

IAG225-03-2013
DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN
DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA VIAS DE BAJO TRAFEGO

Augusto Jugo B. (PhD)
Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS)
Caracas. Venezuela
augustojugo@cantv.net

Resumen

Este trabajo presenta una metodología para el diseño de pavimentos asfálticos para vías de bajo volumen. El procedimiento se apoya en el Método AASHTO-93 simplificando su uso y ofrece una metodología sencilla y confiable para el diseño estructural de pavimentos, tanto urbanos como extra-urbanos. El procedimiento considera vías con **tráfico hasta 2 millones de EE**, lo que abarca un alto porcentaje de carreteras, calles y avenidas; por lo que es de gran utilidad para ingenieros que deban dimensionar estructuras en vías menores.

Se discuten los aspectos y criterios básicos para definir las principales variables de diseño, como: calidad de la subrasante y el efecto de la humedad en su valor portante, tráfico, cargas y confiabilidad estadística. Adicionalmente, se incluyen procedimientos sencillos -especialmente desarrollados- para:

1. Determinar el espesor mínimo de concreto asfáltico requerido para cumplir con el concepto de diseño balanceado y evitar fallas prematuras.
2. Permitir el empleo de otros tipos de mezclas asfálticas –distintas a concreto asfáltico- en la definición de la estructura final.

En conclusión, el procedimiento ofrece una herramienta sencilla y confiable para el diseño de estructuras de pavimentos asfálticos en vías menores o de bajas cargas, que permite reducir los costos de proyecto sin detrimento de la confiabilidad del diseño, así como en empleo de diferentes materiales granulares y mezclas asfálticas -disponibles en el ámbito de la obra- lo que generalmente redunda en importantes ahorros en la construcción.

Resumo

Este trabalho apresenta uma metodologia para o projeto de pavimentos asfálticos para estradas de baixo volume. O procedimento baseia-se no método da AASHTO-93 simplificar a sua utilização e oferece um método simples e de confiança para a concepção estrutural de pavimentos, urbana e extra-urbanos. O procedimento considera rotas de tráfego com até 2 milhões dos EE, que inclui uma elevada percentagem de estradas, ruas e avenidas, tornando-se muito útil para os engenheiros a ser menores caminhos estruturas porte.

Discutimos as questões e critérios básicos para definir as principais variáveis de projeto, como a qualidade do subleito e do efeito da umidade sobre o valor do rolamento, as cargas de tráfego e confiabilidade estatística. Também estão incluídos os procedimentos simples, especialmente desenvolvidos a:

1. Determinar a espessura mínima de concreto asfáltico obrigados a cumprir com o conceito de design equilibrado e evitar a falha prematura.

Dois. Permitir que a utilização de outros tipos de misturas de asfalto, asfalto de betão excepto na

definição da estrutura final.

Em conclusão, o procedimento oferece uma ferramenta simples e confiável para o projeto de estruturas de pavimento de asfalto em estradas secundárias ou de cargas baixas, o que reduz os custos do projeto, sem comprometer a confiabilidade do projeto, bem como o uso de diferentes materiais granulares misturas e asfalto na área de trabalho, o que geralmente resulta em economias significativas na construção.

INTRODUCCION

El presente trabajo contiene la metodología desarrollada para el diseño estructural de pavimentos asfálticos para vías de bajo volumen de tráfico. El procedimiento ha sido desarrollado para vías en las que se esperen menos de 2 millones de repeticiones de ejes equivalentes (EE). Esta demanda depende de varios factores como: número de camiones, tipo de cargas, periodo de diseño, etc. En todo caso como valores referenciales, para las características de tráfico en Venezuela, clasificarían como vías extraurbanas de Bajo Volumen, aquellas con menos de 800 vpd y/o 200 camiones por día por sentido. En el caso de las calles y avenidas urbanas, debido a la baja incidencia de vehículos de carga, pudieran clasificar como de bajo volumen vías hasta con 12.000 vpd.

