

CAPITULO III

5. Métodos de Diseño

El concepto de diseño de pavimentos tanto flexibles como rígidos, es determinar primero el espesor de la estructura basado en el nivel de tránsito como en las propiedades de los materiales considerando que el periodo de desempeño de un pavimento está en función de la pérdida de servicialidad.

5.1 Pavimentos Flexibles

5.1.1 Método AASHTO

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras.

En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el período de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado.

Los procedimientos involucrados en el método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna.

Para el método AASHTO¹ la fórmula de diseño es:

Ecuación 5.1

$$\text{Log}_{10} W_{18} = Z_r S_o + 9.36 \text{Log}_{10} (\text{SN} + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right)}{\frac{0.40 + 1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10} M_r - 8.07$$

En donde:

W_{18} = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.

Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

S_o = Desviación estándar de todas las variables

ΔPSI = Pérdida de servicialidad

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante

SN = número estructural

¹ AASHTO Guide for Design of Pavement Structures de 1993

Determinación de espesores por capas.

Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural SN para la sección estructural del pavimento, utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde se involucraron los parámetros anteriormente descritos en el capítulo 3 (tránsito, R, So, MR , .PSI), se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original.

La siguiente ecuación puede utilizarse para obtener los espesores de cada capa, para la superficie de rodamiento o carpeta, base y subbase, haciéndose notar que el método de AASHTO, versión 1993, ya involucra coeficientes de drenaje particulares para la base y subbase.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

a_1 a_2 y a_3 = Coeficientes de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

D_1 D_2 D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

Análisis del diseño final con sistema multicapa

Deberá reconocerse que para pavimentos flexibles, la estructura es un sistema de varias capas y por ello deberá diseñarse de acuerdo a ello. Como ya se describió al principio del método, el “número estructural SN” sobre la capa subrasante o cuerpo del terraplén es lo primero a calcularse. De la misma manera deberá obtenerse el número estructural requerido sobre las capas de la subbase y base, utilizando los valores de resistencia aplicables para cada uno. Trabajando con las diferencias entre los números estructurales que se requieren sobre cada capa, el espesor máximo permitido de cualquier capa puede ser calculado. Por ejemplo, el número estructural máximo permitido para material de la capa de subbase, debe ser igual al número estructural requerido sobre la subbase restado del SN requerido sobre la subrasante.

El Método AASHTO recomienda el empleo de la siguiente figura y ecuaciones:

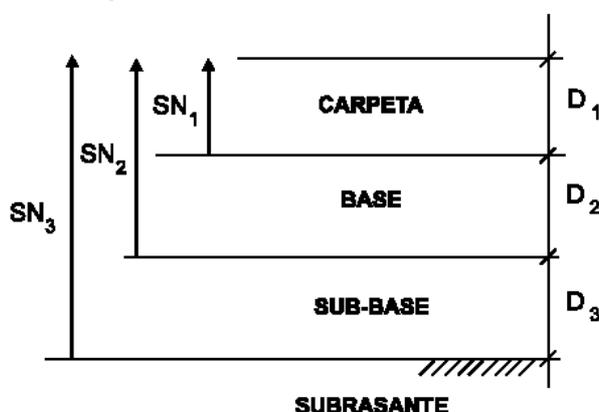


Figura 5.1. Esquema de criterio SN para espesores Método AASHTO 1993

$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

$$SN^*_1 = a_1 D_1 \geq SN_1 \quad \text{Ecuación 5.4}$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2 \quad \text{Ecuación 5.6}$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

NOTAS: 1) a,D,m y SN corresponden a valores mínimos requeridos.

2) D* y SN representan los valores finales de diseño.

Con todo lo anterior queda configurada la sección estructural de proyecto para pavimento flexible.

5.1.2 Método Full Depth

Este método constructivo consiste en la colocación de todas las capas asfálticas constitutivas del pavimento directamente sobre la explanada natural.

