

## **DESARROLLO DE UNA GUÍA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN COSTA RICA**

**Autor:** Ing. Fabricio Leiva Villacorta

Universidad de Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)

Tel: (506) 207-5423 correo electrónico: [fleiva@lanamme.ucr.ac.cr](mailto:fleiva@lanamme.ucr.ac.cr)

### **Resumen**

El objetivo de este estudio es desarrollar soluciones estructurales de forma clara y sencilla para el diseño estructural de caminos de bajo volumen de tránsito, por medio de catálogos con estructuras predefinidas, aplicando la metodología de diseño empírica-mecanística para el cálculo de espesores de capas.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Antecedentes:**

Los caminos pavimentados de bajo volumen de nuestro país, han presentado ciertos problemas en relación a los caminos pavimentados de redes principales tales como:

- La vida útil de los pavimentos es relativamente corta.
- El control de pesos de cargas altas (camiones) es nulo o casi nulo.
- La calidad de los procesos constructivos tiende a ser deficiente.
- Los sistemas de drenaje que se diseñan tienden a ser insuficientes.
- Al término de su vida útil, por lo general, requieren ser re-construidos perdiendo gran parte de la inversión realizada.
- Falta de estudios de capacidad de soporte de la subrasante.

Todos estos problemas produce que muchos caminos de bajo volumen incumplan con requisitos de funcionalidad, lo que se traduce en altos costos operacionales y de mantenimiento; es por esto que existen diversos manuales o guías de diseño, los cuales deben adaptarse a las condiciones particulares de cada país, tales como suelo, clima, materiales, entre otros.

## **1.2. Estructuras de Pavimentos para Caminos de Tránsito bajo:**

Se consideran dentro de esta categoría aquellos caminos cuyo flujo principal de vehículos, es de tránsito liviano con un porcentaje bajo de vehículos pesados. En esta categoría entran caminos tales como: caminos de accesos a balnearios, zonas turísticas, calles de urbanizaciones, poblados pequeños, colegios u otras zonas de servicios. El tránsito de diseño esperado para 10, 15 y 20 años es menor a 150000 Ejes Equivalentes en el carril de diseño. En el caso de este manual se establece ese límite de carga de 150000 EEq para urbanizaciones, donde se establece una serie de rangos que van desde los 20000 EEq en el carril de diseño.

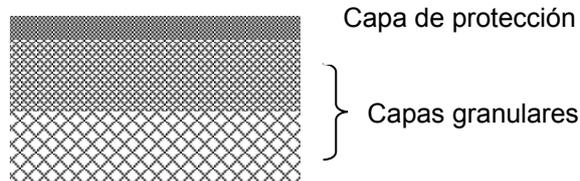
Algunos de los caminos secundarios, recolectores y rurales se toman en cuenta para ampliar la categoría hasta 1 millón de ejes equivalentes de diseño.

### 1.3. Descripción de estructuras de pavimento utilizadas en este manual

Se consideran los siguientes tipos de estructuras:

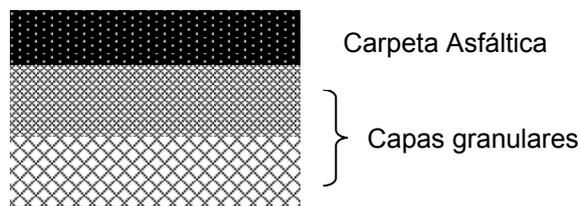
Estructuras tipo 1: Estructuras granulares con capa de protección.

- Considera para la superficie de rodamiento una capa de protección del tipo: Tratamiento Superficial Simple o Doble (TSS o TSD), entre otros.
- Considera siempre una base granular con CBR 80%.
- Considera una subbase granular con CBR 30%.
- También considera condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte.
- Considera diseños para condición normal y condición saturada (o niveles de humedad elevados).



Estructuras tipo 2: Estructuras granulares con carpeta asfáltica.

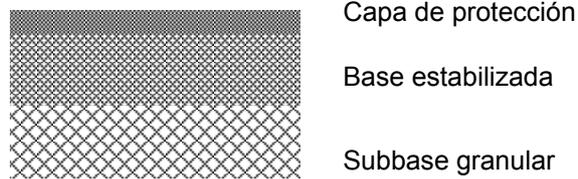
- Considera para la superficie de rodamiento una carpeta asfáltica.
- Considera siempre una base granular con CBR 80%.
- Considera una subbase granular con CBR 30%.
- También considera condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte.
- Considera diseños para condición normal y condición saturada.
- Espesor mínimo de carpeta asfáltica de 5.0 cm y espesor mínimo de base de 10.0 cm.



