



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE  
PAVIMENTOS**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ANÁLISIS TÉCNICO DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE  
EL K34+160 – K45+100 DE LA DOBLE CALZADA BOGOTÁ  
– VILLAVICENCIO CON BASE EN EL SOFTWARE HDM-4.**

**FRANCISCO JAVIER IGUA CORTES**

**2015**

# **ANÁLISIS TÉCNICO DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL K34+160 – K45+100 DE LA DOBLE CALZADA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO CON BASE EN EL SOFTWARE HDM-4.**

## **TECHNICAL ANALYSIS OF K34+160-K45+100 BOGOTA- VILLAVICENCIO ROAD BASED ON HDM-4 SOFTWARE**

Francisco Javier Igua Cortes  
Ingeniero Civil  
Especialista en Ingeniería de Pavimentos  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia  
[U6100209@unimilitar.edu.co](mailto:U6100209@unimilitar.edu.co)

Fecha de recepción: 09/05/2015  
Fecha de aprobación: 09/05/2015

### **RESUMEN**

Las diferentes experiencias demuestran que la utilización de modelos de simulación de deterioro en pavimentos son una herramienta valiosa para la planificación, diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial. Este artículo presenta la experiencia de la implementación del uso de nuevas metodologías para la planificación de proyectos de infraestructura vial en Colombia. Fue aplicado el software HDM-4 (Highway Design and Maintenance Standards Model), con el objetivo de determinar la mejor opción de mantenimiento del pavimento que requiere este tipo de infraestructura. La elaboración del proyecto se dividió en cuatro etapas: La revisión del desarrollo del modelo, la cuantificación de parámetros y costos, la simulación del proceso de mantenimiento en el tramo vial de estudio y la importancia del IRI dentro de la evaluación del HDM-4. Se concluye con la determinación de las velocidades de circulación de los diferentes tipos de vehículos, la irregularidad en la superficie del pavimento, la densidad vehicular en los tramos de análisis y el daño en la capa superficial de la estructura del pavimento.

Palabras Clave: Pavimento, IRI, HDM-4, infraestructura.

### **ABSTRACT**

Based on different experiences it can be demonstrated that using deterioration simulation models in pavements, are a valuable tools for planning, designing and construction of road infrastructure projects. This article presents the experience of implementation of new technologies for planning road infrastructure projects in Colombia.

Applying Software HDM-4 (Highway Design and Maintenance Standard Model), with the purpose of finding the better option in pavement maintenance for this type of infrastructure. The project was divided in four stages: model development revision, parameters and costs quantifying, maintenance process simulation from road length as object of this study and the importance of IRI inside HDM-4 evaluation, to finally determining the circulation speed of different type of vehicles, surface pavement irregularities, vehicles density in length analysis and pavement structure superficial surface damage.

Key Words: Pavement, IRI, HDM-4, Infraestructure.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según el Ministerio de Comercio Industria y Turismo [1], en los últimos años, cada vez es mayor el número de viajeros y de carga que se mueve por las vías del país, creando la necesidad de brindar mayor comodidad y seguridad a los viajeros, lo que implica la utilización de metodologías que permitan analizar desde el punto de vista administrativo y de costos cual será la mejor opción de rehabilitación o de mejoramiento de las vías de Colombia.

Por otro lado, de acuerdo con Gómez [2], las obras en Colombia, en especial los proyectos viales, presentan dificultades de tipo fiscal ya que los retrasos y los mayores costos dificultan el papel que le corresponde al estado con respecto a sus obligaciones como responsable de la inversión para el desarrollo de la red vial nacional. En los últimos años se ha evidenciado que en la gran mayoría de proyectos de construcción vial que se vienen desarrollado en el país ocurren diferencias entre las cantidades de obra pactadas inicialmente en el presupuesto con respecto a las ejecutadas al final de la misma, generándose así sobrecostos y retrasos en las obras.

Con el fin de mitigar las problemáticas expuestas anteriormente, Según Posada y Pradena [3], se encuentra en la actualidad un software desarrollado por el Banco mundial conocido como Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-4), el cual se viene usando desde hace más de dos décadas y sirve como herramienta para el análisis, planificación, gestión y evaluación de inversiones para la conservación y mejora de carreteras.

De igual manera según Henao [4], el modelo permite identificar el estado de una vía, o tramo de ella, al estar sometida a un determinado uso, según las condiciones prevalecientes y esperadas de la misma en cuanto a su geometría, tráfico, ambiente, entre otras, lográndose con esto la evaluación de tipo técnico; simultáneamente se puede considerar el aspecto económico al tener presentes los costos de los insumos para la flota vehicular y los costos de las actividades de construcción y mantenimiento de la vía. Adicionalmente, en un proyecto vial se hace necesario considerar diferentes alternativas tanto de construcción, si se trata de un proyecto nuevo, como de mantenimiento posterior para el mismo caso o el de vías existentes a las que se pretenden recuperar o dar condiciones adecuadas de transitabilidad para los usuarios.

