

# **METODOLOGÍA MECANICISTA CONSIDERANDO DEGRADACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO**



AUTOR: SANDRA DEL PILAR MONCAYO CASTRO

TUTOR: JAVIER CAMACHO

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

2015

# **METODOLOGÍA MECANICISTA CONSIDERANDO DEGRADACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO**

**MECHANISTIC METHODOLOGY CONSIDERING ASPHALT  
CONCRETE DEGRADATION**

**Sandra del Pilar Moncayo Castro**

**Ingeniera Civil**

Directora de Control de Calidad

Compañía de Trabajos Urbanos S. A.

Bogotá

Colombia

**[sandramoncayoc@hotmail.com](mailto:sandramoncayoc@hotmail.com)**

**Fecha de recepción:** 2 de diciembre de 2015

**Fecha de aprobación:** 4 de diciembre de 2015

## RESUMEN

Los pavimentos asfálticos, están constituidos por una capa de rodadura de concreto asfáltico, que es un material conformado principalmente por una combinación de asfalto y agregados pétreos. Por su parte, el asfalto es una mezcla de hidrocarburos y minerales que se afectan al estar expuestos a las condiciones ambientales, principalmente por procesos de oxidación. Al alterarse el asfalto se alteran igualmente las propiedades físico-mecánicas del concreto asfáltico. En este sentido, el presente trabajo consiste en desarrollar un método de diseño, basado en las metodologías mecanicistas, que considere en su análisis, los cambios que se producen en el concreto asfáltico. El estudio se limita en el análisis de dos características variables en el tiempo del concreto asfáltico, que son el módulo dinámico y el comportamiento a la fatiga.

El análisis realizado se efectúa por medio de procesos de simulación de las estructuras de pavimentos efectuados en periodos anuales, considerando los cambios estimados en los parámetros descritos en estos mismos periodos.

Con el planteamiento realizado es posible analizar mejor el comportamiento de las estructuras diseñadas. Típicamente los pavimentos se diseñan para periodos mayores de 7 años, sin considerar el incremento en el módulo y la disminución de la resistencia a la fatiga. El módulo y la fatiga se ajustarán en el análisis, dejando estables los parámetros de los granulares y capa de subrasante.

Los resultados obtenidos con la metodología desarrollada muestran que se requiere un incremento en el espesor de los concretos asfálticos con relación a la metodología tradicional.

**PALABRAS CLAVE:** Módulo resiliente; ley de fatiga; envejecimiento; mezcla asfáltica densa en caliente.

## ABSTRACT

Asphalt pavements, are constituted by a surface course mixes of asphaltic concrete, which is a material mainly of a combination of asphalt and stone aggregates. On its part, the asphalt is a hydrocarbons and minerals mixture that are affected when it is exposed to environmental conditions, mainly by oxidation processes. When the asphalt is altered, the asphalt concrete physical-mechanical properties are altered as well. In that regard, this research project develops a design method based on mechanistic methodologies, this research project develops a designing method based on mechanistic methodologies that considers in its analysis the changes produced in the asphalt concrete

Based on the mechanistic methodology, which allows us to estimate stress and strain at different structure levels, it is possible to relate the values obtained with the materials behavior that compose it. This study is focused only on the analysis of two variable characteristics over time of the asphalt concrete that are the dynamic module and the fatigue behavior.

The analysis carried out was done by means of simulation processes of pavement structures on an annual basis, considering the estimated changes in the parameters described.

With this approach it is possible to better analyze the designed structures behavior. Typically, pavements are designed for periods longer than 10 years without considering the increase in the modulus and the decrease of the fatigue resistance. The modulus and the fatigue will be adjusted in the analysis leaving the granular parameters and those of the subgrade layer stable.

The results obtained with the developed methodology show that an increase in the thickness of asphalt concrete with respect to the traditional methodology is required

**KEYWORDS:** resilient modulus; fatigue law; aging; hot mix asphalt density.

## INTRODUCCIÓN

Los principales mecanismos de degradación de los concretos asfálticos son los daños ocasionados por envejecimiento del asfalto, por tal razón es importante tener en cuenta en los diseños alguna forma de estimar su degradación progresiva. Los diseños mecanicistas típicamente consideran que los materiales permanecen inalterados en la totalidad del periodo de diseño, hipótesis que evidentemente es discutible. En tal sentido se desarrolla en el presente documento una metodología de diseño, que considere los efectos que sobre el concreto asfáltico generan las condiciones ambientales a las cuales se encuentran expuestos los materiales.

