bajo diferentes niveles de gastos. Como tal, proporcionan avanzadas herramientas de análisis de inversiones en carreteras, con unas posibilidades de aplicación muy amplias en diversos climas y condiciones.

Aunque muchas aplicaciones de los distintos modelos se habían utilizado en países en desarrollo, en los últimos años muchos países industrializados comenzaron a utilizar el modelo HDM-4.

Básicamente se pueden definir cuatro áreas de alcance del programa:

Presupuestario de los proyectos: obtención de presupuestos para la conservación, rehabilitación, mejora y nueva construcción, a través del análisis del ciclo de vida de una propuesta de inversión en carreteras.

Programación de trabajos: preparación de programas de conservación y desarrollo de red de carreteras para varios años, que faciliten la preparación de presupuestos a mediano plazo.

Planeación estratégica: desarrollo de políticas, planes de distribución de recursos a largo plazo y planificación de redes de carreteras.

Programa: un sistema fácil para el usuario, construido a partir de un conjunto de módulos con la capacidad de cubrir un amplio espectro de datos y niveles de destreza.

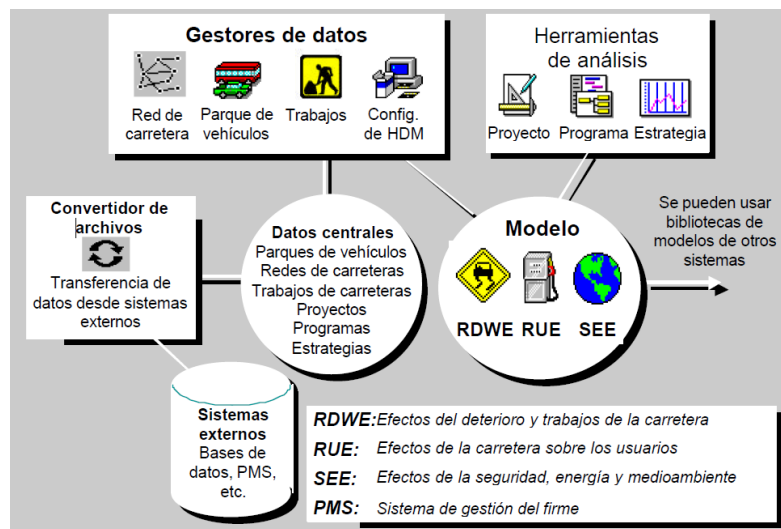
La utilización del HDM, se orienta básicamente al análisis de costos de los proyectos y en particular a la obtención de los costos que genera la carretera a lo largo de su ciclo de vida y concluye con la posible toma de decisiones.

### 3.2. MISIÓN

Una visión general del diagrama de flujo de HDM-4 se muestra en la Figura siguiente. Se identifican las carpetas que contienen los datos predefinidos y muestran las salidas de datos principales para cada aplicación. También muestra los modelos HDM-4 que realizarán los análisis técnicos.

Los procedimientos de análisis se muestran en la figura 3.1

**Figura 3.1 Procedimiento de análisis del HDM-4**



Fuente: Manual del HDM-4 Vol. 1

### **3.3. CONCEPTO DE ANÁLISIS DEL PROGRAMA HDM-4**

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

Deterioro de la carretera

Efectos de las obras de reparación

Efectos para usuarios de la carretera

Efectos socioeconómicos y medioambientales

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

Cargas de tráfico

Efectos medioambientales

Efectos de sistemas de drenaje inadecuados

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

#### **3.3.1. Módulos del programa HDM-4**

La estructura general del HDM-4 se ilustra en la siguiente figura 3.1, las tres herramientas de análisis (Estrategia, Programa y Proyecto) operan sobre datos definidos en uno de cuatro gestores de datos:

Red de carreteras

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

### Parqueo de vehículos

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

### Obras.

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

### Configuración del HDM-4

Define los datos por defecto que se usarán en las aplicaciones. Al instalar HDM-4 por primera vez, se suministra un conjunto de datos predefinidos, pero los usuarios deben modificarlos para adecuarlos a los entornos y circunstancias locales.

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

RD (Deterioro de la carretera).

Predice el deterioro del firme en carreteras asfaltadas, de hormigón y no pavimentadas.

WE (Efecto de las obras)

Simula los efectos de las obras en el estado del firme y determina los costes correspondientes.

RUE (Efectos para los usuarios).

Determina los costes de operación de vehículos, accidentes y tiempo de viaje.

SEE (Efectos sociales y medioambientales).

Determina los efectos de las emisiones de vehículos y el consumo de energía.

El modelo simula, para cada tramo de carretera, año a año, las condiciones de la misma y los recursos utilizados para conservación con cada estrategia, así como las velocidades de los vehículos y los recursos físicos consumidos por la operación de vehículos. Una vez estimadas las cantidades físicas necesarias para construcción, las obras y operación de vehículos, se aplican los precios y costes unitarios especificados por los usuarios para determinar los costes financieros y económicos. Luego se hace el cálculo de los beneficios

relativos de las diferentes alternativas, seguido del cálculo del valor actual y de la tasa de rentabilidad.

#### Bases de datos

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

#### Modelos técnicos

Accedidos directamente por sistemas externos para aplicaciones de investigación u otros estudios.

El diseño del sistema tiene una estructura modular para permitir a los usuarios implantar independientemente los módulos HDM-4 en sus sistemas de gestión de carreteras. Los parámetros técnicos, además de los datos por defecto específicos del país se pueden calibrar fácilmente para ajustarlas a las condiciones locales usando configuración del programa HDM-4.

#### **3.3.1.1. Configuración de HDM-4**

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

Los datos por defecto y los coeficientes de calibración se pueden definir de manera flexible para minimizar la cantidad de datos que se deben cambiar para cada aplicación de HDM-4, sin embargo, este proceso de calibración requiere consistencia en políticas de conservación o construcción de carreteras, debido a que la exactitud y precisión en la calibración del HDM-4 es el éxito en la toma de decisiones sobre los indicadores y resultados que el programa pueda proveer.

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

### **3.3.1.2. Redes de carreteras**

Redes de carreteras proporcionan las funciones básicas para almacenar las características de uno o más tramos de carretera. Permite a los usuarios definir diferentes redes y subredes y definir tramos, que es la unidad fundamental de análisis. Las entidades de datos permitidas en la red de carreteras son:

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

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

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

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

### **3.3.1.3. Parque de vehículos**

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

El método utilizado para representar un parque de vehículos es considerablemente adaptable y no tiene límites al número o tipo de vehículos que se pueden especificar. Se incluyen vehículos a motor y no motorizados.

Se pueden definir diversos juegos de parques de vehículos para usarlos en diferentes análisis, suministrándose una amplia gama de datos por defecto.

### **3.3.1.4. Obras**

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

Las organizaciones de carreteras suelen definir diferentes estándares que se pueden aplicar en situaciones prácticas para satisfacer objetivos concretos que están relacionados con las características funcionales del sistema de la red de carreteras. La carpeta obras proporciona funciones, dentro de un marco flexible, para definir una lista de estándares de conservación y mejora que son observados por organizaciones de carreteras en la gestión de su red y en actividades de desarrollo. Los estándares definidos en la carpeta estándares de obras se pueden usar en cualquiera de las tres herramientas de análisis: análisis de proyecto, análisis de programa y análisis de estrategias.

### **3.3.2. HDM-4 en deterioro de pavimento**

El deterioro de un pavimento es generalmente una función del diseño original, de los tipos de materiales, de la calidad de la construcción, del volumen del tráfico, de las características de carga de los ejes, de la geometría, de las condiciones medioambientales, de la edad del firme y de las políticas de conservación definidas.

HDM-4 incluye relaciones para la modelización de deterioro de la carretera (RD) y efectos de los trabajos de la carretera (WE). Se utilizan con el propósito de predecir condiciones anuales de la carretera y para la evaluación de estrategias de trabajos. Las relaciones deberían vincular estándares y costes para la construcción y la conservación de la carretera a los costes sobre el usuario a través de los modelos de costes sobre usuario. En HDM-III estas relaciones se combinaban en un módulo sencillo llamado efectos del deterioro y mantenimiento de la carretera (RDME), como se describe por Watanatada et al. (1987). En HDM-4 este módulo se ha separado con la intención de dirigir apropiadamente su alcance a la modelización del deterioro de la carretera y efectos de los trabajos. El análisis incluye también:

Ambientes físicos (zonas climáticas)

Abarca climas fríos, temperaturas altas y temperaturas extremas, tales como condiciones desérticas y ambientes de elevada humedad y condiciones áridas.

Firmes de hormigón rígido y semirígido, y una amplia gama de firmes flexibles

Modelos para los siguientes deterioros:

Rotura del borde, profundidad de la textura y coeficiente de rozamiento.

Impacto del transporte no motorizado en los arcenes y efectos de los drenajes laterales sobre la resistencia del firme

Mejora de la capacidad de la carretera y lista de técnicas de conservación para los

### **3.3.2.1. Variables clave que afectan al deterioro**

Las variables clave, que se usan en los modelos de deterioro, están asociadas con lo siguiente:

Clima y medioambiente

Tráfico

Historial del firme

Geometría de la carretera

Características estructurales del firme

Propiedades de los materiales

## **3.4. HDM-4 EN DETERIORO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Los modelos del deterioro del firme de hormigón propuestos que se incluyen en HDM-4 se basan en la investigación llevada a cabo por el Latin America Study Team, en Chile en 1996. La investigación incluye una revisión bibliográfica comprensiva de los modelos ya existentes. Los implementados en HDM-4 están principalmente basados en los trabajos realizados anteriormente por SHRP (1993), Al-Omari y Darter (1994), Lee y Darter (1994) y ERES Consultants (1995).

El proceso de la selección de modelos contempla los siguientes aspectos:

Escala de validación del modelo

Modelizado en términos de tipos de clima, escala del tráfico y estructura del firme.

Parámetros estadísticos

Número de observaciones, coeficientes de correlación, errores estimados, etc.



## Análisis de sensibilidad

### Año del desarrollo del modelo

Este capítulo describe los modelos del Deterioro de la carretera (RD), para los firmes de hormigón incluidos en HDM-4 Comienza con una visión general del marco de modelización, seguido de un breve análisis de los tipos de firmes de hormigón y de los modelos de deterioro considerados y finaliza con una completa descripción de los modelos.

Se da por sentado que los modelos RD para los firmes de hormigón son, básicamente, modelos absolutos (a diferencia de los modelos incrementales de los firmes bituminosos). Los modelos se han desarrollado en unidades imperiales inglesas. No obstante, con fines de mantener consistencia con la interfaz de HDM-4, los datos requeridos para la modelización se entran inicialmente en sistema métrico. Estos datos se convierten entonces en unidades imperiales inglesas para su uso en las relaciones y a continuación los resultados de los cálculos se convierten, a su vez, en sistema métrico para obtener los informes.

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 concreto simple con juntas JPCP**

Escalonamiento de juntas con barras de traspaso de carga

Escalonamiento de juntas sin barras de traspaso de carga

Despostillamiento de juntas 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 juntas transversales

Agrietamiento transversal

IRI, Índice de rugosidad internacional

**c) Pavimento de concreto continuamente reforzado CRCP**

Fallas

Serviciabilidad

IRI, Índice de rugosidad internacional

**Tabla 3.2 Modelos de deterioro en el HDM – 4**

Deterioro	Unidad de medida	Tipo de capa de rodadura
Grietas	Porcentaje de losas agrietadas	JP
Grietas	Numero por milla	JR
Escalonamientos	Pulgadas	JP y JR
Desportillamiento	Porcentajes de juntas desportilladas	JP y JR
Falla por fatiga	Número por milla	CR
Pérdida de serviciabilidad	Adimensional	JR y CR
Rugosidad	Pulgada por milla o km.	JP, JR y CR

Fuente: Manual del HDM-4 Vol. 1

### 3.4.1. Marco y lógica de la modelización

El marco utilizado para la modelización de los firmes de hormigón conforma el sistema de clasificación de firmes general de HDM-4. Este es un marco versátil que permite manejar una amplia gama de tipos de firme. La estructura formal de la clasificación de los firmes de hormigón se muestra en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Estructuras de los firmes de hormigón**

Tipo de la capa	Tipo de base	Tipo de firme	Descripción
JP	GB	JPGB	Hormigón con juntas planas sobre Base granular
JP	AB	JPAB	Hormigón con juntas planas sobre Base bituminosa
JP	AP	JPAP	Hormigón con juntas planas sobre Firme bituminoso
JP	SB	JPSB	Hormigón con juntas planas sobre Base estabilizada
JP	RB	JPRB	Hormigón con juntas planas sobre Base de hormigón rígido
JR	GB	JRGB	Hormigón con juntas reforzadas sobre Base granular
JR	AB	JRAB	Hormigón con juntas reforzadas sobre Base bituminosa
JR	AP	JRAP	Hormigón con juntas reforzadas sobre Firme bituminoso
JR	SB	JRSB	Hormigón con juntas reforzadas sobre Base estabilizada
JR	RB	JRRB	Hormigón con juntas reforzadas sobre Base de hormigón rígido
CR	GB	CRGB	Hormigón continuamente reforzado sobre Base granular
CR	AB	CRAB	Hormigón continuamente reforzado sobre Base bituminosa
CR	AP	CRAP	Hormigón continuamente reforzado sobre Firme bituminoso
CR	SB	CRSB	Hormigón continuamente reforzado sobre Base estabilizada
CR	RB	CRRB	Hormigón continuamente reforzado sobre Base de hormigón rígido

Fuente Manual de HDM-4 Vol. 4

Existen diferentes grupos de modelos de deterioro de los firmes de hormigón incluidos en HDM-4 que se basan en el tipo de la capa del firme y en su construcción

Los parámetros de calibración se ofrecen también para contabilizar las variaciones en los materiales de la capa y para facilitar la adaptación local de los modelos.

**Tabla 3.4 Tipos de capa sobre los que se basan los modelos de RD de hormigón**

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

<b>Tipo de capa</b>	<b>Descripción</b>
JP	Firme de Hormigón con juntas planas – <b>sin</b> pasadores de transferencia de carga
JP	Firme de Hormigón con juntas planas – <b>con</b> pasadores de transferencia de carga
JR	Firme de Hormigón con juntas reforzadas
CR	Firme de hormigón continuamente reforzado

La modelización del rendimiento de los firmes de hormigón se realiza en dos diferentes fases:

#### Fase 1

Relacionada con el tiempo anterior a cualquier conservación mayor periódica o reconstrucción.

#### Fase 2

Relacionada con el tiempo posterior a que el firme haya recibido una conservación mayor o reconstrucción.

### **3.4.2. Estructura firme del hormigón**

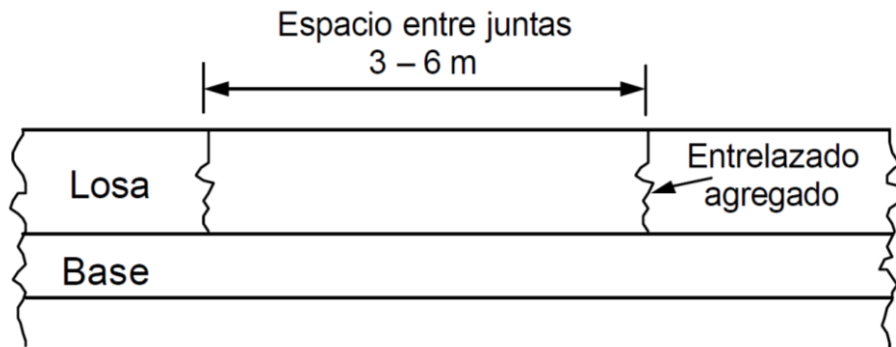
En las carreteras de firme rígido, el espesor de la losa de concreto, frecuentemente, oscila entre los 15 cm para el tráfico ligero a los 30 cm para el tráfico pesado. Cuando el espesor de la losa excede los 28 cm se puede utilizar sin base. A continuación, se ofrece una breve descripción de las estructuras de los firmes de hormigón considerados en HDM-4.

#### **3.4.2.1. Firmes de hormigón con juntas planas sin pasadores de transferencia de carga**

Este tipo de firmes de concreto JP (JPCP ND) se construye usando losas cortas sin refuerzo de acero. El espacio entre las juntas transversales (o largo de la losa) es tal que los estiramientos producidos por los cambios en la temperatura o en la humedad no producen fisuración inmediata entre las juntas. El espacio máximo entre las juntas se limita para

minimizar los movimientos de las losas y maximizar la transferencia de carga. Los valores típicos de la longitud de la losa varían entre 3,0 y 6,0 metros para este tipo de firme. La transferencia de carga transversal de una a otra losa se logra a través de un entrelazado agregado.

**Figura 3.2 Pavimento de hormigón con juntas planas sin pasadores**

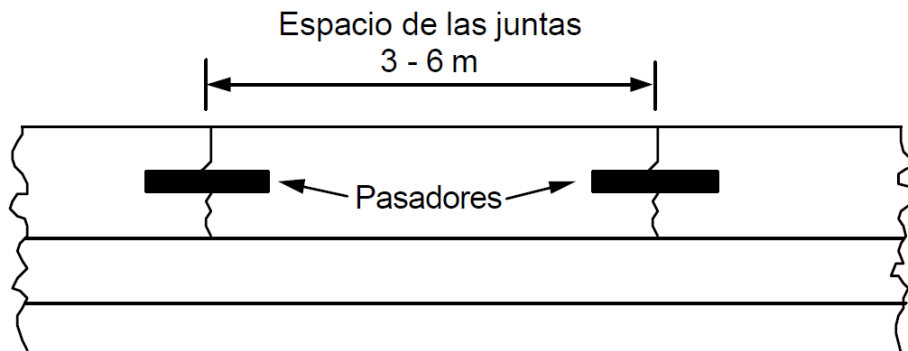


Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

#### **3.4.2.2. Firme de hormigón con juntas planas con pasadores de transferencia de carga**

El tipo de firme de concreto JP es similar al descrito más arriba (JPCPND) excepto que se añaden barras de pasadores en las juntas transversales para ayudar a la transferencia de la carga.

**Figura 3.3 Pavimento de hormigón con juntas planas con pasadores de transferencia de carga**

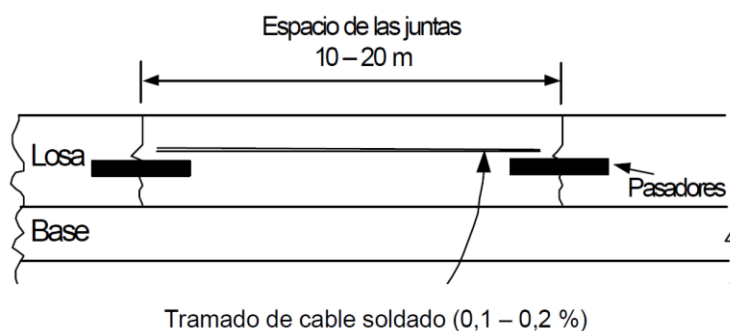


Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 3.4.2.3. Firmes de hormigón con juntas reforzadas

Este tipo de firme de hormigón se diseña con una cantidad de refuerzo longitudinal de acero, lo que permite losas más largas entre 10 y 20 m. El refuerzo de acero controla la fisuración transversal que podría ocurrir debido a movimientos del terreno de la explanada y/o estiramientos producidos por los cambios de la temperatura o de la humedad. La transferencia de carga en las juntas transversales se logra a través de pasadores de transferencia de carga.

**Figura 3.4 Pavimento de hormigón con juntas reforzadas**

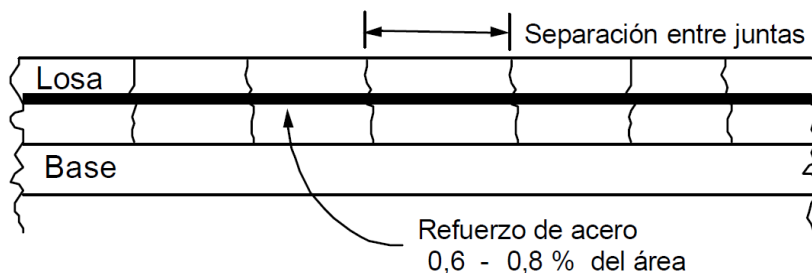


Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 3.4.2.4. Firmes de hormigón continuamente reforzado

Este tipo de firme tiene un refuerzo longitudinal a través de su longitud, por lo tanto, no tiene juntas transversales. El objetivo del refuerzo longitudinal de acero es controlar las fisuras que se producen en el firme debido al encogimiento del hormigón

**Figura 3.5 Pavimento de hormigón continuamente reforzado**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 3.4.2.5. Formas de deterioro de los firmes de hormigón

Existen seis formas de deterioro de los firmes de hormigón modelizadas en HDM-4. Estos deterioros junto con el tipo de la capa del firme, a la cual se aplican, se presentan en la Tabla siguiente 3.3

**Tabla 3.5 Formas de deterioro modelizadas en HDM-4**

No.	Forma de deterioro	Unidades de medida	Tipo de la capa del firme
1	Fisuración	Porcentaje de losas fisuradas	JP
		Número por milla	JR
2	Resaltos	Pulgadas	JP y JR
3	Desconchado	Porcentaje de juntas desconchadas	JP y JR
4	Roturas	Número por milla	CR
5	Pérdida de utilidad	Sin medida	JR y CR
6	Regularidad	Pulgadas por milla (o m/km)	JP, JR y CR

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

#### 3.4.2.5.1. Fisuración

Existen tres tipos de deterioros de fisuración que se identifican habitualmente en los firmes de hormigón:

- 1.- Fisuración transversal
- 2.- Fisuración longitudinal
- 3.- Fisuras de durabilidad

Las fisuras transversales son, generalmente, perpendiculares al eje central del pavimento.

Bajo

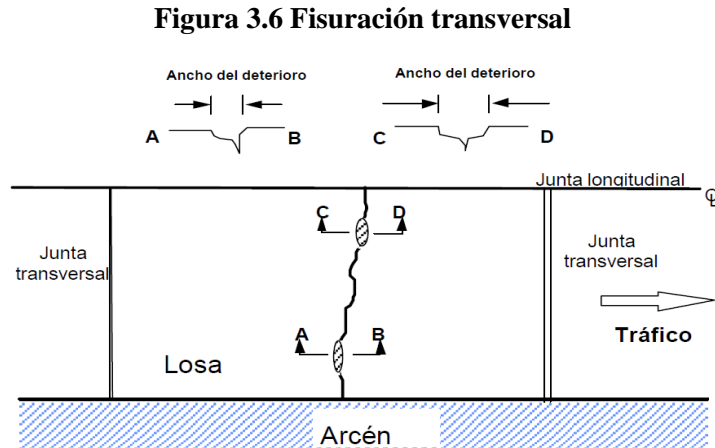
Fisuras con un ancho menor de 3 mm, sin resaltos o roturas o, bien selladas sin ancho determinable.

Medio

Fisuras con un ancho entre 3 y 6 mm o con resaltos menores de 75 mm o roturas menores de 6 mm.

Alto

Fisuras con un ancho mayor de 6 mm, resaltos mayores de 75 mm o roturas mayores de 6 mm.



Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

La fisuración transversal puede tener un impacto significativo en la calidad de la circulación y, por lo tanto, está modelizada en HDM-4.

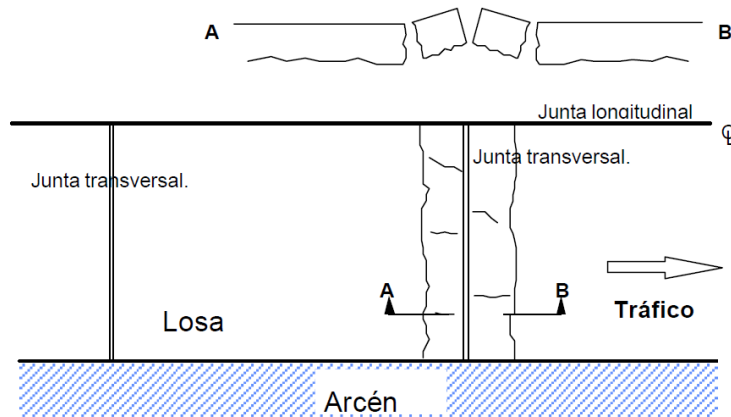
Las fisuras longitudinales son, generalmente, paralelas al eje de la carretera. Las fisuras de durabilidad son fisuras finas, ligeramente espaciadas que, frecuentemente, se producen cercanas a las juntas, a las fisuras o a los bordes libres. Comienzan en la esquina de la losa como un grupo de fisuras oscuras, rodeando un área.

#### 3.4.2.5.2. Roturas de juntas transversales y fisuras

Es una junta o fisura que tiene una diferencia de elevación entre ambos bordes. Las roturas causan aumentos significativos en la regularidad de la carretera. Se mide como el promedio de todas las juntas transversales a través del tramo de firme considerado.



**Figura 3.7 Rotura de juntas transversales y fisuras**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

#### **3.4.2.5.3. Resaltos de las juntas transversales**

Las roturas o fisuras del borde de la junta que ocurren a una distancia máxima de 0,6 m de la junta transversal. Los resaltos ocurren en los firmes de hormigón JP y JR. Se presenta en tres diferentes niveles de gravedad de acuerdo a SHRP (1993)

##### **Bajo**

Resaltos de menos de 75 mm de ancho, medido desde el centro de la junta con o sin pérdida de material.

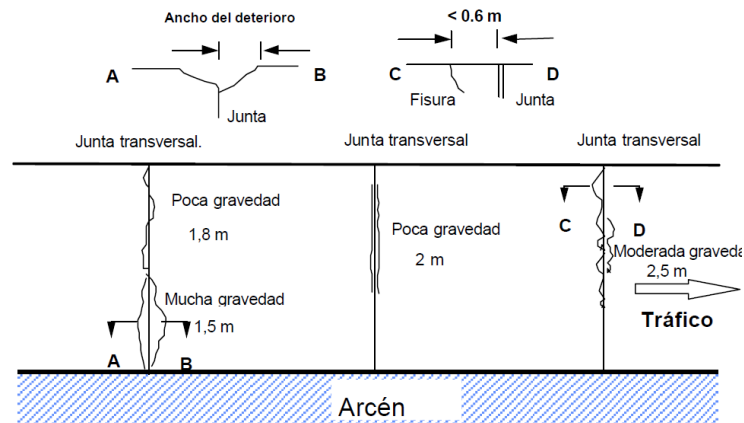
##### **Medio**

Resalto entre 75 y 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.

##### **Alto**

Resalto mayor de 150 mm de ancho, medido desde el centro de la junta, con pérdida de material.

**Figura 3.8 Resalto de juntas transversales**



Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

#### **3.4.2.5.4. Roturas**

Este deterioro es el que ocurre, más frecuentemente, en los firmes de hormigón CR. Las roturas localizadas incluyen pérdida y rotura del refuerzo de acero y resalto de fisuras transversales. Las roturas se miden en número por milla (o km). Muchas de las actividades de conservación de los firmes de hormigón CR están directamente relacionadas con las roturas. Frecuentemente, es necesario evaluar la cantidad de estos deterioros con el propósito de planificar diseños preventivos y de rehabilitación.

#### **3.4.2.5.5. Pérdida de utilidad**

La escala de utilidad presente (PSR) puede ser usada por el usuario, de la calidad de la circulación y de la condición del firme existentes. La escala basada en tipos clave de deterioro, por ejemplo, distorsiones transversales, fisuración, resaltos, roturas y deterioro de la capa, oscila entre 0 para la peor condición y 5 para la condición óptima, El concepto de la escala de condición de la capa del firme se desarrolló por ingenieros en el AASHO Road Test (1962) y, desde entonces, ha sido correlacionada con varios indicadores de la regularidad, así como una variante de inclinación e índice de la regularidad internacional (IRI).

**Tabla 3.6 Escala de los valores PSR usados**

<b>PSR</b>	<b>Condición</b>
0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

#### **3.4.2.5.6. Regularidad**

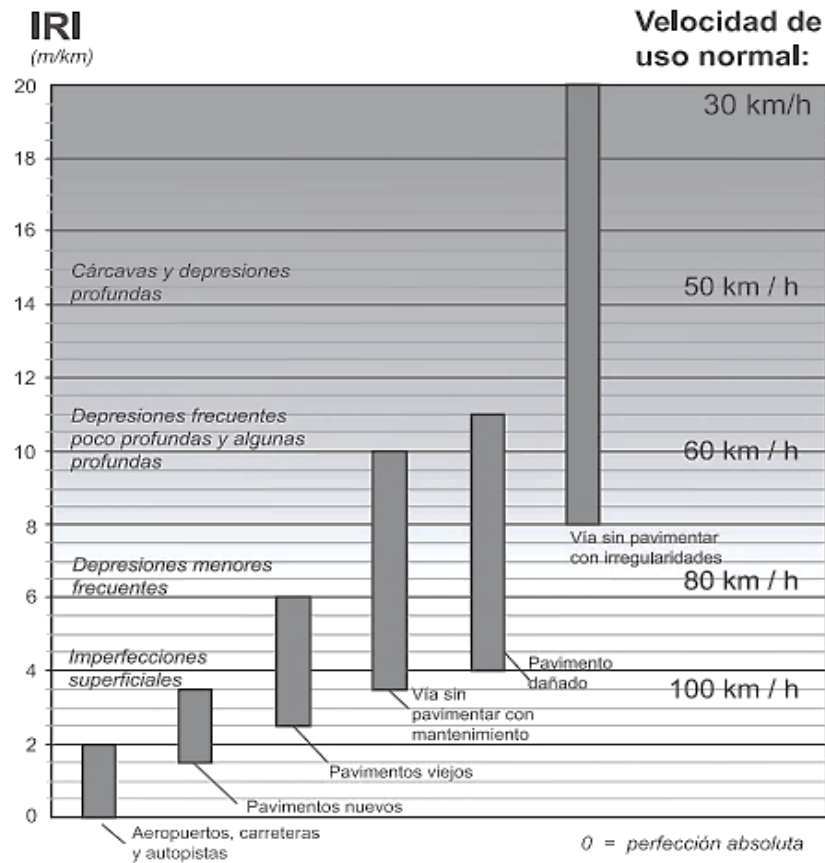
Es una medida de las desviaciones de la capa a partir de una superficie realmente plana con dimensiones características que afecta a la dinámica de los vehículos, a la calidad de la circulación, al peso dinámico y al drenaje (ASTM E-867-82A) generalmente, en una escala de 0,1 a 100 m de longitud de onda y entre 1 y 100 mm de amplitud.

El índice de regularidad internacional (IRI) es la medida de referencia que expresa la regularidad como un promedio sin medida de estadísticas de inclinación rectificadas del perfil longitudinal.

En cuanto a los valores de IRI , el banco mundial tiene una para caminos pavimentados, el rango de la escala del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para vías no pavimentadas la escala se extiende hasta el valor de 20. El perfil real de una carretera recién construida tiene un estado cero, pero se define por su IRI inicial mayor a cero, debido principalmente a que alcanzar valores de IRI = 0 es sumamente difícil desde el punto de vista constructivo.

Una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función al paso del tránsito. A partir del estudio realizado por el Banco Mundial, se propuso una escala general de los valores de la regularidad superficial para diferentes tipos de vías.

**Figura 3.9 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías**



Fuente: Manual del Banco Mundial

### 3.4.2.5.7. Otros defectos

Existen varios otros deterioros de los firmes de hormigón tales como:

Exfoliación

Pulido del agregado

Bultos

Protuberancias

Agujeros

Salidas de agua

Deterioro de baches

Deterioro de juntas transversales

### **3.5. PARÁMETROS PRINCIPALES DE LA MODELIZACIÓN QUE INCIDEN EN LA CONFIABILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO**

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 medioambiente. Estas características, al comienzo del año del análisis, se pueden inicializar a partir de la entrada de datos, si es el primer año de análisis o el primer año después de la construcción, o si no a partir de los resultados de los trabajos de conservación y mejora del año anterior.

#### **3.5.1. Características estructurales del firme**

Incluyen medidas de la 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 arcones de hormigón pegados y carriles ensanchados exteriores y de la rigidez de la explanada.

##### **3.5.1.1. Condición de la carretera**

Se requieren como datos de entrada los relacionados con la condición del firme y de los drenajes laterales al comienzo del primer año de análisis o del primer año después de la construcción.

Los indicadores del promedio de la condición del firme en un año seleccionado, es decir, antes de que comiencen los trabajos, se pronostican usando modelos absolutos. Estos modelos predicen la condición (o el deterioro) en un momento en particular como una función de las variables independientes y se puede representar de la siguiente manera:

$$(\text{CONDITION})_t = f[(\text{TIME}), (\text{TRAFF}), (\text{STRENGTH}), (\text{ENVIRON}), \text{ETC.}]$$

donde:

(CONDITION)<sub>t</sub> = Condición al presente *t*

(TIME) = Tiempo desde el año de construcción del firme

(TRAFF) = Carga acumulativa del tráfico desde el año de la construcción del firme

(STRENGTH) = Parámetros de resistencia del firme

(ENVIRON) = Parámetros relacionados con el medioambiente y el clima

### **3.5.1.2. 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 en el firme.

### **3.5.1.3. 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:

### **3.5.1.4. 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 el rango promedio de temperaturas.

### 3.5.1.5. 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 3.7 Clasificación por humedad.**

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

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

**Tabla 3.8 Clasificación por temperatura**

Categoría	Promedio anual de rangos de temperatura (mm.)
Tropical	20 a 35
Subtropical	-5 a 45
Subtropical frío	-10 a 30
Templado frío	-20 a 25
Templado con congelamiento	-40 a 20

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 3.5.1.6. 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:

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

Donde:

YAX= Número total anual de ejes

K= Número de tipos de vehículo considerados

Tk= Volumen anual de tránsito del vehículo tipo

NUM AXLESK= Número de ejes por vehículo tipo k

ELANES= Número efectivo de carriles en la sección



## **Historial de reparaciones**

Se refiere a las acciones de mantenimiento, 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 capeta, 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.

### **3.5.1.7. 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).

### **3.5.1.8. Procedimiento del cálculo**

La lógica general del 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 capa del firme:

Fisuración

Resalto

Desconchado

Rotura

5.- Cálculo de la escala de utilidad presente, PSR, si el tipo de firme es JR o CR

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

#### **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 módulo 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 concretos son causadas principalmente por los efectos del tráfico y de la acción ambiental. El módulo de la ruptura es una medida de la fuerza flexura 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 la ruptura en ciertos puntos, estropeando la fatiga y agrietándose en las losas.

$$MR_{28} = RUP * F_c^{0,5}$$

Donde:

$MR_{28}$  = 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 ruptura 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)

Ec = Módulo de Elasticidad del concreto (psi)

Para los modelos de deterioro de pavimentos de concreto se considerará 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 (MR28).

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

El coeficiente térmico de expansión es utilizado para determinar el alabeo 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 3.9 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°F.

**Tabla 3.9 Valores típicos del coeficiente térmico del concreto.**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Coefficiente térmico del concreto (<math>\alpha</math>) (<math>10^{-6}</math> per°F)</b>
Cuarzo	6,6
Arenisca	6,5
Grava	6,0
Gravito	5,3
Basalto	4,8
Piedra caliza	3,8

Fuente: AASHTO 1993

### **Condiciones de drenaje:**

Se reconoce extensamente que el drenaje es un factor principal que influencia el funcionamiento de muchos pavimentos concretos. 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/sub base.

El efecto del drenaje sobre funcionamiento del pavimento concreto se incorpora en los modelos de la deterioración HDM-4 con el uso de un coeficiente del drenaje (Cd). El coeficiente del 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 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 se puede evaluar con el equipo tal como el FWD, colocando las deformaciones de los lados cargados y descargados del empalme. El porcentaje de la carga transferido 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

DEFunid = Deflexión en el lado descargado de la junta (pulg)

DEFload = Deflexión en el lado cargado de la junta (pulg)

La eficacia 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 es capaz de asignar la mitad de la carga aplicada a cada losa adyacente. Sin embargo, una reducción en eficacia de la transferencia de la carga ocurriría durante la vida del pavimento, cualquiera debido a la pérdida de enlace en la zona en donde el dispositivo de la transferencia de la carga se encaja en el bloque de cemento o debido a la deterioración del agregado

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

$$LTEsh = \frac{STRESSunid}{STRESSload} * 100$$

Donde:

LTEsh = Eficiencia en la transferencia de carga entre losa y hombro (%)

STRESSunid = Tensión en el lado descargado del empalme (psi)

STRESSload = 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 reducción de tensión en el borde externo de la losa puesto que las cargas de la rueda se guardan en una distancia del borde del pavimento. Los efectos de carriles exteriores ensanchados sobre funcionamiento del pavimento concreto se consideran en los modelos de agrietamiento y escalonamiento.

### **3.6.1. 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

### **3.6.2. 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 3.10.

**Tabla 3.10 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	9a 12	1600	30	0,60
Cuatro carriles	> 12	2000	40	0,60

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

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, 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:

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

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 3.11 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	0,9	0,75	0,5	0,25	0,1

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

**Tabla 3.12 Detalle de los datos relacionados a la clasificación por temperatura**

Datos	Clasificación por temperatura				
	Tropical	Sub-tropical	Sub-tropical	Templada	Templada
		Cálida	fría	fría	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 aguas	20	10	15	5	10
Densidad del aire (kg/m-)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 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. En la tabla 3.10 se muestra los niveles con los niveles predefinidos (bajo, medio y alto)

**Tabla 3.13 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		
Medio	3000	175	7500
Alto	7500	800	15000

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### 4) Geometría

Los siguientes datos detallados (ver tabla 3.14) 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 3.14 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 general. 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

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

## 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 3.15)

**Tabla 3.15 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

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### **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 3.16.

**Tabla 3.16 Valores 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	

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

## Calidad de rodadura

**Tabla 3.17 Valores predefinidos para calidad de rodadura de carreteras de hormigón**

Clase de carretera	Calidad de rodadura (m/km IRI)			
	Buena	Regular	Pobre	Deficiente
Primaria	2	4	6	8
Secundaria	3	5	7	9
Terciaria	4	6	8	10

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

## Condición de la capa de rodadura

**Tabla 3.18 Valores predefinidos para calidad de rodadura de carretera sin sellar**

Clase de carretera	Calidad de rodadura (m/km IRI)			
	Buena	Regular	Pobre	Deficiente
Primaria	4	6	8	10
Secundaria	6	9	12	15
Terciaria	8	12	16	20

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

## 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 3.19.



**Tabla 3.19 Valores predefinidos de DF para condición de drenaje**

Tipo de drenaje	Condición del drenaje				
	Excelente	Buena	Regular	Pobre	Muy pobre
Totalmente alineado	1	1,5	2	2,5	30
Alineado a la capa	1	1,5	2	2,5	3
Con forma de V fuerte	1	2	2,7	3,5	4
Con forma de V suave	1,5	2,5	3,2	4,3	5
Superficial fuerte	2	3	3,8	4,5	5
Superficial suave	2	3	3,8	4,5	5
Sobre dimensionado	3	3,5	4	4,6	5
Sin efecto de drenó c	1	1	1	1	1

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

### **3.7. 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 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.

### **3.7.1. 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

### **3.7.2. 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:

## **1) 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 tramos seleccionados. 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.

## **2) 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 3.20 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	Adicción de carril	Mejora de trazado
Tramo D	Perfilado	Recargo	Pavimentado		

Fuente: Manual de HDM-4 Vol. 4

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 inicio de 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:

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

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN DEL HDM-4 EN CALLES URBANAS DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE LA CIUDAD YACUIBA

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CIUDAD DE YACUIBA

##### 4.1.1. Ubicación

Yacuiba es una ciudad boliviana ubicada en el Departamento de Tarija en el sur de Bolivia. Yacuiba es la capital de la Provincia Gran Chaco y está ubicada en la línea de frontera con Argentina, a orillas de la extremidad sur de la serranía del Aguaragüe.

Según el censo oficial realizado en 2012, Yacuiba cuenta con una población 92.245 habitantes, lo que le convierte demográficamente en el segundo municipio más importante del departamento de Tarija, después de la capital Tarija.

Geográficamente, Yacuiba se encuentra ubicado en la zona de las serranías y la llanura chaqueña, a una altura que oscila entre los 620 y 680 metros sobre el nivel del mar.

Se analizará los distritos 1,2,3 y 4 de la ciudad de Yacuiba ya que estos se encuentran dentro de la zona urbana de la ciudad de Yacuiba.

Figura 4.1 Ubicación del municipio de Yacuiba en el departamento de Tarija



#### **4.1.2. Coordenadas geográficas de Yacuiba**

El municipio de Yacuiba, primera sección municipal de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, se encuentra ubicado en el sub andino sur y la llanura del Chaco, distante a 543 Km. de la ciudad de Santa Cruz por la ruta 9 y hacia la ciudad de Tarija a 357 Km. Por vía terrestre (camino vehicular ripiado con una parte asfaltada) desde Tarija; por ferrovía y camino asfaltado por la vía Santa Cruz - Camiri - Villa Montes - República Argentina; y por vía aérea, ya que cuenta con un aeropuerto de mediana capacidad.

La jurisdicción territorial del municipio de Yacuiba, constituye una franja que se proyecta en la serranía del Aguaragüe y se prolonga hasta la zona de transición pasando a la llanura chaqueña, el cambio de formaciones vegetales que dan inicio a la mencionada área; geográficamente, el municipio, se encuentra localizado entre los:

S 21° 13' 35.6 – 63° 33' 35.65" W en su extremo nor-occidental,

22°03'05", S – 63° 40' 54", en su región Nor-oriental,

22° 0' 00" S – 63° 39' 55.2" Oeste en el extremo sur-occidental

Y 21° 59' 57" S – 62° 48' 36.4" Oeste.

#### **4.1.3. Extensión territorial**

El municipio de Yacuiba ocupa el 28 % de la extensión territorial de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, con una superficie de 5.206 Km<sup>2</sup>. El número de habitantes según datos del último censo alcanza a 92.245 hab., representa una densidad poblacional de 18 habitantes por kilómetro cuadrado, considerada como de categoría baja. Si se analiza el contexto urbano del municipio, la capital del municipio (Yacuiba) la densidad se incrementa, con 4.953 habitantes por kilómetro cuadrado.



**Tabla 4.1 Extención territorial de Yacuiba**

Unidad Territorial	Extensión km2	Población Año 2012	Densidad Hab/km2
Estado Plurinacional	1098581	10059856	9
Departamento de Tarija	37191	483518	12
Provincia Gran Chaco	18551,7	147478	8
Municipio de Yacuiba	5206	92245	18
Área urbana Yacuiba	12,5	61917	4953
Área rural Yacuiba	5193	30328	6

Fuente :INE

## DIVISIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA

La provincia Gran Chaco cuenta con tres secciones municipios: Yacuiba, Villa Montes y Caraparí. Yacuiba cuenta con 8 distritos; de los cuales 4 son área urbana y 4 área rural como se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 4.2 Extencion territorial de Yacuiba de sus distritos áreas urbana y rural**

Área	Distrito	Superficies(ha)
Urbana	1	144,5
Urbana	2	213,2
Urbana	3	219,3
Urbana	4	473,6
Rural	5	2174,14
Rural	6	1573,4
Rural	7	620,91
Rural	8	620,1

Fuente: Ordenamiento Territorial G.A.M.Y.

La división político-administrativa del área urbana del municipio comprende cuatro distritos con una superficie media de 262,6 Ha. Los distritos en su conjunto contienen 44 barrios y en promedio tienen una superficie de 23, 8 Ha.

### 4.1.4. Poblacion total

De acuerdo a la información del Censo Nacional de Población y Vivienda 2012, Yacuiba tiene una población de 92.245 habitantes de los cuales 46.112 son hombres y 46.133 mujeres.

La población del municipio de Yacuiba en el año 2001 fue de 83.518 habitantes y en el año 2012 alcanzó a 92.245 habitantes, lo que implica un incremento de 8.727 habitantes. Se observa que el crecimiento experimentado por el municipio (0.9 %) es bajo comparado con el departamento de Tarija (1.9%). El 82 % de la población está concentrada en 4 distritos urbanos y ocupa el 0,25 % de la superficie total del municipio; el restante 18% de la población, está distribuido en 4 distritos rurales que ocupan el 99,75 % del territorio municipal. En el siguiente cuadro se observa la distribución de la población donde el 69.6 % reside en el área urbana y 30.4 % en el área rural del municipio.

