

PROYECTO DE FIRMES FLEXIBLES POR EL METODO AASHO^(*)

Por OLEGARIO LLAMAZARES GOMEZ
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En anteriores trabajos que han visto la luz en estas páginas, el autor ha ido ofreciendo un ordenado estudio de los métodos racionales y empíricos del cálculo de pavimentos, en perfeccionamiento progresivo como fruto de la investigación científica, las conclusiones obtenidas en los grandes tramos de ensayo y la observación sistemática de carreteras en servicio.

La presente monografía se dedica al método de la AASHO, que es el que se considera, por hoy, como más completo y perfeccionado por su definición de las solicitaciones, exigencias de servicio y estimación diferencial en el aspecto resistente de las distintas capas. Las dificultades del método para la determinación del tráfico de cálculo, en su clasificación por ejes pesados, han sido superadas por las hipótesis simplificadas que se establecen al efecto en las normas americanas. Tales hipótesis, las variables y parámetros que intervienen en el cálculo, así como los ábacos de proyecto son presentados con claridad por el autor, que completa su empeño didáctico con un ejemplo práctico.

En este artículo se informa, pues, con todo detalle y concreción sobre la aplicación del nuevo proceso operativo para el dimensionado de pavimentos flexibles, que recomienda emplear para el proyecto de vías de gran tráfico donde el problema de espesor y composición del firme reviste la mayor importancia.

Preliminar.

La estructura de los firmes flexibles se ha definido ya perfectamente por lo que se refiere a las diferentes partes del sistema multicapa, a una de ellas con su función específica respecto a las cargas y frecuencia del tráfico o a la capacidad portante y plasticidad de la estructura. No sucede así con los métodos de determinación de espesores de las capas, si bien es posible reconocer que han experimentado un notable avance en los últimos años. Basta para recordar los métodos americanos de The Asphalt Institute [1] y de la AASHO [2], el mé-

todo inglés del Road Research Laboratory [3], recientemente revisado, y los métodos franceses de dimensionado y refuerzo [4].

El perfeccionamiento de estos métodos se basa, en general, en el análisis estadístico de la larga serie de resultados del ensayo AASHO, que a su vez ha modificado las condiciones de aplicación de los métodos clásicos de cálculo de pavimento, especialmente en la estimación diferencial de la capacidad portante de las distintas capas del afirmado. Y la mejora prosigue hacia soluciones más satisfactorias a través de un complejo proceso de investigación racional del problema, puesta a punto de nuevos aparatos de auscultación y medida de deformacio-

^(*) American Association of State Highway Officials.

nes en las calzadas, estudio reológico de los materiales y sus mezclas y observación de las carreteras en servicio.

Quizá el método hasta hoy más completo, y el que probablemente gozará de mayor favor entre los proyectistas de pavimentos en un futuro próximo, es el antes citado método de la AASHO.

Presenta este método una diferencia fundamental con el resto, y es la de utilizar un factor representativo de la aptitud de un firme para soportar un tráfico muy rápido e intenso.

2. El índice de servicio.

El factor a que antes nos hemos referido es el llamado *índice de servicio*, o coeficiente que mide las condiciones de rodadura de un pavimento. Este *índice de servicio* fue en principio definido por un grupo de expertos después de una paciente observación de los tramos experimentales de la AASHO en Ottawa (Illinois) y de diversas autopistas y carreteras de este Estado. Para la estimación del índice se apreciaban cuantitativamente las deformaciones longitudinales y transversales de la capa de rodadura, roderas, *blandones* y agrietados del revestimiento asfáltico.

El valor numérico del índice oscila de 0 a 5 límites, para condiciones muy malas o muy buenas del tramo observado. Se han propuesto diversas fórmulas en función de valores representativos de los defectos de la calzada: irregularidad de pendientes longitudinales, proporción de superficies agrietadas, profundidad de huellas longitudinales de la rueda, etc.

A pesar de la diversidad de fórmulas, de la apreciación totalmente subjetiva de los valores representativos, y de que se consideran casi exclusivamente las cualidades superficiales y no las del cuerpo del firme, está fuera de duda que la noción de *índice de servicio* es aceptable y muy útil para definir el estado de un tramo de carretera. Las exigencias deberán ser diferentes para una autopista o carretera de gran tráfico que para una vía comarcal o local.

El índice de servicio de un firme de carretera decrece con el tiempo, y debería determinarse periódicamente para apreciar las necesidades de reparación o reconstrucción. La interpretación de los resultados del ensayo AASHO ha permitido establecer a este respecto las siguientes condiciones:

- que los firmes de alta calidad que se proyectan para tramos de tráfico pesado (Secciones tipo P de las Normas españolas [5]) tienen en su período inicial de servicio un índice de servicio del orden de 4,5;
- que es precisa una mejora de firme cuando el índice es inferior a 2, y
- para índices inferiores a 1,5, el firme es inadmisibile para el tráfico.