El progreso desarrollado en el tiempo para el diseño de estructuras de pavimento ha cambiado la forma de realizar los análisis. En un principio, el comportamiento de las estructuras se estimaba por medio de metodologías empíricas que relacionaban pruebas a escala real con el comportamiento obtenido. Posteriormente se analizaron los materiales constituyentes de cada una de las capas y por medio de ecuaciones obtenidas mediante ensayos de Laboratorio, se estima el comportamiento de cada una de estas en función de los esfuerzos y de las deformaciones. Las características de los materiales se consideraban invariables en el tiempo

El presente trabajo plantea un cambio con relación a las metodologías desarrolladas hasta el momento, considerando la variación en el tiempo de los parámetros que determinan el comportamiento de la mezcla asfáltica

Las cargas de tránsito originan en la superficie inferior de la capa asfáltica esfuerzos de tensión que por efecto de las repeticiones continuas se presentan microfisuras afectando su comportamiento a la fatiga. Por otra parte y debido a procesos de oxidación en el asfalto este se rigidiza afectando el otro parámetro en estudio que es el módulo, el cual aumenta en el tiempo.

Para el estudio se establecieron de acuerdo a información secundaria las variaciones tanto en módulo como en fatiga de los materiales en el tiempo. Una vez estimada esta variación, y por medio de procesos de simulación, se efectúan análisis anuales de la estructura de pavimento hasta completar un periodo de 7 años.

## **1. MARCO TEÓRICO**

Los avances en la simulación del deterioro progresivo de las mezclas asfálticas, han sido pocos, y generalmente existe un vacío en el conocimiento sobre el comportamiento de pavimentos asfálticos sometidos a la influencia de factores ambientales y su afectación directa en el pavimento. La radiación ultravioleta emitida por el Sol hacia la superficie Terrestre produce envejecimiento del asfalto afectando sus propiedades mecánicas.

Por otro lado, los principales factores que afectan la durabilidad de las mezclas asfálticas, asumiendo que se encuentran bien construidas son: el proceso de envejecimiento y el daño por humedad [1]. Es decir, una mezcla asfáltica debe ser diseñada y construida no solo para que resista las cargas impuestas por el tránsito sino también la acción del medio ambiente. Cuantificar la influencia que tiene el ambiente sobre el comportamiento de este tipo de material no es una tarea fácil. La forma como se realiza actualmente es separando cada uno de los componentes que lo conforman (agua, temperatura y radiación ultra-violeta, entre otros) y evaluar la influencia de cada uno de ellos (desde el punto de vista mecánico y químico) de manera separada sobre el ligante y las mezclas [2]. Adicionalmente por lo general estos estudios utilizan ensayos y equipos como hornos para ensayo de película delgada del tipo TFOT o rotatorios RTFOT, microondas, vasijas de envejecimiento de ligantes a presión PAV, que no pueden reproducir totalmente la influencia que tiene cada uno de los componentes del ambiente sobre las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas y los ligantes asfálticos [3]. En conclusión general se reporta que estas metodologías de ensayo tienen como limitación principal reproducir las condiciones reales a las cuales están expuestas las mezclas asfálticas in situ. Una forma de medir in situ la influencia que tiene el ambiente en el comportamiento de mezclas asfálticas es realizando tramos de prueba o pistas de prueba a escala. La limitación de este tipo de pruebas radica en que son costosas y en ellas no se puede medir de manera directa y por separado, la influencia que tienen las cargas vehiculares y el ambiente. A continuación se relacionan cada uno de los componentes a analizar.

### **1.1 ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO.**

El envejecimiento del asfalto es un proceso en el cual sus propiedades físicas cambian con el tiempo, debido a las variaciones que ocurren en su composición química. Estos cambios se producen por la interacción de las variables intrínsecas y extrínsecas asociadas con el envejecimiento a corto y largo plazo. Los mecanismos de envejecimiento pueden ser de volatilización, oxidación y endurecimiento.