**Tabla 4.3 Población empadronada en Yacuiba**

Municipio	Población empadronada		
	TOTAL	Área Urbana	Área Rural
Yacuiba	92245	61917	30208

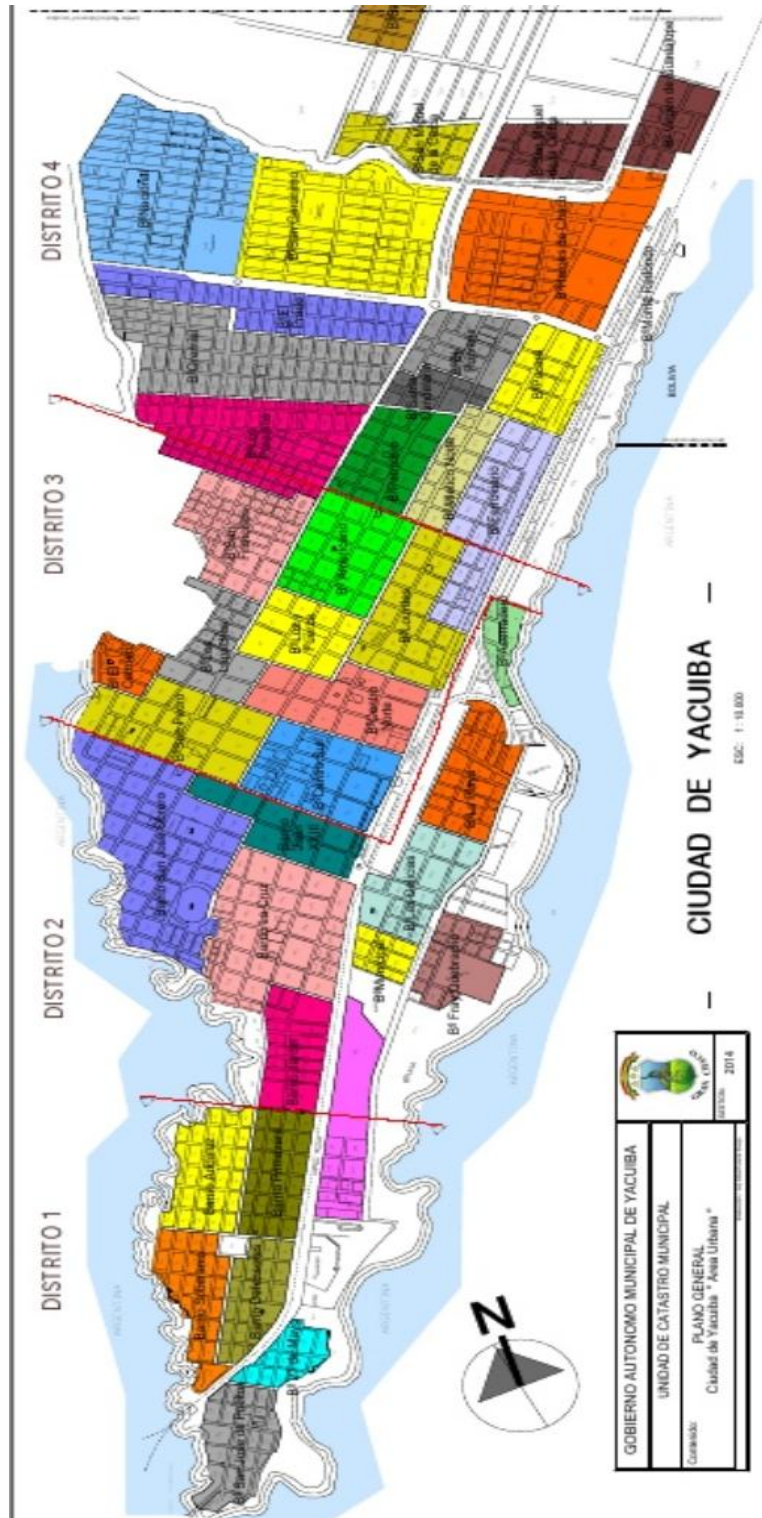
Fuente :INE

Respecto a la población urbana de Yacuiba, los distritos 2 y 3 concentran aproximadamente el 55 % de la población, mientras que en los distritos 1 y 4, ubicados en ambos extremos de la ciudad llegan a cubrir el 45 % de la población.

#### **4.1.5. Rango altitudinal fisiografía**

El municipio de Yacuiba tiene una superficie de 5026 Km<sup>2</sup> y una altura promedio en el área urbana de 620 y 680 m.s.n.m., presenta altitudes que van desde los 258 a 1875 m.s.n.m, donde las mayores elevaciones corresponden al Parque Aguaragüe que representa una superficie aproximada de 273 Km<sup>2</sup> (13 %), y el 87 % corresponde a la parte baja del municipio. En el siguiente grafico se observa un perfil topográfico mostrando este comportamiento. Forma parte de la región geográfica Vertiente Oriental Andina y Subandina.

**Figura: 4.2 Plano general de Yacuiba**



Fuente: Unidad de Catastro G.A.M.Y.

#### 4.1.6. Clima de Yacuiba

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwite, el área presenta características de clima subhúmedo megatermal en la zona de pie de monte y en la parte norte de la faja subandina. La región presenta temperaturas moderadas de verano con una media anual en esa época de 21.5°C. Sin embargo, en los pequeños valles son frecuentes las heladas en invierno debido al lento descenso de aire frío en las laderas que lo limitan. Las precipitaciones fluctúan entre los 850 a 1.000 mm por año.

**Tabla 4.4 Parámetros climáticos promedio de Yacuiba**

Parámetros climáticos promedio de Yacuiba													
Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Temp. máx. media (°C)	32.0	30.6	28.7	26.3	24.1	21.2	23.4	26.6	29.0	30.2	31.0	32.1	27.9
Temp. media (°C)	25.6	25.0	23.2	20.8	18.6	15.6	15.8	18.1	21.1	23.6	24.5	25.6	21.5
Temp. mín. media (°C)	19.2	19.5	17.8	15.3	13.1	10.0	8.3	9.7	13.2	17.1	18.1	19.2	15.0
Precipitación total (mm)	171	150	136	75	33	16	20	9	24	69	116	136	955
Días de lluvias (≥ 0.1 mm)	21	20	17	12	10	3	5	5	9	12	16	20	150
Horas de sol	270	269	239	216	189	159	166	175	200	218	236	256	2593
Humedad relativa %	82	79	79	76	75	66	66	67	72	75	80	83	<b>75</b>

Fuente: SENAMHI

#### 4.1.7. Índice de crecimiento vehicular en Yacuiba

El crecimiento anual del transporte en Yacuiba es de 5.25% y a continuación se describe por motorizado el crecimiento en porcentaje.

**Tabla 4.5 Índice de crecimiento del tráfico vehicular**

Composición de tráfico %	autos	camionetas	buses	camiones	motos	otros	total
	2,1	1,9	1,7	0,9	2,95	2,6	2,025

Fuente: Dirección de Ingresos G.A.M.Y.

#### 4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CALLES DONDE SE APLICARÁ EL HDM 4

Las calles analizadas serán en distintos puntos de la zona urbana de la ciudad de Yacuiba de los distritos 1,2,3 y 4.

**Tabla 4.6 Lista de las calles de Yacuiba en estudio**

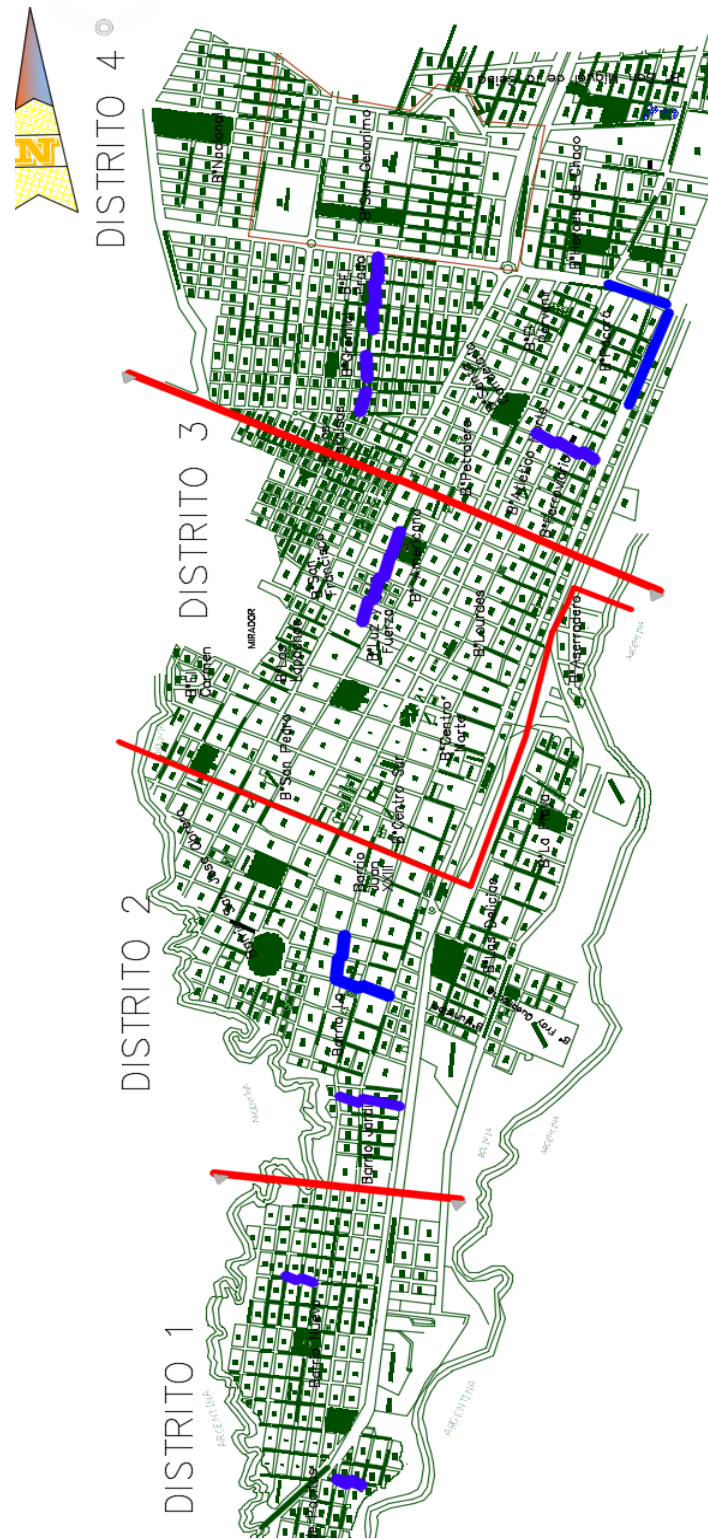
	Calles urbanas de concreto en estudio por el HDM-4	Año de construcción	Longitud m
1	Villamontes entre Chuquisaca y calle La Paz	2008	45
2	Villamontes entre calle La Paz y calle Uyuni	2008	50
3	Villamontes entre Chuquisaca y Tarija	2008	57
4	Carapari entre Bermejo y Saladillo	2008	55
5	Carapari entre Uyuni y Bermejo	2008	50
6	Itau entre av. Bolivia y Cornelio ríos	2008	165
7	Itau entre Cornelio Ríos y calle Martin barroso	2008	85
8	Boquerón entre Martin barroso y Comercio	2005	108
9	Boquerón entre Cornelio Ríos y Martin Barroso	2005	126
10	Comercio entre Boquerón y Hernando Siles	2005	102
11	Comercio entre Hernando Siles Paraguay	2005	100
12	Abaroa II entre 10 de Noviembre y 24 de Julio	2008	100
13	Abaroa II entre Jorge Tassakis y 24 de Julio	2008	100
14	Abaroa II entre 27 de Mayo y Jorge Tassakis	2008	105
15	Abaroa II entre Independencia y 27 de Mayo	2008	100
16	Algarrobos entre Martin Barroso y av. San Martin	2008	59
17	Algarrobos entre Comercio y Martin Barroso	2008	102
18	Algarrobo entre av. Santa cruz y calle Comercio	2008	86
19	EE.UU. entre Cuba y Chile	2008	96
20	EE.UU. entre Educadores Gran Chaco y Aparicio	2008	106
21	EE.UU. entre Colombia y Uruguay	2008	107
22	EE.UU. entre Uruguay y Venezuela	2008	103
23	EE.UU. entre calle Venezuela y Fortín Boquerón	2008	106
24	Av. San Gerónimo entre Comercio y av. Santa Cruz	2006	63

25	Av. San Gerónimo entre Martin Barroso y Comercio	2006	82
26	Av. San Gerónimo entre Martin Barroso y av. San Martin	2006	45
27	Av. San Martín entre calle los Cedros y av. San Gerónimo	2006	157
28	Av. San Martin entre calle los Cedros y Mistoles	2006	74
29	Av. San Martin entre calle Mistoles y Arrayanes	2006	80
30	Av. San Martin entre calle Arrayanes y Urundeles	2006	123

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.3 se muestra el plano de Yacuiba marcadas de color azul son las ubicaciones de las calles en estudio dentro del área urbana de la ciudad de Yacuiba. Además estas son las calles que tienen pavimento de concreto, las líneas de color rojo son las que separan por distritos al área urbana ,ya que en este momento solo son 4 los distritos considerados como urbano.

Figura: 4.3 Plano de Yacuiba con ubicaciones de las calles en estudio



Fuente: Elaboración propia

# UBICACIÓN DE LAS CALLES ANALIZADAS POR EL HDM-4

Se hace un acercamiento de las calles en estudio

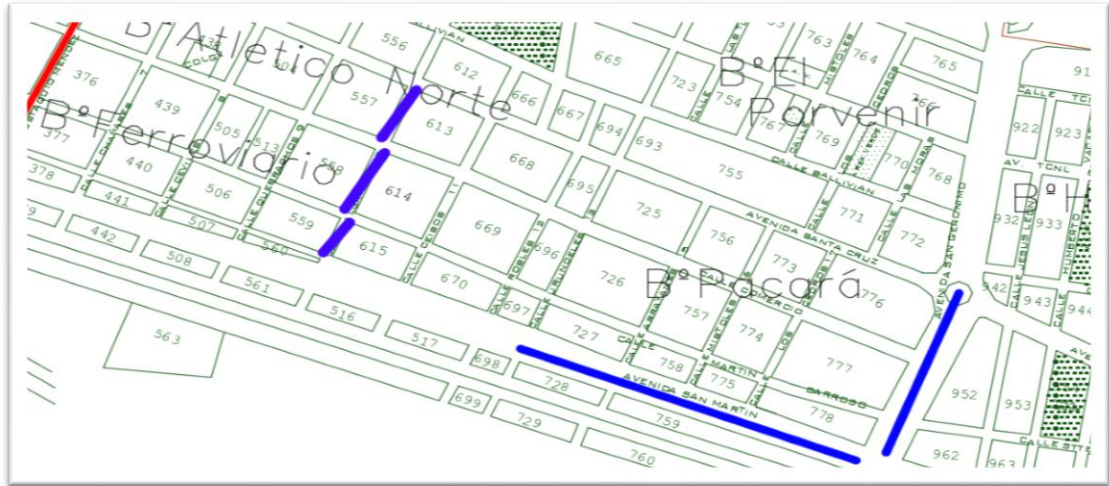




Calle Villamontes en la izquierda y a la derecha calle Carapari







### 4.3. Parámetro del parque vehicular requerido

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 4.7.

**Tabla 4.7 Parámetros de vehículos requeridos**

DESCRIPCION	Unidad	Autos	Camionetas	Buses	Camiones	Motos	Otros
Características básicas							
peso bruto vehicular	Tn	1,8	2	7	11	0,2	12
N° ejes equivalentes	E4	0,001	0,025	1,5	3,896	0	4,32
N° de ejes		2	2	2	3	2	5
N° neumáticos		4	4	6	10	2	18
N° de pasajeros		3	10	40	0	1	0
Costos económicos unitarios							
Vehículo nuevo	\$	15000	30000	75000	80000	2000	85000
Neumáticos nuevo	\$	50	70	150	150	30	200
Mantenimiento	\$	1,28	1,28	1,28	1,28	1,2	1,28
Tripulación	\$	3,49	5,23	8,9	2,61	1,49	2
Tiempo pasajero	\$	1,16	0,65	0,4	0,26	0,5	0,3
Tiempo carga	\$	0	0	4,36	13,3	0	14
Utilización de Vehículo							
Vida útil, depreciación	Años	10	10	10	10	5	12
Código de depresación		1	1	1	1	1	1
Código de utilización		1	3	3	3	1	3
Tasa de interés anual		18	18	18	18	18	18
Km conducidos por año		14000	24000	40000	35000	5000	50000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.8 Precio de lubricantes**

Precio de lubricantes		
Gasolina	\$us/ lt.	0,54
Diésel	\$us/ lt.	0,49
Lubricante	\$us/ lt.	2,5

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4. DATOS DE DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.**

##### **4.4.1. Criterios para la elección de las calles en estudio**

Estos datos fueron de difícil acceso ya que son aquellos que fueron utilizados para el diseño y ejecución de los pavimentos de concreto, se hizo las solicitudes correspondientes a las diferentes autoridades de las instituciones que existen en Yacuiba, pero todas fueron rechazadas. Se tuvo que andar mucho para poder conseguir estos datos de proyectos, para poder hacer el presente trabajo.

Yacuiba es frontera con Argentina. Por ende, se considera que es importante mantener todas las vías del usuario en buen estado para evitar molestias y posibles accidentes.

Si podemos visitar las calles de Yacuiba no todas son de pavimento de concreto, existen muchos barrios del área urbana que no cuentan con este beneficio, otras calles también consideradas importantes, pero solo cuentan con enlosetado. Es por eso que se hace un recorrido al área urbana y se puede observar que existen algunas calles con pavimento de concreto cuyas calles se considera importante por el uso del alto tráfico vehicular y peatonal. También se las considera importante porque sobre las calles en estudio existen colegios, centros deportivos (coliseos, canchas), mercados y centros de salud.

Se utiliza tres proyectos con distintos años en ejecución

**Tabla 4.9 Proyectos utilizados en el análisis**

<b>Nombre del proyecto</b>	<b>Institución</b>	<b>Año construcción</b>
Construcción pavimento urbano Yacuiba fase III	Prefectura del departamento de Tarija- G.A.M.Y.	2005
Estudio a diseño final pavimento rígido Yacuiba fase IV	Honorable Alcaldía Municipal de Yacuiba	2008
Pavimento rígido av. San Martín avenida San Gerónimo	Sub Prefectura de la Prov. del Gran Chaco	2006

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.2. Datos de diseño Av. San Martín Av. San Gerónimo

En este proyecto se encuentran las avenidas San Martín y San Gerónimo y cada avenida tiene su característica de diseño para cuando fueron construidos.

##### 4.4.2.1. Datos de diseño del pavimento de concreto Av. San Martín

Como parámetros geométricos del proyecto se ha establecido el ancho de cada una de las vías de la avenida de 7.6 m de ancho para cada una de las vías, 6 metros de ancho de jardín y 5 m de ancho de acera en ambos lados de la avenida, los datos de la tabla 4.6 serán aplicados a las siguientes calles:

Av. San Martín entre calle Los Cedros y av. San Gerónimo

Av. San Martín entre calle Los Cedros y Mistoles

Av. San Martín entre calle Mistoles y Arrayanes

Av. San Martín entre calle Arrayanes y Urundeles

**Tabla 4.10 Datos de diseño de pavimentos para la av. San Martín**

Ancho de calzada	7.6 m
Secciones de losas	3.5m de ancho y 4m de largo
Espesor de la sub base	18cm
Espesor de la losa de H°	18cm
Distanciamiento entre juntas	4m
C.B.R. de la subrasante	6,8%
Módulo de reacción de la subrasante	Kr=4,64Kg/cm <sup>3</sup> ; 167,6 Pci
Módulo de reacción de la subbase	Kb=12,3 Kg/cm <sup>3</sup> ; 444,4 Pci
Resistencia media del H°	Sc=ft=40Kg/cm <sup>2</sup> ; 566 psi
Confiabilidad	R=85% (ZR=-1,037)
ESALs	2433096
Pérdida de serviciabilidad	P0-P1=4,5-2,5 = 2,00
Desviacion estandar	S0=0,33
Coefficiente de drenaje	Cd=1.00
Coefficiente de transferencia de carga	J=2,5
Módulo de rotura de concreto	fcd=250Kg/cm <sup>2</sup>

Categoría de tráfico (tipo M18)	C=Semipesado
Módulo de elasticidad de proyecto	Ec=3,40X10E6 PSI
Periodo de diseño de pavimento	p=20 años

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2.2. Datos del diseño del pavimento de concreto Av. San Gerónimo

Av. San Gerónimo entre calle Comercio y av. Santa cruz

Av. San Gerónimo entre calle Martin barroso y Comercio

Av. San Gerónimo entre Martin Barroso y av. San Martín

Se tomaron en cuenta un diseño geométrico de 7.60m de ancho para cada una de las vías, y 3.40 metros de ancho de acera en ambos lados de la avenida.

**Tabla 4.11 Datos de diseño de pavimentos para la av. San Gerónimo**

Ancho de calzada	7 m
Secciones de losas	3.5m de ancho y 4m de largo
Espesor de la sub base	18 cm
Espesor de la losa de H°	23cm
Distanciamiento entre juntas	4m
C.B.R. de la subrasante	4,20%
Módulo de reaccion de la subrasante	Kr=4,64Kg/cm <sup>3</sup> ; 167,6 Pci
Módulo de reaccion de la subbase	Kb=12,3 Kg/cm <sup>3</sup> ; 444,4 Pci
Resistencia media del H°	Sc=ft=40Kg/cm <sup>2</sup> ; 566 psi
Confiabilidad	R=85% (ZR=-1,037)
ESALs	W18=2433096
Perdida de serviciabilidad	P0-P1=4,5-2,5=2,00
Desviacion estandar	S0=0,33
Coeficiente de drenaje	Cd=1.00
Coeficiente de transferencia de carga	J=2,5
Módulo de rotura de concreto	fcd=250Kg/cm <sup>2</sup>
Categoría de tráfico (tipo M18)	C=Semipesado
Módulo de elasticidad de proyecto	Ec=3,40X10E6 PSI
Periodo de diseño de pavimento	p=20 años

Fuente: Elaboración propia

<b>Presupuesto de proyecto</b>	<b>Monto (Bs)</b>
Pavimento	5.472.677,93
Ampliación de agua potable y alcantarillado	555.850,42
Ampliacion iluminacion	267.777,17
Supervisión	314.616,27
Expropiacion	918.320,37
<b>TOTAL</b>	<b>7.529.242,16</b>

#### 4.4.3. Datos de diseño proyecto a diseño final pavimento rígido Yacuiba fase III

Boquerón entre Martín Barroso y Comercio

Boquerón entre Cornelio Ríos y Martín Barroso

Comercio entre Boquerón y Hernando Siles

Comercio entre Hernando Siles y Paraguay

**Tabla 4.12 Datos de diseño de pavimentos del proyecto Yacuiba fase III**

Ancho de carril	7
Secciones de losas	3.5m de ancho y 4m de largo
Espesor de la sub base	18 cm
Espesor de la losa de H°	18 cm
Distanciamiento entre juntas	4m
C.B.R. de la subrasante	3,50%
Módulo de reacción de la subrasante	Kr=4,64Kg/cm <sup>3</sup> ; 167,6 Pci
Módulo de reacción de la subbase	Kb=12,3 Kg/cm <sup>3</sup> ; 444,4 Pci
Resistencia media del H°	Sc=ft=40Kg/cm <sup>2</sup> ; 566 psi
Confiabilidad	R=85% (ZR=-1,037)
ESALs	W18=728240,30
Serviciabilidad final	P0-P1=4,5-2,5=2,00
Desviación estándar	S0=0,39
Coefficiente de drenaje	Cd=0,9
Coefficiente de transferencia de carga	J=3,2
Módulo de rotura de concreto	fcd=250Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad de proyecto	Ec=3,40X10E6 PSI
Periodo de diseño de pavimento	p=30 años

Fuente: Elaboración propia



#### **4.4.4. Datos de diseño final pavimento rígido Yacuiba fase IV**

Del proyecto Fase IV se eligió la mayor cantidad de calles por el hecho de que en estas calles es más concurrente el tráfico vehicular y peatonal, y es necesario darle un servicio de vías digno para los usuarios que concurren a estas calles.