En este método se caracteriza el tráfico por la proporción de vehículos comerciales que superan un cierto peso, la carga límite por eje simple y el incremento anual acumulativo para el periodo de servicio.

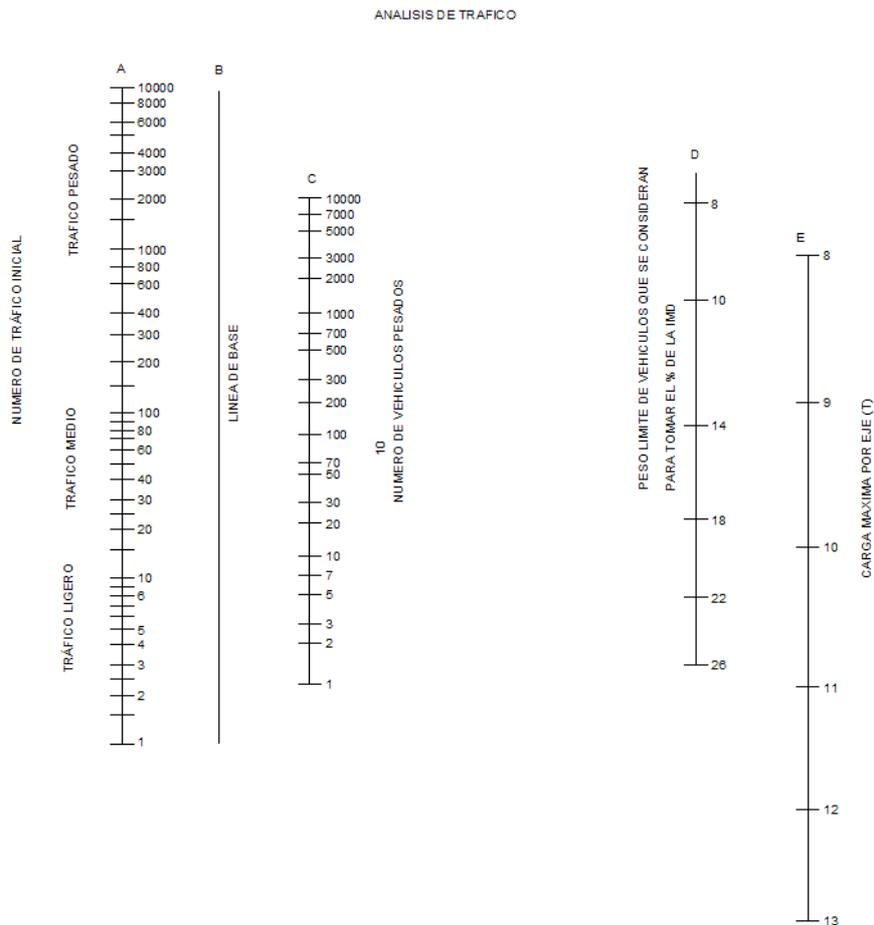


Figura 5.2. Abaco de Análisis de Tráfico considerando pesos límite y carga máxima por eje²

² Vademecum PROAS de Pavimentación, J. Soto

La capacidad portante se define por cualquiera de los métodos usuales, por medio de las gráficas de las figuras y de la tabla se obtiene el espesor total del firme asfáltico³