La oxidación es el fenómeno en el cual el oxígeno actúa sobre los constituyentes más reactivos del asfalto y se manifiesta en este, principalmente como endurecimiento, pérdida de la consistencia viscoelástica, fisuración y agrietamiento. Este proceso se genera en las diferentes etapas de la producción, la colocación y la vida útil de las mezclas asfálticas, debido a factores como presión, temperatura y tiempo. El envejecimiento se asocia primariamente con la pérdida de los componentes volátiles y la oxidación del asfalto durante la fabricación de la mezcla asfáltica. Este factor genera un incremento en la viscosidad del asfalto con un endurecimiento de la mezcla. El ensayo rotatorio de película delgada, propuesto por Hveem F. [4], fue desarrollado para evaluar el envejecimiento del asfalto a corto plazo que corresponde al paso por planta durante la fabricación de la mezcla asfáltica. Para estudiar el envejecimiento a largo plazos se desarrolló el procedimiento PAV, que simula el envejecimiento durante operación.

## 1.2 COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE LA MEZCLA POR DEGRADACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO

El módulo de un material se encuentra relacionado con el comportamiento dinámico de la mezcla producido por las cargas vehiculares. Este comportamiento depende especialmente de la temperatura, la frecuencia de carga y del nivel de envejecimiento del asfalto. El módulo dinámico incrementa a medida que disminuye la temperatura y aumenta la frecuencia de carga, es decir, que estos dos parámetros tienen una gran influencia en su comportamiento. Este fenómeno ha sido estudiado por diferentes autores. No obstante, de los documentos estudiados se tomó la investigación de Hugo Alexander Quintana y Fredy Reyes Lizcano sobre “Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá sobre el comportamiento mecánicos de una mezcla asfáltica”, [5]. En la cual se encuentran algunas expresiones matemáticas que explican de manera coherente el fenómeno. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

### 1.2.1 Resultados investigación

En la Figura 1 se presentan los resultados de la evolución del módulo resiliente inicial ( $E_0$ ) de la mezcla MDC-2 con la temperatura ( $T$ ) y la frecuencia de carga ( $F$ ). Se encontró un incremento típico del módulo cuando se aumenta la frecuencia de carga y disminuye la temperatura del ensayo. Esta evolución la representaron matemáticamente a través de la siguiente ecuación:

$$E_0 = \left[ \frac{K_1 \sqrt{T} F^2 + K_2 \sqrt{T} + K_3 F^2 + K_4}{\sqrt{T} F^2} \right] \quad (1)$$

En donde:

$$k_1 = -8.723,8;$$

$$k_2 = 9.551,31$$

$$k_3 = 54.625,9$$

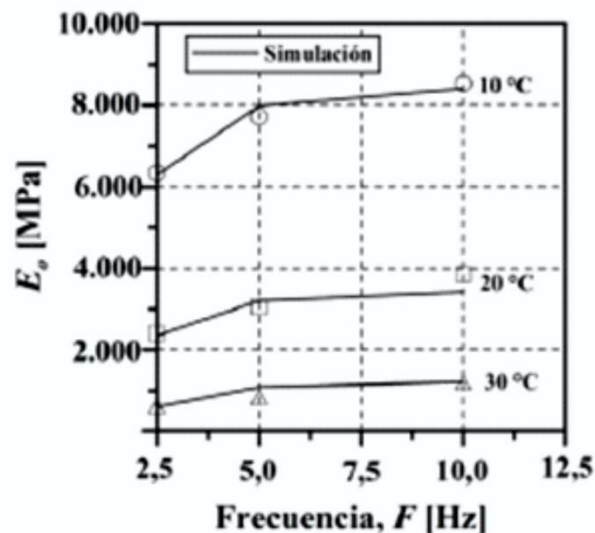
$$k_4 = -74.827,9$$

$E_0$  (MPa) = Módulo dinámico

T (°C) = Temperatura

F (Hz) = Frecuencia

Estas variables no presentan un significado físico definido y cambian principalmente con el tipo de ligante, la granulometría y el tipo de agregado pétreo utilizado para la fabricación de las mezclas.

