

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

MÉTODO SHELL 78

ALFREDO OBREDOR ING. CIVIL

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

OBJETIVO

Presentar la metodología del Método Shell 78 para el cálculo de estructuras de pavimentos flexibles.



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

INTRODUCCIÓN

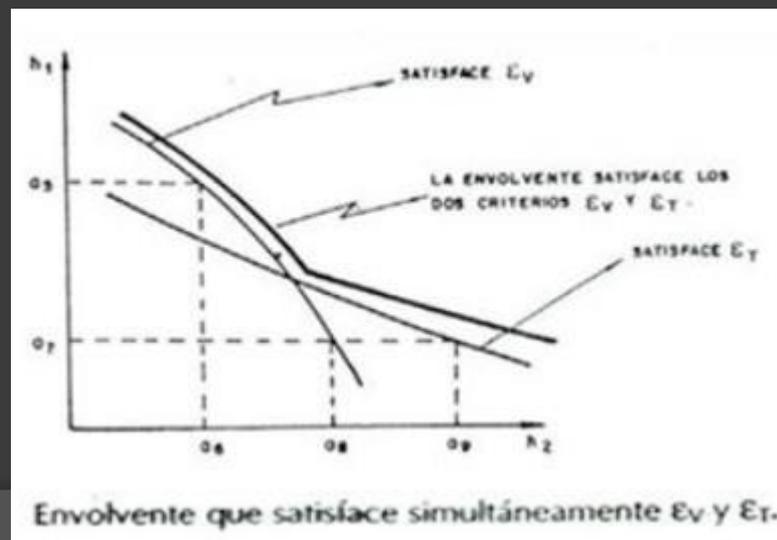
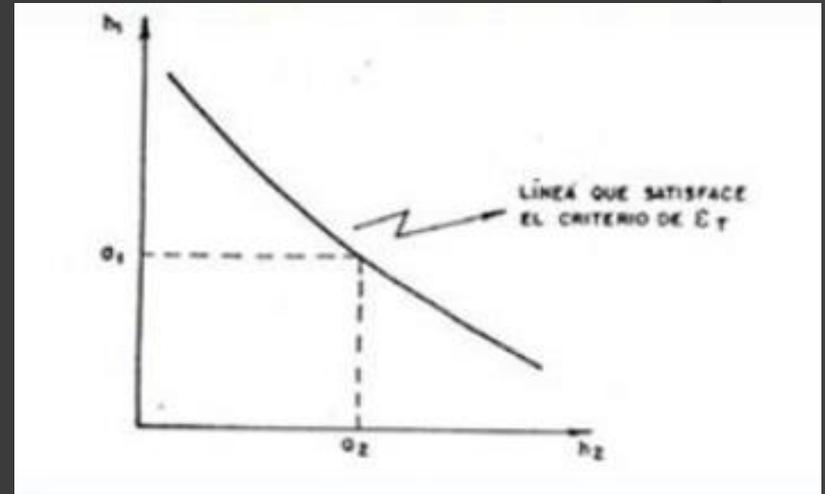
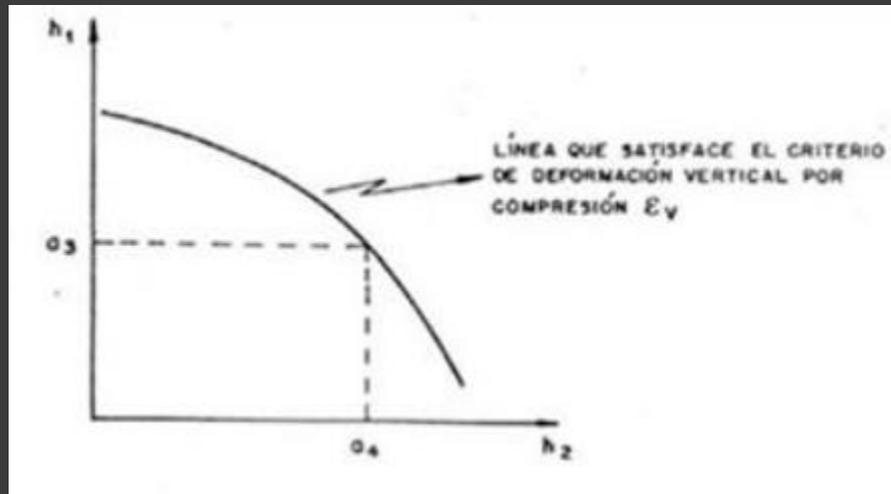
- Este método permite diseñar espesores de pavimentos flexibles como semi-rígidos, basado en la teoría de la elasticidad.
- Las "Cartas de Diseño" publicadas en el Manual de Diseño de Pavimentos de la Shell (1978), incorporan parámetros de diseño que incluyen los efectos de la temperatura, que hace posible el diseño apropiado para diferentes climas.
- El uso de distintas clases de mezclas asfálticas, lo que permite tener en cuenta factores económicos. Las cartas son identificadas por letras indicativas de los parámetros involucrados, por ejemplo: N (numero de ejes equivalentes) para la carga, H (mm) para los espesores, T (temperatura), etc.
- El método de diseño fue desarrollado para el uso práctico por ingenieros de carreteras en todo el mundo, el cual permite mucho más refinamiento en los cálculos y resume un gran número de variables y relaciones involucradas para obtener un procedimiento práctico y factible.

CRITERIOS DE DISEÑO

- La deformación vertical de compresión en la subrasante; si ésta es excesiva se producirá una deformación permanente en la subrasante, y esto causará la deformación en la superficie de pavimento.
- La deformación horizontal de tracción en la capa asfáltica, generalmente en la parte inferior; si ésta es excesiva, se producirá el agrietamiento de la capa.
- Otro criterio incluye los esfuerzos y las deformaciones de tracción permisibles en cualquier capa de base cementada y la deformación permanente acumulada en la superficie de pavimento debido a deformaciones en cada una de las capas.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

CRITERIOS DE DISEÑO



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

DESARROLLO DEL DISEÑO

1. Planteamiento del Modelo Estructural
2. Estimación del Transito de Diseño
3. Calculo de la Temperatura Media Anual Ponderada (WMAAT o MMAT (°C))
4. Determinación de la Capacidad de Soporte de la Subrasante (E_3)
5. Tipificación de la Mezcla ($S_n - F_n - n_n$)
6. Calculo del Índice de Penetración (I_p)
7. Determinación del Modulo Dinámico del Asfalto (S_{bit})
 - 7.1 Cálculo de la temperatura de trabajo de la mezcla asfáltica (T_{mix})
 - 7.2 Calculo de la diferencia de temperatura
 - 7.3 Calculo del tiempo de aplicación de la carga
 - 7.4 Calculo de la frecuencia de aplicación de la carga
 - 7.5 Calculo del módulo dinámico del asfalto