Una de las premisas que tiene que fijar el proyectista en el método de la AASHO es el *índice de servicio* que debe presentar el pavimento después de un período de tiempo dado que suele estimarse en veinte años, ya que es prudente fijar plazos más largos, pensando en que es posible una gran evolución de los medios de transporte. En vez de a un período de tiempo, el estado requerido en la carretera puede referirse a un determinado número de pasadas del tráfico, que, como en otros métodos de dimensionado, se refieren al eje de 18.000 libras (8,16 Tn.).

Las recomendaciones de la AASHO fijadas como índices, al final del período adoptado: 2,5 para las carreteras de tráfico pesado, y 2 para las de tráfico medio y ligero.

Además de este índice, para el dimensionado se precisan otros datos de partida, que son la capacidad portante de la explanada, el índice de tráfico, el factor regional y el número estructural, cuyas correspondientes escalas figuran en los ábacos de proyecto.

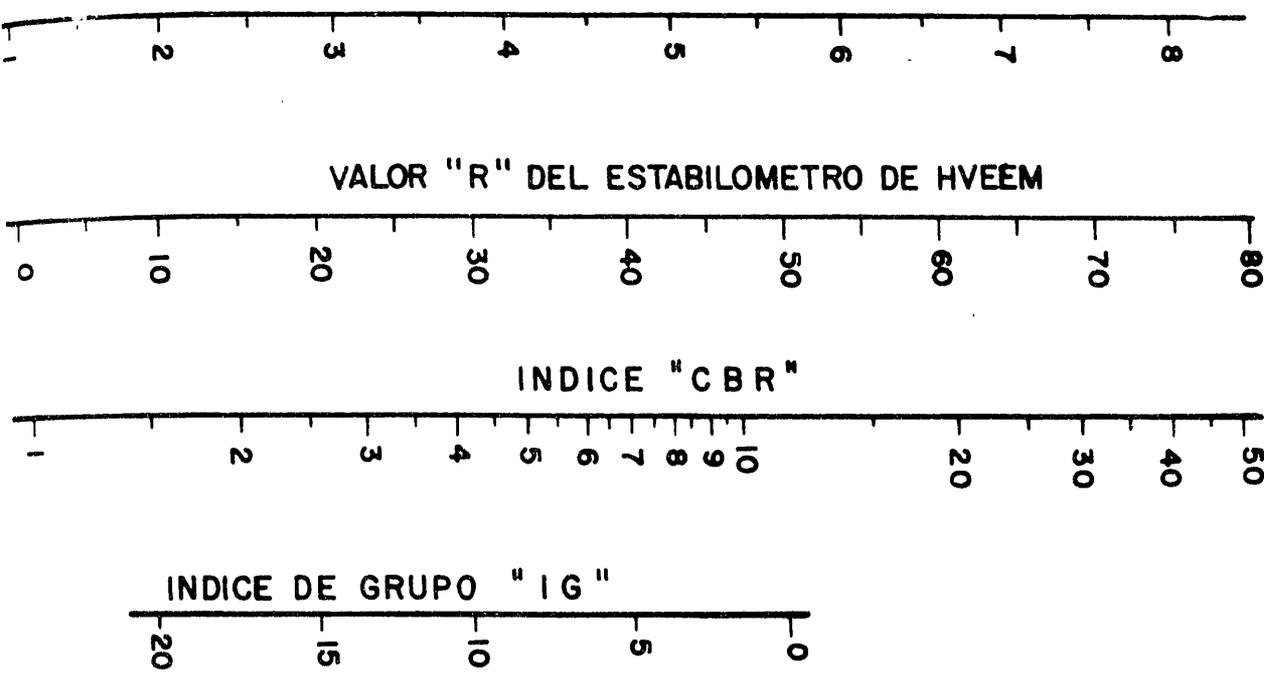
3. Capacidad portante.

Se define la capacidad portante de la explanada por el llamado *valor de soporte*, *S*, que varía de 1 a 10, y se obtiene a partir de uno de los índices de los métodos clásicos: CBR, valor "R" del estabilómetro de Hveem [6] y el *índice de grupo*. En España se usará normalmente el CBR o el índice de grupo en carreteras de menor tráfico. Se acompaña un gráfico de correlación, en el que puede obtenerse el valor de soporte.