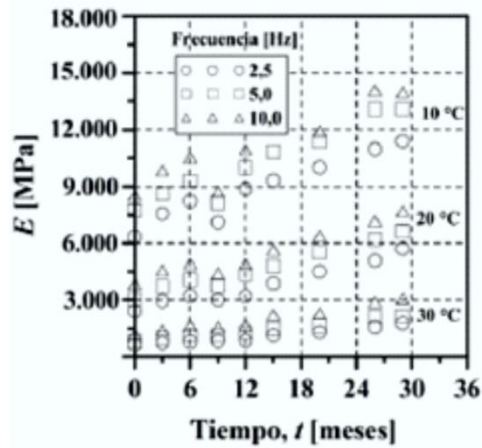


**Figura 1.** Evolución del módulo resiliente inicial ( $E_0$ ) de la mezcla MDC-2 con la temperatura y la frecuencia (F) de carga.

**Fuente:** Rondón Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F. A, [8]

En la Figura 2 se observa la evolución del módulo resiliente (E) de la mezcla asfáltica con el tiempo de exposición al medio ambiente (t) encontrada. Estos resultados pueden ser expresados matemáticamente a través de la ecuación (2), la cual fue utilizada para la variación del módulo en los cálculos.





**Figura 2 .** Evolucion del Modulo resiliente

**Fuente:** Rondón Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F. A, [8]

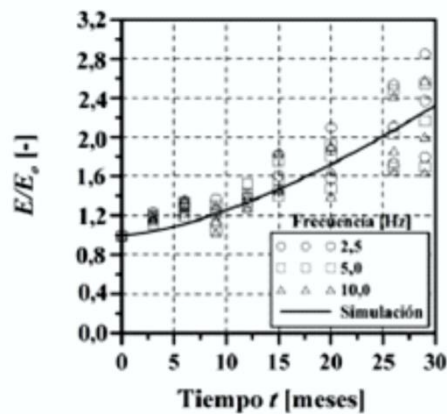
$$\frac{E}{E_0} = 1 + K_1 \sqrt{t} \quad (2)$$

$K_1=0.0058$

$E_0$ : Modulo resiliente inicial en (MPa):

$E$ : Modulo resiliente en (MPa)

$t$ : tiempo en meses



**Figura 3.** Evolución de la relación entre el Modulo resiliente (E) y el Modulo inicial ( $E_0$ ) con el tiempo r envejecimiento (t)

**Fuente:** Rondón Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F. A, [8]

Según lo descrito en el documento, se recomienda que esta ecuación sea utilizada únicamente en el periodo de tiempo evaluado (47 meses) con mezcla tipo MDC-2 y asfalto 60-70 de Barrancabermeja. No obstante, para el caso específico de este trabajo esta se extrapoló, siendo conscientes que esta se debe complementar con un trabajo investigativo más profundo.

### **1.3 COMPORTAMIENTO DE LA FATIGA DE LA MEZCLA ANTE DEGRADACIÓN DEL CONCRETO ASFÁLTICO**

El fenómeno de fatiga se incrementa cuando, por las características de la estructura y la magnitud de las cargas, se generan valores elevados de deformación a tracción en la superficie inferior de la capa asfáltica. El paso de vehículos hace que la capa asfáltica se deforme, generando esfuerzos de tensión en el extremo inferior de la misma. Esta deformación por tensión repetitiva hace que la mezcla asfáltica cambie algunas características por la producción de deformaciones plásticas a tracción que finalmente llevan a la formación de microfisuras y fisuras visibles.

Estas fisuras, que se originan en el extremo inferior de la capa asfáltica (zona donde generalmente el esfuerzo de tensión es mayor), se propagan de manera ascendente hacia la superficie del pavimento en donde se reflejan como fisuras longitudinales en la zona de las huellas que derivan en elementos con un aspecto parecido a la piel de cocodrilo.

Con relación al fenómeno de fatiga, del documento “Caracterización Mecánica de una mezcla asfáltica sometida a las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá”, se extracta lo siguiente:

El efecto del envejecimiento sobre la vida a fatiga de una mezcla asfáltica sometida a ensayos bajo deformación controlada no es claro. Algunos investigadores como Harvey J. [6], reportan que un incremento en la rigidez de mezclas asfálticas como producto del envejecimiento en laboratorio del ligante asfáltico no necesariamente reduce la vida de fatiga de mezclas, mientras que otros como Schmidt y Santucci [7], Raad, Saboundjian y Minassian [8], reportan lo contrario. Sin embargo, para efectos de este documento se considera que si una mezcla envejece, la misma se rigidiza, disminuyendo su resistencia al fenómeno de fatiga por este efecto.