Estructuras tipo 3: Estructuras con base estabilizada con cemento (o toba cemento) y capa de protección.

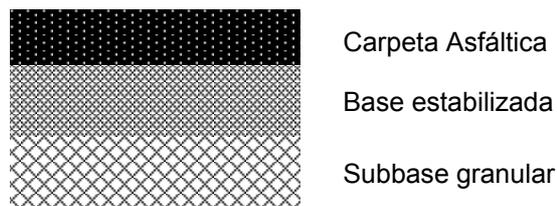
- Considera para la superficie de rodamiento una capa de protección del tipo: Tratamiento Superficial Simple o Doble (TSS o TSD), entre otros.
- Considera una base estabilizada con módulo resiliente de 7000 Mpa (1000 kpsi).
- También considera condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte.

- Considera una subbase granular con CBR 30%.
- Considera diseños para condición normal.



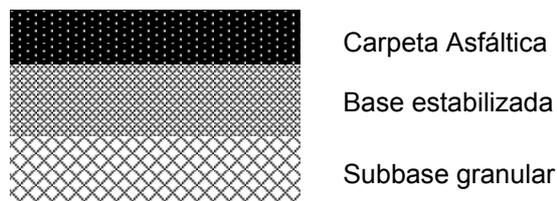
Estructuras tipo 4: Estructuras con base estabilizada con cemento (o toba cemento) y carpeta asfáltica.

- Considera para la superficie de rodamiento carpeta asfáltica.
- Considera una base estabilizada de 7000 Mpa (1000 ksi).
- También considera para condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte
- Considera una subbase granular con CBR 30%.
- Considera diseños para condición normal.



Estructuras tipo 5: Estructuras con base estabilizada con cal hidratada y carpeta asfáltica.

- Considera para la superficie de rodamiento carpeta asfáltica.
- Considera una base estabilizada con resistencia a la compresión de 40 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días.
- También considera condiciones de suelo de subrasante con baja capacidad de soporte.
- Considera diseños para condición normal.



## 2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 2.1 Método de diseño utilizado

El manual se elaboró utilizando la metodología empírica-mecanística de análisis multicapa elástica; el cual para el diseño estructural aplica, las tensiones y deformaciones que se originan en posiciones críticas dentro del paquete estructural, producto de las solicitaciones de tránsito existentes durante el período de diseño. El esquema del proceso de diseño empírico-mecanístico se resume en la Figura 2.1, donde se observa que, la sumatoria de los daños producidos por el factor de nivel de tránsito solicitado entre el nivel de tránsito estimado debe ser inferior a 1.

Las solicitaciones de tránsito se caracterizan a través de un eje estándar, esta configuración se muestra en la Figura 2.2, la cual corresponde a un eje simple rueda doble de 80 KN, con una presión de inflado de contacto de 690 Kpa y una separación de ruedas de 35 cm.