Identificar la mejor la mejor alternativa es el objetivo del personal responsable del mantenimiento de las vías, por lo que se hace necesario conocer lo que sucedería para cada alternativa. El uso del modelo permite lograr este objetivo con rapidez por lo que se hace imprescindible su uso en la mayoría de los casos. Además en muchos proyectos se debe considerar el uso de este modelo puesto que es requisito de las autoridades específicamente cuando se trata de buscar apoyo internacional.

La elaboración de este proyecto permitió conocer beneficios del modelo para mejorar el rendimiento y desarrollo de la etapa de construcción y mantenimiento necesarias para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, y como este podría llegar a satisfacer las necesidades de la industria encargada de la construcción de vías en el país, tales como mejorar la calidad, reducir los costos de mantenimiento y de operación de la vía y de los usuarios, contar con herramientas nuevas para realizar un control adecuado de la construcción y acortar los tiempos de diseño y construcción. Se presentan los pasos llevados a cabo para la ejecución del modelo y un análisis de los resultados obtenidos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En la Figura 1 se observan los diferentes manejadores de datos que incluye el HDM-4 (Red de carreteras, flota vehicular, trabajos y Configuración), de igual manera se observan las herramientas de análisis (Proyecto, programa y estrategia), y por último los diferentes modelos que se manejan (RDWE, RUE y SEE).

Según Arboleda [5], en los módulos manejadores de datos es donde se realizan las adaptaciones y configuraciones de algunos componentes y parámetros de las condiciones del corredor vial que se va a estudiar (Red de carreteras, flota vehicular, estándares de trabajo y configuración). Dentro de las herramientas de análisis se encuentran los módulos de proyectos, programas y estrategias los cuales operan sobre los datos. Por otro lado, los modelos definen los componentes y parámetros predeterminados que se usarán en las aplicaciones:

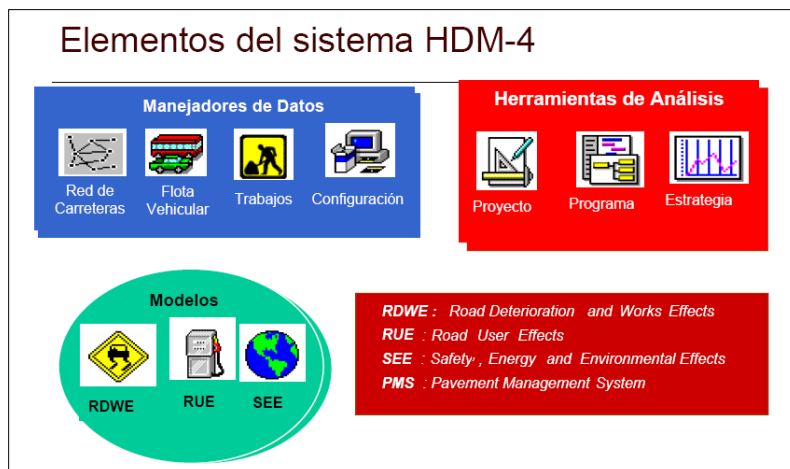


Figura 1. Elementos del sistema HDM-4

Fuente. Evaluación de Corredores Viales de Mantenimiento Integral INVIAS

## **Modelos**

Se definen los componentes y parámetros predeterminados que se usarán en las aplicaciones:

### 1. Modelos de deterioro, y efectos de las obras (RDWE por las siglas Road Deterioration and Works Effects)

El desarrollo de estos modelos permite predecir, para un periodo de análisis definido por el usuario, la evolución del estado físico de las vías en función de las consideraciones de tránsito, climatológicas, y de tipo de pavimentos interpuestas. De igual manera, los modelos permiten estimar los posibles efectos de las obras de conservación y mejoramiento más usuales. El HDM-4 incorpora modelos para distintos tipos de pavimentos (Flexibles y Rígidos).

### 2. Modelos de efectos para los usuarios (RUE por las siglas Road User Effects).

Son utilizados para calcular los efectos del estado físico y las condiciones de operación de las carreteras sobre los usuarios de las mismas, en términos de indicadores como los costos de operación vehicular y los tiempos de recorrido. A su vez, se emplean para obtener los beneficios derivados de las inversiones en proyectos carreteros.

### 3. Modelos de seguridad, energía y efectos ambientales (SEE por las siglas Safety, Energy and Environmental Effects)

Grupo de modelos destinados a determinar los efectos de la condición de los pavimentos en aspectos como la tasa de accidentalidad, consumo de energía asociado con la operación del tránsito, equipo de construcción, y la emisión de contaminantes.