4. Estimación del tráfico.

La influencia del tráfico depende de dos factores: el número de pasadas y el peso de los

CORRELACION DE INDICES RESISTENTES VALOR DE SOPORTE DEL TERRENO " S "



ajes. En el método se ha pretendido considerar esta influencia de modo que represente, de una manera lo más real posible, el efecto destructivo de los vehículos que circularán por el tramo que se proyecta durante el período de servicio estimado. Se tiene en cuenta el peso de sus ejes, considerando el mayor efecto de los pesados, que no guarda una relación lineal con las cargas respectivas. En general, existe la dificultad de obtener una fragmentación aproximada por ejes de los vehículos que pasan por año — ya que no suelen existir básculas en las carreteras —, pero, además, el concepto se complica con la prognosis del tráfico futuro y su composición.

Para la determinación del índice de tráfico, los ejes de distintos pesos, que se agrupan en varios grupos, se transforman en ejes de 18 Kips (*), mediante unos coeficientes de equivalencia.

Considerando la dificultad de conocer la clasificación de ejes por pesos para las carreteras en que no haya datos, las normas americanas [2] recomiendan se haga la hipótesis de que todos los vehículos pesados tienen ejes simples de 18 Kips (8,16 Tn.), o que sus ejes dobles producen un efecto equivalente al eje simple citado. El resto del tráfico son, pues, vehículos

ligeros. Para determinar el índice de tráfico hay que considerar sólo dos coeficientes: uno, es, naturalmente, la unidad, y el otro, 0,0002, que es el adoptado por la AASHO para los vehículos ligeros. Tan reducido valor de este factor, muestra el insignificante efecto destructivo de tales vehículos, que, por tanto, pueden despreciarse para el cálculo de pavimentos. El paso de un eje de 18 Kips produce el mismo efecto en el firme que 5.000 pasadas de coches ligeros.

En los nuevos tramos de carretera o en los existentes a reforzar, en que sea posible conocer el tráfico clasificado en cargas por ejes, aunque sea de manera aproximada, deberá determinarse el *índice de tráfico* por la fórmula:

$$I = (l \times \theta_1 + E \sum p_n \theta_n) K \quad (a).$$

con la siguiente notación:

- l = número de vehículos ligeros.
- θ_1 = factor de equivalencia a 18 Kips para los vehículos ligeros.
- E = número de ejes/día de vehículos pesados.
- p_n = tanto por uno que corresponde al grupo n de vehículos pesados.
- θ_n = factor de equivalencia a 18 Kips que corresponde al grupo n de vehículos pesados.
- K = coeficiente de asignación de tráfico en el carril más cargado.

(*) Un Kip equivale a 1.000 libras por eje.

La clasificación de los vehículos pesados se hace en los siguientes grupos:

- para ejes simples: 0/8, 8/16 y 16/20 Kips.
- para ejes dobles: 8/16, 16/20, 20/24, 24/30, 30/34, 34/38 Kips.

que reducidos a toneladas, son:

- para ejes simples: 0/3,62, 3,62/7,25 y 7,25/9,06 toneladas;
- para ejes dobles: 3,62/7,25, 7,25/9,06, 9,06/10,87, 10,87/13,59, 13,59/15,40 y 15,40/17,21 toneladas.

5. El factor regional.

El factor regional es función de las características climáticas del lugar de emplazamiento y de las condiciones de drenaje del tramo. Por lo que se refiere al clima, se consideran la pluviometría y la altitud. En el cuadro adjunto figuran los valores que deben sumarse para obtener este factor.

Los límites entre los que oscila el factor regional son, como puede verse, 0 y 5.

I. Datos para la determinación del factor regional.

LLUVIA ANUAL	F ₁	ALTITUD	F ₂	DRENAJE	F ₃
600 mm.	1,50	2750	1,50	Muy malo.	2,00
450 a 600	1,00	2500 a 2750	1,00	Malo.	1,00
350 a 425	0,50	2250 a 2500	0,50	Regular.	0,50
250 a 325	0,25	1950 a 2250	0,25	Bueno.	0,00
250 mm.	0,00	< 1950	0,00	—	—

6. Determinación del número estructural.

El *número estructural* se determina en el ábaco de proyecto de la AASHO, que corresponde al período previsto de explotación de la carretera e índice de servicio deseado. La recta que une los puntos afijos de los datos de partida (valor de soporte del suelo e índice de tráfico), en las respectivas escalas, define el número estructural en la escala central (SN); uniéndolo este punto con el que corresponde al factor regional, se obtiene el *número estructural*.

ral corregido. En este valor es en el que se basa el cálculo del firme.