Villamontes entre Chuquisaca y calle La paz

Villamontes entre calle La Paz y calle Uyuni

Villamontes entre Chuquisaca y Tarija

Carapari entre Bermejo y Saladillo

Carapari entre avenida Uyuni y Bermejo

Itaú entre av. Bolivia y Cornelio Ríos

Itaú entre Cornelio Ríos y calle Martin Barroso

Abaroa II entre 10 de noviembre y 24 de Julio

Abaroa II entre Jorge Tassakis y 24 de Julio

Abaroa II entre 27 de mayo y Jorge Tassakis

Abaroa II entre Independencia y 27 de mayo

Algarrobos entre Martín barroso y av. San Martín

Algarrobos entre calle comercio y Martin barroso

Algarrobo entre av. Santa cruz y calle comercio

EE.UU. entre Cuba y Chile

EE.UU. entre Educadores Gran Chaco y Prof. Oscar Aparicio

EE.UU. entre Colombia y Uruguay

EE.UU. entre Uruguay y Venezuela

EE.UU. Entre calle Venezuela y Fortín Boquerón

**Tabla 4.13 Datos de diseño de pavimentos del proyecto Yacuiba IV**

Ancho de calzada	7
Secciones de losas	3,5m de ancho y 4m de largo
Espesor de la sub base	15 cm
Espesor de la losa de H°	18 cm
Distanciamiento entre juntas	4m
C.B.R. de la subrasante	3,50%
Resistencia media del H°	Sc=ft=46,37 Kg/cm <sup>2</sup> ;659,53 psi
confiabilidad	R=85% (ZR=-1,037)
ESALs	W18=728.240,30
Serviciabilidad final	P0-P1=4,5-2,5=2,00
Desviación estandar	S0=0,39
Coefficiente de drenaje	Cd=0,9
Coefficiente de transferencia de carga	J=3,2
Módulo de elasticidad del concreto	Ec=2,44X10E5 Kg/cm <sup>2</sup>
Periodo de diseño de pavimento	p=30 años
Resistencia a compresión Fck	315 KG/CM <sup>2</sup>
Módulo de ruptura Mr	55Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de resiliencia subbase	28.150 psi = 1.980Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de resiliencia subrasante	370Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de reaccion combinado	k∞=10Kg/cm <sup>3</sup> ; K=361,27pci
Módulo de elasticidad del H° (psi): Ec	3.815.288,0
Módulo de reaccion de la subrasante (pci) : K	361,27

Fuente: Elaboración propia

Presupuesto de proyecto	Monto
Inversión	10.159.465,47
Supervisión	507.973,27
Total (Bs)	10.667.438,74

#### **4.5. MEDICIÓN EN CAMPO DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO**

La medición de los deterioros se va a realizar de manera manual, tomando en cuenta sólo los 4 tipos de deterioros modelados con el programa HDM4 (juntas desconchadas, losas fisuradas, fisuras deterioradas y roturas).

Los instrumentos a utilizar son los siguientes:

Wincha

Flexómetro

Regla graduada

Marcadores, conos

Tablas de anotación

##### **4.5.1. Procedimiento de medición de los deterioros**

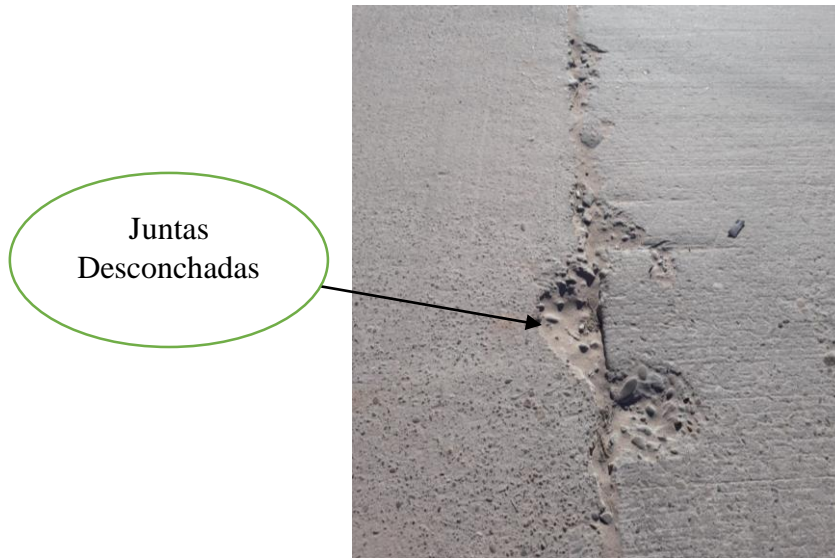
El procedimiento para la medición se realizará de la siguiente manera:

- a) Primeramente, para la medición del porcentaje de fisuración se realizó anotando el número de losas fisuradas transversalmente, para posteriormente determinar el porcentaje de losas fisuradas.

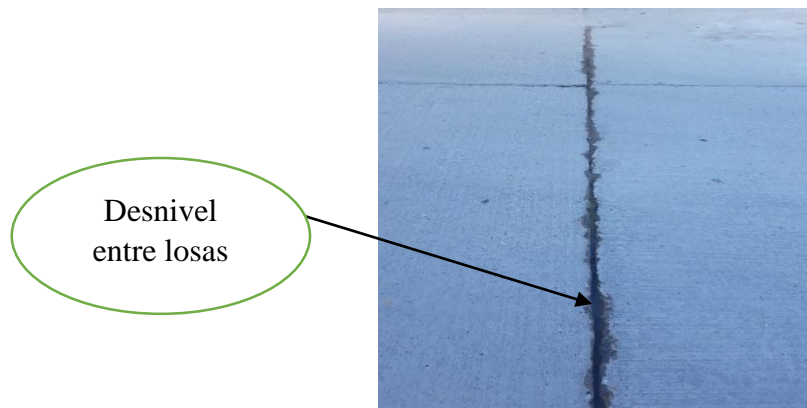
Fisura  
transversal



- b) Para la medición del desconchado de juntas se realizará de manera similar a a la anterior anotando el número de juntas desportilladas para posteriormente sacar un porcentaje.



- c) Para la medición del escalonamiento se va a hacer uso de una regla con la cual se va a colocar entre 2 losas para determinar el desnivel entre ambas en mm, lo cual se medirá con una regla graduada en mm, así, de esa manera, se procederá a sacar una media entre todas las mediciones.



#### 4.6. Datos del aforo de vehículos

Estos datos son los que ingresaremos al programa y son datos en porcentaje y el total nos da un 100%. Es porque el programa en caso de que no se cumpla el programa nos dará error y no correrá al momento de ejecutar los informes. Es por eso que hay que tener, muy en cuenta el modo de ingreso de estos datos, ya que son importante para el desarrollo del análisis.

**Tabla 4.14 Resumen del parque automotor en porcentaje**

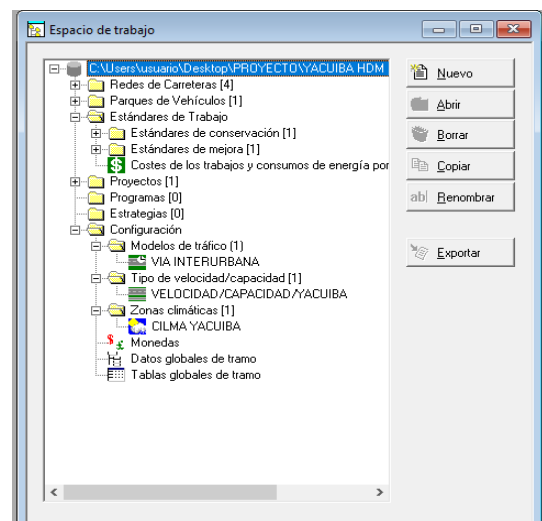
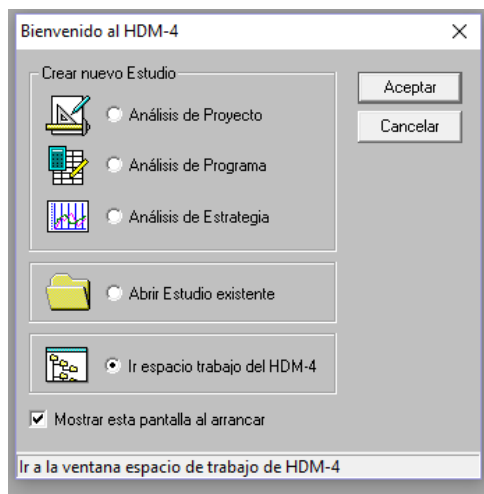
Nombre de calles donde se aplicará HDM- 4	Resumen de tráfico en %						
	autos	camionetas	buses	camiones	motos	otros	total
	veh/dia	veh/dia	veh/dia	veh/dia	veh/dia	veh/dia	veh/dia
Calle Villamontes	45,5	39,1	3,1	7,9	3,5	0,9	100,00
Calle Carapari	36,8	48,9	2,2	2,5	6,1	3,5	100,00
Calle Itau	47,9	37,9	0,9	0,9	8,9	3,5	100,00
Calle Abaroa II	44,8	37,1	4,5	4,1	7,4	2,1	100,00
Calle Algarrobos	42,1	38,7	4,1	2,1	9,9	3,1	100,00
Calle EE.UU.	48,8	34,2	2,5	5,1	5,2	4,2	100,00
Boquerón-Comercio	32,3	40,9	4,7	0,8	18,8	2,5	100,00
Av. San Gerónimo	34,85	31,2	16,42	9,95	3,47	4,11	100,00
Av. San Martin	43,19	43,02	7,3	1,85	3,04	1,6	100,00

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7. INGRESO DE DATOS AL HDM-4

Para ingresar al programa HDM-4 se debe dar doble clic en acceso directo mostrado en la pantalla. Este mostrará el cuadro del lado derecho, es recomendable elegir la opción “ir espacio de trabajo HDM-4” que envía directamente a una base de datos existente, si no existiera un trabajo entonces cerramos esta pantalla y vamos a espacio de trabajo, nuevo espacio de trabajo y creamos una carpeta dándole nombre a nuestro proyecto.

Esta opción nos envía al Espacio de Trabajo que utiliza una base de datos existente, en esta pantalla se pueden observar y manejar los módulos que manejan la información para las modelaciones.



### 4.7.1. Configuración preliminar

Se debe especificar una configuración antes de crear la red de nuestra carretera. Para esto debemos crear nuestro modelo de tráfico, tipo de velocidad/capacidad, nuestra zona climática y la moneda

#### 4.7.1.1. Modelos de tráfico

Se crea un nombre de nuestro modelo tráfico, seleccionamos el uso de la carretera que en este caso será una vía interurbana.

Los patrones de la intensidad del tráfico se definen como un grupo de periodos de flujo. Un período de flujo representa las horas del día (a través de un año) con la misma intensidad de tráfico. Para cada período de flujo se debería especificar:

Total, de horas por año (HRYR) que ocupa el período.

Cantidad de tráfico al año durante el período, que puede ser:

La proporción de la IMD (HV) que ocurre durante el período.

El porcentaje de la IMD (PCNADT) que ocurre durante el período.

Solo crearemos un solo periodo con horas por año de 8760 y el porcentaje del tiempo de utilización de la carretera (PCNADT) será al 100%

Patrón de intensidad de tráfico: VIA INTERURBANA

Definición

Nombre: VIA INTERURBANA

Uso de la carretera: Interurbano

Aceptar

Cancelar

Por defecto...

Datos de distribución del tráfico

Seleccionar método:  HV  PCNADT

Periodo	Descripción	Horas por año (HRYRp)	Tráfico horario (HVp)	% de IMD (PCNADTp)
1	Periodo 1	8760.00	0.042	100.00

Añadir periodo

Borrar periodo

8760.00 100.00

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

#### 4.7.1.2. Velocidad/capacidad

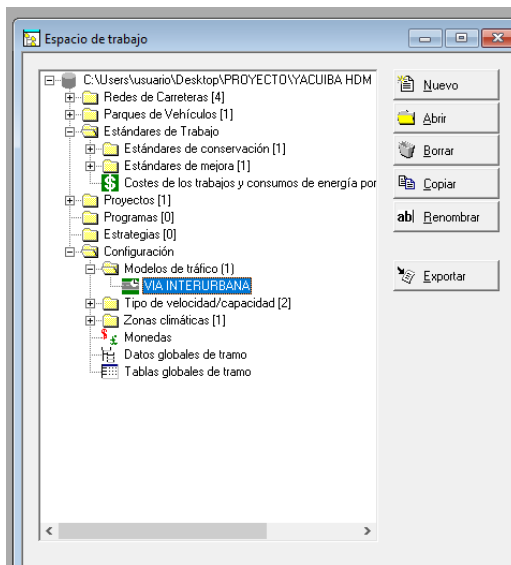
La función principal de la relación capacidad-velocidad es representar las características de la capacidad de los diferentes tipos de carretera.

Las carreteras tipo adoptadas serán:

Carretera de un carril sencillo

Carretera de dos carriles

Las características de la capacidad se definen en términos de los diferentes parámetros (capacidad máxima y capacidad de flujo libre) que constituyen el modelo de la curva de la relación capacidad-velocidad.



Tipo de velocidad/capacidad: VELOCIDAD/CAPACIDAD/YACUIBA

Nombre: VELOCIDAD/CAPACIDAD/YACUIBA

Capacidad

Tipo de carretera: Carretera de dos carriles

Capacidad última: 1400 PCSE/carril/hr

Cap. en tráfico libre: 0,1 (0 < XQ1 < 1)

Capacidad nominal: 0,9 (0 < XQ2 < 1)

Velocidad de atasco en capacidad: 25 km/h

Índice de accidentalidad (en nº/ 100 millones veh-km)

por composición: Mortal: 0  
Heridos: 0  
Solo daños: 0

total: Todos los accidentes: 0

Relativo a la velocidad

amax: 0,65 m/s<sup>2</sup>

CALBFAC: 1

Factor multiplicación velocidad deseada: 1

Botones: Aceptar, Cancelar, Por defecto...

Etiqueta de tipo de velocidad/capacidad



El HDM-4 incluye un grupo predefinido de tipos de carretera. Cada tipo de carretera tiene asociados valores predefinidos para los parámetros de la relación capacidad-velocidad. La selección de un tipo de carretera del menú desplegable produce que los parámetros de la relación capacidad-velocidad se sobrescriban con los predefinidos apropiados.

Los tipos de relación capacidad-velocidad definen también las tasas de los accidentes y los factores de calibración del modelo de velocidad para los tipos de carretera que representan.

#### 4.7.1.3. Zona climática

Las zonas climáticas se usan para representar las condiciones del clima en las diferentes partes de la red de carreteras. Los datos que representan estas condiciones afectan al deterioro del firme. Los datos de las zonas climáticas se dividen en dos categorías:

Humedad

Temperatura

Zona climática: CILMA YACUIBA

Clima

Nombre: CILMA YACUIBA

Clasificación por humedad: Subhúmedo

Índice de humedad: 0,7

Duración estación seca: 0,5 (como parte de un año)

Precipitación media mensual: 150 mm

Clasificación temperatura: Subtropical - cálido

Temperatura media: 22,5 °C

Rango temperaturas medias: 17 °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

Para cada una de estas dos categorías se proveen parámetros adecuados a sus características. Estos parámetros son la clasificación de la temperatura sub tropical cálido y de la humedad es subhúmedo.

HDM-4 contiene un grupo fijo de clasificaciones de temperatura cada una de las cuales tiene asociado un grupo de parámetros predefinidos. El cambio de estos parámetros seleccionados para una zona climática produce que se adopte el correspondiente grupo de datos de temperatura.

Igualmente, HDM-4 contiene también, un grupo fijo de clasificaciones de humedad cada una de las cuales tiene asociado un grupo de parámetros predefinidos. El cambio de estos parámetros seleccionados para una zona climática produce que se adopte el correspondiente grupo de datos de humedad y temperatura, pero si hacemos una elección adecuada al clima no será necesario hacer cambios.

#### 4.7.1.3.1. Monedas

La moneda que utilizaremos será el dólar, ya que el HDM-4 contiene una lista de monedas. Se utiliza para especificar lo siguiente:

Costes unitarios del parque de vehículos

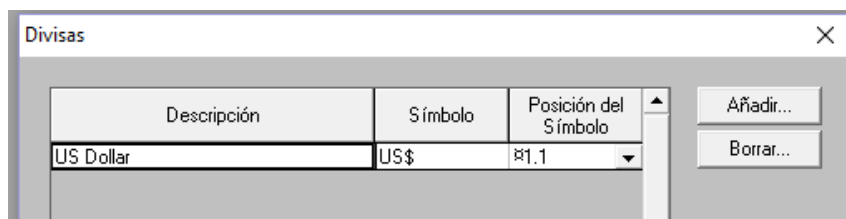
Costes unitarios de los trabajos predefinidos

Salida del análisis de proyecto

Salida del análisis de programa

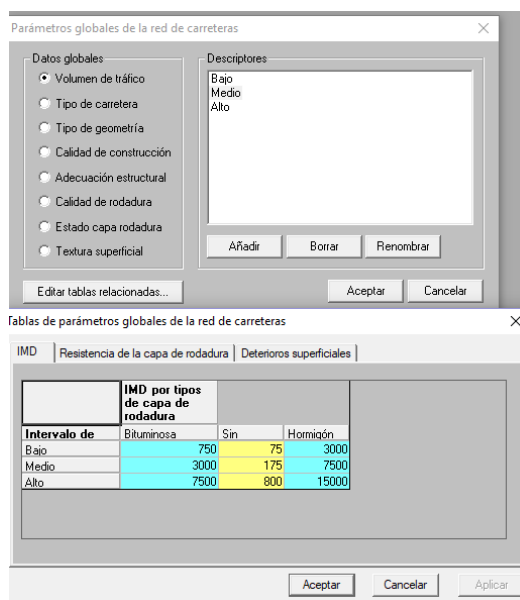
Salida del análisis de estrategia

Se puede añadir y eliminar estas monedas.



#### 4.7.1.3.2. Datos globales de tramo

Los datos globales de la red de carreteras ya vienen definidos por el programa así que no haremos ningún cambio, si es necesario se lo hará más adelante una vez que tengamos nuestra red de carreteras.

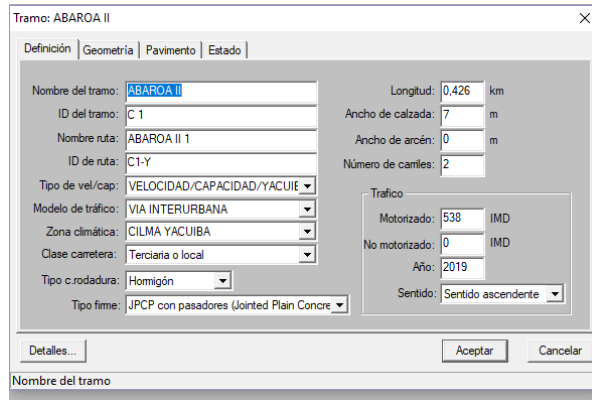


#### 4.7.2. Redes de carreteras

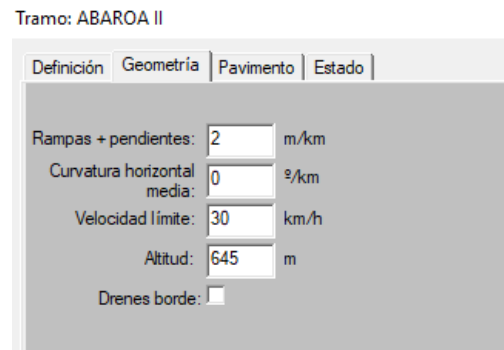
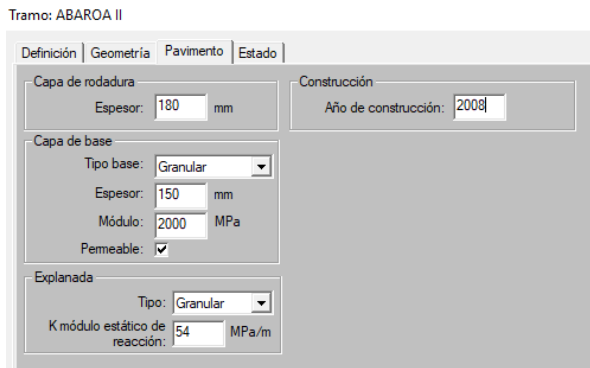
Una vez hecha la configuración ya podemos crear nuestra red de carreteras. Para crear está red de carreteras hay que resaltar la etiqueta redes de carreteras y pulsar nuevo. Para editar una red de carreteras, hay que resaltar el nombre de la red vial y hacer doble clic. En este documento se han definido tres proyectos de red vial, con nueve tramos en total que serán analizados, representados y agrupados cada tramo al proyecto que corresponda.

HDM-4 almacena todos los detalles de la carretera que se desea analizar. En este caso creamos una red de carreteras con el nombre Algarrobos que corresponde a una calle del distrito 4 de la ciudad de Yacuiba.

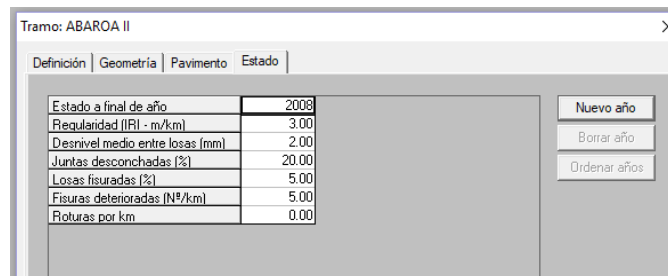
En la pantalla definición se debe colocar a detalles las características básicas del tramo incluyendo la clase de carretera, la velocidad y la intensidad del tráfico. El tipo de firme se especifica como hormigón.



En la pantalla Geometría y Pavimento colocamos sus características geométricas y estructural del pavimento.



En el estado de la red de carreteras se coloca los daños de la carretera es decir el desnivel medio, juntas desconchadas, losas fisuradas en porcentaje del total del tramo que estamos analizando, fisuras deterioradas y las roturas.



Los detalles de calibración del tramo son atribuidos por defecto por el HDM-4.

### 4.7.3. Parque automotor

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 debe incluir un tipo de vehículos por cada clase de vehículo en el conjunto de tráfico modelizado.

Primeramente, se debe identificar el tipo de vehículo que vamos a incluir a nuestro proyecto, ya que estos son necesarios para el HDM 4 para identificar los deterioros del pavimento de las calles.

The screenshot shows a dialog box titled 'Características del vehículo: AUTOMOVIL' with three tabs: 'Definición', 'Características básicas', and 'Costes económicos unitarios'. The 'Características básicas' tab is active. It contains the following fields: 'Nombre' (AUTOMOVIL), 'Tipo base' (Coche pequeño), 'Clase' (Coche de pasajeros), 'Categoría' (Motorizado), and 'Descripción' (pequeño coche de pasajeros). At the bottom, there are radio buttons for 'Método de vida' with 'Vida constante' selected and 'Vida óptima' unselected. On the right side, there are buttons for 'Calibración...', 'Valores por Defecto', 'Aceptar', and 'Cancelar'. A link 'Ver las características del vehículo' is at the bottom left.