Por otro lado, con el fin de evaluar proyectos, programas y estrategias de conservación y mejoramiento de carreteras, y la optimización de programas en presencia de restricciones presupuestales, el HDM-4 está constituido por las herramientas de análisis o aplicaciones del sistema

## **3. ANALISIS DE CICLO DE VIDA**

En la Figura 2 se ilustran las tendencias conocidas en el rendimiento de pavimentos, representadas por la calidad de la carpeta de rodadura, la calidad suele ser medida en términos del Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Cuando se define un patrón de conservación (fisuras, desprendimiento de áridos, baches, etc.), se impone un límite de deterioro al que es permisible que llegue el pavimento. Como consecuencia, además de los costos de capital de la construcción de carreteras, los costos totales en que incurren los organismos implicados dependerán de los estándares de conservación y mejora aplicados a las redes de carreteras.

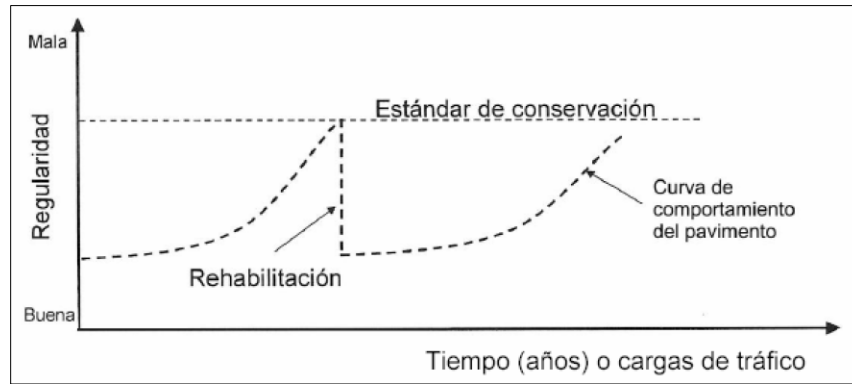


Figura 2. Concepto del Análisis del Ciclo de Vida en HDM-4  
 Fuente. Tomado del texto Tutorial HDM-4. Ing. Germán Arboleda Vélez, 2003

#### 4. INFORMACIÓN GENERAL

El proyecto mejoramiento del tramo de vía comprendido entre el K34+160 – K 45+100 de la Doble Calzada Bogotá – Villavicencio, se realizó específicamente entre los municipios de Cáqueza y Puente Quetame, ubicados al oriente del departamento de Cundinamarca, comunicando estos municipios con las ciudades de Bogotá y Villavicencio y, en general al oriente de Colombia como se muestra en la Figura 3.

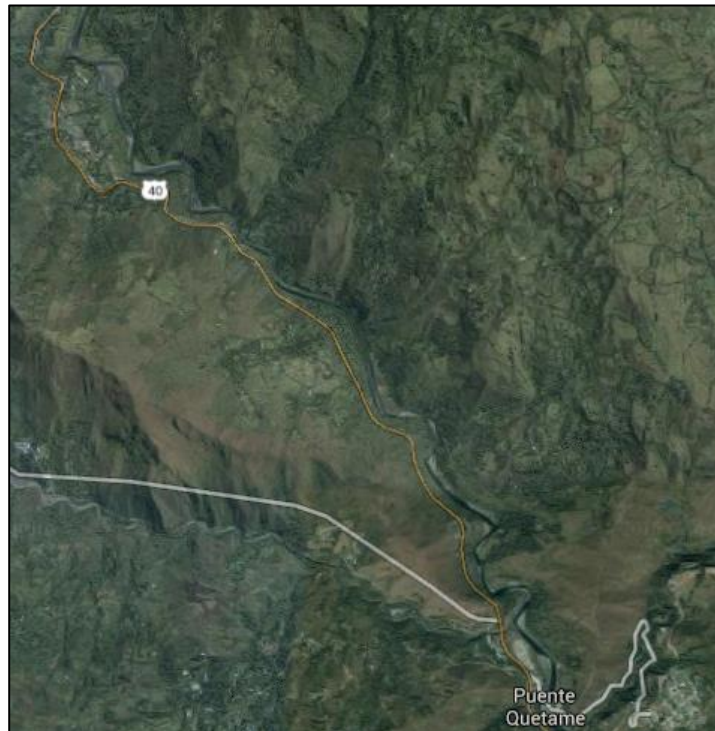


Figura 3. Localización Tramo de estudio Doble Calzada Bogotá - Villavicencio  
 Fuente. Tomado del texto Tutorial HDM-4. Ing. Germán Arboleda Vélez, 2003

#### 4.1 CLASIFICACIÓN EN TRAMOS DE ESTUDIO

En la Tabla 1 se observa la subdivisión de los tramos de estudio en se tuvo en cuenta el tipo de terreno, tránsito, carpeta de rodadura, longitud aproximada de los tramos (menor a 30 Km), entre otros. Con base en lo anterior, los tramos que componen el estudio son:

Tabla 1. Clasificación de tramos de estudio.

Tramo	Absc Inicial	Absc Final
T1	34+160	38+350
T2	38+350	40+200
T3	40+200	45+100

Fuente. Elaboración propia

#### 4.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA VÍA

En la Tabla 2 se observan las características más importantes del tramo de vía en estudio, el cual tiene una longitud total de 10,94 Km, y está compuesto de dos carriles por sentido, cada calzada presenta un ancho de 7,3 m y un ancho de berma de 1,8 m.