Recordemos que el número estructural es un valor que define el espesor virtual del firme de acuerdo con las capas que lo integran, que, por razones principalmente de cohesión, tienen diferentes capacidades portantes. Se definen por el correspondiente *coeficiente de equivalencia* [7]. La expresión del número estructural para un firme tricapa es:

$$SN = \frac{a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3}{2,54};$$

siendo D₁, D₂ y D₃ los espesores de pavimento, base y sub-base y los coeficientes a, parámetros de calidad que, según los resultados del ensayo AASHO, y para espesores en centímetros, se toman iguales a:

- a₁, para pavimento asfáltico (mezcla cerrada), 314.
- a₂, para base asfáltica, 2,40; para base granular, 1,00.
- a₃, para sub-base granular, 0,75.

Estos valores, principalmente el que corresponde al pavimento, pueden rebajarse con criterio conservador, considerando que el ensayo de referencia presentó unas condiciones especiales [7] que no pueden generalizarse. Para otras capas de diferente estructura se recomiendan los siguientes parámetros [2]:

- pavimento de mortero asfáltico, 2,85.
- bases estabilizadas con cemento, con resistencia a la compresión simple a los siete días, superior a 45 Kg./cm.², 1,65.

- bases estabilizadas con cemento, con resistencia a la compresión simple a los siete días, de 28 a 45 Kg./cm.², 1,42.
- bases estabilizadas con cemento, con resistencia a la compresión simple a los siete días, menor de 28 Kg./m.², 1,08.

Un determinado número estructural corresponde a diferentes soluciones de un firme tri-capa. Entre los que debe elegir el proyectista de acuerdo con los materiales disponibles, y después del estudio económico comparativo, que no debe faltar en todo análisis de soluciones técnicas.

Por ejemplo, para SN = 3,75, se tienen las combinaciones que figuran a continuación, a cuyas capas integrantes se aplican los correspondientes coeficientes de equivalencia para deducir el número estructural.

Solución I.

Mezcla asfáltica.	5 cm. × 0,44 = 2,20		
Base granular ...	20 cm. × 0,14 = 2,80		
Sub-base	40 cm. × 0,11 = 4,40	9,40	
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	65 cm.	9,40	2,52 = 3,76

Solución II.

Mezcla asfáltica.	10 cm. × 0,44 = 4,40		
Base tratada con cemento	15 cm. × 0,20 = 3,00		
Sub-base	18 cm. × 0,11 = 1,98	9,38	
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	43 cm.	9,38	2,52 = 3,75

Solución III.

Mezcla asfáltica.	12 cm. × 0,44 = 5,28		
Base tratada con cemento	15 cm. × 0,20 = 3,00		
Sub-base	10 cm. × 0,11 = 1,10	9,38	
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	37 cm.	9,38	9,52 = 3,75

El estudio económico, aplicando los precios unitarios normales en España para cada una de las capas, definirá la solución óptima.

Mezcla asfáltica	2 000 ptas./m. ³	
Base granular	350	»
Base tratada con cemento...	500	»
Sub-base	200	»

Solución I:

$$0,05 \times 2\,000 + 0,20 \times 350 + 0,40 \times 200 = 250 \text{ ptas.}$$

Solución II:

$$0,10 \times 2\,000 + 0,15 \times 500 + 0,18 \times 200 = 311 \text{ ptas.}$$

Solución III:

$$0,12 \times 2\,000 + 0,15 \times 500 + 0,10 \times 200 = 335 \text{ ptas.}$$

La solución más económica es la primera, si bien esta sección no cumplirá las normas españolas para tráfico pesado por espesor insuficiente de la capa asfáltica.

Para el dimensionado de las distintas capas, la AASHO recomienda tener en cuenta unas especificaciones respecto a espesores mínimos, que son los siguientes:

Pavimento	5 cm.
Base	10 cm.
Sub-base	10 cm.

Estos mínimos los consideramos demasiado estrictos por razones constructivas para sub-bases y bases granulares, que estimamos deben aumentarse a 15 cm.

7. Ejemplo de aplicación.

Como aclaración del método expuesto, se incluye el presente ejemplo, que corresponde al cálculo del firme de la CN-II de Madrid a Barcelona en el enlace de Barajas [8].

Prognosis de tráfico.

- IMD en 1963, 16 522 vehículos en 6 carriles.
- Coficiente de prognosis para 1967 ... 1,5
- Coficiente de prognosis para 1987 ... 4,6

La proporción de vehículos pesados irá disminuyendo, como es sabido, a medida que aumenta el parque nacional de vehículos. Si en 1963 era del 25 por 100, se estima que en 1967 y 1987 serán, respectivamente, el 22 y el 15 por 100, respectivamente.

Llamando A a la IMD en 1963, y teniendo en cuenta el crecimiento del tráfico y la proporción de vehículos pesados que se han indicado, se obtienen los valores del cuadro II.