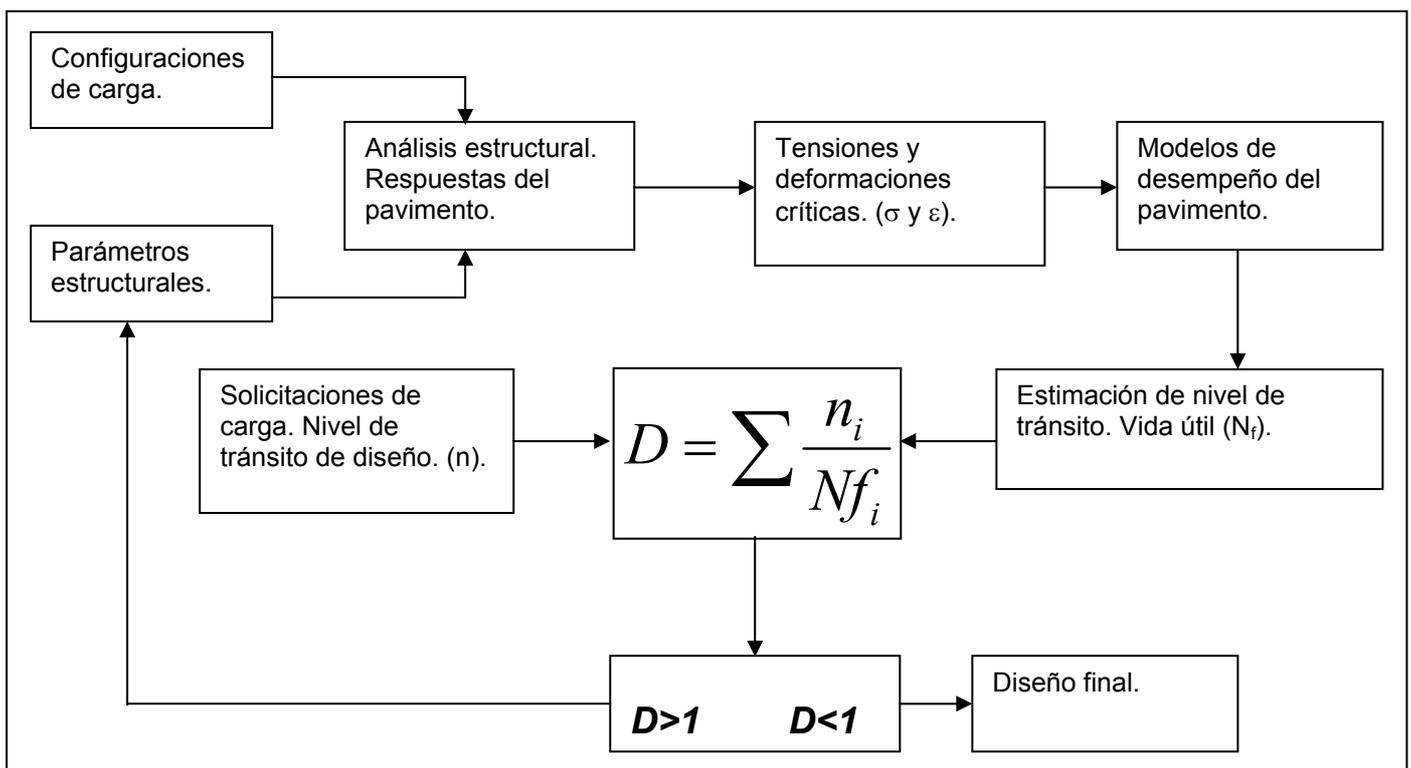
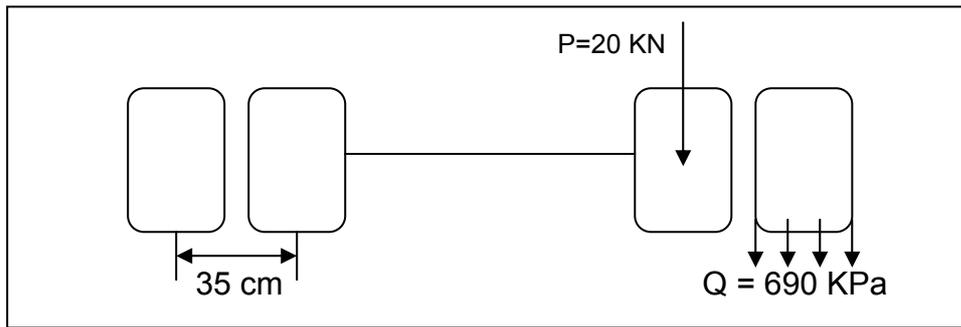


Figura 2.1. Esquema del procedimiento de diseño empírico-mecanístico.



**Figura 2.2. Configuración del eje estándar.**

## 2.2 Modelos de desempeño de las estructuras de pavimento

### a) Carpeta asfáltica:

El criterio de falla que considera el modelo está dado por la aparición de grietas en la superficie de la capa. La función de transferencia (ecuación de fatiga) utilizada para la capa flexible es la desarrollada por el Instituto del Asfalto para 20% de agrietamiento:

$$N_f = 0.0796(\varepsilon_t)^{-3.291} [E]^{-0.854}$$

donde:

$N_f$  = Número de cargas aplicadas para la falla.

$\varepsilon_t$  = Deformación unitaria de tensión en la parte inferior de la capa.

$E$  = Módulo resiliente (psi)

### b) Capas granulares:

Para las capas compuestas por material granular, el criterio de falla está dado por la deformación de la estructura granular debido a las tensiones de corte, bajo cargas repetidas de tránsito. Las funciones de transferencia (ecuaciones de deformación) para las capas granulares desarrolladas por el CSIR de Sudáfrica son las siguientes:

$$N_f = 10^{(2.605122 \cdot F + 3.983324)}$$

$$F = \frac{\sigma_3 \phi_{term} + c_{term}}{(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

donde:

$N_f$  = Número de cargas aplicadas para la falla.

$\sigma_1$  = Esfuerzo de compresión en la parte media de la capa.

$\sigma_3$  = Esfuerzo de tensión en la parte media de la capa.

$\phi_{term}$  = ángulo de fricción interna.

$c_{term}$  = cohesión.