La figura 4 se observa una disminución del valor de  $\epsilon_{m\acute{a}x.} = \epsilon_6$ , que corresponde a la amplitud de la deformación para que el material falle cuando se aplican N (1, 000,000) ciclos de carga, a medida que incrementa el módulo resiliente de las mezclas (E), lo que equivale a una disminución de la resistencia a fatiga. Estos resultados pueden ser representados matemáticamente a través de la ecuación (3). Esta ecuación se aplicó en los cálculos realizados para determinar la disminución de la resistencia a la fatiga

$$\varepsilon_{max} = k_4 + \frac{k_5}{E} + \frac{k_6}{E^{3/2}} \quad (3)$$

$\varepsilon$  máx.

$k_4=6.24 \times 10^{-6}$

$k_5=0.48$

$k_6=15.79$ .

$E = E_0$  (MPa) = Módulo resiliente

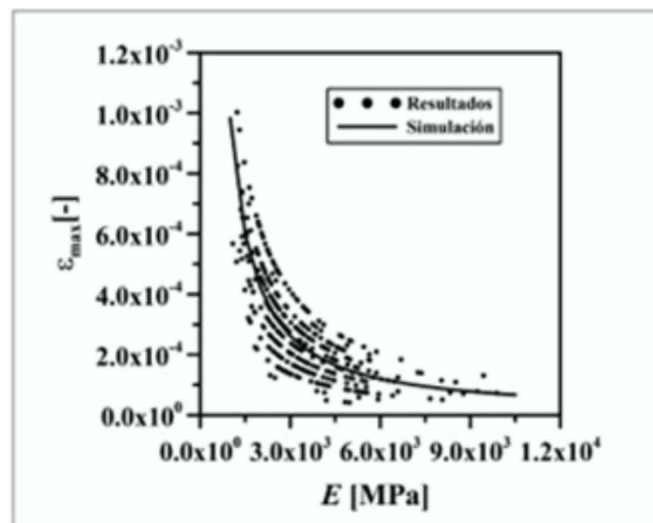


Figura. 4 Evolucion  $\varepsilon$  máx. con E

Fuente: Rondón Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F. A [8]

## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

### 2.1 PARÁMETROS INICIALES DE DISEÑO

Para el diseño de los pavimentos se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

#### 2.1.1 Transito de Diseño

Se estableció un tránsito de diseño  $1 \times 10^7$  con ejes de 8.2 Ton, para el periodo de 7 años con una tasa de crecimiento anual constante del 2% según Tabla No 2

**Tabla No 2.** Cálculo de ejes equivalentes.

Año	Tasa de crecimiento	No de ejes
0	0,02	1.165.098
1	0,02	1.188.400
2	0,02	1.212.168
3	0,02	1.236.411
4	0,02	1.261.140
5	0,02	1.286.362
6	0,02	1.312.090
7	0,02	1.338.331

Fuente: Propia

### 2.1.2 Periodo de diseño

Teniendo en cuenta que las investigaciones de Laboratorio se realizaron para un lapso de tiempo de 47 meses que corresponden aproximadamente a 4 años, y la condición de una mezcla asfáltica, transcurrido 7 años estando expuesta a las condiciones ambientales, muestra deterioros visibles, se consideró que extrapolando los datos de la investigación sería posible llegar hasta el periodo de diseño de 7 años.

### 2.1.3 Subrasante

Para los cálculos se considera una subrasante arcillosa típica con un CBR DE 5 % sin potencial expansivo. El valor de la subrasante se estima a 50 MPa.

Para establecer la deformación máxima permisible sobre la subrasante se aplicó la fórmula propuesta por la Universidad de Nottingham:

$$\varepsilon_{\text{máx.}} = 2.16 * 10^{-2} * N^{-0.28} \quad (4)$$

Siendo:

$\varepsilon_{\text{máx.}}$ : Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante

N: Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 Toneladas

### 2.1.4 Base y Subbase

Se determinan los módulos resiliente de la subbase y de la base granular. El CBR de la subbase (25%) corresponde a un módulo = 100 MPa y el CBR de la base (80%) corresponde a un módulo = 200 MPa.