Por las características de los vehículos pesados que circulan por la carretera, se ha estimado que en ellos el promedio de ejes es 2,2. De acuerdo con esto, se ha obtenido el número de ejes que pasan por día en el tramo para los distintos años. (Ver cuadro III.)

II. Composición y prognosis del tráfico.

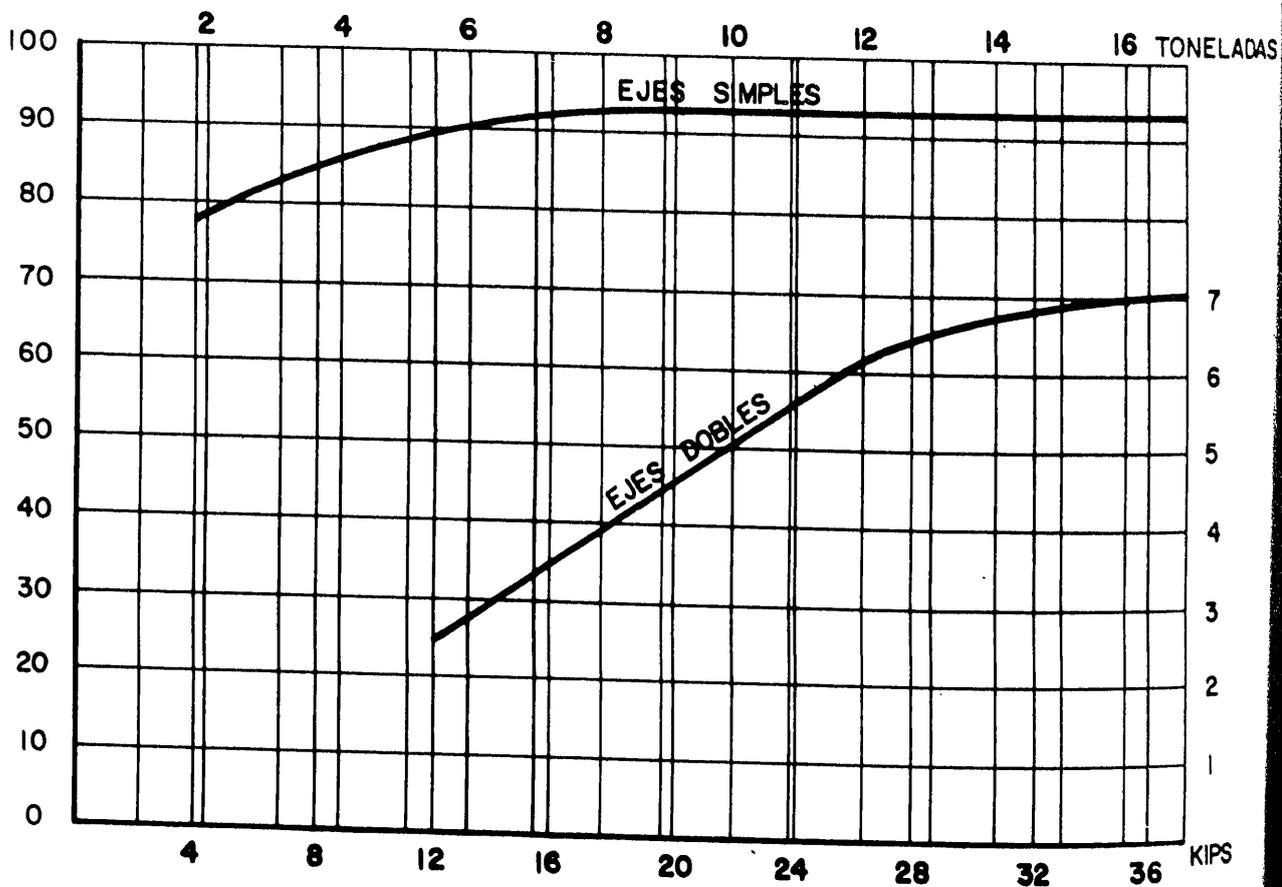
AÑO	IMD	VEHICULOS LIGEROS	VEHICULOS PESADOS		
			TOTAL	4 KIPS	4 KIPS
1963	1,0000 A	0,7500 A	0,2500 A	0,1750 A	0,0750 A
1967	1,5000 A	1,1700 A	0,3300 A	0,2475 A	0,0825 A
1987	4,6000 A	3,9100 A	0,6900 A	0,5520 A	0,1350 A
Media	3,3550 A	2,8246 A	0,5304 A	0,4157 A	0,1147 A