Tabla 2. Características principales de la vía

Nombre	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
Identificación del tramo	K34+160 - K38+350	K38+350 - K40+200	K40+200 - K45+100
Clase de carretera	Primaria	Primaria	Primaria
Trafico	Alto	Alto	Alto
Geometría	Curvada y muy ondulada	Curvada y muy ondulada	Curvada y muy ondulada
Longitud (km)	4.19	1.85	4.9
Dirección de tráfico	Ambos sentidos	Ambos sentidos	Ambos sentidos
Número de carriles	2	2	2
Tipo de capa de rodadura	Bituminosa	Bituminosa	Bituminosa
Tipo de pavimento	Mezcla bituminosa sobre base granular	Mezcla bituminosa sobre base granular	Mezcla bituminosa sobre base granular

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se muestra el Tránsito Promedio Diario de los vehículos para el año 2006, al igual que los aspectos más relevantes de la geometría de los tramos de estudio.

Tabla 3 Tránsito Promedio Diario y geometría de la vía

Nombre	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
<b>Trafico</b>			
Motorizado (IDM):	6976	6976	6976
<b>Geometría</b>			
Rampas +	35	37	60

Nombre	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3
<b>Trafico</b>			
pendientes (m/km)			
Curvatura horizontal media (°/km)	500	350	632
Velocidad limite (km/H)	80	80	80
Altitud (m)	1746	1750	1810
<b>Capa de rodadura Bituminosa</b>			
Tipo de material	Mezcla bituminosa en caliente	Mezcla bituminosa en caliente	Mezcla bituminosa en caliente
Número estructural	3.97	4.16	4.16
CBR %	6%	7.6%	7.6%

Fuente: Elaboración propia.

## 5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta que actualmente la vía se encuentra pavimentada, con bermas y en buen estado, se plantea realizar diferentes tipos de mantenimientos periódicos a la estructura del pavimento a lo largo del tiempo, los mantenimientos propuestos buscan mejorar la comodidad de los usuarios, brindándoles mayor seguridad y confort en el momento de transitar por la vía.

### 5.1 MODELACIÓN

El proceso de modelación con el software HDM-4 requiere definir las características y condiciones bajo las cuales se pretenden realizar los mantenimientos, se deben plantear diferentes alternativas según las necesidades del proyecto a realizar, a continuación se describen las alternativas y los costos considerados en el análisis.

**Alternativa 0 (Base):** Esta definida como básica o de comparación, se pretende realizar un mantenimiento rutinario periódico, conformado por actividades de parcheo y sello de fisuras con criterios de intervención anuales, lo anterior con el fin de tener la vía en condiciones adecuadas de circulación

**Alternativa 1:** Se plantea la realización de un mantenimiento rutinario periódico, conformado por actividades de parcheo y sello de fisuras con criterios de intervención anuales y la realización de una sobre carpeta con un espesor de 5 cm con criterio de intervención cada 5 años.

**Alternativa 2:** Se plantea realizar un mantenimiento rutinario periódico, conformado por actividades de parcheo con criterio de intervención anual y la realización de fresado y reposición de carpeta asfáltica con un espesor de 10 cm con un criterio de intervención cada 10 años, dependiendo las condiciones de la estructura del pavimento, lo anterior con el fin de tener en la vía condiciones óptimas de seguridad y comodidad para los usuarios.



## 5.2 COSTOS

**Mantenimiento:** Para las diferentes alternativas de mantenimiento necesarias en la evaluación de los costos unitarios se presentan las Tablas 4, 5 y 6.

**Insumos para los vehículos:** Los insumos para los vehículos tienen los precios que se presentan en la Tabla 7.

Tabla 4 Costos Alternativa Base. (Pesos Colombianos)

NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	COSTOS ECONOMICOS	COSTOS FINANCIEROS
Mantenimiento rutinario + parcheo + sello de fisuras	EC-0	Mantenimiento rutinario	MR	\$4.118.230	\$5.147.787
		Parcheo	P	\$43.083	\$50.686
		Sello de fisuras	SF	\$15.332	\$19.159

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Costos Alternativa 1. (Pesos Colombianos)

NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	COSTOS ECONOMICOS	COSTOS FINANCIEROS
Mantenimiento rutinario + parcheo + sello de fisuras + sobrecarpeta (5.0 cm) C/ 5 años	EC-1	Mantenimiento rutinario	MR	\$4.118.230	\$5.147.787
		Parcheo	P	\$43.083	\$50.686
		Sello de fisuras	SF	\$15.206	\$19.007
		sobrecarpeta (5.0 cm)	SC	\$26.610	\$33.263

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Costos Alternativa 2. (Pesos Colombianos)

NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	COSTOS ECONOMICOS	COSTOS FINANCIEROS
Mantenimiento rutinario + parcheo + fresado y capa asfáltica e= 10 cm C/10 años	EC-2	Mantenimiento rutinario	MR	\$4.118.230	\$5.147.787
		Parcheo	P	\$43.083	\$50.686
		fresado y capa asfáltica e= 10 cm	FR	\$61.330	\$73.596

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 costos Insumos de vehículos. (Pesos Colombianos)

PARQUES DE VEHICULOS							
Vehículos motorizados	Coche medio	Autobús medio	Vehículo de reparto ligero	Camión ligero	Camión medio	Camión pesado	Camión articulado
Nombre	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	C6
<b>Costo económico unitarios recursos del vehículo</b>							
Costo vehículo nuevo	\$60.823.086	\$171.064.929	\$88.700.334	\$174.866.372	\$253.429.525	\$291.443.954	\$ 380.144.288
Costo neumático de repuesto (llanta y repuesto)	\$272.437	\$633.574	\$633.574	\$823.646	\$1.267.148	\$1.267.148	\$1.267.148
Costo del combustible	\$1.901	\$1.901	\$1.901	\$1.901	\$1.901	\$1.901	\$1.901
Vehículos motorizados	Coche medio	Autobús medio	Vehículo de reparto ligero	Camión ligero	Camión medio	Camión pesado	Camión articulado
Nombre	Autos	Buses	C2P	C2G	C3-C4	C5	C6
Costo aceite lubricante (Unidades monetarias por litro)	\$12.671	\$15.206	\$15.206	\$15.206	\$15.206	\$15.206	\$15.206
Costo mantenimiento (Unidades monetarias por horas)	\$19.007	\$30.412	\$25.343	\$25.343	\$38.014	\$50.686	\$50.686
Costo tripulación (Unidades monetarias por horas)	\$0	\$10.137	\$8.870	\$8.870	\$25.343	\$25.343	\$25.343
Gastos generales (suma global por año)	\$1.267.148	\$2.534.295	\$1.900.721	\$3.167.869	\$8.870.033	\$8.870.033	\$8.616.604
Interés anual (%)	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Elaboración propia.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se desarrolla un ejemplo aplicado para el tramo de vía ubicado entre el K34+160 – K45+100 correspondiente a la Doble Calzada de la vía Bogotá - Villavicencio, en donde se realizó la subdivisión del tramo principal en tres subtramos con características geométricas y de tránsito similares, obteniendo como resultado el análisis técnico y económico de cada uno de ellos, a partir de diferentes alternativas de mejoramiento y rehabilitación de la estructura que actualmente existe.

Una vez utilizado el software HDM-4 para la modelación de proyectos de infraestructura vial, se obtienen diferentes tipos de resultados, para la realización de este artículo se tienen en cuenta los resultados relacionados con la velocidad media de los vehículos, la regularidad media anual, la relación volumen capacidad media anual (según el tipo de pavimento), el porcentaje de daño en la carpeta de rodadura, relacionado estas variables con el periodo de estudio. Todo lo anterior en términos de analizar el efecto que tendrá la realización de los diferentes tipos de mantenimiento propuestos en los usuarios de la vía durante el periodo de estudio.

En la Figura 4 se puede observar como en los primeros 6 años después de la realización del primer mantenimiento en los diferentes tramos de la vía, los vehículos que la transitarán, presentarán velocidades entre los 50 y 70 km/h, dependiendo del tipo de vehículo y de las condiciones geométricas del tramo.

Adicionalmente se observa que los vehículos que mayor velocidad presentarán, serán los automóviles, seguidos de los vehículos ligeros de reparto; del año 7 en

adelante se observa una gran disminución de la velocidad para todos los vehículos, obteniendo un rango de velocidades entre 29 y 36 Km/h.

