

METODOLOGÍA RACIONAL PARA LA ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN CALZADAS NUEVAS Y DE REHABILITACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLE

RATIONAL METHODOLOGY FOR ESTIMATE DAMAGES IN NEW ROADWAYS AND REHABILITATION OF FLEXIBLE PAVEMENT

Por / By Fredy Reyes, César González, Diana Vega, Grupo CECATA.

Resumen

A través de la metodología racional se puede predecir los futuros daños que se van a presentar en calzadas con capas asfálticas, ayudando a planear una política de mantenimiento. Esta política se basa en: el conocimiento más exacto de todos los factores que afectan a la calzada, en su estado inicial y en su evolución; la medida sistemática de diferentes porcentajes característicos durante su uso o evolución; y la definición de criterios de clasificación, priorizándolos con respecto a los trabajos de intervención. Para la elaboración de este plan de mantenimiento sistemático utilizando la modelación numérica de la metodología Racional, se necesitan los siguientes datos: el conocimiento de la modelación matemática del pavimento y de los materiales, basada en módulos elásticos y leyes de fatiga; la auscultación visual de la vía para cuantificar las degradaciones o el uso del GERPHO; el análisis del tráfico soportado por el pavimento, basándose en la determinación de su agresividad y de su equivalencia en un número de ejes de referencia; y la esquematización estructural del pavimento a fin de calcular el riesgo teórico a la cual esta sometida, teniendo en cuenta el tráfico futuro que va a soportar.

Palabras Claves: *Mantenimiento, degradación, probabilidad, riesgo, tráfico, mecánica, materiales, calzada, diseño.*

Abstract

By resorting to rational methodology it is possible to predict any future distress affecting roadways with asphalt mixtures, permitting the planning of a maintenance policy. This policy is based on: a more exact knowledge of all the factors affecting the roadway, both at its initial stage and over years; a systematic measurement of different characteristic percentages during its use and throughout its lifetime; the definition of priority classification criteria; prioritizing them with respect to any intervention. To prepare this systematic maintenance plan using the numerical modelling of Rational methodology, the following data are needed: a knowledge of mathematical modelling of pavement and the materials, based on elastic modules and fatigue methods; visual auscultation of the roadway to quantify the degradations or the use of GERPHO, the analysis of the pavement's traffic load, based on determining its aggressiveness and its equivalence to a number of axles of reference; and the structural diagramming of the pavement so as to calculate the theoretical risk it is exposed to considering its future traffic load.

Keywords: *Maintenance, degradation, probability, risk, traffic, mechanics, materials, roadway, design.*



1. INTRODUCCIÓN

Los primeros métodos de programación de trabajos de mantenimiento de calzadas han consistido en medir o evaluar un cierto número de parámetros característicos del estado estructural de la calzada. Los valores medidos in situ se comparan con los valores admisibles por los materiales para así realizar el diseño de un mantenimiento.

Los progresos de la mecánica de calzadas han hecho posible la elaboración de un esquema donde es factible prever la evolución de una calzada en el tiempo. Este esquema reposa sobre la idea de encontrar una relación, a través de la metodología racional, entre el riesgo teórico que se ha aceptado durante el diseño y los resultados del análisis y observaciones efectuadas en el seguimiento estructural de la calzada. Esta relación depende de:

- El conocimiento de la calzada y de los materiales
- La auscultación visual de la vía, que conduce a un parámetro cuantificador de las degradaciones, empleándose por ejemplo la metodología VIZIR. (Autret et al., 1982)
- El análisis del tráfico que soporta la estructura, para determinar su agresividad y su equivalencia para un número acumulados de ejes, considerando ejes de 130 KN.
- La esquematización estructural de la calzada, de manera tal que se pueda calcular el riesgo teórico según el tráfico que el pavimento debe soportar, valiéndose de la metodología ALIZE III, (Chantereau y Leger, 1972).

Con este trabajo se busca crear una metodología que permita realizar un plan de mantenimiento de una vía por medio de la metodología Racional, asignando un valor cuantitativo a la calidad de la estructura de pavimento en el tiempo, permitiendo conocer su estado en el tiempo futuro y programando los posibles tipos de reparación para que se mantenga el buen estado de la vía.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción General

La metodología para determinar los daños está basada en:

- Las comprobaciones realizadas luego del análisis de las degradaciones de la superficie y su cuantificación bajo la forma de un índice de degradación.
- La modelación matemática, que evidencia una relación entre el riesgo teórico y el nivel de degradación comprobado en la cuantificación visual de los daños.

Para que esta metodología pueda ser aplicada se debe conocer toda la información pertinente relacionada con los dos factores anteriores, como son: el conocimiento de los materiales en obra, su comportamiento mecánico y módulos, las características de la calzada, conocimiento de las degradaciones, conocimiento del tránsito y determinación del riesgo.