III. Frecuencia media de ejes/día.

DATOS	1963	1967	1987	MEDIA
IMD	16 522	24 783	76 001	55 431
V. ligeros	12 392	19 331	64 601	46 668
V. pesados < 4 Kips	2 891	4 089	9 120	6 869
V. pesados > 4 Kips	1.239	1 363	2 280	1 894
Total ejes/día	—	—	—	19 279

GRAFICO DE DISTRIBUCION DE EJES PESADOS.—

ACCESO A MADRID POR LA CN-II. AUTOPISTA DE BARAJAS.—



Para la clasificación por grupos de ejes, se emplean las curvas de la figura de la página anterior para ejes simples y ejes dobles, obteniéndose:

IV. Clasificación de ejes pesados

KIPS	%	
	EJES SIMPLES	EJES DOBLES
0-4	78,0	—
4-8	7,0	—
8-12	5,0	2,5
12-16	2,0	1,0
16-20	1,0	1,0
20-24	—	1,0
24-28	—	1,0
28-32	—	0,3
32-36	—	0,2
Suma	93,0	7,0

Los datos que se precisan para el cálculo son los siguientes:

Factor soporte del terreno.

Como la capacidad portante exigida a la examinada se caracteriza por un CBR mínimo de 5, según el gráfico de correlación, el valor soporte es 4,5.

Factor regional.

Para una lluvia media anual de 450 mm. y un drenaje regular, se obtiene en el cuadro I un factor regional de 1,5.

Índice de servicio.

Las normas de la AASHO recomiendan, como se dijo, que en proyectos de autopistas con gran IMD, como la que nos ocupa, se tome el valor 2,5.

Índice de tráfico.

Se deduce de la fórmula (a), en la que particularizada para los datos obtenidos en el cuadro II y promedio de ejes estimados, se tiene:

$$I = 2,82640 A$$

$$E = (0,41574 + 0,11466) A \times 2,2$$

$$E = 1,16688 A$$

Como el tramo que se estudia corresponde a una sección con dos calzadas, se supone que

el carril más cargado soportará el 50 por 100 del tráfico total ($K = 0,50$).

Se estudian los valores de I , que corresponden a una primera aproximación, y los que se obtendrían si se conociera su número estructural SN , que varía entre 3 y 4.

V. Determinación del índice de tráfico en primera aproximación.

GRUPOS	P_n	θ_n	$P_n \times \theta_n$
Vehículos ligeros	1,000	0,0002	0,0002
Ejes simples (Kips):			
0-8	0,850	0,0060	0,0051
8-16	0,070	0,2000	0,0140
16-20	0,010	1,0000	0,0100
Ejes dobles (Kips):			
8-16	0,035	0,0200	0,0007
16-20	0,010	0,0900	0,0009
20-24	0,010	0,2100	0,0021
24-30	0,012	0,5000	0,0060
30-34	0,002	0,8700	0,0017
34-38	0,001	1,3800	0,0014
Suma ...			0,0419

$$I_1 = (2,82460 A \times 0,0002 + 1,16688 A \times 0,0419)$$

$$K = 0,0247 A.$$

VI. Determinación del índice de tráfico para un número estructural, $SN = 3$

GRUPOS	P_n	θ_n	$P_n \times \theta_n$
Vehículos ligeros	1,000	0,0003	0,0003
Ejes simples (Kips):			
0-4	0,780	0,0003	0,0002
4-8	0,070	0,0200	0,0014
8-12	0,050	0,1200	0,0060
12-16	0,020	0,4000	0,0080
16-20	0,010	1,0000	0,0100
Ejes dobles (Kips):			
8-12	0,025	0,0100	0,0003
12-16	0,010	0,0400	0,0004
16-20	0,010	0,1100	0,0011
20-24	0,010	0,2300	0,0023
24-28	0,010	0,4200	0,0042
28-32	0,003	0,7000	0,0021
32-36	0,002	1,1100	0,0022
Suma ...			0,0382

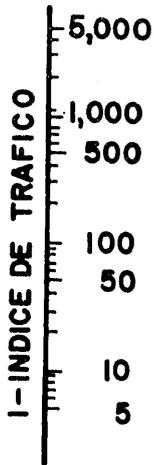
$$I_2 = (2,82460 A \times 0,0003 + 1,16688 A \times 0,0382)$$