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

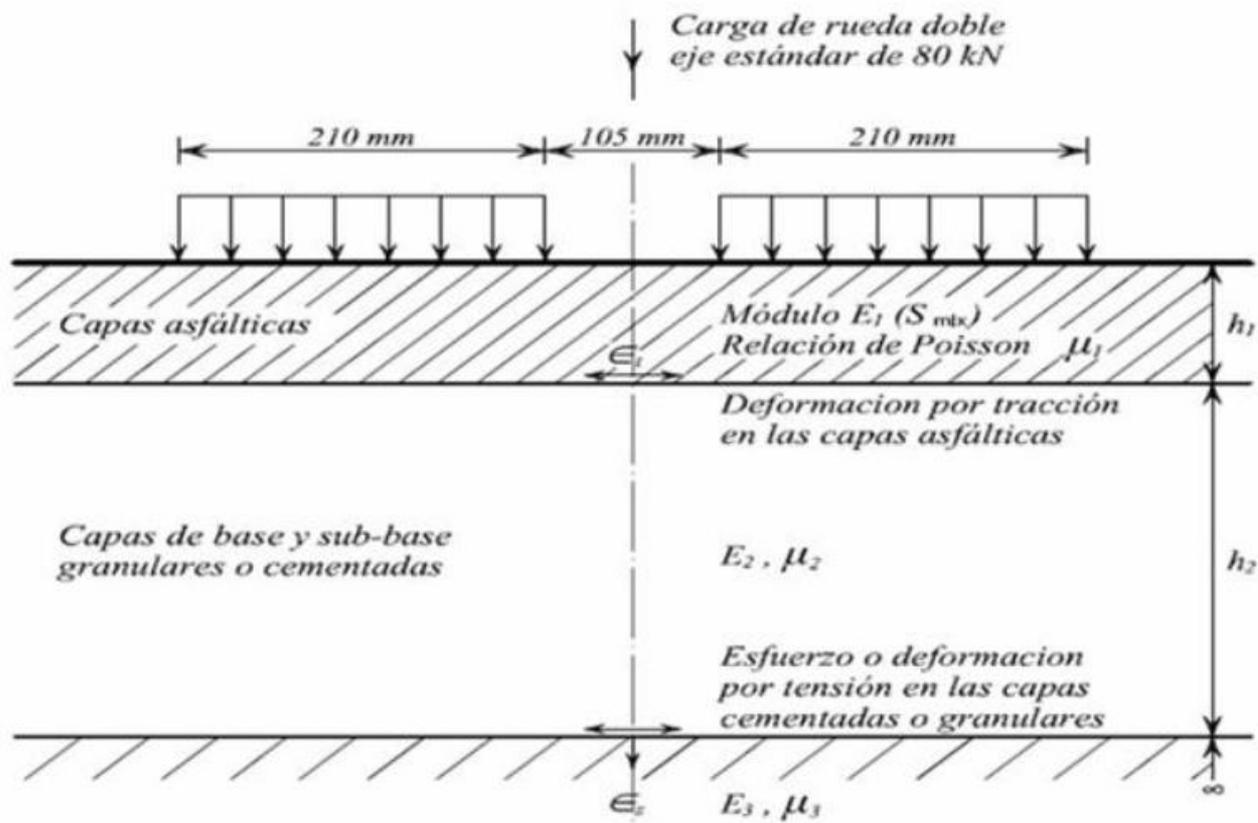
DESARROLLO DEL DISEÑO

8. Determinación del modulo dinámico de la mezcla asfáltica (S_{mix})
9. Clasificación de la rigidez de la mezcla ($Stiffness (S)$)
10. Calculo de la fatiga de la mezcla (F)
11. Determinación de la resistencia de la mezcla a la fatiga
12. Selección de la carta de diseño (NH, NT, TH, etc)

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

1-MODELO ESTRUCTURAL



2 – ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

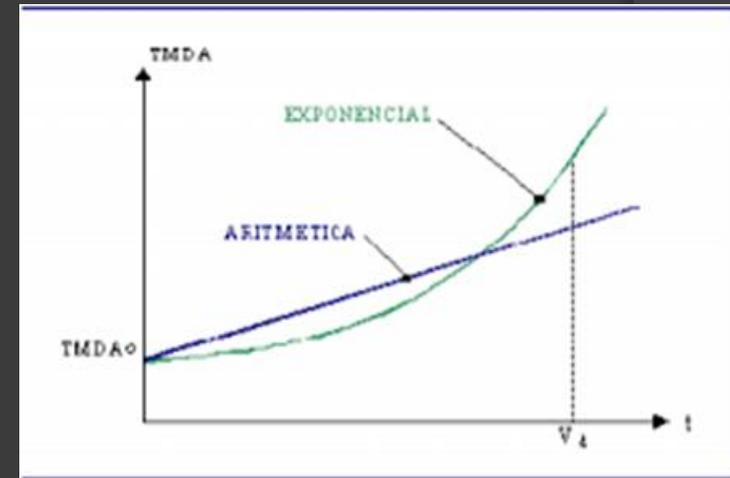
- El tránsito es representado en términos del número total de cargas estándar equivalentes del eje de diseño a las que el pavimento estará sujeto durante la periodo de diseño. La carga de diseño estándar para un eje dual adoptada es 80 kN. Es decir, que éste eje estándar es asumido con ruedas duales de 20 kN cada una con una presión de contacto de $6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ y un radio del área de contacto de 105 mm.
- Los datos de tránsito deben ser conocidos preferiblemente en forma del número de ejes comerciales determinados en grupos de carga por eje estándar por carril por día.
- La metodología Shell 78 transforma las cargas por eje, al eje equivalente simple de 80 KN o 8,2 toneladas utilizando la siguiente expresión, para calcular el factor de conversión:

$$N_e = (P/80)^4$$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

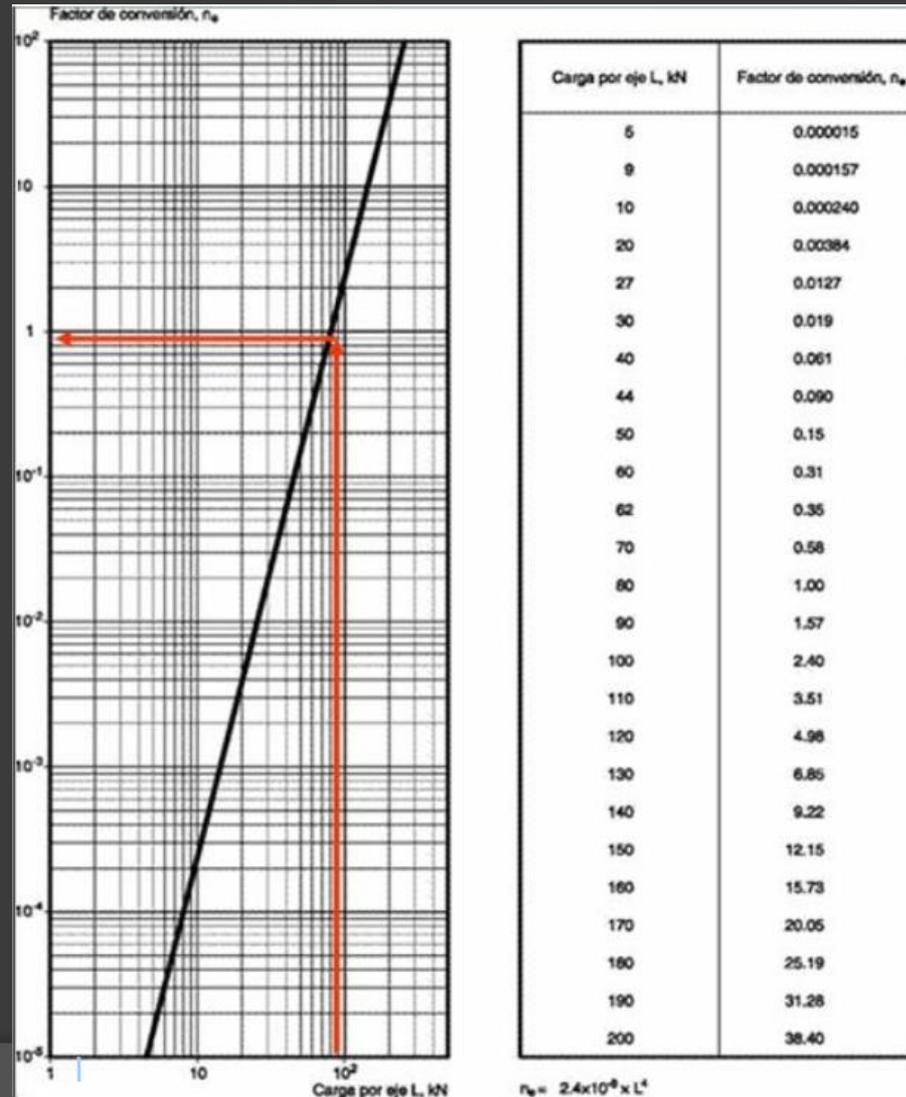
2 – ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

Carga por eje [KN] (1)	Número de ejes (2)	Factor de conversión n_e (3)	Número de ejes equivalentes a 80 KN (4)=(2)x(3)
25	1103	0.01	11.0
44	654	0.09	58.9
62	447	0.35	156.4
80	379	1.00	379.0
94	226	1.87	422.6
116	73	4.35	317.6
133	13	7.51	97.6
148	3	11.51	34.5
155	2	13.85	27.7
Número total de ejes por línea y por día 2900 (5)		Número total de ejes equivalentes por línea por día 1505 (6)	
		por año 5.5×10^5 (7)	
Tasa de crecimiento del tránsito por año "b" 2% (8)		Factor de sumatoria del tránsito "g" = 18 (10)	
Vida de diseño del pavimento en años "B" 15 (9)		g = Sumatoria $(1 + b/100)^i$ i=1 a B	
(11)=(7)x(10)			
NUMERO ACUMULADO DE EJES ESTÁNDAR DE 80KN POR LÍNEA		10^7	



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

2 – ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

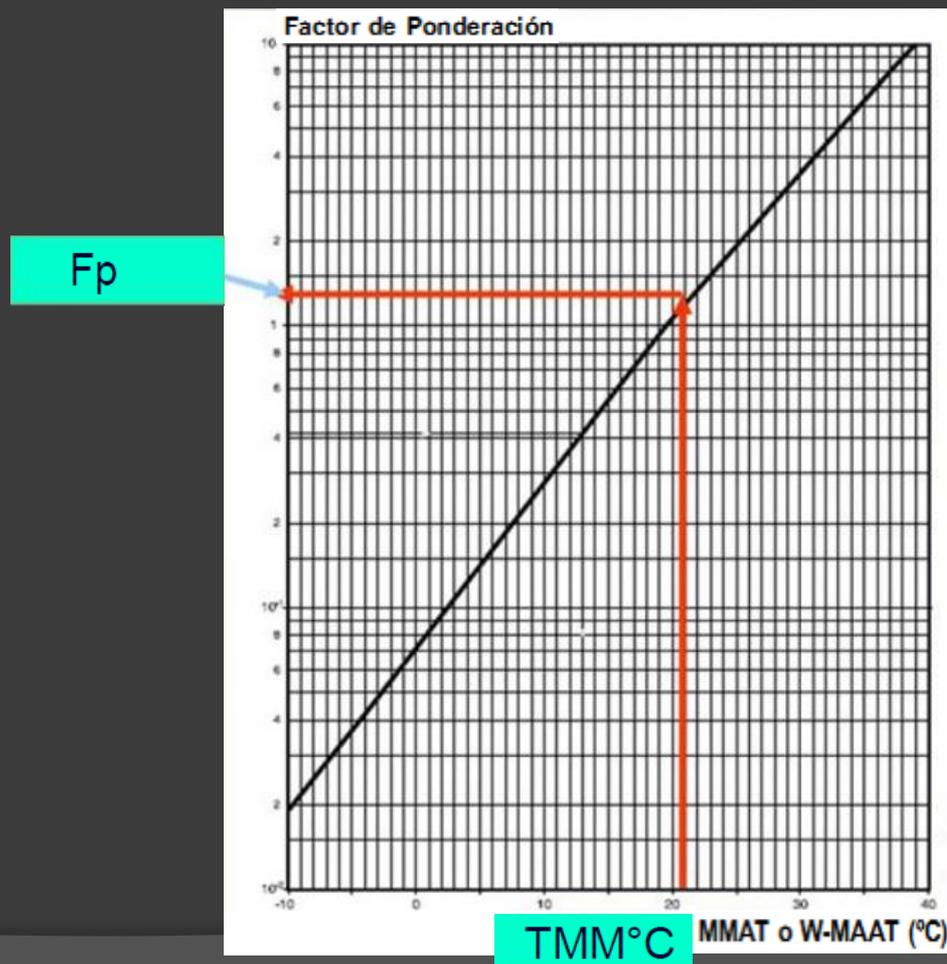
3 – TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA WMAAT o MMAT (C°)

- Para estimar la temperatura media anual ponderada de aire (WMAAT) se obtiene un factor de ponderación f_p de la Carta W para cada una de las temperaturas medias mensuales del aire (TMMA). El promedio de la sumatoria de los productos del factor de temperatura, es un factor de ponderación promedio, con el cual en la misma carta se puede determinar la TMAP.