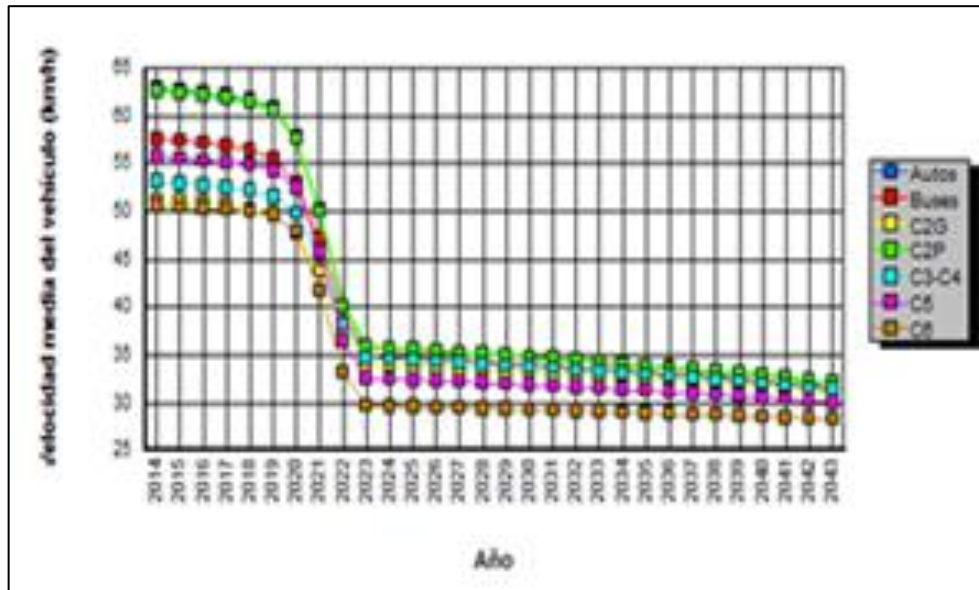


Figura 4. A.) Análisis velocidad media de los vehículos versus el tiempo (tramo K34+160 – K38+350)  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4

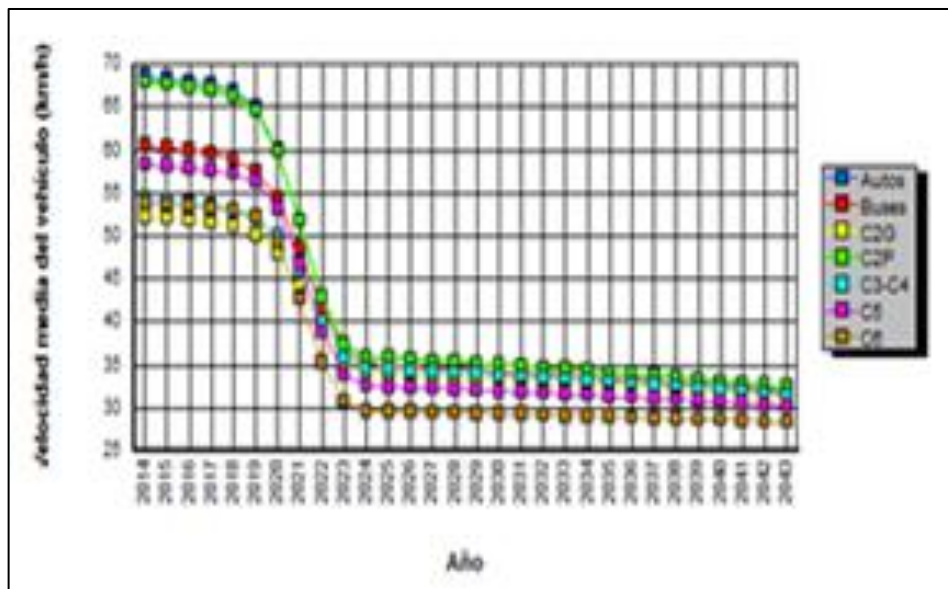


Figura 4. B.) Análisis velocidad media de los vehículos versus el tiempo (tramo K38+350 – K40+200)  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4

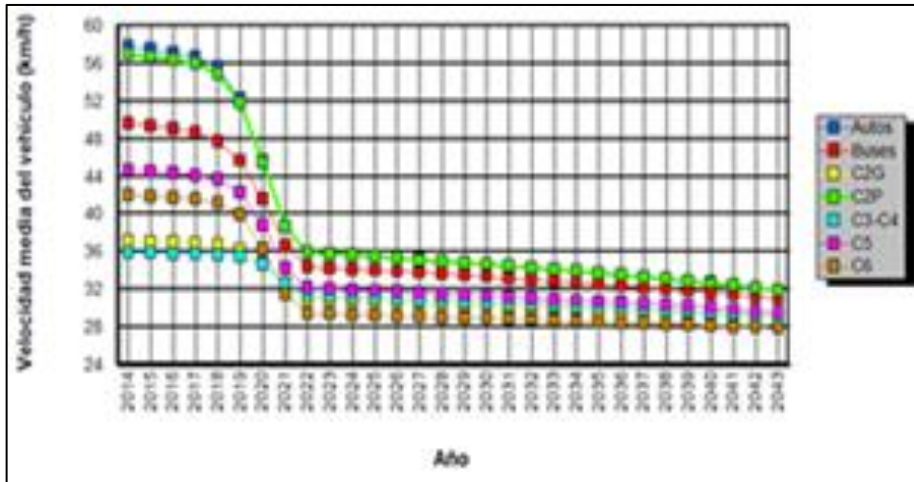


Figura 4. C.) Análisis velocidad media de los vehículos versus el tiempo (tramo K40+200-K45+100)  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4

Según Badilla [6], cuando se habla de regularidad de la superficie de la vía se hace referencia a las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad del rodado, traduciéndose principalmente en seguridad y comodidad para los usuarios, además la regularidad tiene incidencia en los costos de operación de los vehículos, ya que dependiendo del nivel de irregularidad de la superficie se afecta negativamente la velocidad de circulación, consumo de combustible y desgaste de los neumáticos.