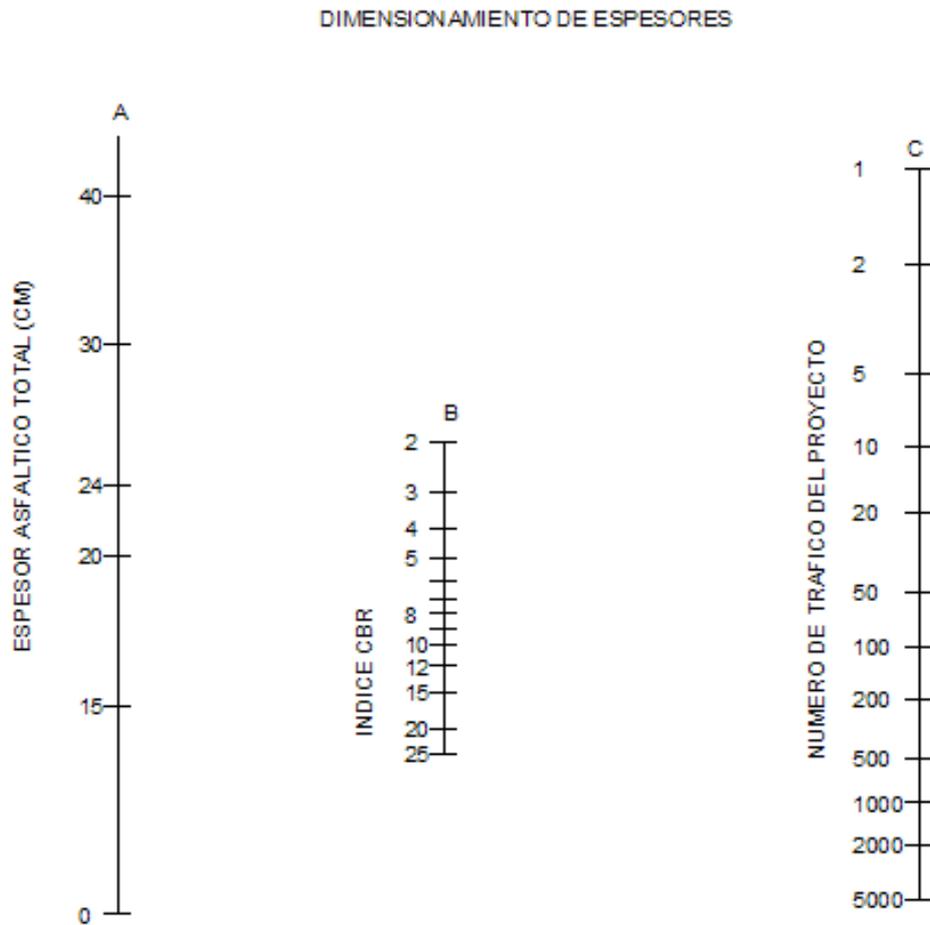


Figura 5.3 Abaco para determinar el espesor asfáltico total

Normalmente se extienden dos capas asfálticas, la de base cuyo espesor queda condicionado por la posibilidad de compactación de una sola vez y la de rodadura, de 3 a 5 cm.

³ Vademecum PROAS de Pavimentación, J. Soto

5.1.2.1 Dimensionamiento de capas de refuerzo de aglomerado asfáltico

Las capas de refuerzo de aglomerado asfáltico aumentan la resistencia de la estructura del pavimento de forma que pueden soportar cargas más pesadas y frecuentes. A continuación se indica un método que permite determinar rápidamente el espesor necesario en tales recargos.

Se asigna a cada capa de pavimento a recubrir un coeficiente que puede utilizarse para transformar el espesor de la capa en un espesor equivalente de hormigón asfáltico. Se deduce la suma de los espesores equivalentes de todas las capas del espesor total de proyecto.

Tabla 5.1 Coeficientes empleados para transformar los espesores de las capas existentes en espesores equivalentes de hormigón asfáltico

Tipo de pavimento	Composición del pavimento	Exigencias mínimas	Coeficiente
Asfáltico	Hormigón asfáltico	Estable generalmente sin grietas y con poca deformación	1.00
	Hormigón asfáltico	Estable pequeñas grietas y algunas deformación	0.75 - 0.90
	Hormigón asfáltico	Estable con grandes grietas y deformación apreciable	0.50

	Base granular	CBR 80 o mayor	0.50
	Subbase	CBR 20 o mayor	0.37
Rígido	Hormigón de cemento Portland	Estable, sin surgencias, generalmente sin grietas	1.00
	Hormigón de cemento Portland	Estable, sin surgencias, algunas grietas, tamaño mínimo de los trozos 1 m ²	0.75 - 0.90
	Subbase	CBR 20 o mayor	0.37

5.1.3. Método del Instituto del Asfalto

En este procedimiento de diseño, la estructura de un pavimento es considerada como un sistema elástico de capas múltiples. El material en cada una de las capas se caracteriza por su módulo de elasticidad.