### c) Capas cementadas:

La capa cementada presenta dos condiciones de falla: fatiga y “crushing” (separación del material cementado y aplastamiento). Estas dos condiciones de falla se producen en serie. Es decir, una vez que la capa cementada falla por agrietamiento a la fatiga se considera que la capa cementada pierde esas características pero, continua resistiendo como un material granular el cual falla luego por deformación. Las ecuaciones fueron desarrolladas por el CSIR de Sudáfrica.

**Fatiga:** El parámetro crítico es la deformación unitaria máxima ( $\varepsilon_t$ ) en la parte inferior o dentro de la capa:

$$N_f = 10^{6.87 \left( 1 - \frac{\varepsilon_t}{7.66 \varepsilon_b} \right)}$$

donde:

$N_f$  = Número de cargas aplicadas para la falla.

$\varepsilon_t$  = Deformación unitaria máxima en la capa.

$\varepsilon_b$  = Deformación para la rotura del material (micro strain).

**“Crushing”:** deformación en la parte superior de la capa.

$$N_{ci} = 10^{7.706 \left( 1 - \frac{\sigma_v}{1.13 UCS} \right)}$$

donde:

$N_{ci}$  = Número de cargas aplicadas para la falla.

$\sigma_v$  = Esfuerzo por compresión en la superficie de la capa (Pa).

UCS = Resistencia a la compresión no confinada (Pa).

#### **d) Subrasante:**

Para la subrasante, el criterio de falla está dado por una deformación vertical permanente de 12.7 mm en la superficie de la subrasante. La función de transferencia (ecuación de deformación) para la subrasante es la desarrollada por el Instituto del asfalto:

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\varepsilon_c)^{-4.477}$$

donde:

$N_d$  = Número de cargas aplicadas para la falla.

$\varepsilon_c$  = Deformación unitaria de compresión en superficie de la subrasante.

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

#### **a) Carpeta asfáltica:**

Se considera, concreto asfáltico procesado en caliente con un módulo resiliente de 3000 MPa (aproximadamente 400000 psi).

#### **b) Capas de material granular y subrasante:**

Se considera la utilización de bases granulares con CBR de 80% (módulo resiliente aproximado de 250 MPa) y subbases granulares con CBR de 30% (módulo resiliente aproximado de 145 MPa). Para materiales de subrasante se consideran CBR entre 3 y 10 % (módulos resilientes aproximados entre 35 y 80 MPa).

#### **c) Capas cementadas (bases estabilizadas con cemento, cal y toba cemento):**

Para bases estabilizadas con cemento y toba cemento se considera una de resistencia a la compresión no confinada 40 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días (módulos resiliente aproximado de 7 GPa). Para las bases estabilizadas con cal hidratada se considera una resistencia a la compresión no confinada de 20 kg/cm<sup>2</sup> (módulo resiliente aproximado de 4200 MPa).

### 3. CRITERIOS Y SELECCIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.1 Suelo de subrasante

Las estructuras de pavimento se desarrollaron por medio del método mecanístico de multicapa elástica, el cual aplica como parámetro de diseño el módulo resiliente. Existen una serie de fórmulas que correlacionan el CBR con el módulo resiliente; en este manual se utilizan las fórmulas desarrolladas por Heukelom y Klomp. En la Tabla 3.1 se muestran los rangos de valores de CBR para la selección de la capacidad de soporte de la subrasante utilizados en este manual.

$$Mr = 17.6 \cdot CBR^{0.64} \quad (\text{MPa}) \quad 2 < \text{CBR} < 12$$

$$Mr = 22.1 \cdot CBR^{0.55} \quad (\text{MPa}) \quad 12 < \text{CBR} < 80$$

**Tabla 3.1. Rangos de diseño para la capacidad de soporte de la subrasante.**

Rango	CBR (%)
S1	<3
S2	4 – 6
S3	7 – 9
S4	>9

#### 3.2 Tránsito de diseño:

Para determinar la sollicitación de tránsito expresada en ejes equivalentes, se requiere de:

- Período de diseño estructural.
- Volumen de tránsito y tasa de crecimiento.
- Estratigrafía de carga de vehículos.

Con esta información el manual propone una metodología simplificada para la estimación de los Ejes Equivalentes de diseño. La información debe ser lo más cercana a la realidad y no se recomienda aplicar factores de seguridad propios.