En la Figura 5 se evidencia como se aumenta la regularidad de la superficie de la vía luego de la realización del mantenimiento durante los primeros 9 años hasta lograr una regularidad constante, lo que traduce que durante los primeros años las irregularidades de la superficie van aumentando generando afectación a los usuarios hasta llegar a un punto constante, aproximadamente en el año 2023 es donde la superficie del pavimento presentará un alto nivel de irregularidades.

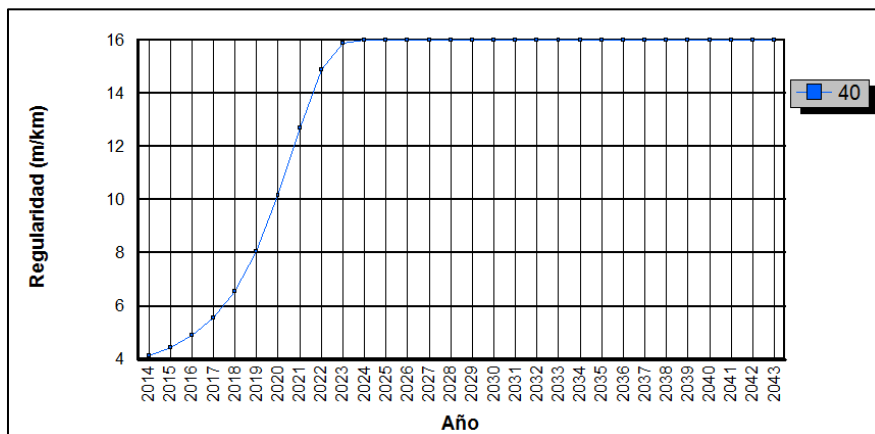


Figura 5. Regularidad Media Anual Versus Tiempo  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú [7], la capacidad de las carreteras, se expresa en términos del máximo número de vehículos que pueden cruzar por una sección o tramo de la vía y está en función de las características geométricas del corredor.

En la Figura 6 se muestra el crecimiento de la relación volumen/capacidad que se espera se presenten en los diferentes tramos del estudio con base en las características geométricas de la vía definidas inicialmente, se observa un crecimiento lineal a lo largo del periodo de estudio, lo que permite deducir que si la estructura del pavimento se mantiene en condiciones óptimas de servicio, los volúmenes de tránsito se verán incrementados, traduciéndose en mayores índices de ocupación de la vía, lo que hace necesario realizar el seguimiento a la programación de los diferentes tipos de mantenimientos de la estructura del pavimento a lo largo del periodo de estudio debido al incremento en el volumen vehicular.

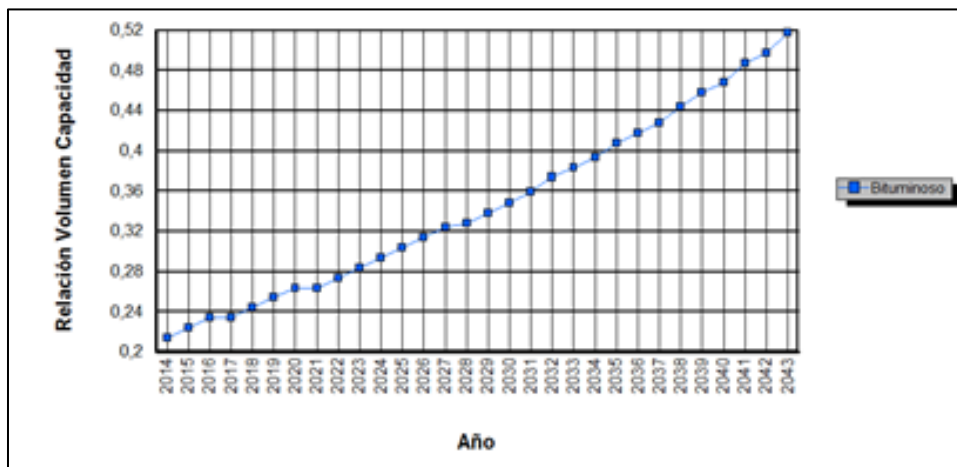


Figura 6. La relación volumen capacidad media anual Versus el Tiempo.  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4

En la Figura 7 se observa el daño medio que se presentará en la carpeta de rodadura a lo largo del periodo de estudio, evidenciándose que durante los primeros 4 años se presentará el mayor daño en la capa superficial de la estructura del pavimento, alcanzando un 80% de daño, ocasionado principalmente por el alto flujo vehicular que transitará por la vía. Como se describió anteriormente, esta vía conecta dos ciudades principales de Colombia en donde dadas las principales fuentes económicas de las regiones, la composición vehicular consta de vehículos de reparto ligero (C2P), camiones ligeros (C2G), camiones medianos (C3-C4), camiones pesados (C5) y camiones articulados (C6), que ocasionaran un rápido deterioro de la carpeta de rodadura del pavimento.

Por otro lado, después del cuarto año se presentará un crecimiento menos severo de los daños en la carpeta de rodadura hasta presentar un comportamiento constante a lo largo de 20 años aproximadamente.