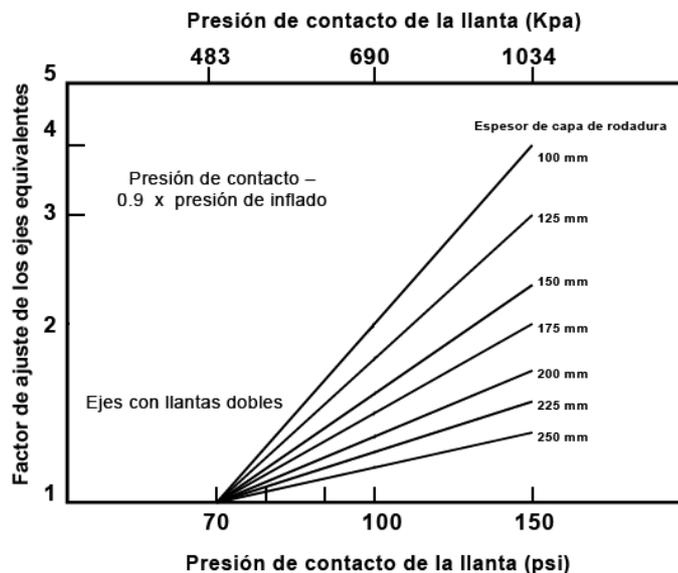
Este procedimiento es usado para el diseño de pavimentos de asfalto compuesto de combinaciones de capa asfáltica, base y subbase sin ningún tratamiento; la subrasante es la capa subyacente más baja y es asumida infinita en los dos sentidos horizontal y vertical; las otras capas de espesor finito, se asumen infinitas hasta cierto punto en el sentido horizontal. Una

continuidad total es asumida en la unión entre cada una de las capas para efectos de diseño.⁴

La metodología es adoptada de tal forma que se cumplan dos condiciones básicas: que las deformaciones por tracción producidas en la fibra inferior de las capas asfálticas y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la subrasante no superen los valores admisibles.

5.1.2.1 Variables de Diseño

1. Tránsito: se considera el número y peso de las cargas por eje que se esperan serán aplicadas al pavimento durante su periodo de vida, adicionalmente se incorpora un nuevo factor de ajuste debido a la presión de llantas que se establece según la siguiente figura:



FUENTE: Instituto del Asfalto (MS-1) 1,991

Figura 5.4 Factores de ajuste a ESAL's por presión de contacto de la llanta

⁴ INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS, Alfonso Montejo Fonseca, 2da. Edición, 1998.

2. Suelos de la subrasante: el Instituto de Asfalto exige el conocimiento de la resistencia de la subrasante el cual se determina por medio del módulo de resiliencia (Mr).

3. Temperatura: el método incluye factores de medio ambiente y diferentes clases de tipos de asfalto; para el caso se consideran tres diferentes temperaturas dependiendo de la región ó zona en donde se pretenda construir el pavimento, climas fríos (7°C), templados (15.5°C) y cálidas (24°C).⁵

4. Materiales para construcción de pavimentos: en cuanto a la rodadura, el método considera la utilización de mezclas asfálticas del tipo concreto asfáltico, las bases pueden ser en concreto asfáltico, estabilizadas con emulsión asfáltica o granulares. Las bases estabilizadas con emulsiones asfálticas corresponden a tres tipos de mezcla, según la clase de agregados utilizados:

- Tipo I Mezcla de emulsiones asfálticas con agregados procesados, densamente graduados.
- Tipo II Mezcla de emulsiones asfálticas con agregados semiprocesados, de trituración, de bancos o carreteras
- Tipo III Los materiales que se utilicen para la construcción de las bases estabilizadas deben cumplir con los requisitos de calidad propuestos:

⁵ INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS, Alfonso Montejo Fonseca, 2da. Edición, 1998.