Una vez identificado el vehículo que vamos a incluir a nuestro parque automotor, debemos ingresar todas sus características básicas así también sus costos económicos unitarios

The screenshot shows the same dialog box, but with the 'Costes económicos unitarios' tab active. It is divided into three sections: 'Físicas', 'Neumáticos', and 'Utilización'. 'Físicas' includes 'Espacio equiv. en vehículo de pasajeros' (0.1), 'Nº de ruedas' (4), and 'Nº de ejes' (2). 'Neumáticos' includes 'Tipo neumático' (Diagonal), 'Nº de recauchutados' (1.3), and 'Coste recauchutado' (15 %). 'Utilización' includes 'Km anuales' (14000 km), 'Horas trabajo' (550 h), 'Vida media' (10 años), 'Uso privado' (100 %), 'Pasajeros' (3 persona), and 'Viajes de trabajo' (75 %). There are 'Calcular...' buttons for the 'Utilización' and 'Carga' sections. The 'Carga' section includes 'ESALF' (0) and 'Peso en marcha' (1.8 toneladas). On the right, there are buttons for 'Calibración...', 'Valores por Defecto', 'Aceptar', and 'Cancelar'. A footer note reads 'Factor de equivalencia del espacio de coche pasajeros (PCSE)'.

Se creó un parque automotor que fueron analizados previamente para encontrar el TPDA y son los que vamos a incluir para analizar nuestro tráfico.

Características del vehículo: AUTOMOVIL

Definición | Características básicas | Costes económicos unitarios

Recursos del vehículo

Vehículo nuevo: 15000      Mantenimiento: 1,28 por hora  
 Neumático repuesto: 50      Tripulación: 3,49 por hora  
 Combustible: 0,54 por litro      Gastos Generales: 5  
 Aceite lubricante: 2,5 por litro      Interés anual: 18 %

Valor del tiempo

Pasajero: tiempo de trabajo: 1,16 por hora      Retraso carga: 0,1 por hora  
 Pasajero: tiempo de ocio: 0,2 por hora

Todos los costes deben expresarse en la moneda del parque - US Dollar

Calibración...  
 Valores por Defecto

Aceptar  
 Cancelar

Coste medio de compra de un vehículo nuevo de este tipo

El parque automotor para este proyecto está compuesto por automóvil, buses, camiones, camionetas, motocicletas y otros (todos los vehículos que no se los considera en la clasificación como vehículos de reparto, volquetas, etc.)

Parque de Vehículos: PARQUE AUTOMOTOR YACUIBA - Datos generales

Nombre	Clase	Fecha últ. modif.	Tipo base	Categoría
AUTOMOVIL	Coche de pasajero	29/05/2019	Coche pequeño	Motorizado
BISES01	Vehículos de repi.	03/06/2019	Vehículos ligeros de m	Motorizado
CAMIONES	Camiones	03/06/2019	Camión pesado	Motorizado
CAMIONETAS	Coche de pasajero	03/06/2019	Coche medio	Motorizado
MOTOCICLETA11	Motocicletas	03/06/2019	Motocicleta	Motorizado
OTROS VEHICULOS	Vehículos de repi.	04/06/2019	Todo terreno	Motorizado

Añadir nuevo   
 Borrar   
 Editar   
 Info   
 Grabar   
 Cerrar

#### 4.7.4. Estándares de los trabajos

Los estándares de trabajo se refieren a los objetivos o niveles de condición y respuesta que se desea alcanzar. Se definen diferentes estándares que puedan ser aplicados en situaciones prácticas a cada proyecto. La asignación de uno o más estándares combinados técnicamente para un tramo, resulta en la formación de una alternativa en términos del modelo HDM-4.

El HDM-4 nos da la opción de crear nuestros estándares de conservación y mejora que 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 realizará los estándares de conservación.

##### 4.7.4.1. Estándares de conservación

Es la aplicación de una o varias operaciones de mantenimiento en forma programada en el tiempo o en función de la respuesta a una condición máxima aceptable de estado del

camino o del nivel de tránsito, se debe especificar por cada operación, cuando corresponda, los espesores a aplicar, granulometrías, coeficientes estructurales de capas, incremento de números estructurales, tipo de espesores de capas, métodos constructivos (con o sin compactación), calidad técnica de terminación de las obras (rugosidad inicial), áreas máximas dañada admisibles, valores máximos aceptables de agrietamiento, rugosidad y los costos o factores de costos necesario.

Utilizando combinaciones de alternativas se definió y evaluó una serie de estándares de conservación y mejora donde se aplicaron a todos los proyectos de inversión en el departamento de San Marcos y que consistió en:

#### **4.7.4.1.1. Mantenimiento de rutina**

Los trabajos incluidos en este estándar de conservación son de rutina como sellados de fisuras, de roturas de esquinas, pequeños bacheos, los mismas se detallan en la pantalla abierta 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%.

La especificación para el recubrimiento de fisuras está contenida 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.

Elemento de trabajo de conservación: RECUBRIMIETNO

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: RECUBRIMIETNO  
 Código: MANT11  
 Capa de rodadura: Homigón  
 Tipo de entidad: Calzada  
 Actuación: Refuerzo adherido  
 Tipo de intervención:  Programada  
 Correctiva

Aceptar Cancelar Aplicar

**Intervención:**

Confirma el criterio de respuesta cuando el agrietamiento y fisuración afecta más del 5% y menor al 30% del área de la losa. Además, se programa una intervención de mantenimiento cada dos años cuando nuestro IRI se encuentre en un 6 m/Km, con un máximo de 15 años.

Elemento de trabajo de conservación: RECUBRIMIETNO

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio de intervención  
 Intervalo de tiempo: 2 Años

Límites  
 Último año: 2034  
 Regularidad max: 6 IRI (m/km) Intervalo: 1 15 año(s)  
 Cantidad max: 5000 m<sup>2</sup>/km/año IMD: 0 3100

Aceptar Cancelar Aplicar

**Costos:**

Confirma el costo unitario de los trabajos de recubrimiento de fisuras expresado en dólares americanos por metro cuadrado.

Elemento de trabajo de conservación: RECUBRIMIETNO

General | Intervención | Costes | Efectos

Económico Financiero  
 Coste unitario: 9.91 0 por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

**Efectos:**



Confirma el porcentaje de superficie que debe ser reparada con un 50 mm de espesor y reponer cuando ya haya un 20% de fallas en las losas, para repararlas en un 100%.

Elemento de trabajo de conservación: RECUBRIMIENTO

General | Intervención | Costes | Efectos

Estado después de la actuación

Espesor: 50 mm	Losas repuestas: 20 %
Resqueadura: 2 IRI (m/km)	Fisuras reparadas: 100 %
Sellado de juntas: Betún	Anchura reparación fisuras: 0 m
Coefficiente de drenaje: 0	Jointas reparadas: 0 %
Diámetro de pasadores: 0 mm	Ancho de junta reparada: 0 m
Eficiencia transmisión cargas: 0 %	Defectos reparados: 100 %
Coeff. transmisión de cargas: 0 %	Fallas de área reparados: 0 m <sup>2</sup>
Revest. anticonstricción: <input type="checkbox"/>	

Aceptar Cancelar Aplicar

#### 4.7.4.1.2. 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. Los mismos se detallan en la pantalla abierta a continuación.

Estándar de conservación: MANDERUT+SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS

General

Nombre: MANDERUT+SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS

Código: MRSQJ

Tipo capa rodadura: Hormigón

Tareas:

RECUBRIMIENTO	REC2
SELLADO DE JUNTAS	SEJU

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.

Estándar de conservación: SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS+MANTE

General

Nombre: SELLADO DE GRIETAS Y JUNTAS+MANTE

Código: SEJUGR

Tipo capa rodadura: Hormigón

Tareas

RECUBRIMIENTO	REC2
SELLADO DE JUNTAS	SEJU

Nueva tarea...  
Copiar tarea  
Borrar tarea  
Editar...

Lista de elementos de trabajos de conservación asociados a este estándar

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE JUNTAS

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: SELLADO DE JUNTAS

Código: SEJU

Capa de rodadura: Hormigón

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Sellado de juntas

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Intervención:

Confirma un intervalo de tiempo igual a 2 años y un Índice de rugosidad menor a 6 (m/km).

Elemento de trabajo de conservación: SELLADO DE JUNTAS

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio de intervención

Intervalo de tiempo: 2 Años

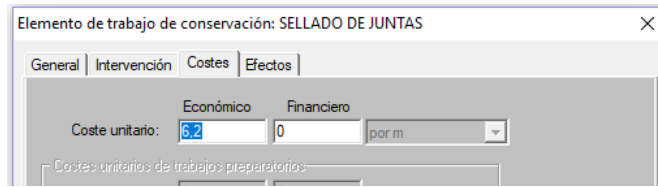
Límites

Último año: 2034	Intervalo: 1	Máximo: 15
Regularidad max: 6 IRI (m/km)	IMD: 0	Máximo: 3100 año(s)
Cantidad max: 5000 m <sup>2</sup> /km/año		

Aceptar Cancelar Aplicar

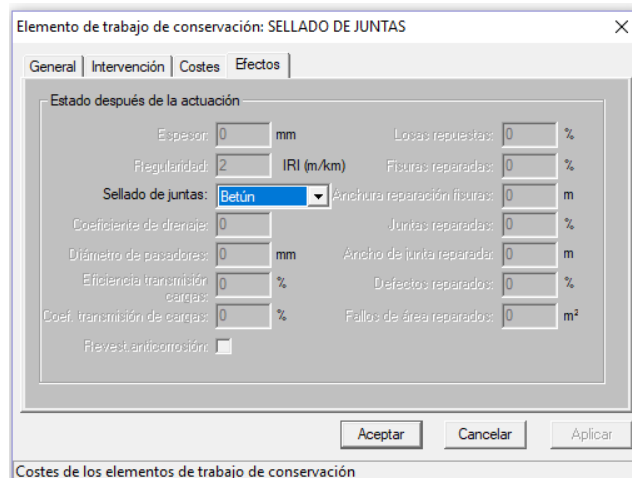
Costos:

Confirma el costo unitario de los trabajos de recubrimiento de fisuras expresado en dólares americanos por metro



Efectos:

Confirma que el sellado de juntas se realizará con betún el porcentaje de juntas a reparar.



#### 4.7.4.1.3. 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. Los mismos 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.

Estándar de conservación: MANTENIMIENTO DE RUTINA+PARCHADO Y SELLA... X

General

Nombre: RUTINA+PARCHADO Y SELLADE DE GRIETAS

Código: PSG

Tipo capa rodadura: Hormigón

Aceptar

Cancelar

Tareas

RECUBRIMIENTO	REC3
REPARACION PARCIAL	REP

Nueva tarea...

Copiar tarea

Borrar tarea

Editar...

Nombre de este estándar de conservación

### 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 X

General | Intervención | Costes | Efectos

Nombre: REPARACION PARCIAL

Código: REP

Capa de rodadura: Hormigón

Tipo de entidad: Calzada

Actuación: Saneamiento de profundidad parcial

Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

Aceptar

Cancelar

Aplicar

Nombre de este elemento de trabajo

### 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 6 (m/Km).

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION PARCIAL

General Intervención Costes Efectos

Criterio correctivo

Desconchado >= 20, <= 50 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Limites

Ultimo año: 2034      Mínimo      Máximo

Reguladad max: 5      IRI (m/km)      Intervalo: 1      15 años)

IRI (m/km)      IMD: 0      3100

Aceptar      Cancelar      Aplicar

Lista de criterios de intervención correctiva

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.

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION PARCIAL

General Intervención Costes Efectos

Económico      Financiero

Coste unitario: 17.57      0      por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

Efectos:

Confirma el porcentaje de superficie que debe ser reparada.

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION PARCIAL

General Intervención Costes Efectos

Estado después de la actuación

Espesor: 0 mm      Losas reemplazadas: 0 %

Reguladad: 2 IRI (m/km)      Figuras reparadas: 0 %

Sellado de juntas: Silicona      Anchura reparación figuras: 0 m

Coefficiente de drenaje: 0      Juntas reparadas: 80 %

Diámetro de pasadores: 0 mm      Ancho de junta reparada: 0 m

Eficiencia transmisión cargas: 0 %      Defectos reparados: 0 %

Coef. transmisión de cargas: 0 %      Fallos de área reparados: 0 m<sup>2</sup>

Revestimiento anticorrosión:

Aceptar      Cancelar      Aplicar

Porcentaje de juntas desconchadas a reparar

#### 4.7.4.1.4. 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, esto se detalla en la pantalla abierta a continuación.

Tareas	
RECUBRIMIENTO	RE 4
SANEO PROFUNDIDA PARCIAL	SPP4
REPARACION TOTAL	RT4

**Reparación total:** 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.

Nombre: REPARACION TOTAL  
Código: RT4  
Capa de rodadura: Hormigón  
Tipo de entidad: Calzada  
Actuación: Reparación a todo el espesor  
Tipo de intervención:  Programada  Correctiva

### 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 6 (m/Km).

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION TOTAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Criterio correctivo

Desconchado >= 50, <= 99 %

Nuevo criterio...  
Borrar  
Editar...

Límites

Último año: 2034

Regularidad max: 6 IRI (m/km)

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

Intervalo: 1

Mínimo: 15

Máximo: 3100

IMD: 0

### 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.

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION TOTAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Coste unitario: Económico 285.57 Financiero 0 por m<sup>2</sup>

Costes unitarios de trabajos preparatorios:

Reparación puntual: 0 0 por m<sup>2</sup>

### Efectos:

Confirma el porcentaje de agrietamientos, roturas y juntas que deben ser reparadas.

Elemento de trabajo de conservación: REPARACION TOTAL

General | Intervención | Costes | Efectos

Estado después de la actuación

Espesor: 0 mm

Regularidad: 2 IRI (m/km)

Sellado de juntas: Silicona

Coeficiente de drenajes: 0

Diámetro de pasadores: 0 mm

Eficiencia transmisión cargas: 0 %

Coef. transmisión de cargas: 0 %

Revest. anticorrosión:

Losas repuestas: 0 %

Fisuras reparadas: 20 %

Anchura reparación fisuras: 0,05 m

Juntas reparadas: 90 %

Ancho de junta reparada: 0,08 m

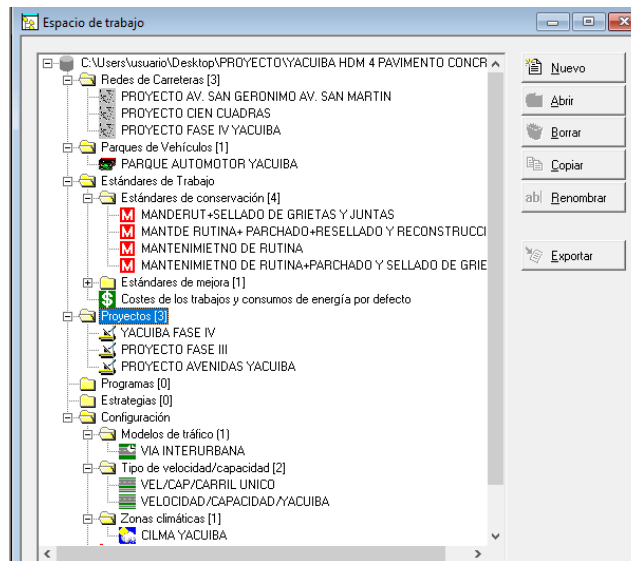
Defectos reparados: 100 %

Fallos de área reparados: 0,05 m<sup>2</sup>

#### 4.8. ANÁLISIS DE PROYECTO:

La base de datos para este estudio está localizada en la carpeta proyectos en el espacio de trabajo de casos estudiados.

Se creó tres proyectos con sus correspondientes nombres de las calles cuando fueron construidas proyecto Yacuiba fase IV, proyecto fase III, y el proyecto de las avenidas San Gerónimo y San Martín. Se define el proyecto a detalle.



##### 4.8.1. Análisis del programa

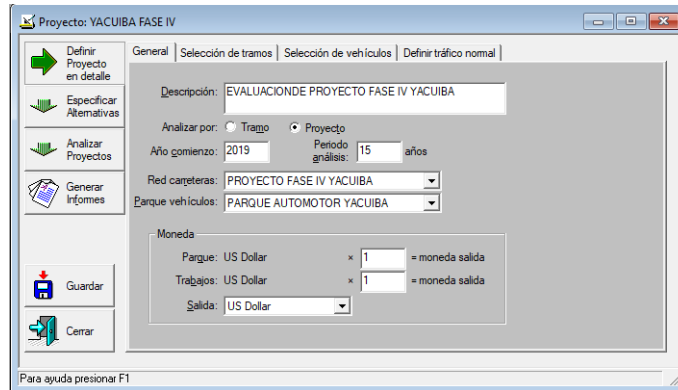
En el caso del análisis de ciclo de vida se pueden definir varias alternativas de inversión. La programación para varios años permite definir un grupo de estándares y analizar los beneficios de la realización del trabajo cuando sea requerido o retrasar los trabajos hasta el final del período del análisis.

General:

En esta pantalla se 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 2019 con una duración de 15 años (es decir, 2019 a 2033).



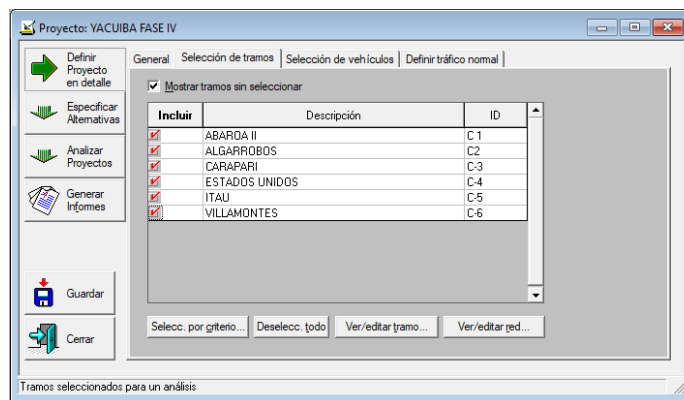


### Selección de tramo:

Esta pantalla indica qué tramo se incluirá en el análisis. Se puede ver la descripción del tramo, donde se muestran los detalles de cada una de la red de calle que ha sido creado anteriormente en redes de carretera.

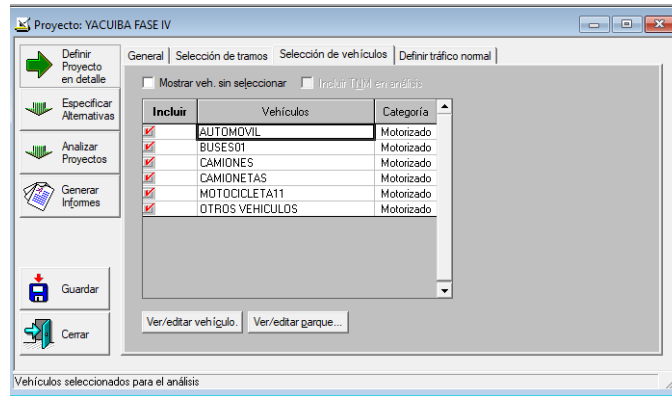
En este caso seleccionamos todo, pero también se puede seleccionar de manera individual.

Estas calles fueron definidas con sus características básicas, geométricas y su estado en redes de carreteras si existiera algún cambio se puede volver atrás a hacer la configuración, ya que en proyecto solo definimos si serán estas calles analizadas o no.



### Selección de vehículos:

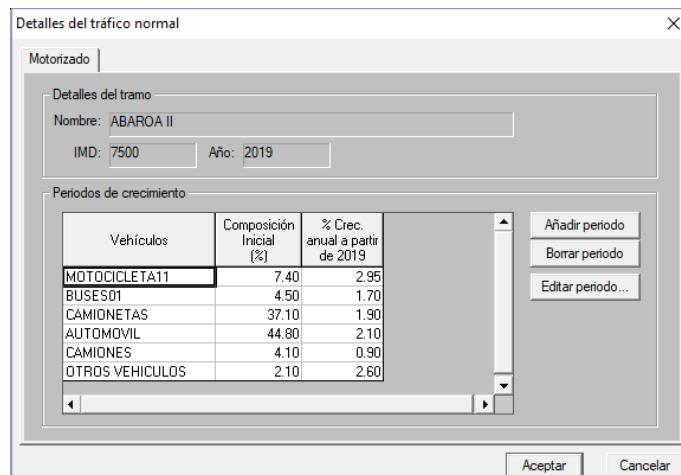
Esta pantalla confirma la selección de los vehículos (del parque predefinido que serán utilizados en nuestros tres proyectos nombrados anteriormente) Los atributos se pueden modificar entrando a la descripción apropiada al tipo de vehículo en parque de vehículos.



### 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.

La composición de vehículos está en porcentaje y esta composición debe dar un igual al 100 % si esto no fuera así el programa tiene la opción de corregirte o avisar que la composición debe darnos un igual al 100 %.

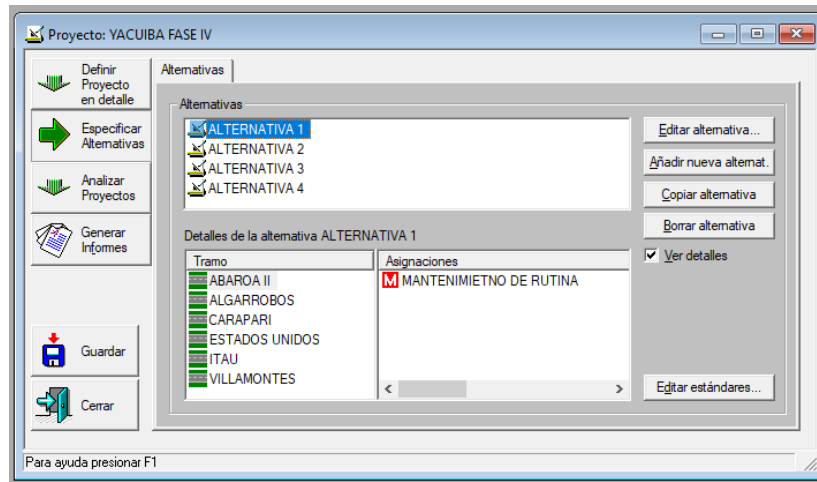


### 4.8.2. Especificar alternativas

La pantalla de alternativas se divide en dos partes, en la partes superior muestra los nombres de las cuatro alternativas que han sido seleccionadas para el estudio de este caso, cada alternativa tiene un estándar de conservación con sus respectivas tareas asignadas.

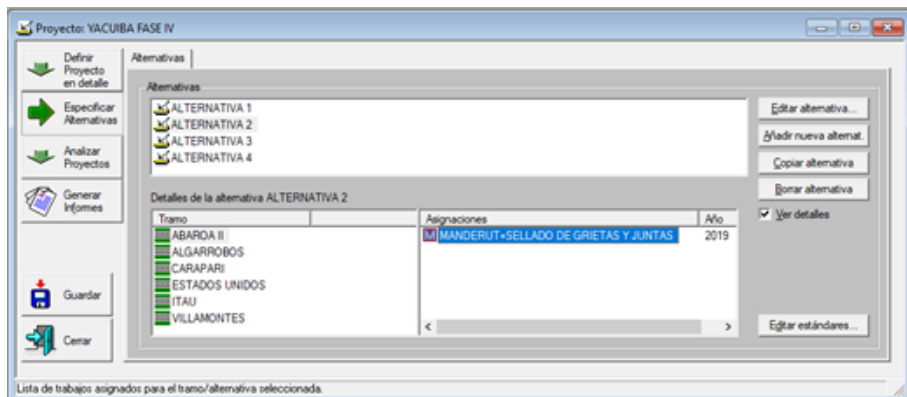
**Alternativa 1:** Se crea una alternativa para luego asignar nuestro primer estandar de conservación con la tarea de mantenimiento de rutina, esta asignación como primera alternativa se hace con todas las calles descritas.