2.2 Conocimiento de la Calzada y de los Materiales

a) Controles en la construcción

Los controles deben haber sido realizados antes y durante la construcción para todas las capas, incluida la subrasante. Los controles son:

- Las medidas de la deflexión bajo el eje de 130 KN.
- El control de las características de los materiales colocados en obra. Las características controladas son:
 - Clasificación, límites, humedades.
 - Granulometrías.
 - Contenido en ligantes.
 - Densidades de referencia Marshall, PCG e in-situ.
 - Espesores.
 - Módulos dinámicos y leyes de fatiga.

b) Determinación de las características mecánicas de los materiales

Los parámetros característicos de los materiales utilizados por la esquematización del pavimento se determinan con la ayuda del modelo de Burmister, a partir del cual se ha establecido el programa de cálculo ALIZE III (Autret et al., 1982), que considera: el modulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y un parámetro de la pendiente de la ley de fatiga propia de cada material, siendo posible calcular:

- La deformación relativa admisible de tracción por flexión (ϵ_t), para los materiales asfálticos.
- Los esfuerzos admisibles de tracción por flexión (σ_T) para los materiales tratados con ligante hidráulicos.
- La deformación relativa vertical admisible en compresión (ϵ_Z) para los materiales no tratados.



Con respecto al método para la determinación de esas características se considera que :

- Los materiales deben responder las especificaciones modernas del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogota - IDU, donde sus características deben ser evidenciadas bajo ensayos dinámicos de laboratorio.
- Los módulos de flexión para las mezclas asfálticas se determinarán sobre probetas trapezoidales tomadas en la calzada (Claessen, 1977). El espesor de ciertas capas no permite tallar las probetas verticalmente, por esto en los laboratorios Franceses se ha verificado los resultados con las probetas talladas horizontalmente, encontrando que son iguales a las de probetas talladas verticalmente (Hveem y Sherman, 1962).
- Para hallar el módulo del suelo, las medidas de deformación realizadas sobre el suelo de la subrasante deben ser tomadas con equipos triaxiales.

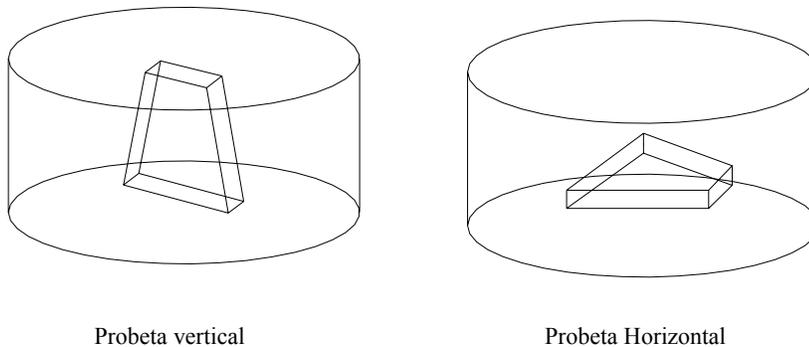


Figura 1. Tipos de Probetas Trapezoidales para determinar los módulos de Flexión.

2.3 Conocimiento de las Degradaciones

La fatiga de una estructura de calzada se manifiesta la mayor parte del tiempo por la aparición en la superficie de degradaciones características, cuyo análisis constituye la base de todos los métodos de evaluación del estado de la calzada. La toma de estas degradaciones se efectúa de manera visual realizando recorridos a pie, y actualmente en muchos países con equipo de alto rendimiento. Un equipo de gran aceptación a nivel mundial, es el GERPHO (Grupo de Examen Fotográfico para vías) (Boulet y Gramsammer, 1982). Este aparato asegura la toma fotográfica en continuo de una vía de circulación a razón de 200 Km de medida por noche. La película permite ser almacenada y revisada las veces que se desee. El estudio de la película se realiza con la ayuda de una mesa de visualización conectada a un sistema informático.

a) Determinación del índice de degradación de la calzada

Luego de la toma y análisis de las degradaciones obtenidas con la ayuda del GERPHO y se presentan los distintos tipos de degradaciones, en forma de tablas como las reparaciones localizadas, por paso de 20 m. Luego se le asigna una medición o escala a los resultados, cuya idea no es nueva y se identifica muy fácil en la metodología VIZIR-DESY 2000, llevando a la determinación cuantitativa de un índice representativo de la calzada.

Para su obtención se necesita cuatro fases:

- Identificación y Clasificación de las degradaciones.
- Atribución para cada tipo de degradación de un valor representativo de sus límites admisibles.
- Ponderación por un coeficiente de gravedad (g_i), asociado al estado de deterioro de la degradación, de tal manera que la suma de los (g_i) sean iguales a la unidad.
- Finalmente, se suman estos productos de manera de obtener un índice de degradación (I_d) positivo comprendido entre 0 y 100. Este último valor corresponde a la menos favorable calificación.

b) Identificación y clasificación de las degradaciones

Las degradaciones que comúnmente se clasifican son: las fisuras longitudinales, transversales, pieles de cocodrilo, ahuellamientos, y ojos de pescado o baches. En estas mediciones de degradaciones se tendrán en cuenta las áreas de las reparaciones localizadas, en las que se especificará cuales afectan solamente la capa de rodadura y aquellas que están asociadas a una degradación estructural de la calzada.



c) Unidades de degradaciones (S_i)

Las unidades referidas para cuantificarlas son las siguientes:

- Fisuras longitudinales: metro lineal (m)
- Fisuras transversales: número
- Pieles de cocodrilo: m^2/m
- Reparaciones localizadas: m^2/m