Tabla 5.2 Características de los materiales aptos para construcción de bases estabilizadas con emulsiones asfálticas⁶

Tamiz (mm)	Agregados para mezclas Tipo I					Agregados para mezclas Tipo II	Agregados para mezclas Tipo III	
	Porcentaje que pasa						Arenas	Arenas Limosas
50.8	100							
35.1	90 - 100	100				100		
25.4		90 - 100	100			80 - 100		
19.1	60 - 90		90 - 100	100				
12.7		60 - 80		90 - 100	100		100	100
9.52			60 - 80		90 - 100			
4.76	20 - 55	25 - 60	35 - 65	45 - 75	60 - 80	25 - 85	75 - 100	75 - 100
2.38	10 - 40	15 - 45	20 - 50	25 - 55	35 - 65			
0.3	2 - 16	3 - 18	3 - 20	5 - 20	6 - 25			
0.149								
0.074	0 - 15	1 - 15	2 - 15	2 - 15	2 - 15	3 - 15	3 - 12	12 - 25
Equivalente de arena	25% mínimo							
Desgaste	45% máximo					-		
Perdidas ensayo solidez	25% máximo					-		
% caras fracturadas	65% mínimo					-		
Emulsion recomend.	Anionica o cationica de rompimiento lento							Anionica o cationica de rompimiento lento o cationica de rompimiento medio

⁶ INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS, Alfonso Montejo Fonseca, 2da. Edición, 1998.

El método considera la posibilidad de utilizar materiales granulares de base y subbase, en dichos casos, se aconseja que estos materiales se ajusten a los requisitos de calidad indicados en la siguiente tabla:

Tabla 5.3 Requisitos de calidad de las capas granulares⁷

Ensayo	Requisitos de los ensayos	
	Subbase granular	Base granular
CBR mínimo ó R mínimo	20 55	80 78
L.L. máximo	25	25
L.P. máximo	6	NP
Equivalente de arena, mínimo	25	35
% No. 200, máximo	12	7

Procedimiento de Diseño

Este método proporciona para el diseño final de los espesores de una estructura de pavimento, 18 figuras de diseño, 9 en sistema métrico y 9 en sistema inglés, las mismas que se encuentran en escalas logarítmicas y para los siguientes parámetros:

- Las tres condiciones climáticas consideradas.
- Estimación del tránsito esperado durante el periodo de diseño expresado como número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño
- Resistencia de los suelos típicos de subrasante.
- Elección de los tipos de base y capa de rodadura a utilizar. Para cada tipo de base elegido el método presenta una gráfica de diseño que permite determinar los espesores de las diversas capas del pavimento:

⁷ INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS, Alfonso Montejo Fonseca, 2da. Edición, 1998.

Capa de Concreto Asfáltico de una sola capa ó espesor total, capa de base sin estabilizar de 15cm, capa de base sin estabilizar de 30cm.

Es importante indicar que cuando se desee utilizar bases estabilizadas de los tipos II o III deberán cubrirse con concreto asfáltico en espesor no inferior a los que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 5.4 Espesores mínimos de concreto asfáltico sobre bases de otra clase.⁸

Bases estabilizadas con emulsion asfaltica		
Nivel de tránsito	Espesores minimos sobre bases Tipos II y III* (cm)	
10 ⁴	5.0	
10 ⁵	5.0	
10 ⁶	7.5	
10 ⁷	10.0	
>10 ⁷	12.5	
* Sobre las bases de Tipo II y III puede colocarse una del Tipo I y un tratamiento superficial en lugar del concreto asfaltico		
Bases de Tipo Granular		
Nivel de Tránsito (N)	Condición de Tránsito	Espesor mínimo de concreto asfáltico cm
≤10 ⁴	Vías de tránsito liviano	7.5*
10 ⁴ - 10 ⁶	Vías de tránsito medio	10.0
≥10 ⁶	Vías de tránsito medio a pesado	12.5
*Para pavimentos con espesor pleno de concreto asfáltico o con base estabilizada con emulsión asfáltica, se requiere un espesor mínimo de 10cm para esta clase de tránsito, tal como se indica en las gráficas de diseño.		