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.



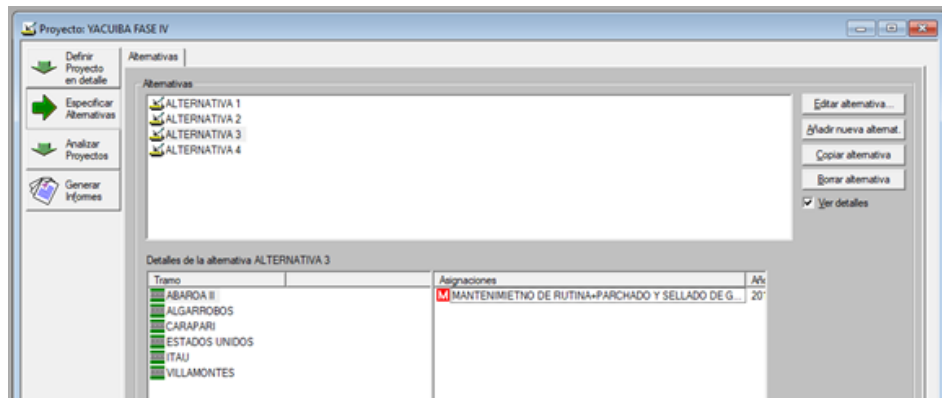
**Alternativa 2:** Mantenimiento de rutina más sellado de juntas y grietas

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 % y menor al 20 %. Durante este periodo se aplicarán también las rutinas de mantenimiento.



**Alternativa 3:** Para la alternativa tres se hace la asignación de la conservación mantenimiento más parchado y sellado de juntas y grietas que tiene la tarea de recubrimiento más una reparación parcial.

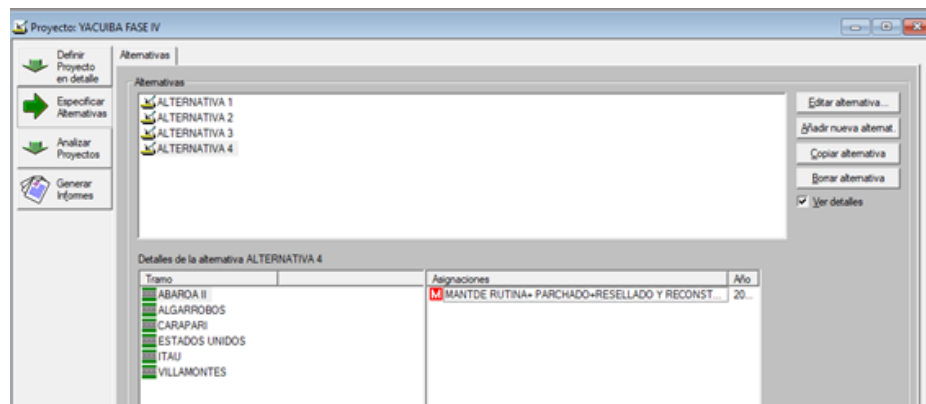
En esta alternativa se recomienda una reparación parcial, recubrir con una mezcla asfáltica y garantizar la adherencia cuando el agrietamiento sea mayor al 20 % y menor al 50 % y un resellado de juntas y esquinas desportilladas.



**Alternativa 4:** La asignación de esta alternativa corresponde a una reparación total con un espesor de 50 mm para que el pavimento pueda alargar su vida útil.

El estándar de conservación tiene tres tareas la de recubrimiento, reparación parcial y reparación total del pavimento.

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.



**Tabla 4.5 Resumen de las alternativas, correspondientes a su estándar de conservación y sus tareas**

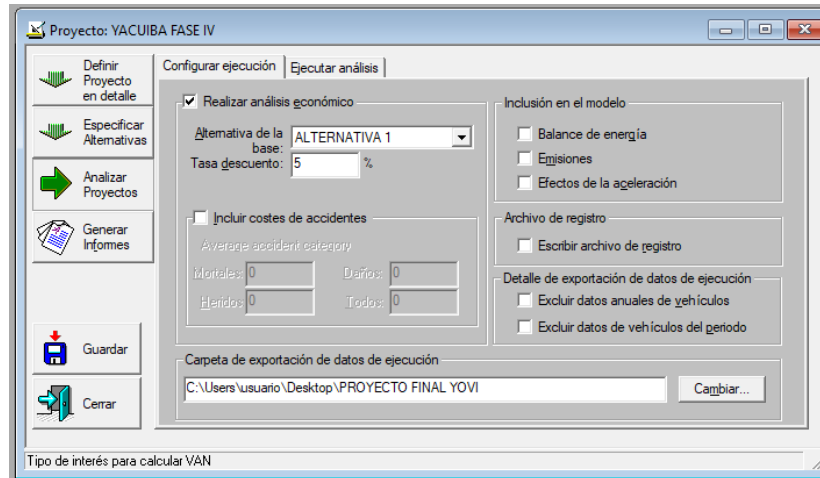
<b>Alternativa</b>	<b>Estándares de conservación</b>	<b>Tarea de conservación</b>	<b>Efectivo desde</b>
Mantenimiento de rutina	Mantenimiento de rutina	Recubrimiento	2019
Mantenimiento de rutina + Sellado de juntas y grietas	Sellado de juntas y grietas	Recubrimiento Sellado de juntas	2019
Mantenimiento de rutina + Parchado y sellado de grietas	Parchado y sellado de grietas	Recubrimiento Reparación parcial	2019
Mantenimiento de rutina + Parchado, resellado y reconstrucción	Parchado, resellado y reconstrucción	Recubrimiento Reparación parcial Reparación profunda	2019

Fuente: elaboración propia

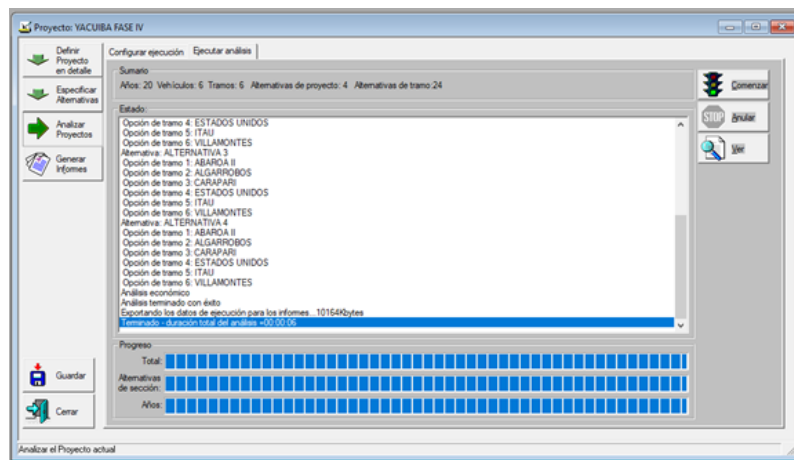
#### **4.8.3. Analizar el proyecto**

Es aquí donde se empieza la ejecución del programa, se elige una alternativa base de todas las alternativas creadas. En este caso nuestra alternativa base será la **alternativa 1** y la tasa de descuento será de un 5 %, esto se deja a criterio de cada uno de los proyectistas.

En este estudio del HDM-4 el costo de accidentes y los efectos causados por las emisiones del balance de energía y aceleración no se incluyen en el análisis.

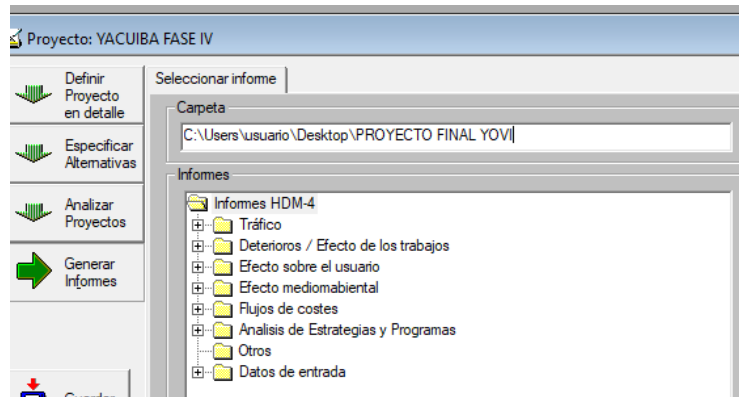


En la pestaña del programa ejecutar análisis comenzamos con el respectivo análisis de nuestro proyecto. Si se hubiera ingresado algún dato por error el HDM- 4 nos avisa con notas de error de color rojo y por lo tanto el proceso de ejecución no se realiza llegando a quedar incompleta la ejecución, pero si el análisis se completa todo el proceso termina completándose.



## 4.9. GENERAR INFORMES

Nos genera resultados de tráfico y los deterioros / efectos del trabajo.

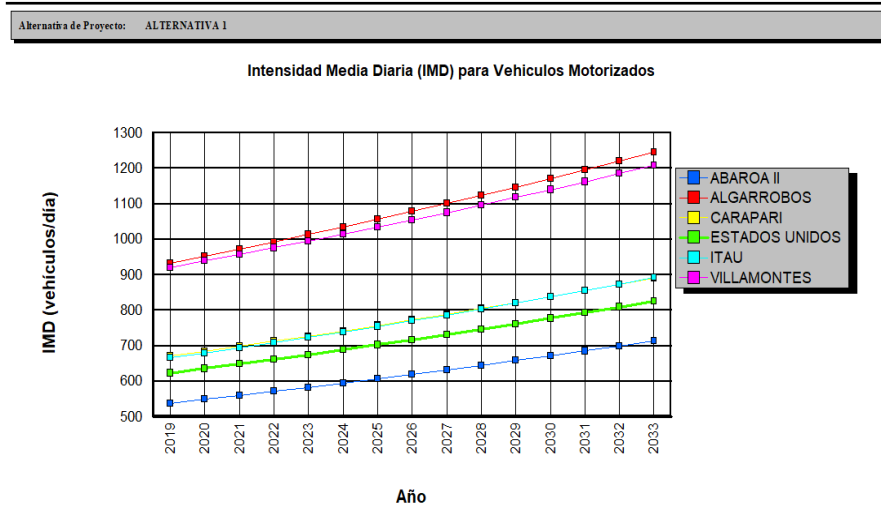


### 4.9.1. Tráfico

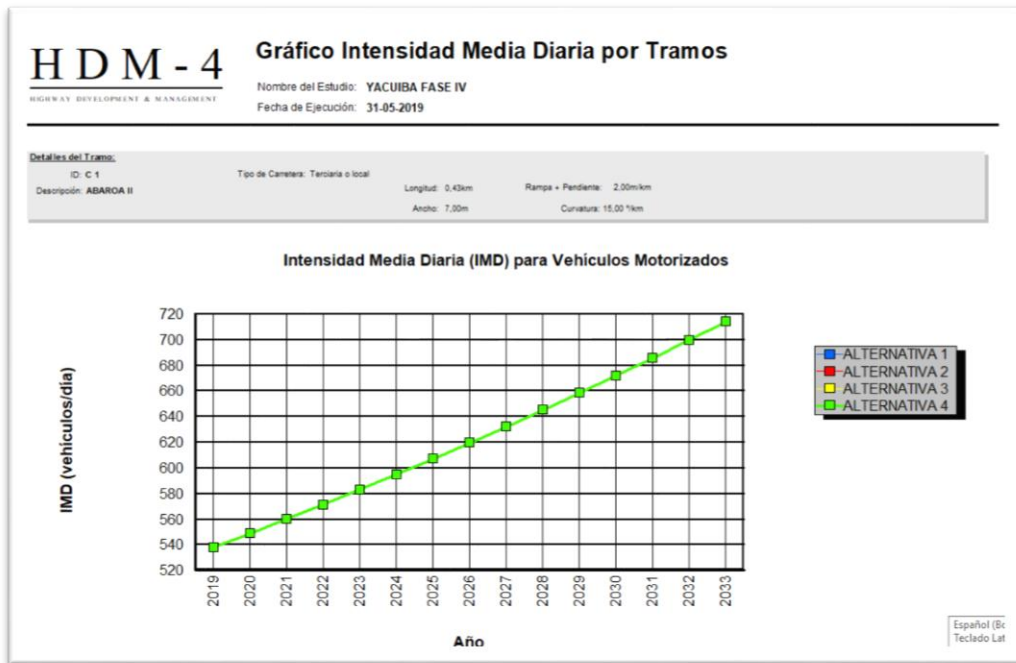
#### 4.9.1.1. Intensidad media diaria para los vehículos motorizados por alternativas de proyecto.

Esta gráfica representa a las cuatro alternativas del proyecto.

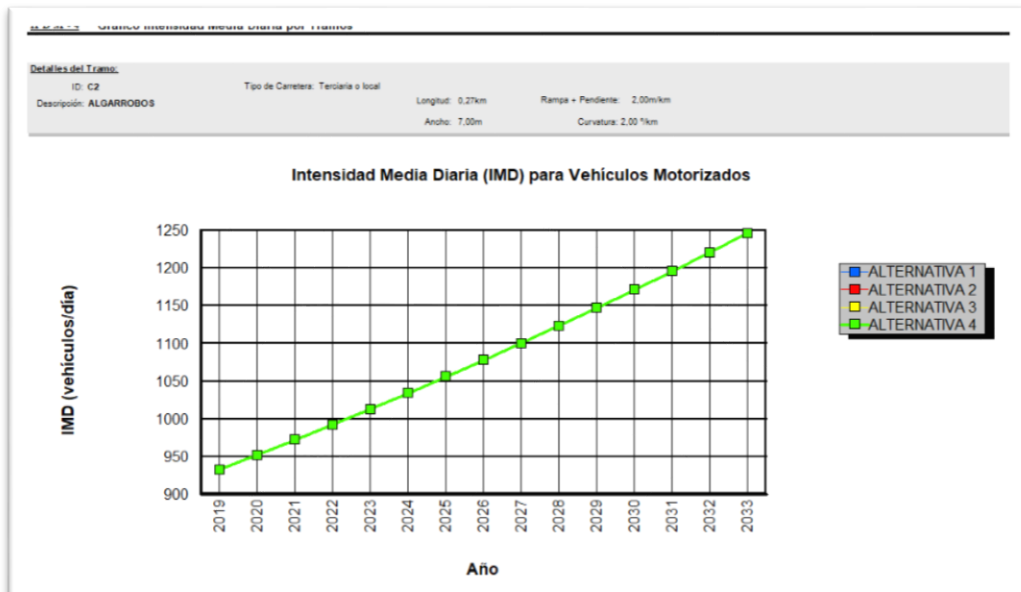
**HDM - 4** Gráfico Intensidad Media Diaria por Alternativas de Proyecto  
Nombre del Estudio: YACUIBA FASE IV  
Fecha de Ejecución: 31-05-2019



## Gráfico intensidad media diaria de la calle Abaroa II

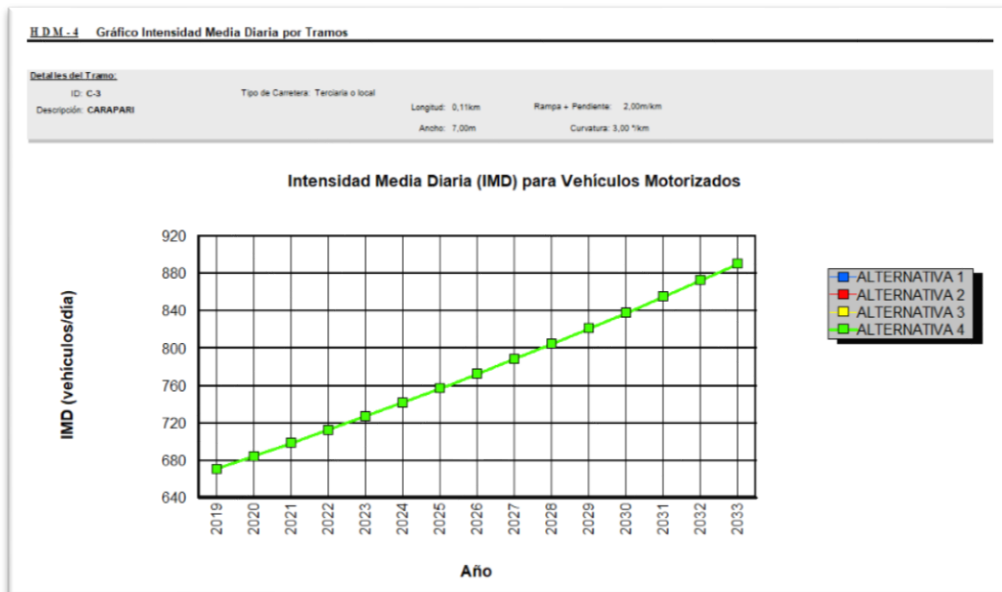


## Gráfico intensidad media diaria de la calle Algarrobos

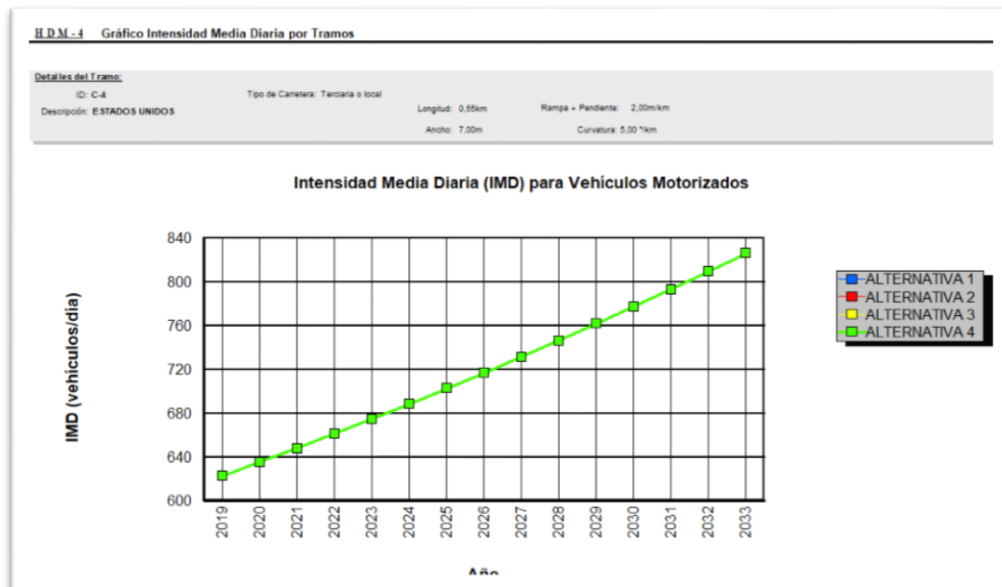




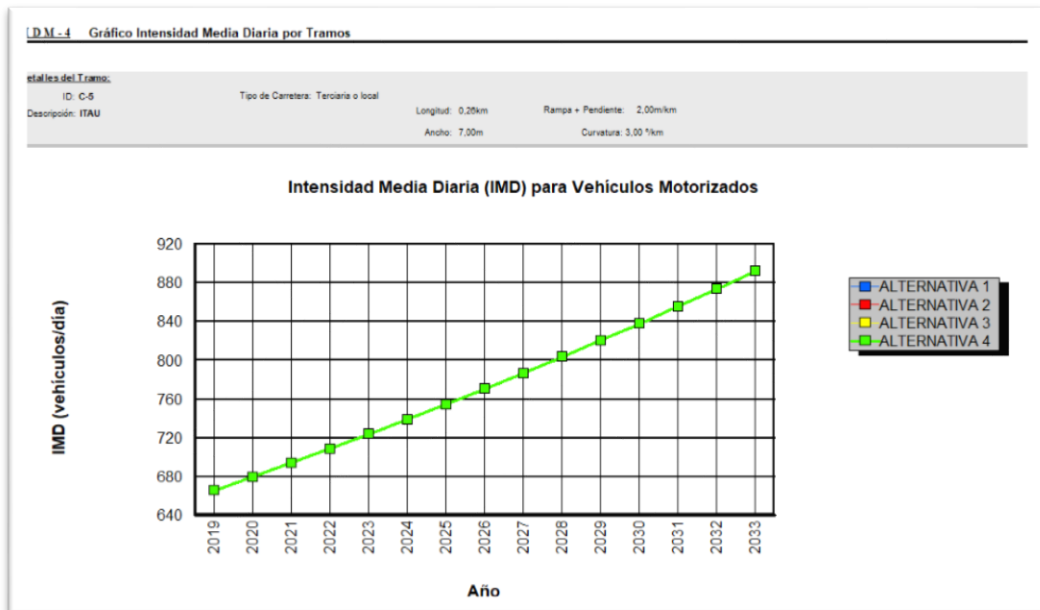
## Gráfico intensidad media diaria de la calle Carapari



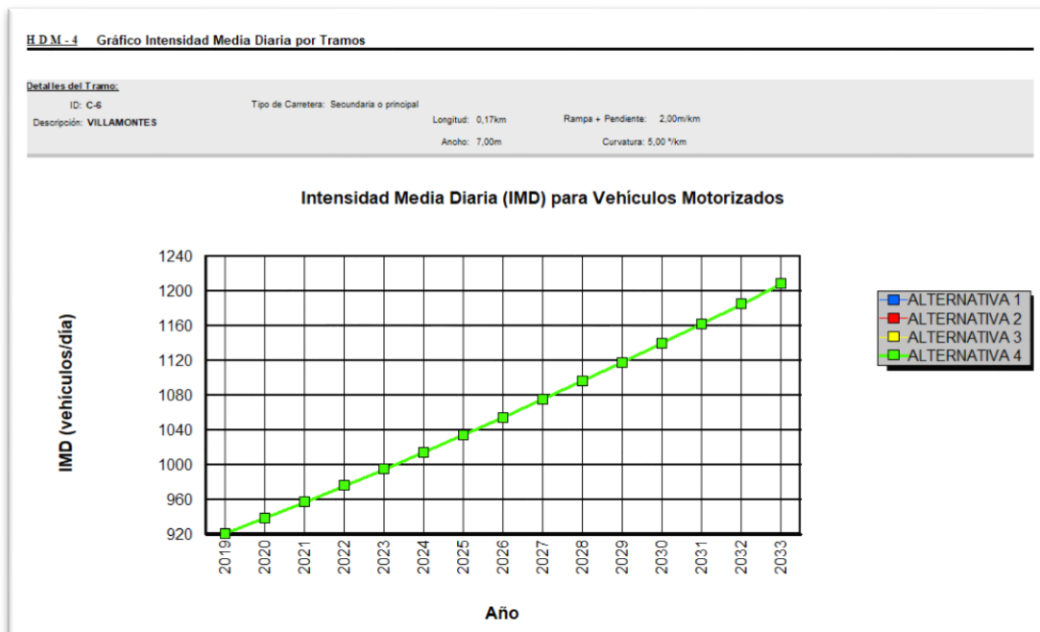
## Gráfico intensidad media diaria de la calle Estados Unidos.