El procedimiento fue desarrollado bajo el concepto del método AASHTO-93 tomando en cuenta características particulares de Venezuela. En este sentido se consideran las características de tráfico y cargas, condiciones climáticas, materiales y otros aspectos de diseño aplicables. La metodología simplifica considerablemente el proceso de diseño, sin disminuir la confiabilidad del método, por lo que es de utilidad para el diseño en vías de bajo tráfico, problema que usualmente deben enfrentar los profesionales y constructores de pavimentos.

Los pavimentos asfálticos, o flexibles como se les llama, ofrecen importantes ventajas en especial para vías de bajo volumen, entre estas:

- Tienen un menor costo inicial.
- Permiten la construcción por etapas.
- Fáciles de mantener y rehabilitar.
- Son reciclables.
- Simplifican la futura instalación de servicios.
- Facilitan una mejor demarcación.

El método AASHTO-93 considera las siguientes variables de diseño:

- Características de la *subrasante* o fundación.
- Repeticiones de cargas.
- Nivel de falla o comportamiento del pavimento.
- Confiabilidad estadística.
- Estructura de pavimento y materiales disponibles.

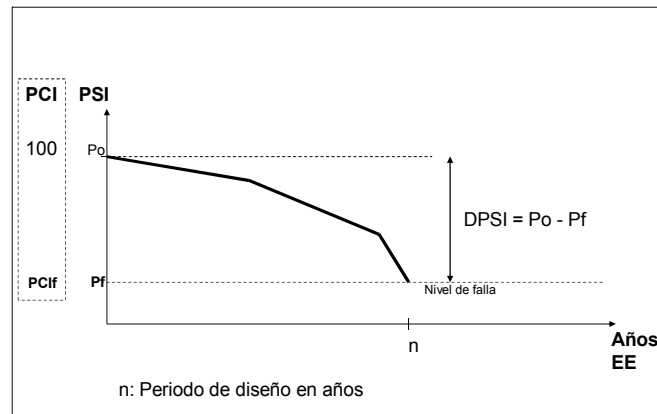
Las distintas variables de diseño se listan a continuación, seguidamente se presenta una breve discusión de cómo estas variables son consideradas -en forma simplificada- en el procedimiento para vías de bajo volumen.

Características de la subrasante o fundación: El valor soporte de la subrasante o fundación del pavimento debe caracterizarse en términos de Módulo Resiliente (M_r) ponderado.

Repeticiones de cargas: La demanda o cargas sobre el sistema se estiman en función del número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE), esperadas en el periodo de diseño.

Nivel de falla o comportamiento del pavimento: Esta variable considera el nivel de calidad de rodaje (*serviceabilidad*). Este concepto se ilustra en la Figura 1.

Figura 1: Concepto de falla en período de diseño



Confiabilidad estadística: El método usa un procedimiento estadístico que permite incluir un factor de seguridad.

Estructura de Pavimento y materiales disponibles: La estructura requerida del pavimento, Numero Estructural (SN), debe conformarse en función de los materiales disponibles para su construcción, estos deben caracterizarse en términos de su *coeficiente estructural* (a_i), indicador de su resistencia o propiedades mecánicas.

PROCEDIMIENTO PROPUESTO

Se presentan a continuación los criterios considerados en el desarrollo de esta propuesta, lo que incluye una breve discusión para caracterizar –en forma sencilla– las diferentes variables requeridas por el método AASHTO-93.

Características de la subrasante o fundación: El valor soporte del suelo es fundamental para el correcto diseño del pavimento, generalmente se caracteriza por su valor CBR, que varía en función del contenido de humedad del suelo

Para caracterizar esta variable se clasifica el valor soporte en 5 categorías: **Muy pobre (MP)**, **Pobre (P)**, **Regular (R)**, **Bueno (B)** y **Muy Bueno (MB)** que se corresponden con los valores de CBR_{sat} (saturado) indicados en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la subrasante

Calidad de subrasante	CBR(sat) %
Muy Pobre	2
Pobre	3
Regular	4
Buena	5
Muy Buena	8

Adicionalmente, se consideran 5 condiciones climáticas, en función del número de meses que la *subrasante* estaría sometida a niveles cercanos a saturación, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Condición de saturación de la subrasante

Zona climática o condición de subrasante.	Número de meses de subrasante saturada.
Seca	2
Semi-seca	4
Semi-Húmeda	6
Húmeda	8
Muy húmeda	10

Debe considerarse que la probabilidad de saturación de la subrasante no es sólo función de la pluviosidad, ya que igualmente depende de la topografía o relieve del terreno, del drenaje construido y del confinamiento de la vía.