MES DEL AÑO	MMAT °C	FACTOR DE PONDERACIÓN
ENERO	8	0.21
FEBRERO	8	0.21
MARZO	12	0.36
ABRIL	16	0.62
MAYO	19	0.93
JUNIO	22	1.40
JULIO	26	2.35
AGOSTO	28	3.00
SEPTIEMBRE	22	1.40
OCTUBRE	19	0.93
NOVIEMBRE	12	0.36
DICIEMBRE	6	0.16
SUMATORIA DE FACTORES DE PONDERACIÓN		11.9
FACTOR PROMEDIO (Ó /12)		1.0
WMAAT °C		19.5 = 20 °C

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

3 – TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA WMAAT o MMAT (C°)



Carta W

3 – TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA WMAAT o MMAT (C°)

- Es de importancia la temperatura de la zona donde se va a construir el pavimento, aunque las variaciones diarias no sean significativa en los módulos de elasticidad de las capas granulares, si influyen en las propiedades de las capas asfálticas a causa de la sensibilidad térmica del asfalto.
- El método presenta un procedimiento para estimar la temperatura media anual ponderada del aire MMAT en la zona del proyecto, a partir de las temperaturas medias mensuales del aire, que en Argentina se obtiene la información del SMN.

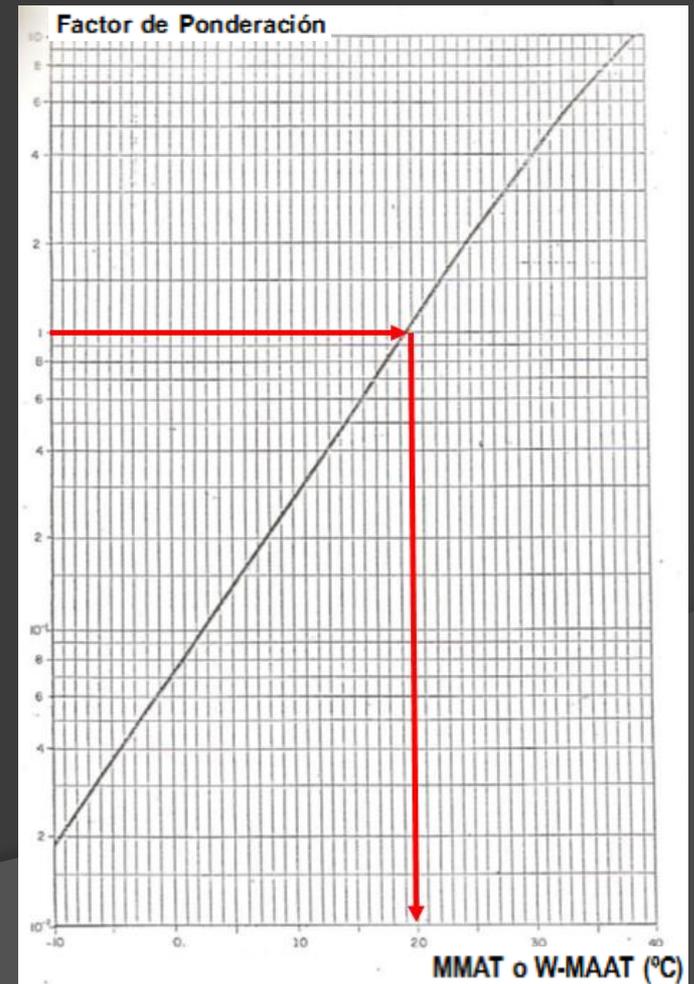
Se sigue el siguiente procedimiento:

- Seleccionar las estaciones meteorológicas más cercanas al proyecto y consultar en el SMN las temperaturas medias mensuales del periodo considerado, generalmente, los últimos 10 años.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

3 – TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA WMAAT o MMAT (C°)

- Se tabulan las temperaturas medias mensuales del aire de cada año.
- Con las temperaturas medias mensuales establecidas en el paso anterior y de acuerdo con los criterios Shell, seleccionar los factores de ponderación mensuales y encontrar el factor promedio anual con el cual se determina el MMAT, para cada uno de los años de la serie histórica considerada en el análisis
- Luego se ingresa al revés con el factor de ponderación I_p calculado y se determina la MMAT.



4 – DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD SOPORTE DE LA SUBRASANTE

- Se determina el Módulo Resiliente de la subrasante en N/m^2 .
- El Módulo Resiliente de la subrasante tiene un comportamiento fuertemente dependiente del contenido de humedad y del nivel de tensiones a que está sometido el material de la subrasante.
- Se obtiene como resultado de la evaluación de campo y los ensayos de laboratorio. El valor del módulo resiliente de la subrasante se puede obtener por medio de retrocálculo utilizando las deflexiones producidas con el deflectómetro de impacto, ensayo de módulo resiliente o con ayuda de las siguientes correlaciones, para valores de CBR menores a 10%:

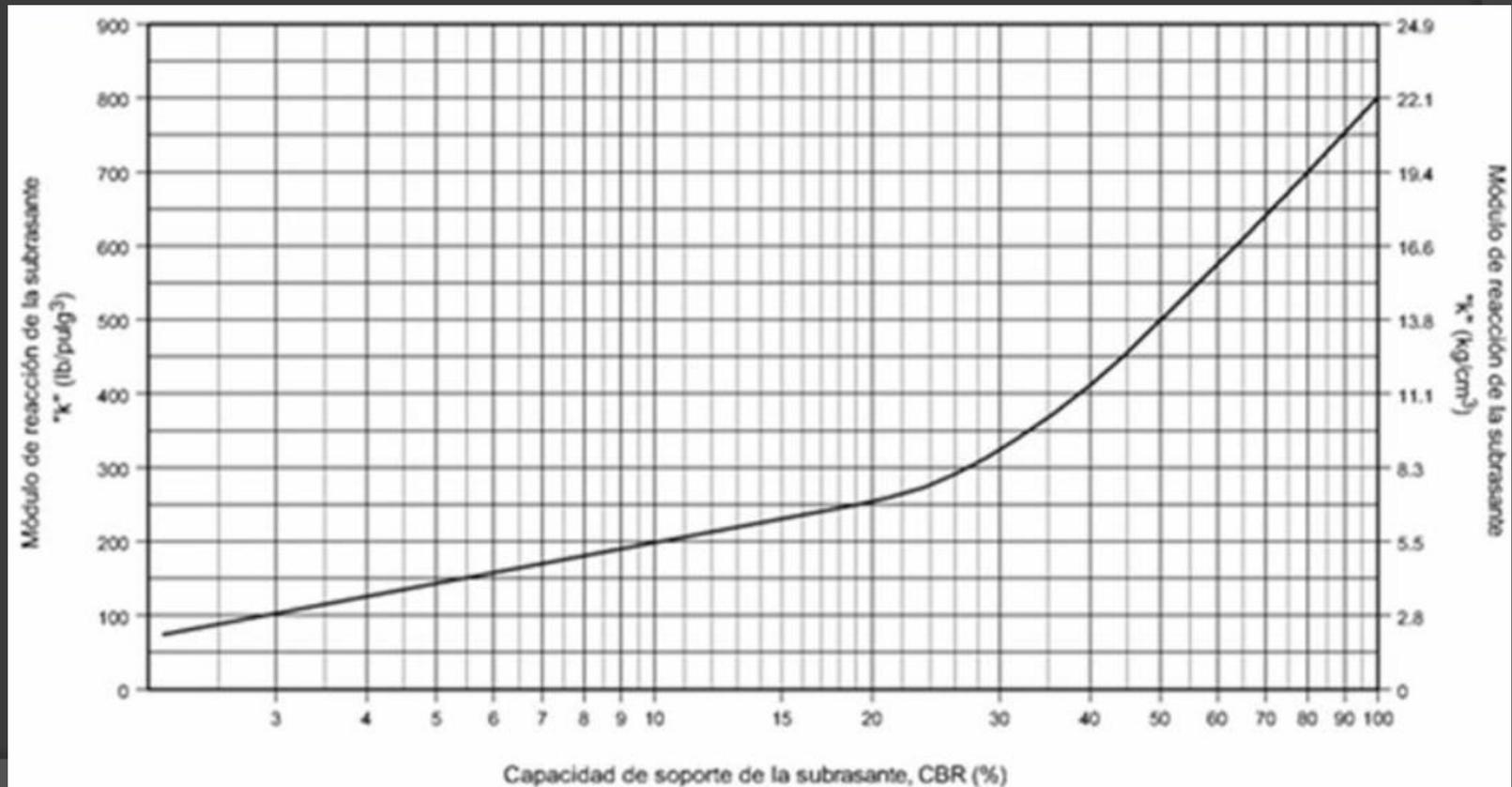
$$E_3 = 10^7 \text{ CBR (N/m}^2) \quad \text{o} \quad E_3 = 18 \text{ CBR}^{0,64} (10^6 \text{ N/m}^2)$$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

4 – DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD SOPORTE DE LA SUBRASANTE

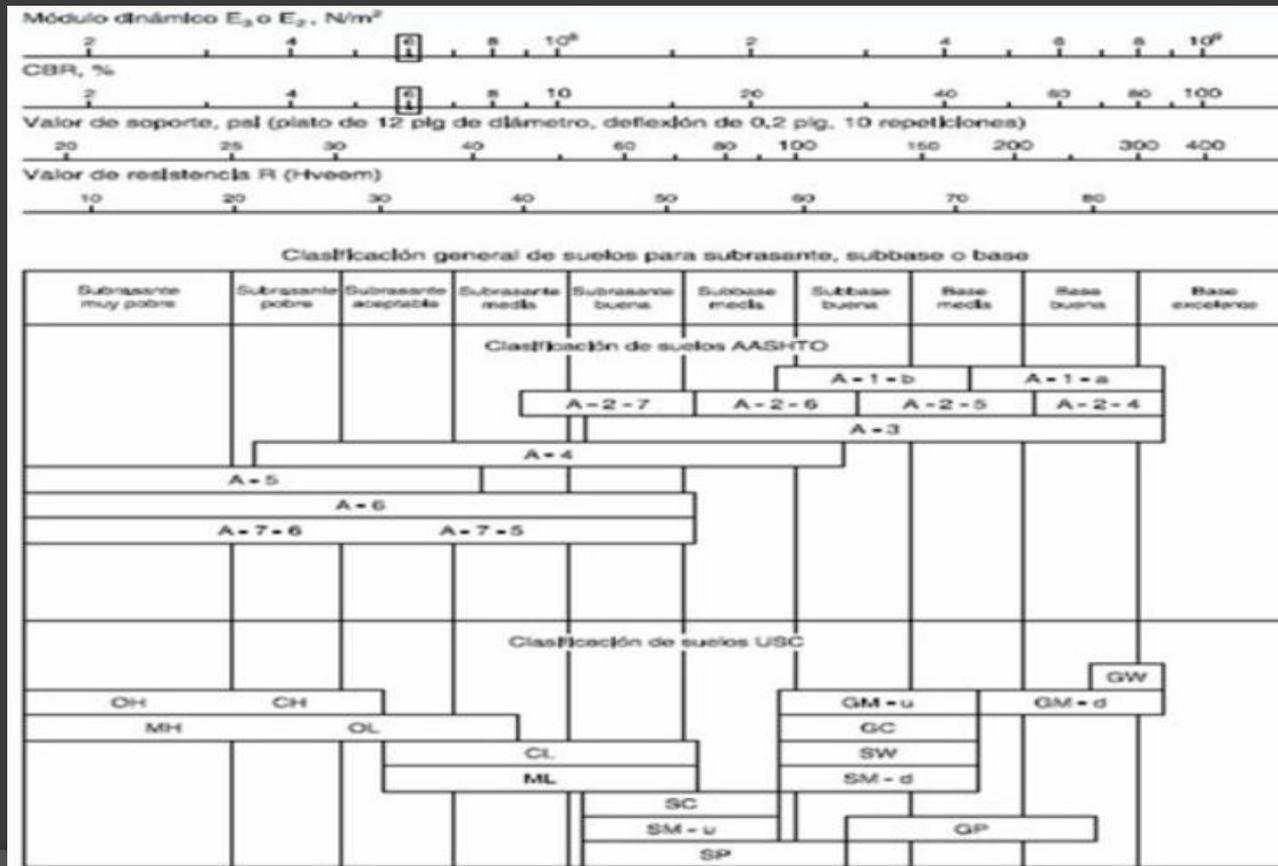
- También puede utilizarse el siguiente gráfico.