### 2.1.5 Mezcla asfáltica

Se determina el Módulo de la mezcla con base a la metodología Shell:

Velocidad de operación 60 km /hora

Espesor probable anual ponderado del aire, TMAP= 16 °C

Precipitación media anual, PMA= 127.8 mm/año

Penetración del asfalto: Pen <sub>25°C</sub>= 75 1/10 mm

Viscosidad de asfalto a 70 °F P <sub>77° F</sub> γ= 75 1/10 mm

Con los datos anteriores se determina un Módulo de la mezcla según metodología Shell de 2500 Mpa

#### a. Modelación de la estructura de pavimento

Con los parámetros estimados en el numeral anterior, que corresponden a las características iniciales de los materiales, se procede a modelar la estructura de pavimento, por medio del programa WinDEPAV. Con el cual se calculan las deformaciones horizontales generadas en la superficie inferior de la carpeta asfáltica y las deformaciones verticales sobre la subrasante.

Inicialmente se estableció el diseño de estructura de pavimento con la metodología convencional, en la cual se consideran los materiales invariables en el tiempo obteniendo los siguientes resultados según Tabla No 3

**Tabla No 3.** Modelación

CAPA	ESPESOR (cm)	E (MPa)	μ	Def. ε	N
CARPETA ASFÁLTICA	17	2500	0.40	1,86 E-04	15.329.715
BASE GRANULAR	20	200	0.35		
SUBBASE GRANULAR	40	100	0.35		
SUBRASANTE		50	0.5	2, 26E-04	11.821.207

Fuente: Propia

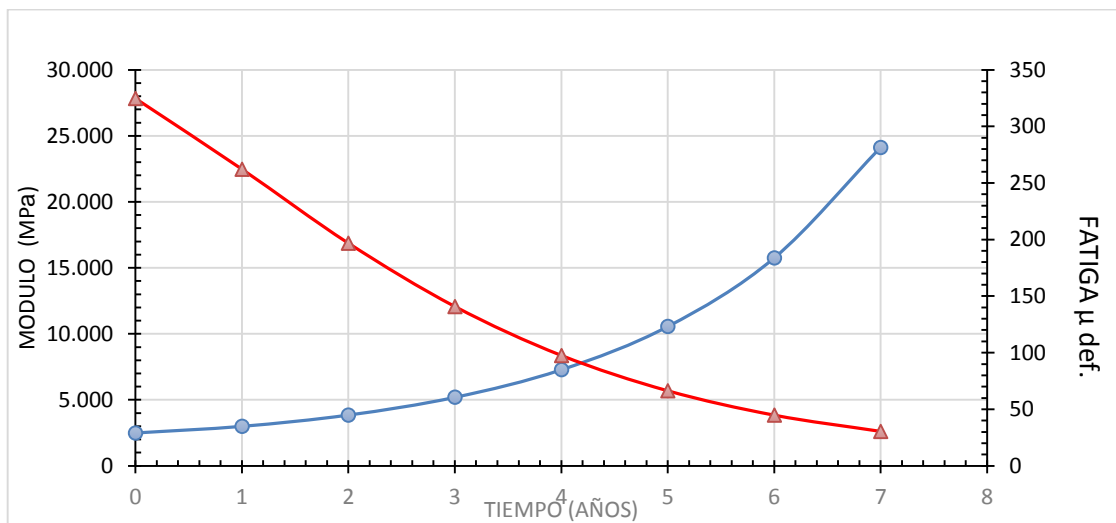
Con la metodología planteada, y las ecuaciones 1 y 2, en la cual las características del concreto asfáltico varían en el tiempo, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla No 4.** Resumen de resultados.