Para el empleo del procedimiento de diseño, el proyectista sólo debe determinar o estimar el valor de CBRsat del suelo de *subrasante* y el número de meses en que probablemente se encuentre en niveles de humedad cercanos a saturación.

Repeticiones de cargas: Como se ha indicado la demanda sobre la estructura corresponde a las cargas esperadas actuantes sobre el pavimento. Este parámetro se cuantifica como Ejes Equivalentes (EE) de 18.000 lbs (8.2 ton) en el periodo de diseño.

En este caso se consideran vías de bajo volumen, aquellas en que se esperen menos de 2 millones de EE en el periodo de diseño. Adicionalmente, el tráfico ha sido sub-dividido en 3 categorías, como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4: Clasificación del Tráfico

CLASIFICACION	Repeticiones de EE (REE)
BAJO	Menos de 400.000
MEDIO	400.000 a 1.400.000
ALTO	1.400.000 a 2.000.000

Estimación de cargas en el periodo diseño: Para la estimación de las repeticiones de EE esperadas en el periodo de diseño (REE) deben emplearse las siguientes variables: Ejes equivalentes esperado en el primer año (EEo), Periodo de diseño en años y Tasa de crecimiento interanual de tráfico

Nivel de falla o comportamiento del pavimento: El nivel de falla, es el mínimo valor de *serviceabilidad* o calidad de rodaje para el que se diseña el pavimento. La Figura 1, ilustra este concepto.

Confiabilidad estadística: La confiabilidad estadística se refiere a un *factor de seguridad* que se incorpora en el diseño en función del error de predicción de tráfico y comportamiento. Para vías menores se emplean niveles de confiabilidad bajos. En nuestro caso se presentan 3 alternativas: 50; 60 y 70 %.

Una vez definidas las variables de diseño indicadas, se determina el Número Estructural (SN) requerido para el pavimento, siguiendo el procedimiento que se indica más adelante. El paso final –del diseño– consiste en definir los espesores de las distintas capas de la estructura.

Estructura de Pavimento y materiales disponibles:

El Número Estructural o SN es un indicador –*adimensional*– de la estructura requerida por un pavimento para ofrecer la calidad de servicio prevista durante el periodo de diseño establecido. Una vez determinado el SN, para la definición de los espesores –de las distintas capas– debe determinarse el coeficiente estructural (a_i) de los materiales que se consideren para la obra. La Tabla 6 presenta valores típicos materiales de uso común. Por su parte la Figura 2, ilustra un pavimento clásico, conformado por capas asfálticas y granulares de base.

Figura 2. Concepto de Número estructural (SN)