Las pieles de cocodrilo y las reparaciones localizadas inicialmente tomadas en m^2 en las huellas de rodadura, son llevados a metros lineales de calzada ya que estas huellas son tomados como 1m (2×0.5).

d) Gravedad de las degradaciones

La selección de los valores de los coeficientes procede del deseo de acordar un coeficiente de gravedad creciente con las degradaciones. Cofiroute de Francia (Siffert et al., 1983) recomienda tomar los valores de la tabla I.

e) Cálculo del índice de degradación

La expresión general del Id es:

$$I_D = 100 \sum_{i=1}^m s_i g_i \quad (1)$$

Donde m es el número de tipos de degradaciones diferentes encontradas. Teniendo en cuenta los valores de la tabla 1, el índice de degradación se escribe bajo la forma:

$$I_D = (0.1R_l + 0.1N_f + 0.2L_{fl} + 0.3F_{ai} + 0.3R_l) \times 100 \quad (2)$$

Tabla 1. Valores de los coeficientes y de la gravedad de las degradaciones

	Reparación Localizada de la Superficie	Fisuración Transversal	Fisuración Longitudinal	Piel de Cocodrilo	Reparación Localizada (estructural)
Tipo de Degradación (S_i)	Área en las huellas de circulación (m^2)	Número de Fisuras	Longitud total de Fisuras (m)	Área en las huellas de rodaduras (m^2/m)	Área en las huellas de rodaduras (m^2/m)
Símbolo	R_l	N_{ft}	L_{fl}	F_{ai}	R_l
Coefficiente de Gravedad con respecto a la Unidad (g_i)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3

2.4 Conocimiento del Tráfico

Los conteos o estadísticas en los peajes permiten tener un conocimiento real del tráfico. Este conocimiento debe ser cuantificado para introducirse correctamente en el modelo del comportamiento real del pavimento, empleando una carga de referencia. Se debe determinar el número de cargas por tipo de eje para llevar a la carga de referencia equivalente.

Luego, se debe determinar la agresividad del tráfico y determinar el índice de tráfico n_r de la vía, el cual se puede hacer por el método de conteo y pesado tradicional o por un sistema de conteo y pesado por intermedio de un cable piezoeléctrico.



La agresividad del tráfico puede cuantificarse determinando el índice de tráfico n_r , coeficiente multiplicador del tráfico real expresado en un número equivalente de ejes de referencia, es decir el eje de 130 KN, el cual fue estandarizado para Bogota en substitución del eje de referencia de 80KN (IDU, 2002).

Si se tienen en cuenta los daños acumulados (Ley de Miner), se obtiene la agresividad media de un vehículo pesado de la siguiente manera:

$$n_r = n_s e_s + n_t e_t + n_T e_T \quad (3)$$

Donde,

n_s = número promedio de ejes simples/PL.

n_t = número promedio de ejes tandem/PL.

n_T = número promedio de ejes tridem/PL.

e_s = agresividad relativa de un eje simple representativo del tráfico en comparación con el eje de referencia.

e_t = agresividad relativa de un eje tandem representativo del tráfico en comparación con el eje de referencia.

e_T = agresividad relativa de un eje tridem representativo del tráfico en comparación con el eje de referencia.

PL = número de vehículos pesados.

Recordando que,

P_r = peso del eje de referencia.

α = potencia de la ley de fatiga de la estructura bituminosa que soporta el tráfico.

P_i = peso de eje cualquiera.

n_i = porcentaje de ejes de peso P_i .

Tenemos que la agresividad relativa del conjunto del tráfico se define como (Finn y Shook, 1962):

$$e_k = \sum_{i=1}^k n_i \left(\frac{P_i}{P_r} \right)^\alpha \quad (4)$$

k = relativo a cada tipo de eje.

Para su utilización se deben definir los tramos homogéneos de tráfico pesados a partir de las estadísticas que se tengan en los peajes. Las estadísticas deben ser realizadas durante una semana continua de medida, evitando la proximidad a la salida a vacaciones y días festivos.

3. ESQUEMATIZACION ESTRUCTURAL DE LA CALZADA

Para determinar la nueva estructura de pavimento nueva se debe conocer los siguientes datos:

- El espesor real de cada una de las capas de la calzada, resultante de los controles de obra o de toma de muestra.
- Las condiciones de liga en las interfaces.
- Los parámetros mecánicos reales de los materiales, esencialmente el módulo de Young.
- El comportamiento a la fatiga del material más solicitado.

Es posible calcular, con la ayuda de un programa como ALIZE III o en este caso CEDEM (Reyes y Delgado, 1998), la deformación y el esfuerzo de tracción por flexión en la base de cada una de las capas del pavimento.

El parámetro preponderante en el estudio del comportamiento a la fatiga del pavimento, es en efecto, la deformación relativa en tracción por flexión ϵ_t en la base de la capa más solicitada (Reyes, 2003).

Esta deformación se escribe:

$$\epsilon_t = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \epsilon_6 \quad (5)$$

Donde,

$$k_1 = \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \quad (6)$$

NE = es el tráfico acumulado en ejes equivalentes de 130 KN



b = es la pendiente de la ley de fatiga del material considerado

k_2 = es un coeficiente ligado a la temperatura cuando ella es diferente de 15° C. Estos datos se han adquirido a partir de ensayos de laboratorio.