$$K = 0,0227 A.$$

ABACO Nº 1. — CARRETERAS DE TRAFICO LIGERO Y MEDIO. —

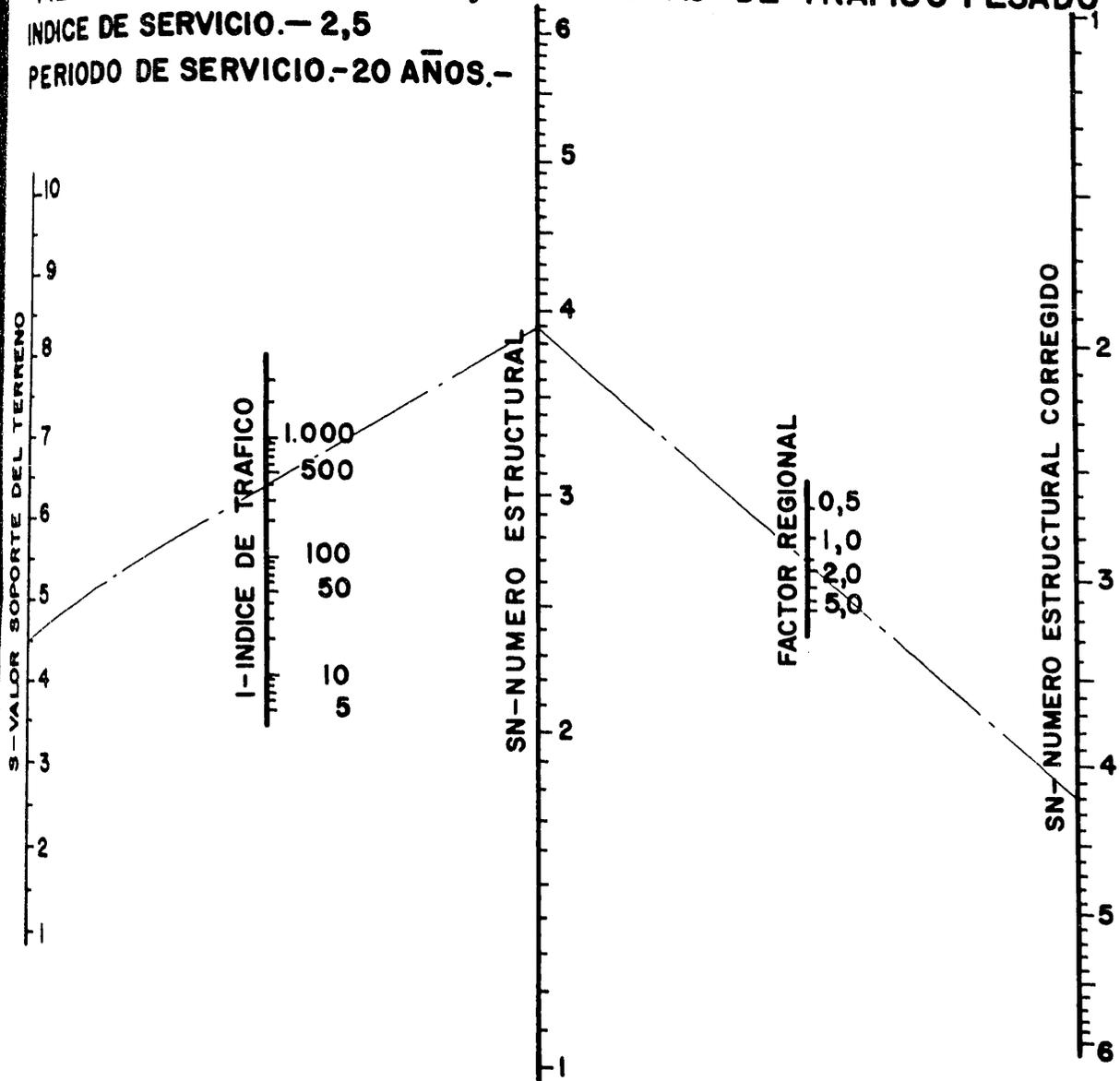
INDICE DE SERVICIO. — 2

PERIODO DE SERVICIO. — 20 AÑOS.



SN - NUMERO ESTRUCTURAL CORREGIDO

ABACO Nº 2.-AUTOPISTAS y CARRETERAS DE TRAFICO PESADO
INDICE DE SERVICIO.- 2,5
PERIODO DE SERVICIO.- 20 AÑOS.-



VII. Determinación del índice de tráfico para un número estructural, SN = 4.

GRUPOS	P_n	θ_n	$\tau_n \times \theta_n$
Vehículos ligeros	1,000	0,0002	0,0002
Ejes simples (Kips):			
0-4	0,780	0,0002	0,0002
4-8	0,070	0,0100	0,0007
8-12	0,050	0,1000	0,0050
12-16	0,020	0,3900	0,0078
16-20	0,010	1,0000	0,0100
Ejes dobles (Kips):			
8-12	0,025	0,0100	0,0003
12-16	0,010	0,0300	0,0003
16-20	0,010	0,0900	0,0009
20-24	0,010	0,2100	0,0021
24-28	0,010	0,4000	0,0040
28-32	0,003	0,7000	0,0021
32-36	0,002	1,1100	0,0022
		Suma	0,0356

$$I_{II} = (2,82460 A \times 0,0002 + 1,16688 A \times 0,0356) / K = 0,0210 A.$$

Se adopta, como más desfavorable, el valor:

$$I = 0,0247 A,$$

y para la IMD de 1963,

$$I = 0,0247 \times 16\,522 = 409.$$

Cálculo del espesor.