## Grafico intensidad media diaria de la calle Itau.



## Grafico intensidad media diaria de la calle Villamontes



## 4.9.2. Deterioro de Pavimentos

### 4.9.2.1. Calendario de actuaciones por año por alternativa de proyecto

#### ALTERNATIVA 1

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Calendario de actuaciones (por año)

Nombre del estudio: YACUIBA FASE IV

Fecha ejecución: 04-06-2019

Todos los costes se expresan en: US Dollar.

#### ALTERNATIVA 1

Año	Tramo	Descripción de trabajos	Código	Coste Económico	Coste Financiero	Cantidad de trabajo	
2020	ABAROA II	RECUBRIMIETNO	MANT11	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	299.0	0.0	30,17 sq. m	
	ALGARROBOS	RECUBRIMIETNO	MANT11	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	187.7	0.0	18,94 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIETNO	MANT11	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	77.8	0.0	7,85 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIETNO	MANT11	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	392.5	0.0	39,61 sq. m	
	ITAU	RECUBRIMIETNO	MANT11	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	36.7	0.0	3,70 sq. m	
	VILLAMONTES	RECUBRIMIETNO	MANT11	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	250.0	0.0	25,23 sq. m	
	<b>Coste total anual:</b>				<b>125,901.5</b>	<b>0.0</b>	
	2022	ABAROA II	RECUBRIMIETNO	MANT11	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
RECUBRIMIETNO			MANT11	239.2	0.0	24,13 sq. m	
ALGARROBOS		RECUBRIMIETNO	MANT11	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	150.2	0.0	15,15 sq. m	
ESTADOS UNIDOS		RECUBRIMIETNO	MANT11	62.2	0.0	6,28 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
ITAU		RECUBRIMIETNO	MANT11	314.0	0.0	31,69 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
VILLAMONTES		RECUBRIMIETNO	MANT11	29.3	0.0	2,96 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
RECUBRIMIETNO		MANT11	200.0	0.0	20,18 sq. m		
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,652.8</b>	<b>0.0</b>		
2024		ABAROA II	RECUBRIMIETNO	MANT11	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
			RECUBRIMIETNO	MANT11	191.3	0.0	19,31 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIETNO	MANT11	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	120.1	0.0	12,12 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIETNO	MANT11	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	49.8	0.0	5,02 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIETNO	MANT11	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	251.2	0.0	25,35 sq. m	
	ITAU	RECUBRIMIETNO	MANT11	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	23.5	0.0	2,37 sq. m	
	VILLAMONTES	RECUBRIMIETNO	MANT11	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
		RECUBRIMIETNO	MANT11	160.0	0.0	16,14 sq. m	
	<b>Coste total anual:</b>				<b>125,453.8</b>	<b>0.0</b>	



## Actuaciones Alternativa 2

**H D M - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

### Calendario de actuaciones (por año)

Nombre del estudio: **YACUIBA FASE IV**  
Fecha ejecución: **04-06-2019**

Todos los costes se expresan en: US Dollar.

#### **ALTERNATIVA 2**

<b>Año</b>	<b>Tramo</b>	<b>Descripción de trabajos</b>	<b>Código</b>	<b>Coste Económico</b>	<b>Coste Financiero</b>	<b>Cantidad de trabajo</b>	
2020	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC2	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	299.0	0.0	30,17 sq. m	
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC2	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	187.7	0.0	18,94 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC2	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	77.8	0.0	7,85 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC2	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	392.5	0.0	39,61 sq. m	
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC2	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	36.7	0.0	3,70 sq. m	
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC2	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	250.0	0.0	25,23 sq. m	
	<b>Coste total anual:</b>				<b>125,901.5</b>	<b>0.0</b>	
	2022	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC2	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
RECUBRIMIENTO			REC2	239.2	0.0	24,13 sq. m	
ALGARROBOS		RECUBRIMIENTO	REC2	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	150.2	0.0	15,15 sq. m	
CARAPARI		RECUBRIMIENTO	REC2	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	62.2	0.0	6,28 sq. m	
ESTADOS UNIDOS		RECUBRIMIENTO	REC2	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	314.0	0.0	31,69 sq. m	
ITAU		RECUBRIMIENTO	REC2	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	29.3	0.0	2,96 sq. m	
VILLAMONTES		RECUBRIMIENTO	REC2	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	200.0	0.0	20,18 sq. m	
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,652.8</b>	<b>0.0</b>		
2024		ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC2	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO		REC2	191.3	0.0	19,31 sq. m	
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC2	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	120.1	0.0	12,12 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC2	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	49.8	0.0	5,02 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC2	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	251.2	0.0	25,35 sq. m	
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC2	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	23.5	0.0	2,37 sq. m	
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC2	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC2	160.0	0.0	16,14 sq. m	
	<b>Coste total anual:</b>				<b>125,453.8</b>	<b>0.0</b>	
	2026	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC2	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
2026	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC2	153.1	0.0	15,45 sq. m	
		ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC2	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC2	96.1	0.0	9,70 sq. m	
		CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC2	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC2	39.8	0.0	4,02 sq. m	
		ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC2	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC2	201.0	0.0	20,28 sq. m	
		ITAU	RECUBRIMIENTO	REC2	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC2	18.8	0.0	1,89 sq. m	
		VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC2	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC2	128.0	0.0	12,92 sq. m	
		<b>Coste total anual:</b>				<b>125,294.6</b>	<b>0.0</b>

### **Actuaciones Alternativa 3**

Todos los costes se expresan en: US Dollar.

**ALTERNATIVA 3**

Año	Tramo	Descripción de trabajos	Código	Coste Económico	Coste Financiero	Cantidad de trabajo	
2019	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2.982,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	296.6	0.0	29,93 sq. m	
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1.876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	186.5	0.0	18,82 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	77.7	0.0	7,84 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3.878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	386.9	0.0	39,04 sq. m	
	2020	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2.982,00 sq. m
			RECUBRIMIENTO	REC3	237.3	0.0	23,94 sq. m
ALGARROBOS		RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1.876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	149.2	0.0	15,05 sq. m	
CARAPARI		RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	62.2	0.0	6,27 sq. m	
ESTADOS UNIDOS		RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3.878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	309.5	0.0	31,23 sq. m	
ITAU		RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1.848,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	36.7	0.0	3,70 sq. m	
VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1.211,00 sq. m		
	RECUBRIMIENTO	REC3	194.5	0.0	19,63 sq. m		
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,647.2</b>	<b>0.0</b>		
2021	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1.211,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	155.6	0.0	15,70 sq. m	
<b>Coste total anual:</b>				<b>12,156.6</b>	<b>0.0</b>		
2022	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2.982,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	189.8	0.0	19,15 sq. m	
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1.876,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	119.4	0.0	12,04 sq. m	
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	49.7	0.0	5,02 sq. m	
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3.878,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	247.6	0.0	24,99 sq. m	
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1.848,00 sq. m	
		RECUBRIMIENTO	REC3	29.3	0.0	2,96 sq. m	
VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1.211,00 sq. m		
	RECUBRIMIENTO	REC3	124.5	0.0	12,56 sq. m		
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,418.2</b>	<b>0.0</b>		

2024	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2,982.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	151.9	0.0	15.32 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1,876.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	95.5	0.0	9.63 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	39.8	0.0	4.02 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3,878.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	198.1	0.0	19.99 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1,848.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	23.5	0.0	2.37 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1,211.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	99.6	0.0	10.05 sq. m
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,266.2</b>	<b>0.0</b>	

2026	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2,982.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	121.5	0.0	12.26 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1,876.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	76.4	0.0	7.71 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	31.8	0.0	3.21 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3,878.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	158.5	0.0	15.99 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1,848.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	18.8	0.0	1.89 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1,211.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	79.7	0.0	8.04 sq. m
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,144.5</b>	<b>0.0</b>	

2028	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2,982.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	97.2	0.0	9.81 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1,876.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	61.1	0.0	6.17 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	25.5	0.0	2.57 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3,878.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	126.8	0.0	12.79 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1,848.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	15.0	0.0	1.52 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1,211.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	63.7	0.0	6.43 sq. m
<b>Coste total anual:</b>				<b>125,047.2</b>	<b>0.0</b>	

2030	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2,982.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	77.8	0.0	7.85 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1,876.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	48.9	0.0	4.93 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	20.4	0.0	2.06 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3,878.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	101.4	0.0	10.23 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1,848.00 sq. m
		RECUBRIMIENTO	REC3	12.0	0.0	1.21 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1,211.00 sq. m

**HDM - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

### Calendario de actuaciones (por año)

Nombre del estudio: **YACUIBA FASE IV**

Fecha ejecución: **04-06-2019**

Todos los costes se expresan en: US Dollar.



2030 VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	51.0	0.0	5,15 sq. m
<b>Coste total anual:</b>			<b>124,969.3</b>	<b>0.0</b>	
2032 ABAROA II	RECUBRIMIENTO	REC3	29,551.6	0.0	2.982,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	62.2	0.0	6,28 sq. m
ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	REC3	18,591.2	0.0	1.876,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	39.1	0.0	3,95 sq. m
CARAPARI	RECUBRIMIENTO	REC3	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	16.3	0.0	1,64 sq. m
ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	REC3	38,431.0	0.0	3.878,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	81.1	0.0	8,19 sq. m
ITAU	RECUBRIMIENTO	REC3	18,313.7	0.0	1.848,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	9.6	0.0	0,97 sq. m
VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	REC3	12,001.0	0.0	1.211,00 sq. m
	RECUBRIMIENTO	REC3	40.8	0.0	4,12 sq. m
<b>Coste total anual:</b>			<b>124,907.1</b>	<b>0.0</b>	
<b>Costes totales para la Alternativa:</b>			<b>996,091.4</b>	<b>0.0</b>	

#### Alternativa 4

**H D M - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

#### Calendario de actuaciones (por año)

Nombre del estudio: YACUIBA FASE IV

Fecha ejecución: 04-06-2019

Todos los costes se expresan en: US Dollar.

Año	Tramo	Descripción de trabajos	Código	Coste Económico	Coste Financiero	Cantidad de trabajo
2022	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	RE4	29,551.6	0.0	2.982,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	8,832.6	0.0	30,93 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	RE4	18,591.2	0.0	1.876,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	5,524.7	0.0	19,35 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	RE4	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	2,246.1	0.0	7,87 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	RE4	38,431.0	0.0	3.878,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	11,829.8	0.0	41,43 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	RE4	18,313.7	0.0	1.848,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	1,058.7	0.0	3,71 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	RE4	12,001.0	0.0	1.211,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	7,828.9	0.0	27,41 sq. m
<b>Coste total anual:</b>				<b>161,978.6</b>	<b>0.0</b>	

Todos los costes se expresan en: US Dollar.

2024	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	RE4	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	7,066.1	0.0	24,74 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	RE4	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	4,419.8	0.0	15,48 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	RE4	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	1,796.9	0.0	6,29 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	RE4	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	9,463.8	0.0	33,14 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	RE4	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	846.9	0.0	2,97 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	RE4	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	6,263.1	0.0	21,93 sq. m
	<b>Coste total anual:</b>			<b>154,514.5</b>	<b>0.0</b>	
2026	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	RE4	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	3,535.8	0.0	12,38 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	RE4	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	1,437.5	0.0	5,03 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	RE4	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	7,571.1	0.0	26,51 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	RE4	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	677.6	0.0	2,37 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	RE4	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	5,010.5	0.0	17,55 sq. m
	<b>Coste total anual:</b>			<b>148,543.1</b>	<b>0.0</b>	
2028	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	RE4	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	4,522.3	0.0	15,84 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	RE4	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	2,828.7	0.0	9,91 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	RE4	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	1,150.0	0.0	4,03 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	RE4	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	6,056.8	0.0	21,21 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	RE4	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	542.0	0.0	1,90 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	RE4	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	4,008.4	0.0	14,04 sq. m
	<b>Coste total anual:</b>			<b>143,766.1</b>	<b>0.0</b>	
2030	ABAROA II	RECUBRIMIENTO	RE4	29,551.6	0.0	2,982,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	3,617.8	0.0	12,67 sq. m
	ALGARROBOS	RECUBRIMIENTO	RE4	18,591.2	0.0	1,876,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	2,262.9	0.0	7,92 sq. m
	CARAPARI	RECUBRIMIENTO	RE4	7,769.4	0.0	784,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	920.0	0.0	3,22 sq. m
	ESTADOS UNIDOS	RECUBRIMIENTO	RE4	38,431.0	0.0	3,878,00 sq. m
	ITAU	RECUBRIMIENTO	RE4	18,313.7	0.0	1,848,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	433.6	0.0	1,52 sq. m
	VILLAMONTES	RECUBRIMIENTO	RE4	12,001.0	0.0	1,211,00 sq. m
		REPARACION TOTAL	RT4	3,206.7	0.0	11,23 sq. m
	<b>Coste total anual:</b>			<b>139,944.5</b>	<b>0.0</b>	

**Coste total anual:** 136,887.2 0.0

**Costes totales para la Alternativa:** 885,633.9 0.0

**Resumen de Costes Económicos Totales Anuales**

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
2019	0.00	0.00	107,535.04	0.00
2020	125,901.47	125,901.47	125,647.23	0.00
2021	0.00	0.00	12,156.63	0.00
2022	125,652.76	125,652.76	125,418.24	161,978.61
2024	125,453.78	125,453.78	125,266.16	154,514.46
2026	125,294.60	125,294.60	125,144.51	148,543.14
2028	125,167.27	125,167.27	125,047.19	143,766.10
2030	125,065.37	125,065.37	124,969.31	139,944.45
2032	124,983.89	124,983.89	124,907.05	136,887.15
<b>Total</b>	<b>877.519,14</b>	<b>877.519,14</b>	<b>996.091,36</b>	<b>885.633,91</b>

## 4.9.2.2. Regularidad media por tramos

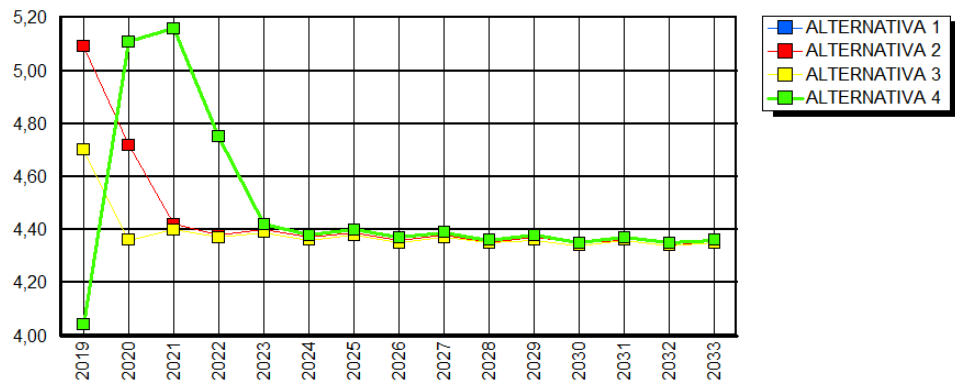
### Calle Abaroa II

**H D M - 4**  
HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

### Gráfico Regularidad Media por Tramos

Nombre del Estudio: YACUIBA FASE IV

Fecha de Ejecución: 31-05-2019



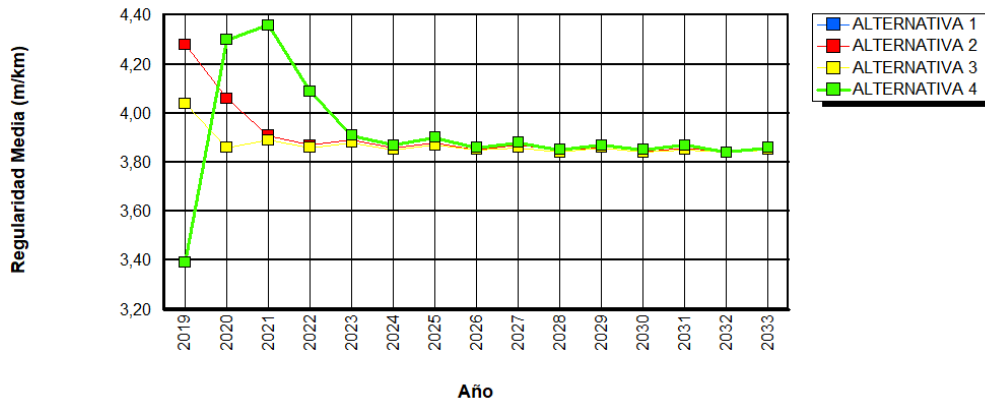
### Calle Algarrobos

## Calle Carapari

### H D M - 4 Gráfico Regularidad Media por Tramos

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Nombre del Estudio: YACUIBA FASE IV  
Fecha de Ejecución: 31-05-2019



## Calle Estados Unidos

## Calle Itau

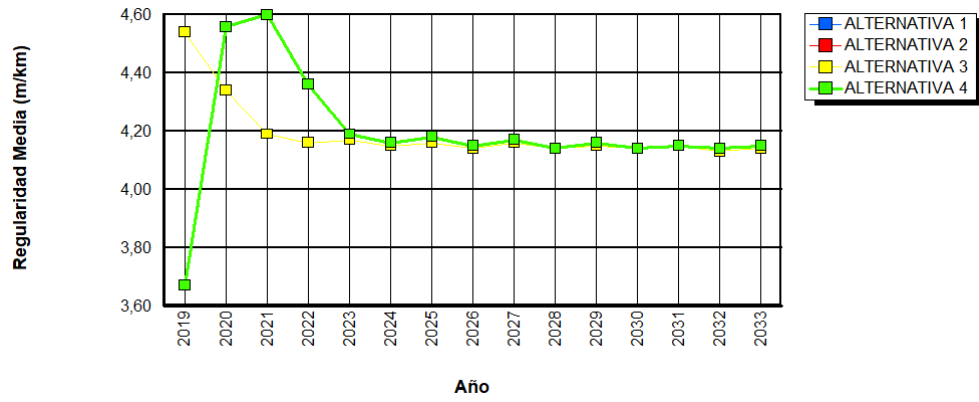
# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Gráfico Regularidad Media por Tramos

Nombre del Estudio: YACUIBA FASE IV

Fecha de Ejecución: 31-05-2019



## Calle Villamontes

## **Regularidad media por proyecto**

#### 4.9.2.3. Estado anual de la carretera (pavimento de hormigón)

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Estado anual de la carretera (pavimento de hormigón)

Nombre del estudio: YACUIBA FASE IV  
Fecha de ejecución: 04-06-2019

**Detalles del tramo:**

ID: C 1  
Longitud: 0,43km

Descripción: ABAROA II  
Ancho: 7,00m

Rampa + Pendiente: 2,00 m/km

Clase de carretera: Terciaria o local  
Curvatura: 0,00 %/km

Firme de hormigón

Año	TM IMD		IRI m/km	Escalonamiento medio mm	Juntas Desconchadas %	Losas Fisuradas %
2019	538	Antes trabajo		2,29	20,43	5,02
		Después trabajo	5,09	2,29	20,43	5,02
2020	549	Antes trabajo		2,35	20,51	5,06
		Después trabajo	4,72	2,00	0,00	4,05
2021	560	Antes trabajo		2,17	0,05	4,05
		Después trabajo	4,42	2,17	0,05	4,05
2022	571	Antes trabajo		2,22	0,12	4,06
		Después trabajo	4,38	2,00	0,00	3,24
2023	583	Antes trabajo		2,24	0,05	3,24
		Después trabajo	4,40	2,14	0,05	3,24
2024	595	Antes trabajo		2,18	0,12	3,24
		Después trabajo	4,37	2,00	0,00	2,59
2025	607	Antes trabajo		2,12	0,05	2,59
		Después trabajo	4,39	2,12	0,05	2,59
2026	620	Antes trabajo		2,16	0,12	2,59
		Después trabajo	4,36	2,00	0,00	2,07
2027	632	Antes trabajo		2,11	0,05	2,07
		Después trabajo	4,38	2,11	0,05	2,07
2028	645	Antes trabajo		2,14	0,12	2,07
		Después trabajo	4,35	2,00	0,00	1,66
2029	658	Antes trabajo		2,10	0,05	1,66
		Después trabajo	4,37	2,10	0,05	1,66
2030	672	Antes trabajo		2,12	0,12	1,66
		Después trabajo	4,35	2,00	0,00	1,33
2031	685	Antes trabajo		2,09	0,05	1,33
		Después trabajo	4,36	2,09	0,05	1,33
2032	700	Antes trabajo		2,11	0,12	1,33
		Después trabajo	4,34	2,00	0,00	1,06
2033	714	Antes trabajo		2,08	0,05	1,06
		Después trabajo	4,36	2,08	0,05	1,06



### Alternativa 2

Año	TM IMD		IRI m/km	Escalonamiento medio mm	Juntas Desconchadas %	Losas Fisuradas %
2019	538	Antes trabajo	5,09	2,29	20,43	5,02
		Después trabajo		2,29	20,43	5,02
2020	549	Antes trabajo	4,72	2,35	20,51	5,06
		Después trabajo		2,00	0,00	4,05
2021	560	Antes trabajo	4,42	2,17	0,05	4,05
		Después trabajo		2,17	0,05	4,05
2022	571	Antes trabajo	4,38	2,22	0,12	4,06
		Después trabajo		2,00	0,00	3,24
2023	583	Antes trabajo	4,40	2,24	0,05	3,24
		Después trabajo		2,14	0,05	3,24
2024	595	Antes trabajo	4,37	2,18	0,12	3,24
		Después trabajo		2,00	0,00	2,59
2025	607	Antes trabajo	4,39	2,12	0,05	2,59
		Después trabajo		2,12	0,05	2,59
2026	620	Antes trabajo	4,36	2,16	0,12	2,59
		Después trabajo		2,00	0,00	2,07
2027	632	Antes trabajo	4,38	2,11	0,05	2,07
		Después trabajo		2,11	0,05	2,07
2028	645	Antes trabajo	4,35	2,14	0,12	2,07
		Después trabajo		2,00	0,00	1,66
2029	658	Antes trabajo	4,37	2,10	0,05	1,66
		Después trabajo		2,10	0,05	1,66
2030	672	Antes trabajo	4,35	2,12	0,12	1,66
		Después trabajo		2,00	0,00	1,33
2031	685	Antes trabajo	4,36	2,09	0,05	1,33
		Después trabajo		2,09	0,05	1,33
2032	700	Antes trabajo	4,34	2,11	0,12	1,33
		Después trabajo		2,00	0,00	1,06
2033	714	Antes trabajo	4,36	2,08	0,05	1,06
		Después trabajo		2,08	0,05	1,06