##### 3.2.1 Período de diseño estructural

El período de diseño estructural corresponde al período en el cual el pavimento construido debe proveer un adecuado nivel de servicio que asegure movilidad, accesibilidad y

seguridad considerando sólo la conservación rutinaria. Para lo anterior, es indispensable que el pavimento posea estándares mínimos de conservación. El manual utiliza tres períodos de diseño estructural de tal forma: 10 y 15 años para estructuras flexibles, mientras que para capas de hormigón 20 y 25 años, con el fin de otorgar una mayor flexibilidad a la metodología de diseño. Si dentro de esos períodos se excede significativamente los Ejes Equivalentes de diseño no se recomienda el uso de las estructuras presentes en este manual.

### **3.2.2. Volumen de tránsito y tasas de crecimiento**

La obtención o estimación de los flujos de tránsito es una de las etapas críticas durante el proceso de diseño estructural de pavimentos, primero por que no es muy usual contar con buenos registros de tránsito en este tipo de vías, segundo por que normalmente presentan importantes variaciones estacionales de tránsito y tercero debido a la gran incertidumbre que existe sobre el comportamiento del futuro flujo vehicular una vez realizado los mejoramientos de estándar del camino.

La estimación del tránsito generado que producen los cambios de estándar de caminos de bajo volumen de tránsito, son uno de los mayores problemas a los cuales se enfrenta el diseñador al momento de estimar los flujos futuros de tránsito. El manual considera tasas de crecimiento de 4 % para el caso normal y de 7 % para el caso de existir tránsito generado (valores obtenidos del manual chileno).

### **3.2.3. Estratigrafía de carga**

La estratigrafía de carga permite definir cual es la real influencia que tiene cada tipo de vehículo sobre las solicitaciones totales de tránsito, representadas por medio de los ejes equivalentes de tránsito. No obstante, es necesario mencionar el problema que existe para controlar las normas de cargas máximas para los vehículos pesados, sobretodo a lo largo de la red vial comunal de nuestro país. Esto implica que las estimaciones de las solicitaciones realizadas para la vida de servicio del pavimento pueden estar subestimadas, provocando que el camino analizado tenga una duración menor a la prevista.

En nuestro país, para efectos del cálculo de Ejes Equivalentes, se cuenta con la estratigrafía mostrada en la Tabla 3.2 donde el factor camión es el factor utilizado para el cálculo de ejes equivalentes.

**Tabla 3.2. Estratigrafía de vehículos utilizada en C.R.**

Tipo de vehículo	Factor camión	Descripción
Liviano	0,0001	2 ejes simples
Bus	0,65	1 eje simple, 1 eje dual
CL	0,1	2 ejes simples
C2	0,8	1 eje simple, 1 eje dual
C3	1,4	1 eje simple, 1 eje tandem
T3-S2	2,2	1 eje simple, 2 ejes tandem

### **3.2.4. Metodología para la estimación de los Ejes Equivalentes de diseño**

Para la determinación de los Ejes Equivalentes de diseño, se debe seguir el procedimiento descrito a continuación:

- Definir el período de diseño. El período de diseño utilizado de 5 a 15 años, generalmente.
- Estimar el número de vehículos que transitan por el camino en un sentido (buses, camiones y vehículos livianos). Para la estimación de este valor es posible realizar una o más de las siguientes acciones:
  1. Conteo de los vehículos en ambos sentidos durante 12 horas en horario diurno. Generalmente se recomienda realizar el conteo en una semana hábil normal, preferentemente lunes, jueves o viernes.
  2. Obtener una estimación analizando otros caminos cercanos al proyecto en estudio de tal forma que se pueda concluir que poseen similar distribución vehicular.
  3. Realizar encuestas origen destino en el mismo camino.
- Definir la tasa de crecimiento de los vehículos. La metodología permite definir dos tasas de crecimiento, 4 y 7%. La elección de una u otra depende de quién realiza el análisis, sin embargo se recomienda la utilización de la tasa de 4% salvo en el caso en que se puede afirmar con seguridad que el cambio de estándar del camino producirá un tránsito generado significativo.
- Aplicar los niveles de tránsito y estratigrafía presentados en este manual, para verificar o realizar un chequeo de los conteos.

El cálculo de Ejes equivalentes se puede realizar con la siguiente ecuación:

$$EEq = TPD \left[ \sum (\%D_i \cdot FC_i) \right] FD \cdot G \cdot 365$$

$$G = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

donde:

EEq = Ejes Equivalentes de diseño.

TPD = Tránsito promedio diario.

%D<sub>i</sub> = porcentaje de distribución vehicular.

FC<sub>i</sub> = Factor camion para cada tipo de vehículo.

FD = Factor de dirección o sentido (caminos de 2 vías igual a 0.5).

G = Factor de crecimiento.

r = Tasa de crecimiento.