VARIACIONES DE MODULO Y FATIGA				CARPETA ASFALTICA						SUBRASANTE		EIES PROY.	CONSUMOS Proy. /Adm.	
TIEMPO		MODULO Mpa		FATIGA ( E )		Ec Nottingham		EIES ADMISIBLES		EIES ADMISIBLES			CA	SRTE
años	meses	E	E/E0	$\mu$	$\mu_{def}$	$F=\varepsilon/N^{-0,204}$	$\varepsilon = F \times N^{-0,204}$	def $\varepsilon$	N	Ecuacion	N			
0	0	2.500	1,0	0,000325	324,61	5,44E-03	2,03E-04	1,22E-04	121.155.588	1,59E-04	41.501.078	1.165.098	0,96	2,81
1	12	3.002	1,2	0,000262	262,15	4,39E-03	1,64E-04	1,09E-04	73.836.580	1,49E-04	52.337.435	1.188.400	1,61	2,27
2	24	3.855	1,5	0,000197	196,75	3,30E-03	1,23E-04	9,26E-05	40.220.981	1,37E-04	70.639.414	1.212.168	3,01	1,72
3	36	5.197	2,1	0,000141	140,80	2,36E-03	8,80E-05	7,57E-05	20.943.248	1,22E-04	106.882.563	1.236.411	5,90	1,16
4	48	7.285	2,9	0,000098	97,57	1,63E-03	6,10E-05	5,96E-05	11.202.381	1,05E-04	182.666.437	1.261.140	11,26	0,69
5	60	10.558	4,2	0,000066	66,31	1,11E-03	4,15E-05	4,53E-05	6.471.749	8,86E-05	335.020.616	1.286.362	19,88	0,38
6	72	15.755	6,3	0,000045	44,74	7,49E-04	2,80E-05	3,33E-05	4.253.699	7,25E-05	685.689.753	1.312.090	30,85	0,19
7	84	24.130	9,7	0,000030	30,40	5,09E-04	1,90E-05	2,19E-05	4.987.044	5,74E-05	1.578.933.289	1.338.331	26,84	0,08
												99,34	6,49	

Fuente: Propia

De la Tabla anterior, y con el fin de esquematizar el comportamiento completo de la estructura se realizan las siguientes gráficas

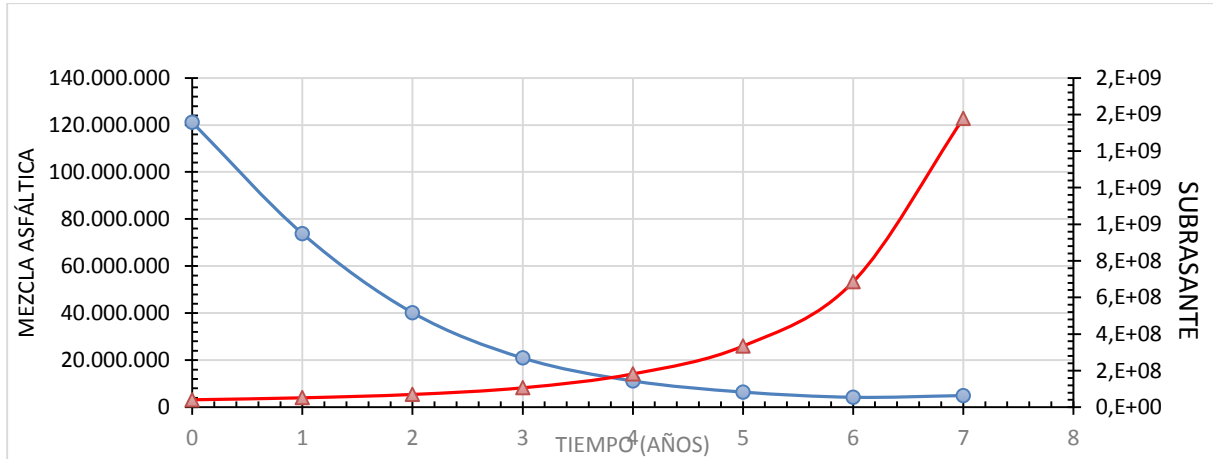


**Figura No 1.** Variación del módulo y de la fatiga.

Fuente: Propia

En la Figura No 1 se observa el incremento del módulo dinámico del concreto asfáltico en el tiempo, el cual mantiene un módulo con pocas variaciones en los primeros años de operación pero que se incrementa de forma significativa hacia el final del periodo de análisis. Por el contrario, el comportamiento a la fatiga, expresado en términos de la deformación al millón de ejes ( $\varepsilon_6$ ), disminuye con mayores variaciones en los primeros años pero con una tendencia a disminuir hacia el final del periodo de análisis. Es importante resaltar que las ecuaciones aplicadas se obtuvieron con base de

ensayos de laboratorio realizados para un periodo de 47 meses, desde este punto en adelante se extrapolaron las ecuaciones mencionadas.