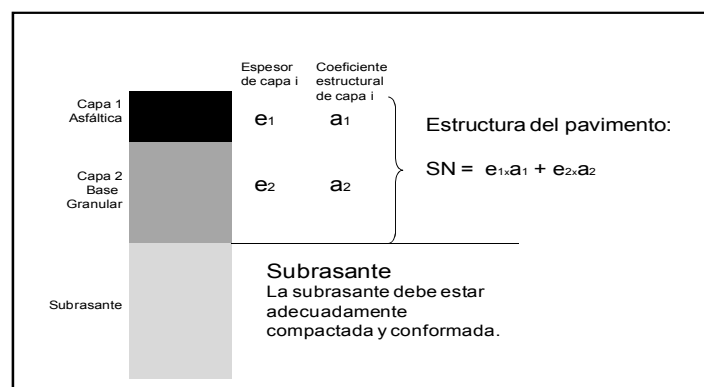


Tabla 6: Valores referenciales de coeficiente estructural a_1

	Material	Coeficiente	Requisitos
Capa 1 (rodamiento)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1600 lbs
Capa 2 (base)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1600 lbs
	Base Asfáltica Caliente (BAC)	0.22-0.32	Estabilidad min. 1000 lbs
	Arena Asfalto en Caliente (AAC)	0.22-0.30	Estabilidad min. 1000 lbs
	Grava Asfalto en Frío (GAF)	0.18-0.30	Estabilidad min. 600 lbs
	Arena Asfalto en Frío (AAF)	0.15-0.22	Estabilidad min. 400 lbs
	Piedra Picada (PP)	0.14	CBR min. 80 %
	Piedra Integral o grava (PI/GR)	0.12	CBR min. 50 %
	Grava (GR)	0.11	CBR min. 40 %
	Grava (GR)	0.10	CBR min. 30 %
	Grava (GR)	0.08	CBR min. 20 %

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Para completar el diseño deben seguirse los siguientes pasos:

Definir las variables de diseño requeridas:

Tráfico: Nivel de repeticiones de EE en el periodo de diseño establecido, REE, que permite definir un nivel de tráfico, Tabla 4.

Las soluciones de SN se presentan para cada categoría de tráfico en las Tablas 7; 8 y 9.

Seguidamente se determina –de la tabla correspondiente al nivel de tráfico- el Número Estructural (SN) requerido por el pavimento en función de:

1. CBR_{sat} del suelo, Tabla 1.
2. Condición de saturación probable en meses, Tabla 2.
3. Nivel de confiabilidad (R) seleccionado.

El paso final consiste en la determinación de los espesores de las distintas capas que conformarán la estructura.

Debe observarse que el valor de SN determinado corresponde a la estructura requerida sobre la *subrasante*, o sea el Número Estructural Total (SNT). En la determinación de los espesores finales de base granular y capas asfálticas debe tenerse en cuenta que la(s) capas asfálticas deben tener un espesor mínimo con la finalidad de lograr un diseño balanceado, Este aspecto se discute más adelante.

Tabla 7: NUMERO ESTRUCTURAL (SN) Tráfico Bajo (hasta 400.000 EE)				
SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
CBRsat (Clasificación)	Condición de Saturación/humedad (meses saturada)	50	60	70
		Número Estructural (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	2.61-2.73	2.61-2.83	2.81-2.94
	Semi-seca (4)	2.65-2.77	2.65-2.87	2.85-2.98
	Semi-húmeda (6)	2.69-2.81	2.69-2.91	2.89-3.03
	Húmeda (8)	2.73-2.85	2.73-2.96	2.94-3.07
	Muy húmeda (10)	2.78-2.90	2.78-3.01	2.99-3.12
3 (Pobre)	Seca (2)	2.38-2.49	2.47-2.58	2.56-2.68
	Semi-seca (4)	2.41-2.52	2.50-2.62	2.60-2.72
	Semi-húmeda (6)	2.45-2.56	2.54-2.65	2.64-2.76
	Húmeda (8)	2.49-2.60	2.58-2.70	2.68-2.80
	Muy húmeda (10)	2.53-2.65	2.62-2.74	2.73-2.85
4 (Regular)	Seca (2)	2.22-2.32	2.30-2.41	2.39-2.50
	Semi-seca (4)	2.25-2.36	2.34-2.45	2.43-2.54
	Semi-húmeda (6)	2.29-2.39	2.37-2.48	2.47-2.58
	Húmeda (8)	2.32-2.43	2.41-2.52	2.51-2.62
	Muy húmeda (10)	2.37-2.48	2.45-2.57	2.55-2.67
5 (Buena)	Seca (2)	2.10-2.20	2.19-2.29	2.03-2.38
	Semi-seca (4)	2.14-2.24	2.22-2.32	2.06-2.42
	Semi-húmeda (6)	2.17-2.27	2.25-2.36	2.09-2.45
	Húmeda (8)	2.20-2.31	2.29-2.40	2.13-2.49
	Muy húmeda (10)	2.24-2.35	2.33-2.44	2.17-2.53
8 (Muy Buena)	Seca (2)	1.88-1.97	1.98-2.04	2.03-2.13
	Semi-seca (4)	1.90-2.00	1.98-2.08	2.06-2.16
	Semi-húmeda (6)	1.94-2.03	2.01-2.11	2.09-2.19
	Húmeda (8)	1.97-2.06	2.14-2.14	2.13-2.23
	Muy húmeda (10)	2.00-2.10	2.18-2.18	2.17-2.27