A continuación se presentan las gráficas para zona templada (15.5°C) que corresponde al proyecto en estudio.⁸

⁸ INGENIERÍA DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS, Alfonso Montejo Fonseca, 2da. Edición, 1998.

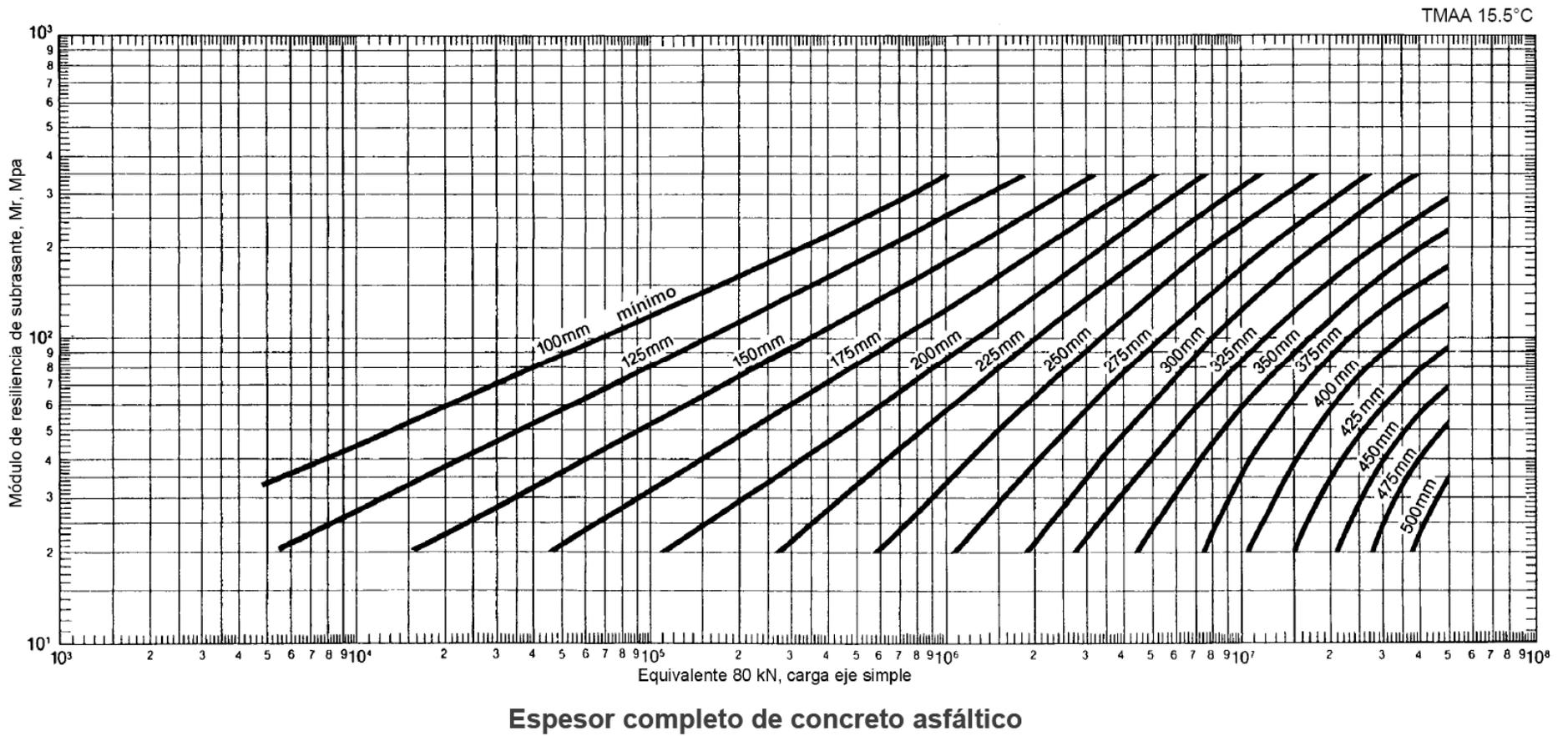