Se emplea el Abaco núm. 2 de la AASHO, que corresponde a un período de servicio de veinte años, y el índice de servicio indicado (2,5).

Para el índice de tráfico obtenido y valor soporte de la explanada se obtiene un número estructural de 3,9, que se convierte en 4,2 al hacer la corrección por el factor regional. Se tantearon las siguientes secciones:

VIII. Cuadro comparativo de soluciones.

CAPAS	1. ^o — cm.	2. ^o — cm.	3. ^o — cm.	4. ^o — cm.
Pavimento asfáltico	10	10	10	10
Base asfáltica	18	15	12,5	10
Sub-base granular	0	10	20	25

a las que corresponden los siguientes números estructurales:

$$1.^{\circ} \frac{0,44 \times 10 + 0,34 \times 18}{2,54} = 4,14.$$

$$2.^{\circ} \frac{0,44 \times 10 + 0,34 \times 15 + 0,11 \times 10}{2,54} = 4,17.$$

$$3.^{\circ} \frac{0,44 \times 10 + 0,34 \times 12,5 + 0,11 \times 20}{2,54} = 4,27.$$

$$4.^{\circ} \frac{0,44 \times 10 + 0,34 \times 10 + 0,11 \times 25}{2,54} = 4,15.$$

Coinciden estos valores sensiblemente con el número estructural corregido antes citado por lo que todas las soluciones son válidas. En el estudio de donde se ha tomado este ejemplo por razones de uniformidad con las secciones de otros tramos del proyecto de enlace, se adopta la Solución 2.^a.

8. Conclusión.

En el presente trabajo se ha pretendido exponer el proceso operativo del método de diseño mencionado de la AASHO, entidad americana a cuyo gigantesco esfuerzo económico también debe la técnica de carreteras.

Considera este método el concepto de equivalencia de espesores de las distintas capas de firme, la influencia del tráfico estimada de modo racional respecto a su efecto destructivo, las condiciones climáticas de la zona de emplazamiento y el nivel de servicio que debe exigirse al pavimento, así como la capacidad portante de la explanada, que se obtiene por correlación con los índices resistentes clásicos deducidos por métodos empíricos o experimentales.

Se trata, por tanto, de un método muy perfeccionado, basado en los resultados de los grandes ensayos, que ya han empezado a emplearse en nuestro país los Servicios de la Dirección General de Carreteras. Recomendamos su aplicación para los proyectos de firmes de autopistas u otras vías de tráfico pesado, en los que el Ingeniero debe estimar con la mayor aproximación posible los datos de partida, al mismo tiempo que ponderar todas las circunstancias especiales del caso en cuestión, huyendo de una aplicación mecánica del método y utilizando siempre ese instrumento tan valioso e insustituible, que es la experiencia profesional.

Referencias.

1. *Thickness Design - Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets*. The Asphalt Institute. 7th Edition. September 1963.
2. R. A. BOHMAN: "Design of flexible pavements structures", *Materials Course*. Denver (Colorado). February 1965.
3. "A guide to the structural design of flexible and rigid pavements for new roads". *Road Note Number 29*. Road Research Laboratory. Londres, septiembre de 1960.
4. R. PELTIER: "Nouvelles méthodes de dimensionnement des chaussées". *Revue Général des Routes et des Aerodromes*. París, junio de 1965.
- 4 bis. "La méthode experimentale Colas pour le renforcement des chaussées souples". *Revue Général des Routes et des Aerodromes*. Marzo y octubre de 1964.
5. *Instrucción de carreteras. Firmes y pavimentos flexibles*. Norma 6.1. IC de la Dirección General de Carreteras.
6. O. LLAMAZARES: "El dimensionado de firmes flexibles en la moderna técnica de carreteras". *Revista de Obras Públicas*. Enero de 1962.
7. — "Sobre el cálculo de pavimentos flexibles". *Revista de Obras Públicas*. Enero de 1966.
8. J. FANLO: *Estudio de la solución de firme flexible para el enlace de la glorieta Eisenhower*. Trabajo de la División de Proyectos de la Dirección General de Carreteras.