Tabla 8: NUMERO ESTRUCTURAL (SN) Tráfico Medio (400.000 a 1.400.000 EE)				
SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
CBRsat (Clasificación)	Condición de Saturación/humedad (meses saturada)	50	60	70
		Número Estructural (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	3.04-3.27	3.14-3.38	3.26-3.51
	Semi-seca (4)	3.08-3.31	3.19-3.43	3.31-3.56
	Semi-húmeda (6)	3.12-3.36	3.23-3.48	3.36-3.61
	Húmeda (8)	3.17-3.41	3.28-3.53	3.41-3.66
	Muy húmeda (10)	3.22-3.47	3.34-3.59	3.46-3.72
3 (Pobre)	Seca (2)	2.77-2.98	2.87-3.09	2.98-3.21
	Semi-seca (4)	2.81-3.02	2.91-3.13	3.02-3.25
	Semi-húmeda (6)	2.85-3.07	2.95-3.18	3.07-3.30
	Húmeda (8)	2.89-3.12	3.00-3.23	3.11-3.35
	Muy húmeda (10)	2.94-3.17	3.05-3.28	3.17-3.41
4 (Regular)	Seca (2)	2.59-2.75	2.69-2.90	2.79-3.01
	Semi-seca (4)	2.63-2.83	2.72-2.94	2.83-3.05
	Semi-húmeda (6)	2.67-2.87	2.77-2.98	2.87-3.09
	Húmeda (8)	2.71-2.92	2.81-3.03	2.92-3.14
	Muy húmeda (10)	2.76-2.97	2.86-3.08	2.97-3.19
5 (Buena)	Seca (2)	2.46-2.65	2.55-2.75	2.65-2.86
	Semi-seca (4)	2.50-2.69	2.59-2.79	2.69-2.90
	Semi-húmeda (6)	2.53-2.73	2.63-2.83	2.73-2.94
	Húmeda (8)	2.57-2.78	2.67-2.88	2.77-2.99
	Muy húmeda (10)	2.62-2.82	2.72-2.92	2.82-3.04
8 (Muy Buena)	Seca (2)	2.20-2.38	2.29-2.47	2.38-2.57
	Semi-seca (4)	2.23-2.41	2.32-2.50	2.41-2.60
	Semi-húmeda (6)	2.27-2.45	2.36-2.54	2.45-2.64
	Húmeda (8)	2.31-2.49	2.39-2.58	2.49-2.69
	Muy húmeda (10)	2.35-2.53	2.44-2.63	2.53-2.73

Tabla 9: NUMERO ESTRUCTURAL (SN) Tráfico Alto (1.400.000 a 2.000.000 EE)				
SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
CBRsat (Clasificación)	Condición de Saturación/humedad (meses saturada)	50	60	70
		Número Estructural (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	3.34-3.43	3.45-3.55	3.58-3.68
	Semi-seca (4)	3.38-3.48	3.50-3.60	3.63-3.73
	Semi-húmeda (6)	3.43-3.52	3.55-3.65	3.68-3.78
	Húmeda (8)	3.48-3.58	3.60-70	3.74-3.84
	Muy húmeda (10)	3.54-3.64	3.66-3.76	3.80-3.90
3 (Pobre)	Seca (2)	3.05-3.13	3.16-3.25	3.28-3.37
	Semi-seca (4)	3.09-3.18	3.20-3.29	3.32-3.41
	Semi-húmeda (6)	3.13-3.22	3.25-3.34	3.37-3.46
	Húmeda (8)	3.18-3.27	3.30-3.39	3.42-3.52
	Muy húmeda (10)	3.24-3.33	3.35-3.44	3.48-3.57
4 (Regular)	Seca (2)	2.86-2.94	2.96-3.04	3.07-3.16
	Semi-seca (4)	2.90-2.98	3.00-3.08	3.12-3.20
	Semi-húmeda (6)	2.94-3.02	3.04-3.13	3.16-3.25
	Húmeda (8)	2.98-3.07	3.09-3.18	3.21-3.30
	Muy húmeda (10)	3.03-3.12	3.14-3.23	3.26-3.35
5 (Buena)	Seca (2)	2.71-2.79	2.81-2.89	2.92-3.01
	Semi-seca (4)	2.75-2.83	2.83-2.93	2.99-3.05
	Semi-húmeda (6)	2.79-2.87	2.89-2.98	3.01-3.09
	Húmeda (8)	2.84-2.92	2.94-3.02	3.05-3.14
	Muy húmeda (10)	2.89-2.97	2.99-3.07	3.11-3.19
8 (Muy Buena)	Seca (2)	2.43-2.50	2.53-2.60	2.63-2.70
	Semi-seca (4)	2.47-2.54	2.56-2.63	2.66-2.74
	Semi-húmeda (6)	2.51-2.58	2.60-2.67	2.70-2.78
	Húmeda (8)	2.55-2.62	2.64-2.72	2.74-2.82
	Muy húmeda (10)	2.59-2.67	2.69-2.76	2.79-2.87