$k_3 = 10^{-tb\delta}$, es un coeficiente ligado al riesgo que se desea tomar cuando se realiza un diseño nuevo. En el cálculo de k_3 interviene:

t = fractil de la ley de la normal por la dispersión sobre los espesores y sobre los ensayos de fatiga para un riesgo dado. Se encuentra este valor ya incluido en el programa de CALCULO DE DAÑOS (Reyes et al., 2003).

δ = desviación típica de la ley de dispersión anterior.

$$\delta = \sqrt{SN^2 + Sh^2 \left(\frac{c}{b}\right)^2} \quad (7)$$

Sh = dispersión del espesor en colocación en obra (en centímetros)

c = constante universal de los materiales de pavimento = 0.02 cm⁻¹

SN = desviación estándar de la ley de fatiga del material

k_4 = es un coeficiente de calibración, determinado a partir del carrusel de fatiga, actualmente se toma para Colombia de la literatura Francesa.

ε_6 = es la deformación relativa admisible en tracción por flexión, a 10⁶ ciclos 50% de riesgo y 15°C, a 25 Hz resultante del ensayo de fatiga del material en laboratorio.

Los coeficientes k_2 (temperatura) y k_4 (calibración) son conocidos por hipótesis. El coeficiente k_1 se calcula fácilmente a partir de un tráfico acumulado expresado en número de ejes equivalentes de 130 KN. k_3 se puede determinar de la siguiente forma:

$$k_3 = \frac{\varepsilon_t}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_4 \cdot \varepsilon_6} \quad (8)$$

Luego se despeja t, obteniendo,

$$t = -\frac{\lg k_3}{b\delta} \quad (9)$$

Luego, entrando a una tabla probabilística de la Ley Normal se obtiene el valor del riesgo correspondiente, R(%). Durante esta etapa, se ha determinado el riesgo teórico aceptado en el momento del diseño de la calzada.

4. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE UNA CALZADA

4.1 Relación entre el Estado de Degradación de una Calzada y su Riesgo Probabilístico Teórico

La elaboración de una relación entre el estado de degradación de una calzada y su riesgo probabilístico se basa en cuatro etapas:

1. La determinación de un índice de degradación. Se determina como ejemplo en la Tabla 2.
2. La evolución de este índice en función del tiempo. Se indica e ilustra en la Tabla 3 y en la figura No. 2. En el año 6 se ha ejecutado una recalza por esta razón la degradación ha bajado a cero.
3. El conocimiento del número acumulado (N_i) de ejes tipo en función del tiempo. Se presenta para el ejemplo en la figura No. 3 y 4.
4. La determinación del riesgo probabilístico asociado a este tráfico acumulado N_i . Se ilustra en la figura 8 y 9.

A manera de ejemplo de aplicación la tabla representa un valor I_D para una sección de una longitud de referencia de 1000 m.



Tabla 2. Determinación del índice de daño para el año 6 Hipotético.

	R_i	N_{ft}	L_{ft}	F_{ai}	R_i
	- m ²	115	494 ml	146 m ²	111 m ²
S_i	-	0.115	0.494	0.146	0.111
g_i	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
I_D	18.7%				

Las mediciones anuales de las degradaciones por medio de la auscultación permiten trazar una curva de evolución del índice I_D en función del tiempo. A manera de ejemplo se presenta la evolución del daño de la calzada así:

Tabla 3. Mediciones Anuales de Degradaciones

Año	I_D %
1	-
2	-
3	0.8
4	6.0
5	13.0
6	18.7
7	-
8	0.14

Esta evolución se gráfica en la Figura 2.

Índice de degradación contra Edad de la Estructura

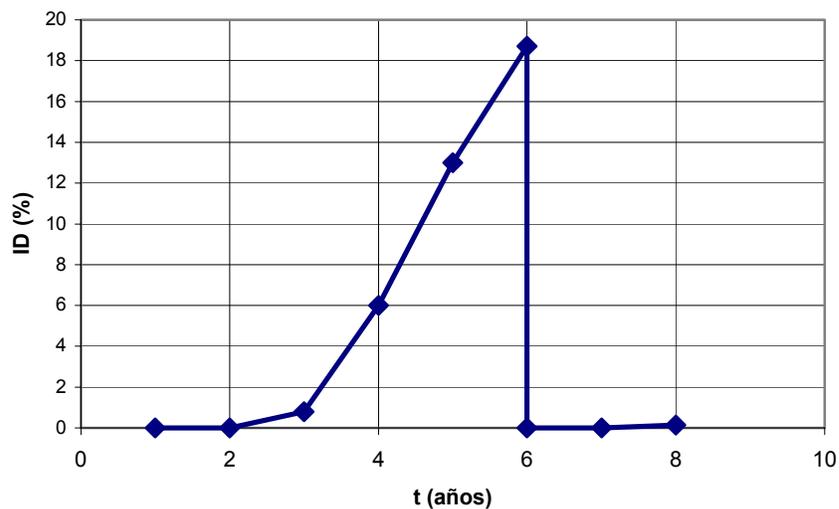


Figura 2. Índice de degradación vs. Edad de la estructura



4.2 Conocimiento del tráfico

Como se explicó en el numeral 2.4., los resultados de los conteos en las estaciones han permitido calcular la agresividad relativa de un vehículo pesado de carga útil superior a 50 KN (Besnard y Siffert, 1983), para los diferentes tramos. En el caso del estudio que nos interesa se trabajará con un coeficiente de agresividad media del tráfico CAM de 0.45.