**Figura No 2.** Ejes admisibles (N).  
Fuente: Propia

En la Figura No 2 se establece que el número de ejes que soporta la estructura cambia en los primeros años, pero tiende a ser asintótica hacia el final del periodo de diseño manteniendo un número estable de ejes que soporta la estructura. Lo anterior se debe a que el comportamiento a la fatiga igualmente trata de mantenerse estable hacia el final del periodo de diseño (ver Figura 1).

Al comparar los resultados de los espesores obtenidos con la metodología convencional y los obtenidos con la metodología propuesta, se encuentra que el espesor de la carpeta asfáltica debe incrementarse en 8 cm para un total de carpeta asfáltica de 25 cm, mostrando que el efecto combinado entre el incremento del módulo y la disminución en la ley de fatiga no alcanzan a compensarse, razón por la cual debe incrementarse el espesor con el fin de disminuir los espesores de la carpeta asfáltica

## 4. CONCLUSIONES

- Actualmente se encuentran algunas investigaciones con relación a la simulación del deterioro progresivo de las mezclas asfálticas. No obstante, debido a la dificultad que representa establecer en laboratorio las variaciones generadas por las condiciones ambientales y las continuas repeticiones de carga que soportan las mezclas asfálticas durante operación, los resultados no se ajustan a los cambios reales que ocurren a las mezclas durante operación. La metodología planteada se realizó con base en investigaciones de deterioro realizadas por un corto periodo de 47 meses extrapolando las tendencias hasta completar un periodo de 7 años.
- Para el análisis, básicamente se consideró el incremento del módulo en el tiempo y el deterioro de las características de resistencia a la fatiga obtenidas, estas últimas, en función del valor del módulo
- Al comparar los resultados de los espesores obtenidos con la metodología convencional y los obtenidos con la metodología planteada, se encuentra que el espesor de la carpeta asfáltica debe incrementarse en 9 cm, mostrando que el efecto combinado entre el incremento del módulo y la disminución de la resistencia a la fatiga no alcanzan a compensarse.
- Los resultados obtenidos indican que se requiere un incremento en el espesor de diseño para contrarrestar los efectos del deterioro progresivo de los concretos asfálticos. Sin embargo, es importante anotar que no se consideraron aspectos adicionales que podrían cambiar los resultados como: Disminuciones del módulo por microfisuramientos o fisuramientos durante el periodo de operación, mejoramiento de las condiciones de la subrasante con el progresivo paso de los vehículos y posible degradación de la resistencia de las capas granulares. En este sentido, se puede concluir que faltaría aún más investigación sobre el tema para ajustar mejor los diseños a las condiciones reales de operación



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Airey G. D. (2003), State of the art report on ageing test methods for bituminous pavement materials. *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 4, No 3, 165-176.
- [2] Kemp G. R. and Predoehl N. H. (1981), A comparison of field and laboratory environments of asphalt durability. *Proc. Assn. Asphalt Paving Technol.*, 50, 492-537.
- [3] Jemison, H. B., Davison, R. R., Glover, C. J. and Bullin, J. A. (1991). Evaluation of standard oven tests for hot-mix plant aging. *Transportation Research Record*, 1323, Transportation Research Board, Washington D.C., 77-84
- [4] Hveem, F. N., Zube, E., Skog, J., Proposed new tests and specifications for paving grade asphalts. *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 32, 1963, pp. 271-327.
- [5] Rondón Quintana, H. A., Reyes Lizcano, F. A. (2009). Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá sobre el comportamiento mecánicos de una mezcla asfáltica. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24(2), 195-207
- [6] Harvey J., Deacon J.A., Tsai B.W., Monismith C.L. (1995). Fatigue performance ...Prepared for California Department of Transportation, October 1997. Selvin, S.
- [7] Schmidt, R. J., and Santucci; L.e., "The Efect of Asphalt Properties on the Fatigue and Cracking of Asphalt Concrete on the Zaca-Wigmore Test Project," *Proc AAPT*, 38, (1969)
- [8] Raad, L.; Saboundjian, S., y G. Minassian, "Field aging effects on fatigue of asphalt concrete and asphalt-rubber concrete", en *Transportation Research Record* 1767, núm. 01-3097, 2001.