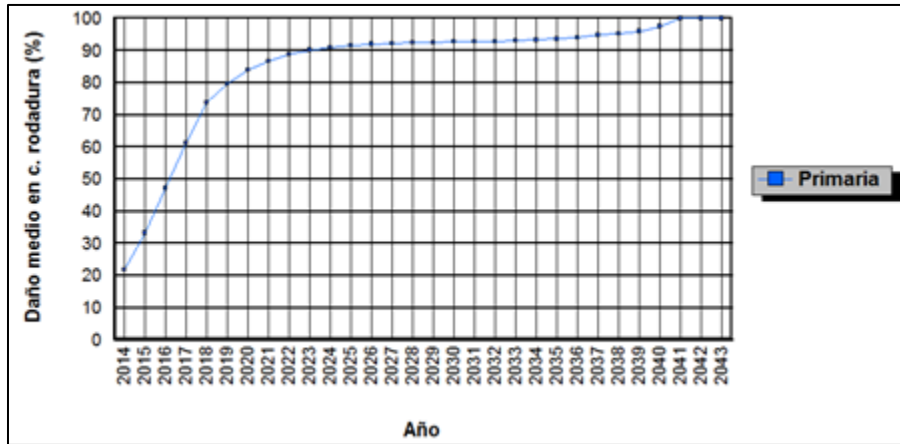


Figura 7. Porcentaje de daño en la carpeta de rodadura versus el tiempo.  
Fuente: Resultados obtenidos software HDM-4.

## 7. CONCLUSIONES

El software HDM-4 permite realizar un análisis técnico y económico considerando el ciclo de vida de una vía, determinando costos y beneficios durante este periodo, respecto al ejemplo de aplicación del modelo, los resultados obtenidos permiten identificar los siguientes aspectos:

De acuerdo a la modelación efectuada con el software HDM-4, se puede observar que las velocidades de circulación de los diferentes tipos de vehículos por la vía durante los primeros seis (6) años luego de la realización de los diferentes mantenimientos en cada uno de los tramos de estudio estarán en rangos entre 50 y 70 km/h, dependiendo del tipo de vehículo y las características geométricas de la vía, posteriormente las velocidades de circulación disminuirán considerablemente debido al deterioro de la estructura del pavimento.

Luego de la realización de los trabajos de mantenimiento, se pudo determinar que dentro de los primeros nueve (9) años de funcionamiento de la vía se presentará un aumento progresivo de la irregularidad en la superficie del pavimento, generando así posibles mayores costos a los usuarios de la vía debido al mayor consumo de combustible de los vehículos. Adicionalmente se verá afectada la seguridad y comodidad de los usuarios, es por esto que se recomienda la realización de un mantenimiento rutinario periódico con criterio de intervención cada 5 años tal como se plantea en la alternativa 1.

Durante el periodo de estudio se evidencia un aumento progresivo de la densidad vehicular en los tramos de análisis debido a los diferentes trabajos de mantenimiento realizados, generando un aumento en el índice de ocupación de la vía, por lo tanto se hace necesaria la programación de mantenimientos de la estructura del pavimento a lo largo del periodo de estudio.

Al cabo de los primeros 4 años luego de la ejecución de los trabajos de mantenimiento periódico, se presentará el mayor daño en la capa superficial de la

estructura del pavimento, alcanzando un 80% de daño, ocasionado principalmente por el alto flujo vehicular que transitará por la vía y por la clasificación del mismo, puesto que como se observó anteriormente, la composición de vehículos es variada y predominan los vehículos pesados.

## **8. AGRADECIMIENTOS**

Se Agradece a la Concesionaria Vial de los Andes (Coviandes) y a la interventoría (Consortio Interconcesiones) de la vía Bogotá – Villavicencio, por la información suministrada la cual fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

## **9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

[1] Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2014). Informe Turismo Diciembre de 2014. En: Estadísticas de Turismo.

[2] Gómez, S., Rozo, M.F.,. Calidad de la estructuración en los proyectos viales de la gobernación de Antioquia. (Trabajo de Grado). (2013). Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Antioquia. 110 p.

[3] Posada, J., Pradena M.M, (2007) Análisis de Inversiones en Carreteras Utilizando Software HDM-4), En: Revista de la Construcción, vol. 6, núm. 1, 2007, pp. 35-47.

[4] Henao, J.J.,. HDM-4 Guía Básica para su uso (Trabajo de Grado). (2003) Facultad de minas, Universidad Nacional de Colombia. 86p.

[5] Arboleda, G.,. (2003) Desarrollo y Gestión de carreteras (Highway Development & Management) HDM-4. AC editores. 218p.

[6] Badilla, G.,. (2009) Determinación de la regularidad superficial de pavimentos mediante el cálculo del Índice Regularidad Internacional (IRI): aspectos y consideraciones importantes, Unidad de Investigación en Infraestructura Vial, En: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos. Vol 1 pp 1-6

[7] Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, (2005). Plan intermodal de Transportes del Perú, En: Informe Final – parte 3.