A nivel de ejemplo numérico, desde el año 1 se conoce el tráfico pesado y se presenta en las Figuras 3 y 4, cuyos datos fueron determinados con el programa de CALCULO DE DAÑOS (Reyes et al., 2003). En la Figura 3, se muestran los resultados del tránsito que se presentaría en cada año, su tránsito acumulado y su equivalente en ejes de 130 KN. En la Figura 4 se ilustra este crecimiento del tránsito en el tiempo.

Ahora conociendo el tráfico acumulado y el CAM es posible asociar la evolución del índice de degradación con el número acumulado de ejes tipo.

CALCULO DE DAÑOS

DATOS INICIALES | DATOS TRAFICO | RIESGO

AÑO INICIAL: 1 | AÑO RECALZA: 8

Año	Ejes (13ton) $\times 10^3$ Tráfico Anual	Acum. $\times 10^6$ Tráfico	N.E equiv. $(\times 10)^6$ Ejes (13ton)
1	420	0.42	0.19
2	458	0.88	0.40
3	500	1.38	0.62
4	544	1.92	0.86
5	593	2.52	1.13
6	646	3.16	1.42
7	704	3.86	1.74
8	766	4.63	2.08
9	834	5.46	2.46
10	940	6.40	2.88
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Figura 3. Tráfico Pesado – evolución en función del tiempo.



Evolución del Tránsito Pesado en función del Tiempo

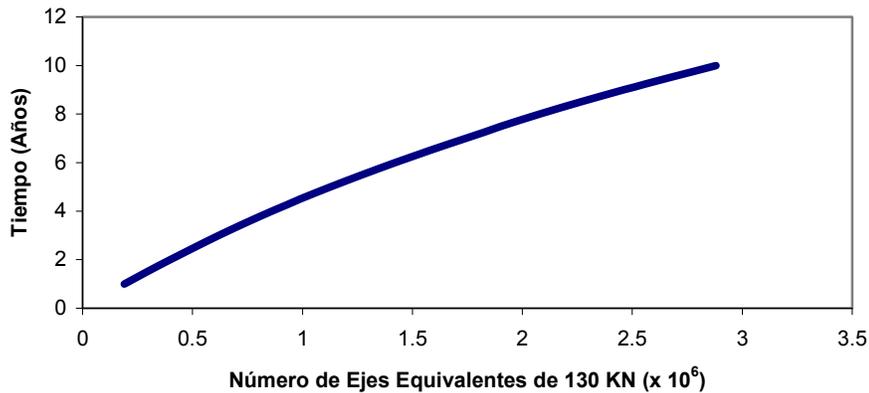


Figura 4. Evolución del tráfico pesado acumulado en función del tiempo

4.3 Determinación del Riesgo Probabilístico

Para este ejemplo se tiene una estructura de pavimento existente descrita en la Tabla 4.

Conociendo los datos necesarios para aplicar la metodología descrita en el numeral 2, se procede primero a determinar el valor de la deformación a tensión en la base de la grava asfáltica, incorporando los datos al programa de cálculo de Esfuerzos y Deformaciones CEDEM (Reyes y Delgado, 1998), en este programa se introducen los datos de presión de contacto de la llanta, radio de carga de la llanta, distancia entre ejes, y características de las capas (módulos dinámicos, coeficiente de Poisson y espesores), y se obtiene como resultado los valores de esfuerzos y deformaciones actuantes para cada capa.

Tabla 4. Esquematización geométrica y mecánica de la sección existente

Eje de 130 KN			
9 cm	Carpeta de rodadura	E = 4500 MPa	$\nu = 0.3$
15 cm	Grava bituminosa	E = 6500 MPa	$\nu = 0.3$
40 cm	Relleno grava	E = 400 MPa	$\nu = 0.3$
∞	Suelo	E = 100 MPa	$\nu = 0.3$



CEDEM - Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructura Multicapa

Archivo Datos Calcular Ayuda

Datos Información de la Estructura Resultados

Capa N°	Z [m]	Epsilon T	Sigma T [MPa]	Epsilon Z	Sigma Z [MPa]
1 <i>Ligada</i>	0.00	102.0E-6	0.8973	-50.4E-6	0.6618
	0.09	20.1E-6	0.2906	-10.7E-6	0.5068
2 <i>Ligada</i>	0.09	20.1E-6	0.3243	-15.1E-6	0.5068
	0.24	-81.8E-6	-0.6465	65.3E-6	0.0753
3 <i>Ligada</i>	0.24	-81.8E-6	-0.0098	196.0E-6	0.0753
	0.64	-78.9E-6	-0.0354	101.0E-6	0.0199
4	0.64	-78.9E-6	-0.0025	212.0E-6	0.0199
5					
6					

Deflexión : 29.92 [mm/100]

Radio de Curvatura : 786.56 [m]

Figura 5. Datos de Salida del Programa CEDEM

Donde,
 Z, es la profundidad.
 Epsilon T, es ϵ_T o deformación de tensión.
 Sigma T, es σ_T o esfuerzo de tensión.
 Epsilon Z, es ϵ_Z o deformación vertical.
 Sigma Z, es σ_Z o esfuerzo vertical.