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

4 – DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD SOPORTE DE LA SUBRASANTE

- O la siguiente carta del Método Shell: Carta E



Ejemplo de aplicación:
CBR = 6%
 $M = 6,0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

5 – TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño Shell considera dos propiedades fundamentales que permiten caracterizar una mezcla asfáltica:

1. El módulo dinámico elástico (Stiffness) tanto del asfalto (S_b o S_{asf}) como de la mezcla (S_{mix}) (S).
2. Resistencia de la mezcla a la fatiga, es decir a la acción repetida de cargas (F).

1. Características de la Rigidez

- Las mezclas de tipo **S1**: Mezclas de alta rigidez, mezclas densas - (Mezclas cerradas)
- Las mezclas de tipo **S2**: Mezclas de baja rigidez, mezclas abiertas que contienen un alto contenido de vacíos con aire y un bajo contenido de asfalto (mezclas abiertas).

5 – TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2. Características de la Resistencia a la Fatiga

- Las mezclas de tipo **F1**: Alta resistencia con cantidades moderadas de vacíos con aire y de asfalto. Mezclas con mayor vida en fatiga.
- Las mezclas de tipo **F2**: Baja resistencia, con altos volúmenes de vacíos con aire. Mezclas con menor vida en fatiga.

5 – TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Características del Cemento Asfáltico a utilizar

El método Shell considera únicamente dos tipos de cemento asfáltico para la elaboración de mezclas:

1. Los de penetración 50 (1/10 mm) que se emplean en climas calientes, es decir, asfaltos de consistencia dura, con penetración original de 50 1/10 mm. (Representa a los asfaltos CA 20, CA 30, CA 40, etc.).
2. Los de penetración 100 (1/10 mm) que se emplean en climas fríos, es decir, asfaltos de consistencia blanda, con penetración original de 100 1/100 mm. (Representa a los asfaltos CA 70, AC 80, CA 100, etc.).

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

5 – TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Con base en la combinación de características anteriores, el método Shell reconoce para el diseño ocho tipos o códigos de mezclas asfálticas:

S1-F1-50

S1-F1-100

S1-F2-50

S1-F2-100

S2-F1-50

S2-F1-100

S2-F2-50

S2-F2-100

Ejemplo: S1 - F1 - 50

S1 = Mayor rigidez (mezcla densa)

F1 = Alta resistencia, mayor vida en fatiga

50 = Asfalto con penetración 50 1/10 mm

6 – ÍNDICE DE PENETRACIÓN (IP) GRÁFICA DE HEUKELOM

Con los datos de laboratorio de penetración para diferentes temperaturas, se trazan en el nomograma de Heukelom hallando el Índice de Penetración I_p que es una medida de la susceptibilidad térmica del asfalto y también el T800 que es la temperatura a la cual la penetración es de 800 1/10 mm.

Entre más bajo sea el índice de penetración I_p , más susceptible será el asfalto a los cambios de temperatura. Los asfaltos utilizados en los pavimentos el índice de penetración varía de -1 a +0,5.

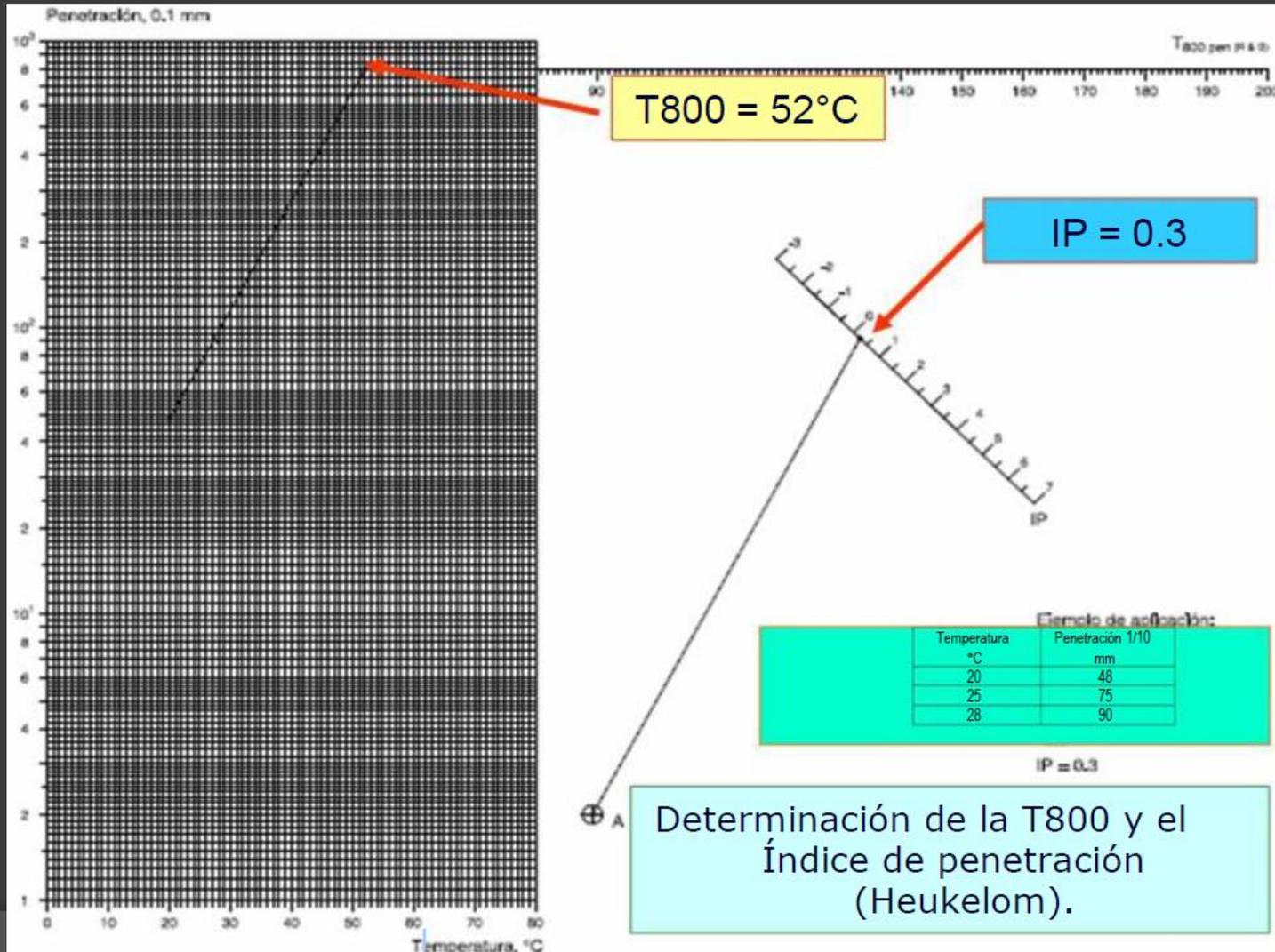
Ejemplo:

Temperatura °C	Penetración 1/10 mm
20	48
25	75
28	90

Se grafican las temperaturas y las penetraciones en la gráfica correspondiente y se obtiene el valor de la $T_{800} = 52^{\circ}\text{C}$.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

6 – ÍNDICE DE PENETRACIÓN (I_p) GRÁFICA DE HEUKELOM



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

6 – ÍNDICE DE PENETRACIÓN (I_p) GRÁFICA DE HEUKELOM

También puede obtenerse el Índice de Penetración empleando expresiones de cálculo:

Índice de penetración (I_p) empleando nomograma de la Shell:

$T_1 =$	25	°C
$T_2 =$	52	°C
Pen a $T_1 =$	75	1/10 mm
Pen a $T_2 =$	800	1/10 mm
IP =	0.3	

Índice de penetración (I_p) empleando la formula de Pfeiffer:

$$A = (\text{Log Pen a } T_1 - \text{Log Pen a } T_2) / (T_1 - T_2)$$

$$A = (\text{Log } 75 - \text{Log } 800) / (25 - 52) = 0.038$$

$$IP = (20 - 500 \times A) / (1 + 50 \times A)$$

$$IP = (20 - 500 \times 0.038) / (1 + 50 \times 0.038) = 0.30$$

$$IP = 0.30$$

7 – DETERMINACION DEL MODULO DE RIGIDEZ DEL ASFALTO

Se emplean los nomogramas de Heukelom y de Van Der Poel, que requieren los siguientes parámetros de entrada:

- Índice de penetración del asfalto (I_p)
- Temperatura para una penetración de 800 1/10 mm (T800) Gráfica de Heukelom
- Temperatura de la mezcla (T_{mix} °C)
- Tiempo de aplicación de la carga (t seg.)
- Frecuencia de aplicación de la carga (F Hz)
- Diferencia de temperatura de la mezcla (DT °C)
- Cálculo del módulo dinámico del asfalto (S_b o S_{asf} N/m²)

7 – DETERMINACION DEL MODULO DE RIGIDEZ DEL ASFALTO

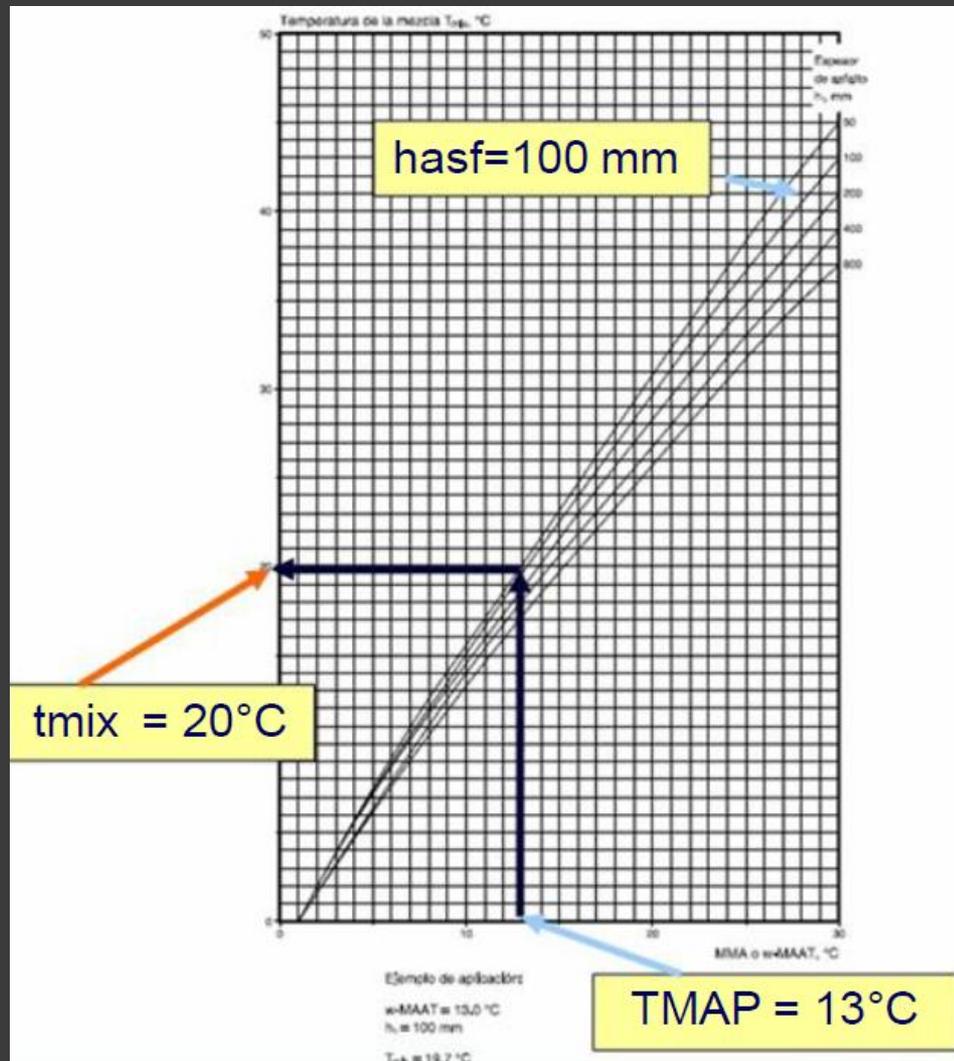
DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA T_{mix} °C:

Se calcula la temperatura de la mezcla T_{mix} en función de la MMAT y del espesor supuesto de la capas asfáltica. Con ayuda de la carta de diseño RT se entra en las abscisas con la temperatura media anual ponderada del proyecto MMAT °C, se corta la curva del espesor supuesto de la carpeta asfáltica y se obtiene en las ordenadas el valor de la temperatura de servicio de la mezcla asfáltica, T_{mix} °C.

- MMAT = 13 °C
- Espesor probable de la capa asfáltica, h_{asf} = 100 mm
- Temperatura de la mezcla, T_{mix} = 20 °C

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78



Carta RT para determinar la temperatura de la mezcla (T_{mix} °C).