Y = Período de diseño 5, 10 y 15 años.

### 3.2.5. Rangos de Ejes Equivalentes de Diseño

Los rangos de solicitaciones de tránsito utilizados en este manual, expresados en Ejes Equivalentes de diseño se muestran en la Tabla 3.3:

**Tabla 3.3. Rangos de solicitaciones de tránsito.**

Solicitaciones de Tránsito por sentido	
Rango	EEq x 1000
T1	0 – 150
T2	150 – 300
T3	300 – 500
T4	500 – 700
T5	700 – 1000

El primer rango corresponde a las urbanizaciones para un período de diseño de 10, 15 y 20 años o caminos de muy bajo tránsito. El resto de los rangos corresponden a caminos de bajo volumen con periodos de diseño de 10 y 15 años.

El rango T1 se subdivide en rangos más pequeños con el fin de cubrir solicitaciones de tránsito para urbanizaciones con solicitaciones de carga tan bajos como 20000 EEq en el carril de diseño.

**Tabla 3.4. Rangos de solicitudes de tránsito para urbanizaciones.**

Solicitaciones de Tránsito por sentido	
Rango	EEq x 1000
U1	0 – 20
U2	20 – 50
U3	50 – 100

#### 4. PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

1. Selección del rango de solicitudes de tránsito: defina la cantidad de vehículos por categoría (o el porcentaje), defina el TPD y el tipo de zona a la cual se destina el diseño y calcule el número de ejes equivalentes de diseño.
2. Selección del rango de capacidad de soporte de la subrasante: Evalúe la capacidad de soporte mediante el uso de alguno de los equipos descritos anteriormente.
3. Selección según condiciones climáticas: determine mediante el procedimiento descrito en la sección 4.4 para determinar el tipo de estructura en condición saturada.

Las tablas mostradas a continuación son un ejemplo de los catálogos de diseño de estructuras de pavimento de bajo volumen:

**Tabla 4.1. Catalogo de estructuras para nivel de tránsito T2.**

EEq por sentido	150000 a 300000					
	Rango CBR	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5
s1			B9	C3	D2	F2
s2		A9	B10			
s3		A10	B11	C4		F3
s4		A11				

**Tabla 4.2. Espesores de capas para estructuras tipo 1 (OP1).**

OP1	Espesores en cm										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
BG	25	21	20	18	30	23	20	24	21	20	15
SBG	29	25	20	20	30	30	26	18	30	25	27
OP1	Espesores en cm										
	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22
BG	28	25	18	19	19	25	24	20	25	20	25
SBG	30	25	28	30	25	29	25	27	27	30	30

**Tabla 4.3. Espesores de capas para estructuras tipo 2 (OP2).**

OP2	Espesores en cm															
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
HMA	5	5	5	5	8	8	8	8	7	7	7	10	10	10	9	9
BG	20	15	15	13	20	20	15	11	22	18	18	23	19	17	20	18
SBG	20	25	18	16	27	18	20	15	25	23	16	25	20	15	28	22
OP2	Espesores en cm															
	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	
HMA	9	12	12	12	11	11	11	13	13	13	12	12	12	14	15	
BG	19	20	18	15	20	15	12	25	20	17	20	18	17	30	15	
SBG	15	28	20	15	26	24	20	25	20	15	27	22	15	25	20	

## 5. LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA COMPARACIÓN ECONÓMICA DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS.

Uno de los criterios para la selección de la alternativa estructural más adecuada en un caso específico es el costo global de dicha alternativa. El costo de un pavimento no sólo involucra su costo inicial de construcción, sino también los costos anuales de la conservación rutinaria durante el periodo de análisis económico, el costo de las rehabilitaciones y el valor residual al término de dicho periodo de análisis.

### 5.1 Cálculo del costo global actualizado de una alternativa estructural

La expresión para el cálculo del costo global de una alternativa dada es la siguiente :

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 - V.R.$$

Donde :

$C_G$ : Costo global actualizado de la alternativa

$C_1$  : Costo actualizado al año cero (o año de análisis) de la construcción del pavimento. Incluye el costo directo, los costos indirectos y la utilidad del constructor.

$C_2$  : Sumatoria de los costos anuales de la conservación rutinaria durante el periodo de análisis, actualizados al año cero.

$C_3$  : Sumatoria de los costos de las rehabilitaciones en los años previstos para su ejecución, debidamente actualizados al año cero.

V.R. : Valor residual de la estructura, actualizado al año cero.