Se observa que el valor de la deformación ϵ_t en la base de la grava asfáltica antes de la rehabilitación es:

$$\epsilon_t = 81.8 \times 10^{-6}$$

También se realizan los cálculos de la deformación por tensión en la base para la grava asfáltica cuando se considera una rehabilitación o recalza de 6 cm de concreto asfáltico mejorado con polímero. Los datos de esta nueva estructura son los siguientes:



Tabla 5. Esquematación geométrica y mecánica de la nueva sección

Eje de 130 KN			
6 cm	Concreto bituminoso con polímero	E = 5800 MPa	$\nu = 0.3$
9 cm	Carpeta de rodadura	E = 4500 MPa	$\nu = 0.3$
15 cm	Grava bituminosa	E = 6500 MPa	$\nu = 0.3$
40 cm	Relleno grava	E = 400 MPa	$\nu = 0.3$
α	Suelo	E = 100 MPa	$\nu = 0.3$

Los resultados de CEDEM para esta nueva estructura son:

Capa N°	Z [m]	Epsilon T	Sigma T [MPa]	Epsilon Z	Sigma Z [MPa]
1	0.00	82.1E-6	0.9300	-36.9E-6	0.6618
	0.06	22.6E-6	0.3559	-24.6E-6	0.5975
2	0.06	22.6E-6	0.3334	-22.1E-6	0.5975
	0.15	-9.6E-6	0.0913	61.1E-6	0.3232
3	0.15	-9.6E-6	0.0702	44.8E-6	0.3232
	0.30	-62.3E-6	-0.4966	48.4E-6	0.0511
4	0.30	-62.3E-6	-0.0100	137.0E-6	0.0511
	0.70	-59.1E-6	-0.0266	76.3E-6	0.0151
5	0.70	-59.1E-6	-0.0018	160.0E-6	0.0151
6					

Deflexión : 25.63 [mm/100]
Radio de Curvatura : 963.10 [m]

Figura 6. Cálculos de esfuerzos y deformaciones en la estructura multicapa.

Se observa que el valor de la deformación ϵ_{TR} en la base de la grava asfáltica con la rehabilitación es:

$$\epsilon_{TR} = 62.3 \times 10^{-6}$$

El valor ϵ_6 para la grava asfáltica es 90×10^{-6} .

Los otros valores numéricos necesarios para aplicar la metodología son:

$k_2 = 1$ (temperatura media = 15° C)

$k_4 = 1.3$ para grava asfáltica

SN = 0.4 para grava asfáltica

Sh = 2.5 cm para grava asfáltica

$$b = -\frac{1}{5.25} \text{ Pendiente de la ley de fatiga para grava asfáltica.}$$

Se procede a introducir los datos en el programa de CALCULO DE DAÑOS (Reyes et al., 2003).

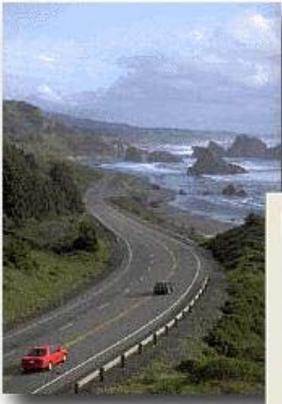


CALCULO DE DAÑOS

DATOS INICIALES | DATOS TRAFICO | RIESGO

E_6	90	Sh	2.5	$d = \sqrt{SN^2 + Sh^2 * \left(\frac{c}{b}\right)^2}$
E_t	81.8	K_2	1	
CAM	0.45	K_4	1.3	$K_1 = \left(\frac{NE}{1 \times 10^6}\right)^{-\delta}$
b	-0.19	E_{tr}	62.5	
c	0.02	d	0.4788	$\delta = \frac{-\log K_3}{b \cdot d}$
SN	0.4	Calcular		

Diseñado: Diana Vega-Cesar González





Director: Ing. Fredy Reyes

Figura 7. Datos iniciales

$\delta = 0.478$ desviación típica de la ley de dispersión.

Se determina el riesgo probabilístico R como indica la Figura 8, teniendo los datos de las Figuras 3, 5, 6 y 7:



CALCULO DE DAÑOS

DATOS INICIALES | DATOS TRAFICO | RIESGO

Año	NE/10 6	K_1	K_3	t	R%
1	0.19	1.37	0.51	3.22	
2	0.40	1.19	0.59	2.55	
3	0.62	1.10	0.64	2.14	1.6
4	0.86	1.03	0.68	1.84	3.3
5	1.13	0.98	0.72	1.60	5.5
6	1.42	0.94	0.75	1.39	8.3
7	1.74	0.90	0.78	1.21	11.4
8	2.08	0.87	0.61	2.33	
9	2.46	0.84	0.63	2.18	1.5
10	2.88	0.82	0.65	2.03	2.1
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

CALCULAR Salir...