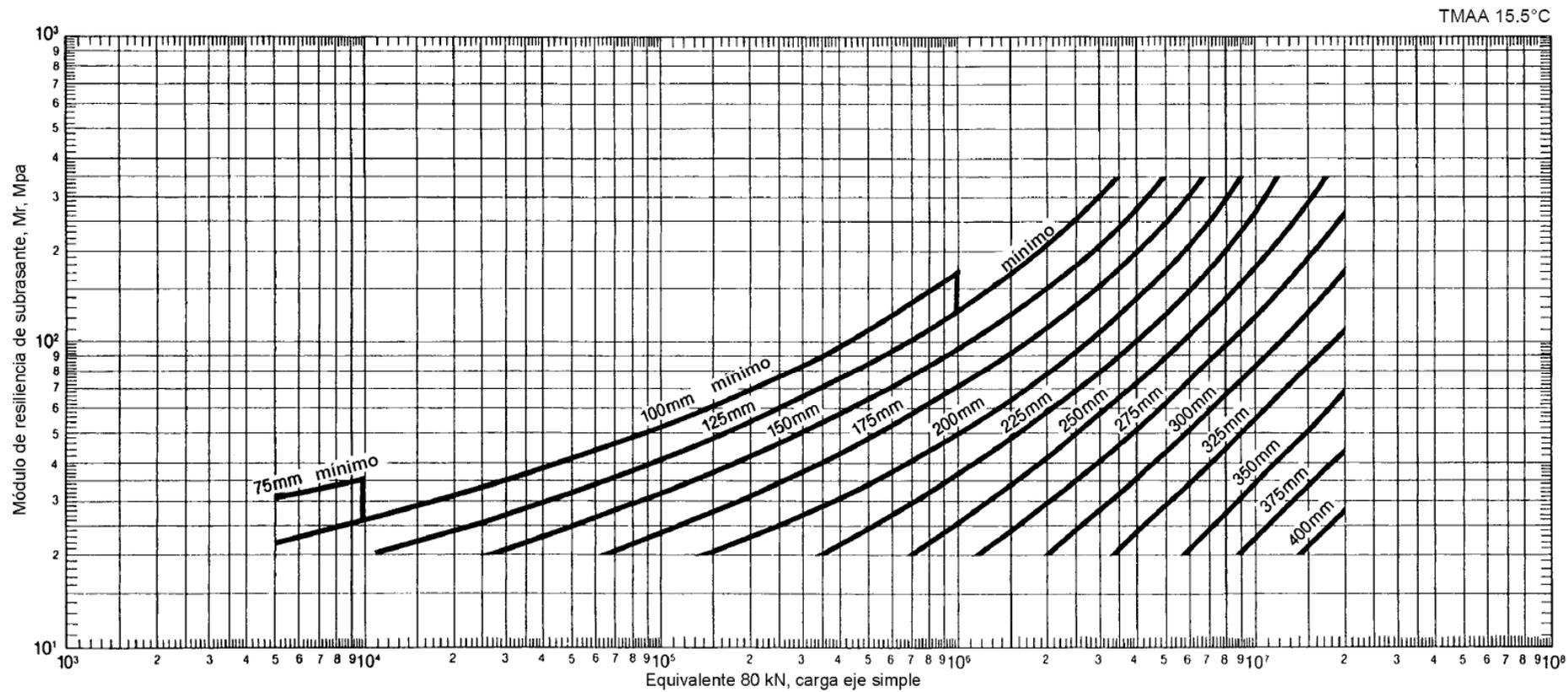
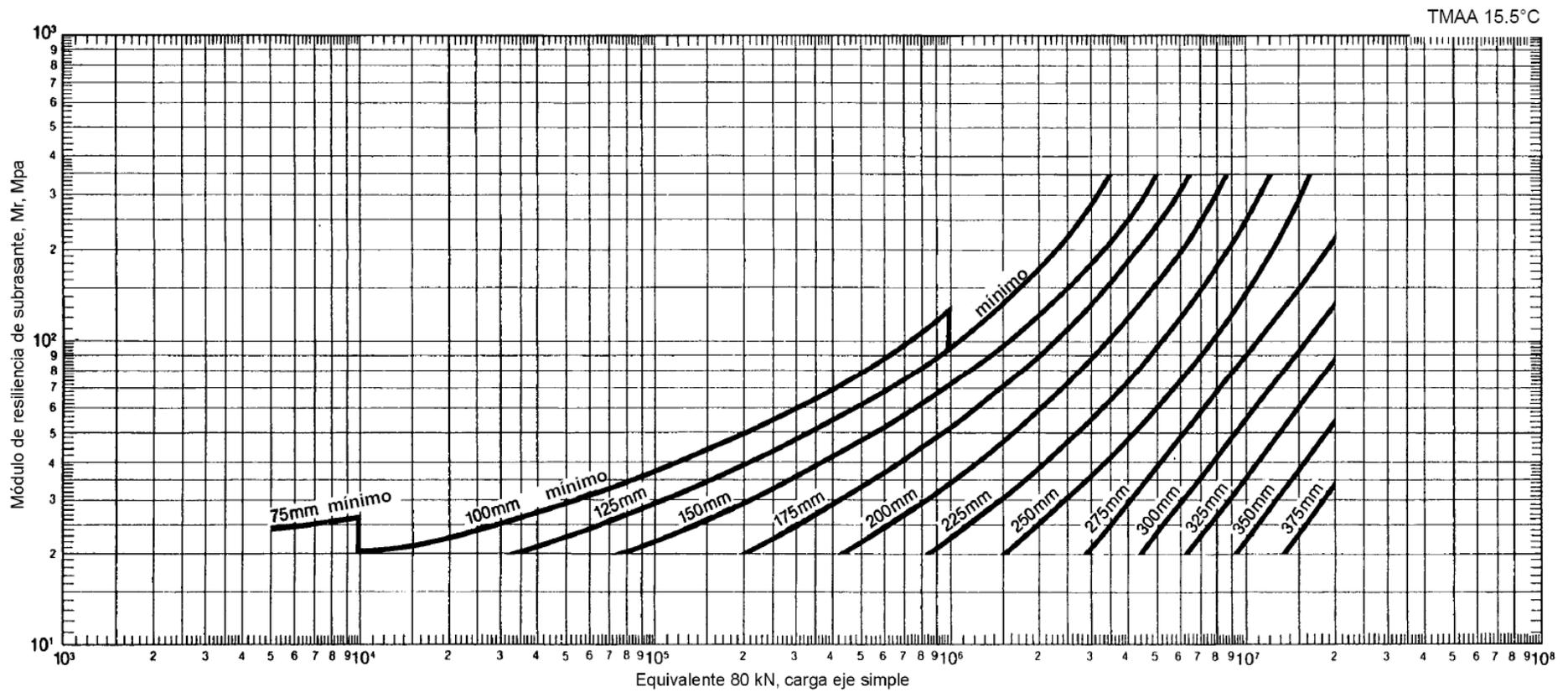


Figura 5.5. Abaco para determinar el espesor del pavimento completo de concreto asfáltico



Agregado de base de 150 milímetros de espesor

Figura 5.6 Abaco para determinar el espesor de la capa asfáltica considerando un agregado de base de 150mm de espesor



Agregado de base de 300 milímetros de espesor

Figura 5.7 Abaco para determinar el espesor de la capa asfáltica considerando un agregado de base de 300mm de espeso