La expresión detallada es:

$$C_G = C_1 + \left[ \frac{C_2^I}{(1+a)^1} + \frac{C_2^I}{(1+a)^2} + \dots + \frac{C_2^I}{(1+a)^n} \right] + \left[ \frac{R_i}{(1+a)^i} \right] - \frac{VR}{(1+a)^n}$$

Donde :

$C_G$  : Costo global actualizado de la alternativa

$C_1$  : Costo inicial de construcción (del año cero).

$C_2^I$  : Costo anual de la conservación rutinaria expresado en \$/año.

$a$  : Tasa de actualización del dinero

$n$  : Número de años del periodo del análisis.

$R_i$  : Costo de la rehabilitación prevista para el año  $i$ .

VR. : Valor residual de la estructura al término del año  $n$ , es decir al final del periodo de análisis económico.

## 5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Por medio de la evaluación económica se analiza la viabilidad del proyecto, por un periodo de tiempo definido como la vida útil de la estructura del pavimento.

### VAN: VALOR ACTUAL NETO.

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. En este método se toma en cuenta los flujos netos de efectivo (FNE) con una proyección a determinado tiempo aplicando un interés o rendimiento del dinero "i", luego de que se tiene el monto a ganar dentro de ese tiempo, se utiliza una tasa de descuento, para traer el valor futuro del dinero al tiempo presente. La tasa de descuento que se utiliza para este cálculo es el costo de capital o TMAR. Al tener el valor presente del dinero, se le descuenta la inversión inicial. Solo si el resultado es mayor o igual a cero, se podría justificar la inversión.

### TIR: TASA INTERNA DE RETORNO O RENDIMIENTO

Es la tasa de descuento por la cual el VAN es igual a cero. Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial.

Con este método, lo que se hace es, después de utilizar el VAN y saber su valor positivo, lo que se ocupa es saber el valor real de ese dinero, así que por medio de tanteos se trata de igualar la suma de los flujos descontados, con la inversión inicial "P". Esto hará conocer el rendimiento real de la inversión. En este método si TIR es mayor que el TMAR aplicado, se acepta la inversión.

### **FLUJO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE Y RAZÓN BENEFICIO/COSTO**

Consiste en encontrar el valor presente de los beneficios del proyecto, el valor presente de los costos del proyecto y obtener una razón entre ambos.

## **6. EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL MANUAL**

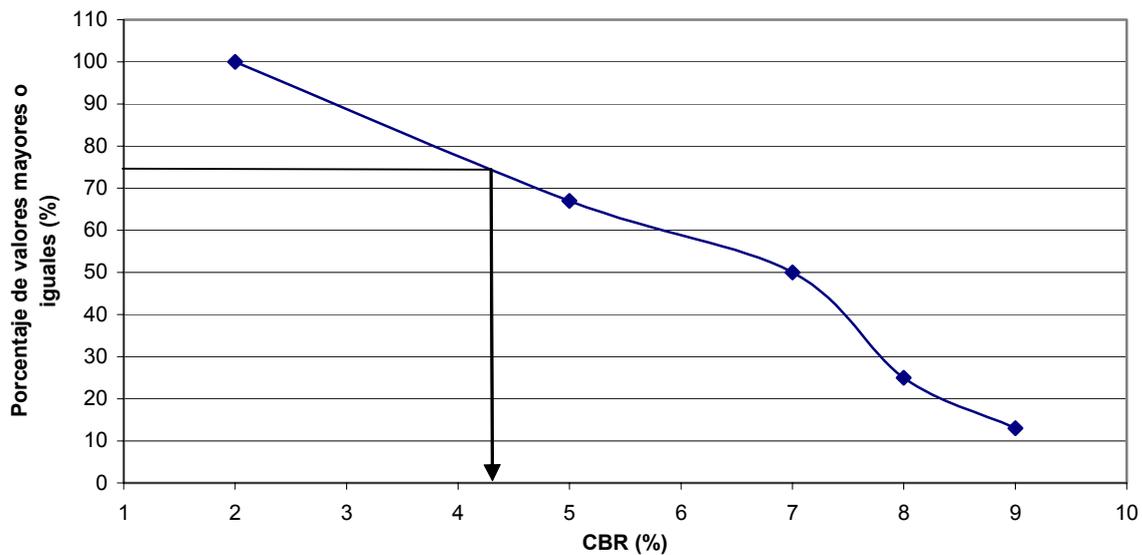
### 6.1 Variables de entrada

#### Capacidad de soporte de la subrasante:

Se cuenta con una serie de datos de CBR como se muestra en la Tabla 6.1, para lo cual se determina la capacidad de soporte de diseño para el percentil 75:

**Tabla 6.1 Cálculo de CBR de diseño**

Resultados de CBR ordenados de menor a mayor	Número de resultados mayores o iguales	Porcentaje de resultados mayores o iguales
2.0	8	$(8/8)*100=100$
2.0		
5.0	6	$(6/8)*100=67$
5.0		
7.0	4	50
7.0		
8.0	2	25
9.0	1	13



**Figura 6.1 Cálculo de CBR de diseño**

Como se observa en la Figura 6.1 para el 75% se cuenta con un valor de CBR aproximado de 4.3%, el cual es el valor de diseño para este ejemplo y pertenece al rango S2 según la Tabla 3.1.