Figura 8. Determinación del riesgo probabilístico para el concreto asfáltico.

Entonces es posible relacionar el tráfico acumulado soportado por la calzada con su riesgo teórico, graficando los datos de la Figura 8 y como se ilustra en la Figura 9.



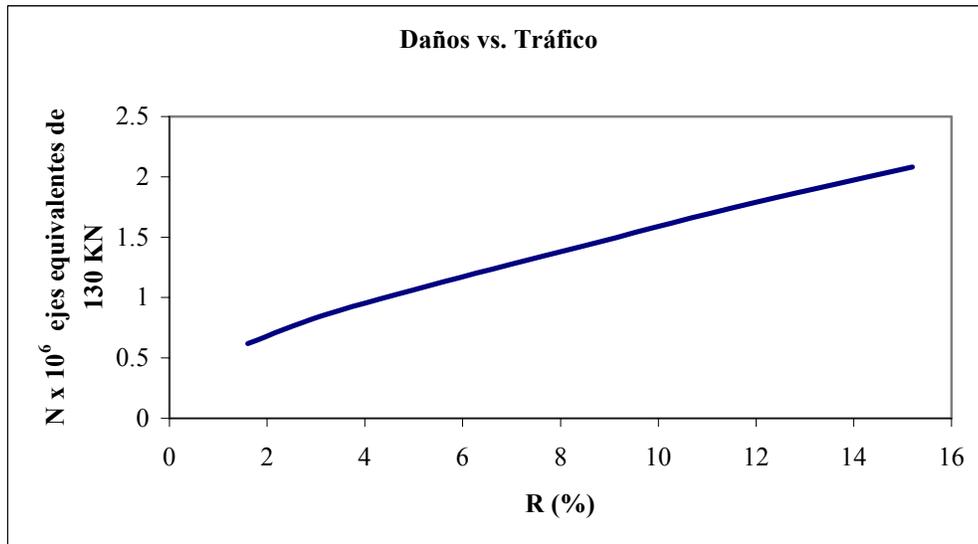


Figura 9. Daños vs. Tráfico.

El tráfico para el cual la calzada fue diseñada tenía un riesgo admisible de 5% según los criterios retenidos por la metodología racional.

En esta última etapa se puede establecer relaciones entre:

- el índice de degradación y la edad de la estructura
- la edad de la estructura y el tráfico acumulado
- el tráfico acumulado y el riesgo teórico

También permite obtener una curva asociando el modo de cuantificación de las degradaciones y el riesgo teórico de la calzada (ver Figura 10). Es conveniente anotar la buena correlación entre el riesgo teórico y la representación paramétrica de las degradaciones.

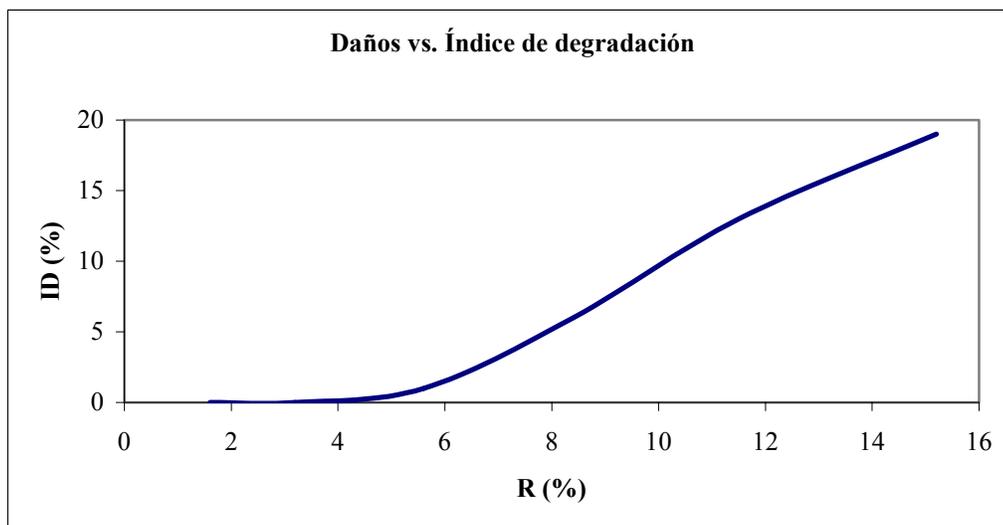


Figura 10. Daños vs. Índice de degradación.



4.4 Influencia de un mantenimiento superficial o estructural

a) Mantenimiento Superficial

Una operación de este tipo oculta las degradaciones al menos durante algún tiempo, mejorando el estado de la estructura. Por convención el valor alcanzado de I_D en el momento de la realización de los trabajos será conservado y las degradaciones que aparezcan enseguida incrementarán este valor.