Alternativa 3

Año	TM IMD		IRI m/km	Escalonamiento medio mm	Juntas Desconchadas %	Losas Fisuradas %
2019	538	Antes trabajo	4,70	2,29	20,43	5,02
		Después trabajo		2,00	0,00	4,01
2020	549	Antes trabajo	4,36	2,17	0,05	4,02
		Después trabajo		2,00	0,00	3,21
2021	560	Antes trabajo	4,40	2,14	0,05	3,21
		Después trabajo		2,14	0,05	3,21
2022	571	Antes trabajo	4,37	2,18	0,12	3,21
		Después trabajo		2,00	0,00	2,57
2023	583	Antes trabajo	4,39	2,12	0,05	2,57
		Después trabajo		2,12	0,05	2,57
2024	595	Antes trabajo	4,36	2,16	0,12	2,57
		Después trabajo		2,00	0,00	2,06
2025	607	Antes trabajo	4,38	2,11	0,05	2,06
		Después trabajo		2,11	0,05	2,06
2026	620	Antes trabajo	4,35	2,14	0,12	2,06
		Después trabajo		2,00	0,00	1,64
2027	632	Antes trabajo	4,37	2,10	0,05	1,64
		Después trabajo		2,10	0,05	1,64
2028	645	Antes trabajo	4,35	2,12	0,12	1,64
		Después trabajo		2,00	0,00	1,32
2029	658	Antes trabajo	4,36	2,09	0,05	1,32
		Después trabajo		2,09	0,05	1,32
2030	672	Antes trabajo	4,34	2,11	0,12	1,32
		Después trabajo		2,00	0,00	1,05
2031	685	Antes trabajo	4,36	2,08	0,05	1,05
		Después trabajo		2,08	0,05	1,05
2032	700	Antes trabajo	4,34	2,10	0,12	1,05
		Después trabajo		2,00	0,00	0,84
2033	714	Antes trabajo	4,35	2,07	0,05	0,84
		Después trabajo		2,07	0,05	0,84

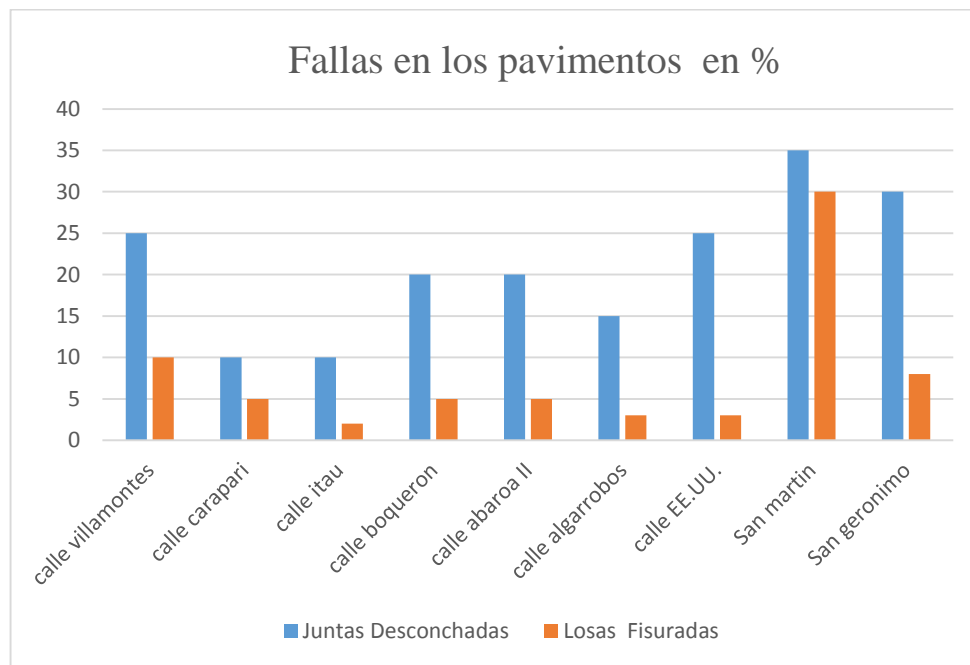
Alternativa 4

Año	TM IMD		IRI m/km	Escalonamiento medio mm	Juntas Desconchadas %	Losas Fisuradas %
2019	538	Antes trabajo	4,04	2,29	20,43	5,02
		Después trabajo		2,29	20,43	5,02
2020	549	Antes trabajo	5,11	2,35	20,51	5,06
		Después trabajo		2,35	20,51	5,06
2021	560	Antes trabajo	5,16	2,40	20,60	2,11
		Después trabajo		2,40	20,60	5,11
2022	571	Antes trabajo	4,75	2,44	20,69	5,09
		Después trabajo		2,00	0,00	4,15
2023	583	Antes trabajo	4,42	2,18	0,05	4,16
		Después trabajo		2,18	0,05	4,16
2024	595	Antes trabajo	4,38	2,22	0,12	4,16
		Después trabajo		2,00	0,00	3,32
2025	607	Antes trabajo	4,4	2,15	0,05	3,32
		Después trabajo		2,15	0,05	3,32
2026	620	Antes trabajo	4,37	2,18	0,12	3,32
		Después trabajo		2,00	0,00	2,66
2027	632	Antes trabajo	4,39	2,12	0,05	2,66
		Después trabajo		2,12	0,05	2,66
2028	645	Antes trabajo	4,36	2,16	0,12	2,66
		Después trabajo		2,00	0,00	2,12
2029	658	Antes trabajo	4,38	2,11	0,05	2,12
		Después trabajo		2,11	0,05	2,12
2030	672	Antes trabajo	4,35	2,14	0,12	1,32
		Después trabajo		2,00	0,00	1,70
2031	685	Antes trabajo	4,37	2,10	0,05	1,70
		Después trabajo		2,10	0,05	1,70
2032	700	Antes trabajo	4,35	2,12	0,12	1,70
		Después trabajo		2,00	0,00	1,36
2033	714	Antes trabajo	4,36	2,09	0,05	1,36
		Después trabajo		2,09	0,05	1,36

#### 4.10. ANÁLISIS DE RESULTADO

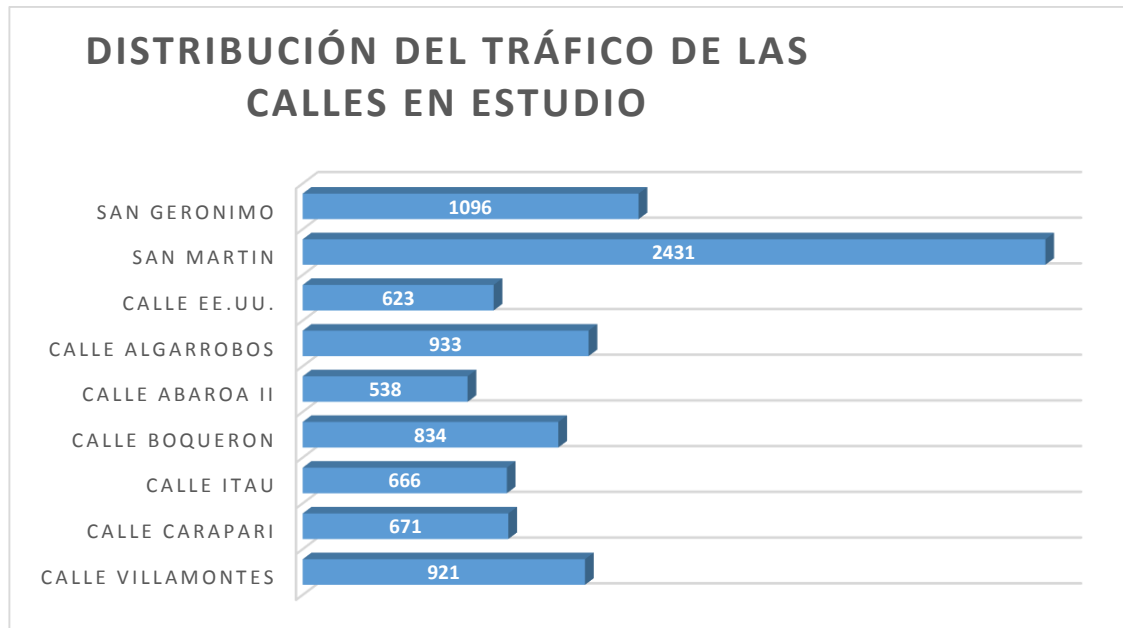
Los resultados que nos proporciona el HDM-4 deben ser analizados por tramo o por proyecto. En este caso analizaremos por proyecto, se creó tres tipos de proyecto de acuerdo al año en que se ejecutaron su construcción, qué alternativas debemos adoptar para mejorar nuestro pavimento ya sea a un menor costo o aplicando para mejorar nuestro IRI, y alargar la vida de nuestro pavimento.

En el análisis del trabajo en campo, se midieron las calles y se anotaron las fallas y el porcentaje de éstas en cuanto al total de la vía. Lo que más se pudo observar son fallas en junta desconchadas, las fisuras de las losas en menor proporción a la cantidad total. Estas fallas son necesarias y se podría decir que es la parte más importante de nuestro estudio. Es por eso que se hizo con el mayor cuidado posible en la toma de datos de campo en el estado actual de nuestras calles, el programa HDM-4 nos solicita el tipo de fallas en porcentaje (%). Es por esto que representamos estos datos de la siguiente manera.



Se observa que las juntas desconchadas son las que en mayor proporción encontramos, algunas fallas dentro de ésta son, por deficiencia, en el material de sello, por desportillamiento en las juntas y otras por el mal funcionamiento de las juntas.

El aforo de los vehículos es muy importante a la hora de hacer un análisis del deterioro en el programa HDM-4, ya que el deterioro del mismo se debe al tráfico vehicular por nuestra vía, en el programa nos pide en porcentaje TPDA, pero esto se puede hacer previo a un estudio de los vehículos.



En el gráfico se puede observar que donde existe mayor tráfico en la San Martín y la que tiene menor tráfico es la calle EE.UU., Esto no nos indica que nuestro deterioro será de esta forma porque aquí lo vemos en general. Cada calle tiene su distribución del parque automotor diferente, pero si nos ayuda a ver en el programa HDM-4 cuán rápido avanzará el deterioro de los pavimentos.

Los costos económicos son importantes a la hora de decidir si hacer o no el mantenimiento de la vía, pues las entidades tienen un presupuesto cada año y con las actuaciones por año que nos da como resultado el HDM-4 se pueden tomar grandes decisiones que afectarían a la decisión y a la economía de la institución.

Nuestras alternativas están descritas en la tabla 4.5, Se decidió que son las mejores para una ciudad como Yacuiba y las que mayormente son más usadas por los del G.A.M.Y.

Las alternativas pueden ser inmediatas como un sellado de juntas, las juntas en pavimento de concreto son las primeras en fallar. Es la que más se pudo observar para estas calles.

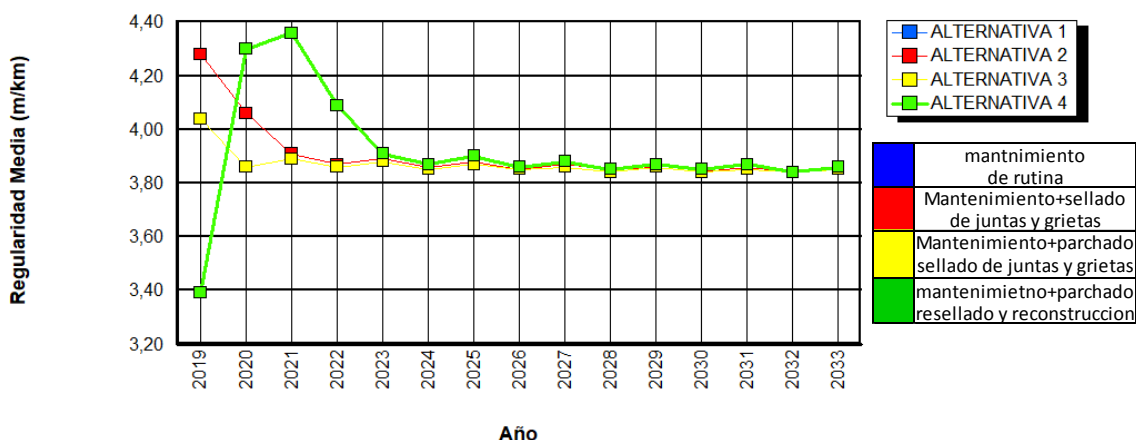
También se podría esperar para hacer un mejor tratamiento como una reconstrucción parcial, dependiendo de la planificación y la organización de las autoridades con las OTB.

A continuación, se presenta el plan por alternativas menor rugosidad.

Nombre de calles donde se aplicará HDM 4	Menor rugosidad	Rugosidad
Calle Villamontes	Alternativa 4	5,5
Calle Carapari	Alternativa 4	4,28
Calle Itau	Alternativa 4	4,54
Calle Boqueron	Alternativa 3	5,56
Calle Abaroa II	Alternativa 4	5,09
Calle Algarrobos	Alternativa 4	5,04
Calle EE.UU.	Alternativa 4	5,9
Av. San Martín	Alternativa 3	6,58
Av. San Gerónimo	Alternativa 4	6,05

Si tendría que empezar a hacer mantenimiento seria en la San Martín y San Gerónimo, estas dos avenidas son muy concurridas por el tráfico pesado y presentan fallas de fisuras transversales de juntas desconchadas y según el programa deberíamos aplicar las alternativas tres y cuatro debido al mal estado se tendría que hacer una reconstrucción, la alternativa 1 no se la toma en cuenta en esta conservación de vía debido a que nuestro IRI supera los 6 m/km, entonces hacer una alternativa 3 de reconstrucción parcial donde se encuentran las fallas de fisuras transversales sería la solución empezando este año 2019, lo que tampoco sería más económico pero si la mejor solución.

**Figura 4.4 Regularidad media de la calle Carapari**

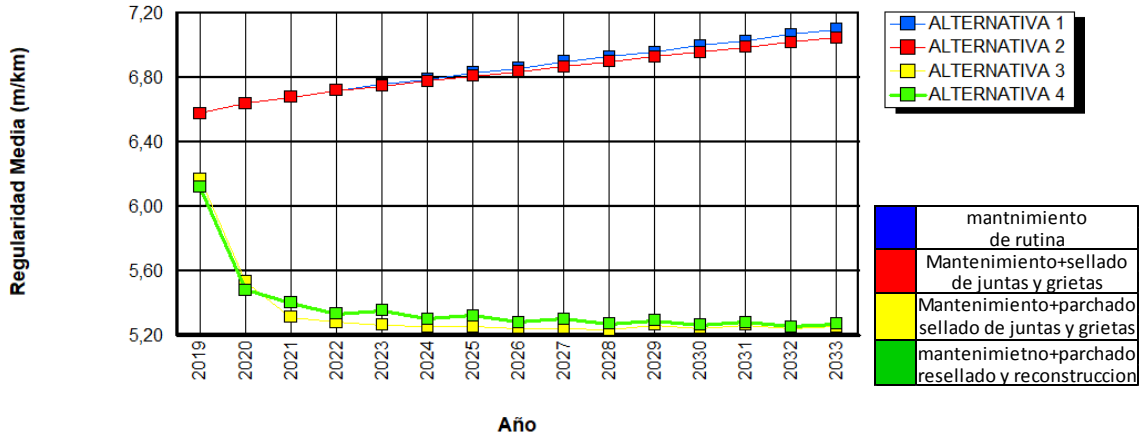


En la figura 4.4 del gráfico de la calle Carapari se observa que con una alternativa 2 podemos mantener nuestra vía, pero haciendo el mantenimiento que se requiere cada dos años, tendríamos una calle en buen estado hasta el 2023 ya estaría mejorando notablemente nuestro pavimento y así mantendríamos una vía en condiciones buenas para el usuario.

Si se haría una reconstrucción de todos los todos los daños nuestro costo sería mayor, pero sería en unos años que recién estaría habilitada para el usuario ya que las reconstrucciones tardan más., por la inversión, pero nuestra vía alargaría su vida útil.

En esta calle no tendríamos problema en aplicar las alternativas pues se observa que las cuatro nos darán un buen resultado unas en forma más rápida y otras en un proceso más lento.

**Figura 4.5 Regularidad media de la Av. San Martin**

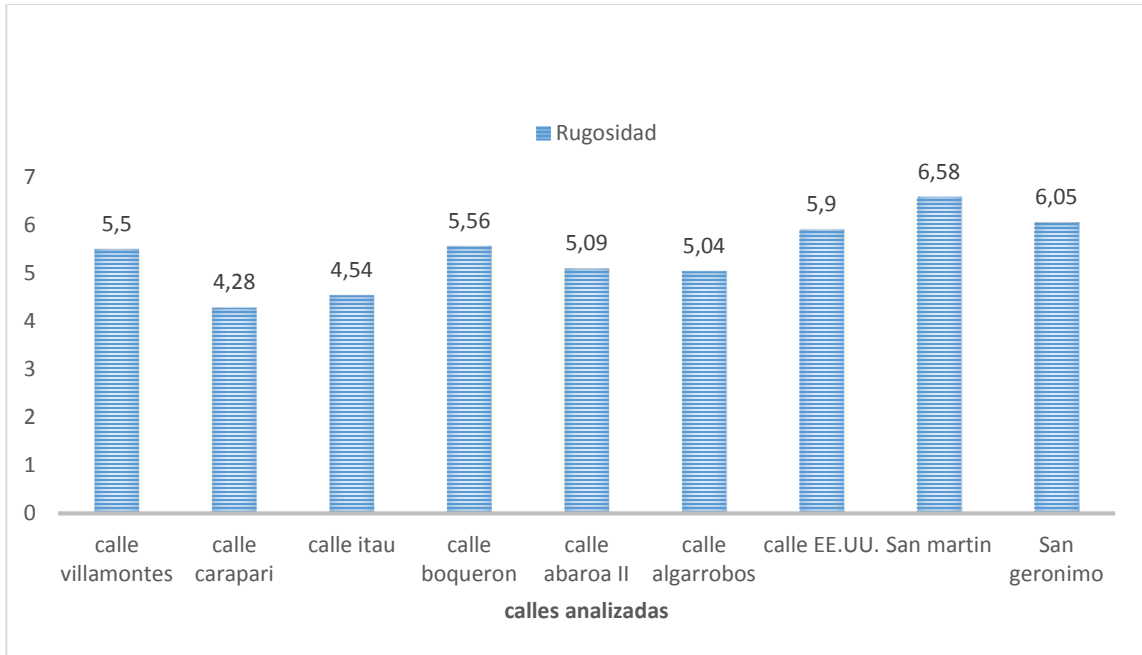


En la figura 4.5 vemos el deterioro indicado de la calle en mal estado. En esta avenida si necesitamos aplicar de manera urgente una alternativa 3 que es de reconstrucción parcial, mejoría nuestra vía y trataríamos de alargar su vida útil de nuestra vía, se puede notar que las alternativas 1 y 2 no son recomendable debido a que no nos ayudaría mucho a evitar el envejecimiento de la vía.

Es de esta manera que podemos revisar calle a calle y ver si es o no conveniente realizar los mantenimientos que pensamos realizar a la vía, el programa nos ayuda bastante al momento de tomar estas decisiones.

A continuación, tenemos los resultados de nuestro índice de rugosidad internacional (IRI) el principal parámetro de comparación en el modelo de deterioro y para conocer el estado de las carreteras





En el gráfico se representan las alternativas con IRI, se puede observar que las calles en mejor estado son las calle Carapari y la calle Itau, si podríamos pasar a visitar estas calles se podrá observar su estado y podríamos verificar que en sí, se encuentran en un estado aceptable para los usuarios, existe un tráfico pero no es tan alto los vehículos que frecuentan esta calle son livianos en mayor porcentaje. Es por eso, que no es el caso del deterioro que es mayor en la san Martin y San Gerónimo, que mayormente soportan el tráfico pesado.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

El programa HDM-4 establece un plan de alternativas de conservación, los cuales ayudarán a crear un plan de mantenimiento.

El menor IRI que se puede observar es de 3.31 m/km en la calle Carapari es el pavimento en mejor estado y el mayor IRI es en la San Martin con 6.17 m/km, esta es la que necesita una solución de reconstrucción parcial de manera inmediata.

Las calles Itau y Carapari son aquellas que aún no necesitan mantenimiento debido a su IRI 3.34 m/km y 4.28 m/km aceptables dentro de un mantenimiento de rutina con, las fallas, las calles Estados Unidos 5.9 m/km, Villamontes 5.50m/km y Boquerón con 5.56 m/km se necesita empezar a hacer un mantenimiento y la San Martin y San Gerónimo si requieren de manera inmediata ya que su IRI sobrepasan los 6.05m/km y esto nos indica que su deterioro seguirá avanzando el mantenimiento debe hacerse efectivo este año.

En cuanto a las alternativas propuestas en nuestro estudio se hizo 4 propuestas de cómo estas van a incidir en el progreso de los modelos de deterioros, haciendo notar que a mayor inversión y en momentos adecuados estos permitirán disminuir el progreso de los deterioros y mejoraría la vida útil de los mismo y el confort de los usuarios, el mejor plan que nos presenta el programa HDM-4 es de un mantenimiento de rutina más parchado y sellado de juntas y grietas.

El mayor tráfico se encuentra en la San Martin 2431 TPDA, y San Gerónimo 1096 TPDA seguido de la calle Algarrobos, esto incidió en los resultados debido al alto tráfico por estas vías, a diferencia de las demás que presentan menos y que circulan en su mayoría vehículos livianos como autos y camionetas.

En el estudio de las fallas en los pavimentos de concreto se observó que en mayor magnitud son las que se generan en las juntas de los pavimentos, en el programa se lo representa como juntas desconchadas, las roturas casi no se pudieron ver en estas vías en el estudio pero si existen en menor proporción, las fisuras en los pavimentos también se

observó pero en la San Martín y la San Gerónimo que en las demás no existía esta fisuras de tal magnitud que pudieran afectar a nuestro deterioro del pavimento de concreto.

El programa HDM-4 nos dio un calendario de actuaciones por año y nuestros gráficos de deterioro de los pavimentos, con el paso de os años desde el año 2019 hasta el año 2023 los cuales nos ayudaran a mantener nuestras calles o vías de manera conservada para el confort de los usuarios.

El programa HDM-4 tiene una metodología para planificar y desarrollar estrategias de acción sobre el pavimento en su periodo de servicio, La aplicación de estándares de conservación en el HDM-4 permiten tener una idea de cuál va ser la cantidad de trabajo a realizar y el costo que van a tener las mismas.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- En cuanto a la utilización del software se recomienda estudiar muy detalladamente los diferentes manuales del mismo, ya que en nuestro país todavía no existen cursos sobre el manejo del mismo.
- Se recomienda la implementación en el sistema de administración de carreteras como el programa HDM-4 sería un avance muy importante en Bolivia, ya que tener un inventario nacional de los diferentes tramos de carretera y un monitoreo optimo permitiría alargar la vida de los pavimentos.
- Las proyecciones de flujo de tráfico generado para el HDM-4 no necesariamente se ajustan a la realidad y va a depender del modo en que se ingresen los datos, en todo caso siempre se debe revisar el reporte de los tráficos proyectados y contrastarlos con una proyección hecha por fuera en una planilla de aforo.
- Es necesario invertir en la investigación de modelos de deterioro de pavimentos confiables y auto sostenibles, que proveen la certeza necesaria para la toma de decisiones.