Tránsito de diseño:

Se cuenta con dos escenarios de carga, determinados mediante un conteo vehicular en calles aledañas o calles que serán unidas por el proyecto como se observa en la siguiente Tabla:

**Tabla 6.2 Escenarios de carga de diseño**

Escenario	1	2
TPD	2500	3500
% Veh Pesados (C2)	2.5	1.3
% Buses	2	1.5
% Livianos	95.5	97.2
Tasa Crecimiento (%)	4	4

Para el cálculo de ejes equivalentes de diseño, para el nuevo proyecto de dos carriles se aplica la siguiente fórmula:

$$EEq = TPD \left[ \sum (\%D_i \cdot FC_i) \right] FD \cdot G \cdot 365$$

$$G = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

donde:

EEq = Ejes Equivalentes de diseño.

TPD = Tránsito promedio diario.

%D<sub>i</sub> = porcentaje de distribución vehicular.

FC<sub>i</sub> = Factor camión para cada tipo de vehículo.

FD = Factor de dirección o sentido (caminos de 2 vías igual a 0.5).

G = Factor de crecimiento.

r = Tasa de crecimiento.

Y = Período de diseño 5, 10 y 15 años.

Para el cálculo de cargas de diseño expresado en términos de Ejes Equivalentes para diferentes períodos de diseño se tiene la Tabla 6.3, en la cual se muestran los EEq para 10 y 15 años y su respectiva clasificación según la Tabla 3.3.

**Tabla 6.3 EEq de diseño.**

Período de diseño	Esc 1	Esc 2	Rango
EEq 10 años	251732	222183	T2
EEq 15 años	419834	370554	T3

Se establece como período de diseño de 10 años para este proyecto debido a su importancia relativa y a la poca presencia de tránsito pesado.

De la Tabla 4.1 para un nivel de tránsito T2, una capacidad de soporte de la subrasante S2 y para una condición de clima normal se cuenta con dos opciones principales: OP1 y OP2, las cuales corresponden a estructuras granulares con capa de protección y estructuras granulares con carpeta asfáltica. Las opciones de la 3 a la 6 pueden utilizarse, ya que el pasar de un rango de valores de CBR de S1 a S2 no genera cambios significativos en los espesores de capa de estas estructuras.

De la Tabla 4.1 y considerando únicamente las opciones 1 y 2 se tiene que para este escenario de diseño las estructuras a seleccionar corresponden a la A9 y B10, de las respectivas Tablas 4.2 y 4.3. En la Tabla 6.4 se observan los espesores de las diferentes capas, en la opción 1 se recomienda utilizar siempre una capa de protección. La selección de la estructura de diseño dependerá de la comparación económica que se realice, la cual debe considerar el mantenimiento y en este caso la vida útil de la capa de protección.

**Tabla 6.4 Estructuras seleccionadas**

Espesores	OP1	OP2
Carpeta Asfáltica	TSB	7
Base granular	21	18
Subbase granular	30	23
Total	51	48

La selección de la estructura por aplicar dependerá de la viabilidad (costo, la existencia de materiales, entre otros) y criterios del encargado del proyecto.

## **7. REFERENCIAS:**

- Vásquez V, Luis Ricardo. **Funciones de transferencia en el procedimiento de diseño empírico-mecanístico de pavimentos flexibles**. Universidad Nacional de Colombia.
- Huang, Yang H. **Pavement Analysis and Design**. Prentice Hall. USA, 1993.
- H L Theyse. **Overview of the South African Mechanistic Pavement Design Analysis Method**. TRANSPORTEK, CSIR, 1996.
- Thenoux, Guillermo. **Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito**. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2002.
- **Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito**. Ministerio de Transportes de Colombia.
- **Hot mix asphalt pavement design**. Washington State Department of Transportation.
- **MnPAVE Mechanistic – Empirical Thickness Design Procedure for Flexible Pavements**. Minnesota Department of Transportation.
- Programas de computo utilizados: **Everstress, EverFE2.2, WESLEA**.