Determinación de Espesores de capas:

Tal como se muestra en la Figura 2, los espesores de capa (e_i en pulgadas según el procedimiento AASHTO) multiplicados por sus correspondientes coeficientes estructurales (a_i) conforman el Número Estructural (SNT).

La estructura del pavimento seleccionada debe cumplir con la siguiente ecuación:

$$SNT \leq e_1 \times a_1 + e_2 \times a_2$$

Donde:

SNT= Número Estructural Total determinado de la tabla correspondiente.

e_i = espesor de la capa “i” en pulgadas.

a_i = coeficiente estructural del material de la capa “i”

Sin embargo, para el correcto dimensionamiento de la estructura debe emplearse el **concepto de diseño balanceado** que permite establecer un espesor mínimo de capa asfáltica, con la finalidad de proteger la capa granular subyacente. La Tabla 10 incluye espesores mínimos sugeridos de Concreto Asfáltico (CA en cm) sobre distintos tipos de base granular,

Tabla 10. Espesor mínimo de CA (cm)

CBR (base granular)	Nivel de tráfico		
	Bajo	Medio	Alto
20	11.0	14.0	15.0
30	10.5	13.5	14.5
40	10.0	13.0	13.5
50	9.5	12.5	13.0
80	9.0	11.5	12.5

Seguidamente, para determinar el espesor de la base granular puede emplearse la siguiente expresión:

$$e_2 = 2.5 [(SNT - 0.16 e_{CAmin}) / a_2]$$

Donde:

e_2 = espesor requerido de base granular (cm)

SNT = Número Estructural Total

e_{CAmin} = espesor mínimo de CA, seleccionado de la Tabla 10 (cm).

a_2 = coeficiente estructural del material granular, Tabla 6.

En este punto es importante destacar que existen otros materiales asfálticos, distintos al Concreto Asfáltico (CA), que pueden emplearse satisfactoriamente para sustituir el espesor de CA en forma parcial o total. En estos casos deben hacerse los ajustes correspondientes de espesores, en función de los coeficientes estructurales. Para tal fin puede emplearse la siguiente expresión:

$$e_{ma} = (e_{minCA} - e_{CA}) \times (0.40 / a_{ma})$$

Donde:

e_{ma} = espesor requerido de la mezcla seleccionada para sustituir CA (cm)

e_{minCA} = espesor mínimo de CA, seleccionado de la tabla 10, en cm.

e_{CA} = espesor de CA a emplear en cm.

a_{ma} = coeficiente estructural de la mezcla seleccionada

NOTA: El texto completo del trabajo está disponible en la página del Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS) www.inveas.org.ve.

REFERENCIAS

Salamé, L., Diseño de Pavimentos para Vías de Bajo Volumen. MTC 1983, Caracas.

American Association of State Highway and Transportation Officials, Pavement Design Guide, Washington DC, 1993.

NCHRP. Guide for Mechanistic-Empirical Design. Final Report. ERES Consultants. 2004.