Por otro lado, las reparaciones realizadas antes del mantenimiento de la superficie serán:

- Anuladas para las reparaciones de la superficie,
- Conservadas para las reparaciones de la estructura.

b) Mantenimiento estructural

El aporte de una capa asfáltica de espesor superior a 4 cm disminuye la deformación en la base de la capa más solicitada de la antigua calzada. Esto se traduce en la relación entre I_D y el tiempo (tráfico), ver Figura 8, en la que se constata en el Año 8, luego de ejecutada la rehabilitación de concreto bituminoso de espesor de 6 cm.

El valor de ϵ_i es ahora 62.3×10^{-6} , y el riesgo es cercano a 0, lo mismo que I_D .

5. CALIBRACION DEL METODO

El riesgo probabilístico considerado en el diseño debe ser chequeado año a año en una sección testigo para calibrar el modelo.

5.1 Fase de Estudios Complementarios

Esta fase se concentra en:

- La realización de programas informáticos que permitan ampliar la capacidad de manejos de datos de:
 - cálculo del índice de degradación
 - cálculo del índice de tráfico
 - establecer las curvas de evolución del riesgo teórico con el tráfico (Figura 9)
 - atribución de coeficientes de gravedad diferentes a las degradaciones tomadas en cuenta de manera en que la relación de I_D y el riesgo teórico sea lineal
- Aplicación del método a tramos de estructuras de 1 Km cada uno, para estructuras diferentes y tráfico distintos.

Esta fase permitirá dar una primera serie de valores límites del índice de degradación destinados a la atribución de un orden de prioridad de las operaciones de mantenimiento estructural.

5.2 Fase de Calibración de la Herramienta de Ayuda a la Gestión.

Se supone ya que la fase precedente confirma la validez de la metodología, entonces se procederá enseguida a la comparación de los ordenes de prioridad de realización del mantenimiento de los valores de I_D .

Las películas del GERPHO deben conservarse durante todo el tiempo, ya que con esto es posible recalcular a posteriori los valores de I_D .

Esta fase concierne tramos de longitud significativa (varias decenas de kilómetros). Ella permitirá validar o modificar las bandas de I_D retenidas en la fase precedente para definir las prioridades de intervención y hacer posible el paso al estado operacional para llevarlo a la administración de redes.

6. CONCLUSIONES

El método conduce a traducir el estado estructural de la calzada en una medida mensurable como lo es el índice de degradación I_D , y permite clasificar entre las degradaciones, en cualquier momento, los diversos tramos de la vía y afectar un orden de prioridad para el mantenimiento.

A partir del estado de degradación límite juzgado como admisible y del riesgo probabilístico que se le asigna, se define la probabilidad de aciertos de las operaciones de mantenimiento estructural futuro. Sin embargo, deben haberse realizado ciertas etapas preliminares de adquisición de datos de campo, como son las auscultaciones periódicas, para tomar los porcentajes reales de daño y calibrar el modelo teórico, específicamente en la adquisición de un coeficiente de calibración k_c para el caso colombiano.



7. BIBLIOGRAFÍA

- AUTRET P., BAUCHERON DE BOISSOUDY A., MARCHAND J.-P., (1982), Alize III Practice, 5th Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Delft, 23-26 août.
- BOULET M., GRAMSAMMER J.C., (1982), Pavement survey as a mean to define a road network preventive maintenance policy, 5th Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Delft, 23-26 août.
- BESNARD S., SIFFERT M., (1982), Les câbles piézoélectriques: une innovation pour l'analyse du trafic, rev. Travaux, 572, déc., pp. 84-88.
- CHANTEREAU J.C., LEGER P., (1972), Catalogue des structures de la direction des routes et de la circulation routière française, 3rd Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Londres.
- CLAESSEN A.I.M., (1977), Asphalt pavement design. The SHELL method, 4th Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor.
- FINN F., SHOOK J., (1962), Thickness design relationships for asphalt pavements, Proc. 1st Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, août.
- HVEEM F. N., SHERMAN G. B., (1962), California method for the structural design of flexible pavements, 1st Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, août.
- IDU, Instituto de Desarrollo Urbano. (2002), Manual de diseño de pavimentos para Bogota.
- REYES F., (2003), Diseño de Pavimentos por métodos racionales. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- REYES F., GONZALEZ C., VEGA D., (2003), Programa Cálculo de Daños, Departamento de Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- REYES F., DELGADO J., (1998), Programa CEDEM. Departamento de Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá.
- SIFFERT M., BRIANT, G., FEUNTEUN, P., (1983), Station d'analyse fine du trafic. Description et application aux domaines des ouvrages d'art et des chaussées, Bull. liasion Labo. P. et Ch., 123, janv.-févr., pp. 29-38.



Fredy Reyes

Doctor

*Profesor Asociado al departamento de Ingeniería Civil
Director Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia*

Ph.D.

*Associative Professor of the Civil Engineer Department
Road Geotechnic and Pavements Specialization Director
Pontificia Universidad Javeriana
Colombia*

fredyreyes@ingenieria.javeriana.edu.co

César González

Ingeniero Civil

*Estudiante de la Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos
Pontificia Universidad Javeriana.
Colombia*

Civil Engineer

*Road Geotechnic and Pavements Specialization Student
Pontificia Universidad Javeriana.
Colombia*

Diana Vega

Ingeniera Civil

*Pontificia Universidad Javeriana.
Colombia*

Civil Engineer

*Pontificia Universidad Javeriana.
Colombia*