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

DETERMINACION DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DT °C

$$DT \text{ °C} = T_{800} \text{ °C} - T_{mix} \text{ °C}$$

$$DT \text{ °C} = 52 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 32 \text{ °C}$$

DETERMINACION DEL TIEMPO DE APLICACIÓN DE LA CARGA (t seg) Y LA FRECUENCIA (F, Hertz)

Velocidad de operación (V): 60 k/h

Espesor probable de carpeta asfáltica (hasf): 100 mm

Tiempo de aplicación de la carga (t):

$$\text{Log}(t) = 0,005 \times \text{hasf} - 0,2 - 0,94 \times \text{Log}(V)$$

$$\text{Log}(t) = 0,005 \times 10 \text{ cm} - 0,2 - 0,94 \times \text{Log}(60 \text{ Kph}) =$$

Tiempo $t = 0,0151$ seg, aproximadamente 0,02 segundos Frecuencia (F):

$$F = 1 / (2 \times p \times t) = (p = 3,141516)$$

$$F = 1 / (2 \times 3,141516 \times 0,0151 \text{ seg.}) = 10,55 \text{ Hertz}$$

F = 10 Hertz aproximadamente.

$$t = 0,02 \text{ seg y } F = 10 \text{ Hertz}$$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO DEL ASFALTO, S_b o S_{asf}

Se entra al ábaco de Van Der Poel con los siguientes valores:

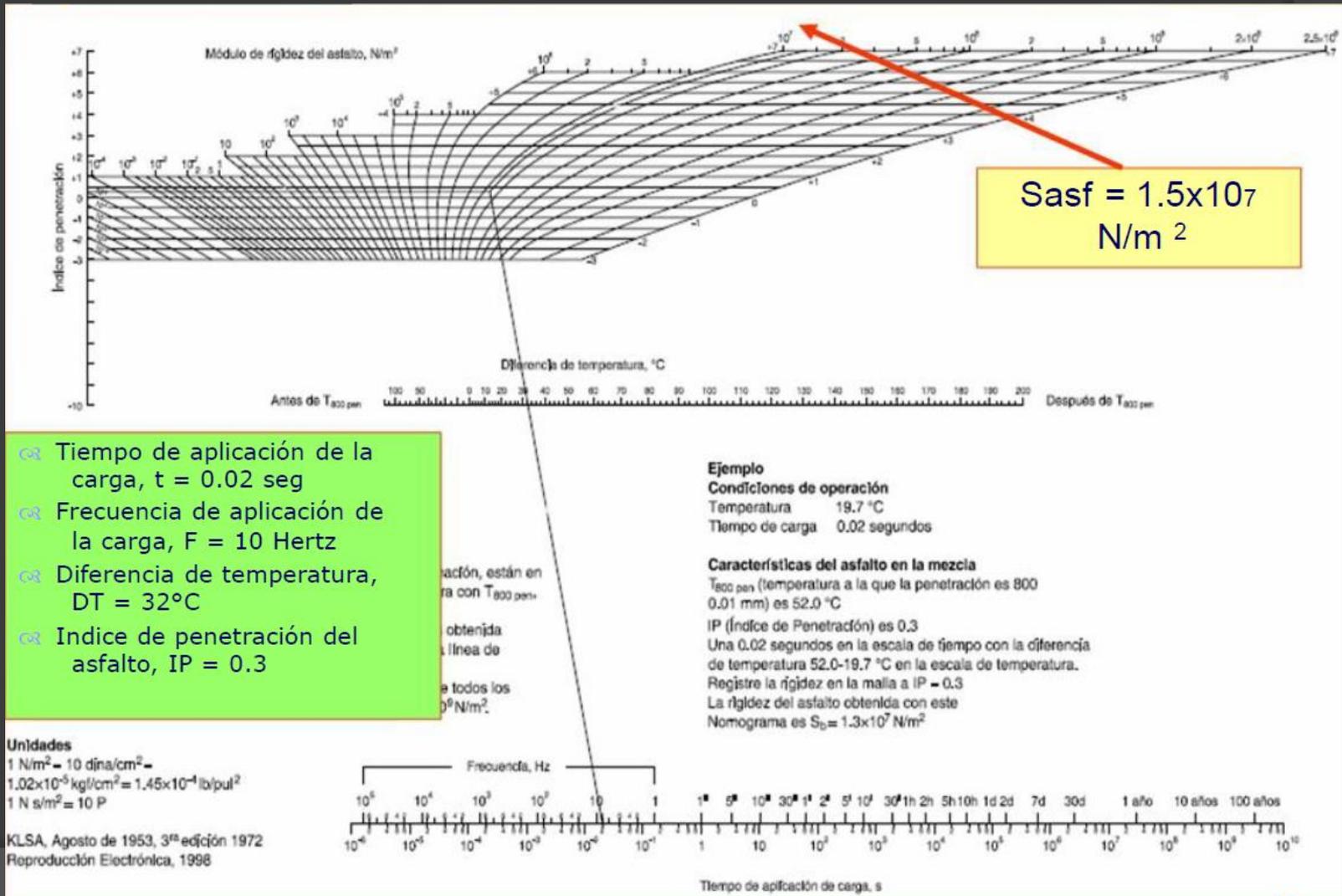
- Tiempo de aplicación de la carga, $t = 0,02$ seg
- Frecuencia de aplicación de la carga, $F = 10$ Hertz
- Diferencia de temperatura, $DT = 32^{\circ}C$
- Índice de penetración del asfalto, $I_p = 0,3$

Se obtiene un valor del módulo dinámico del asfalto, $S_{asf} = 1,5 \times 10^7$ N/m²

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

Nomograma de Van der Poel para determinar el módulo dinámico del o rigidez del asfalto.



- ☞ Tiempo de aplicación de la carga, t = 0.02 seg
- ☞ Frecuencia de aplicación de la carga, F = 10 Hertz
- ☞ Diferencia de temperatura, DT = 32°C
- ☞ Índice de penetración del asfalto, IP = 0.3

KLSA, Agosto de 1953, 3^{ra} edición 1972
 Reproducción Electrónica, 1998

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

7. DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO DEL ASFALTICO, S_b

Por otra parte, de acuerdo con Ullidtz y Peattie (1980), el módulo de rigidez del asfalto (S_b), puede determinarse así:

$$S_b = 1.157 \times 10^{-7} t^{-0.368} e^{-IP} (T_{R\&B} - T_{mix})^5$$

Donde:

S_b : Módulo de rigidez del asfalto en MPa.

t : Tiempo de aplicación de la carga en segundos.

IP : Índice de penetración del asfalto.

$T_{R\&B}$: Temperatura del punto de ablandamiento (anillo y bola) del asfalto en °C.

T_{mix} : Temperatura de la mezcla en °C.

8. DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO DE LA MEZCLA ASFALTICA

Se entra al ábaco de Heukelom con los siguientes valores:

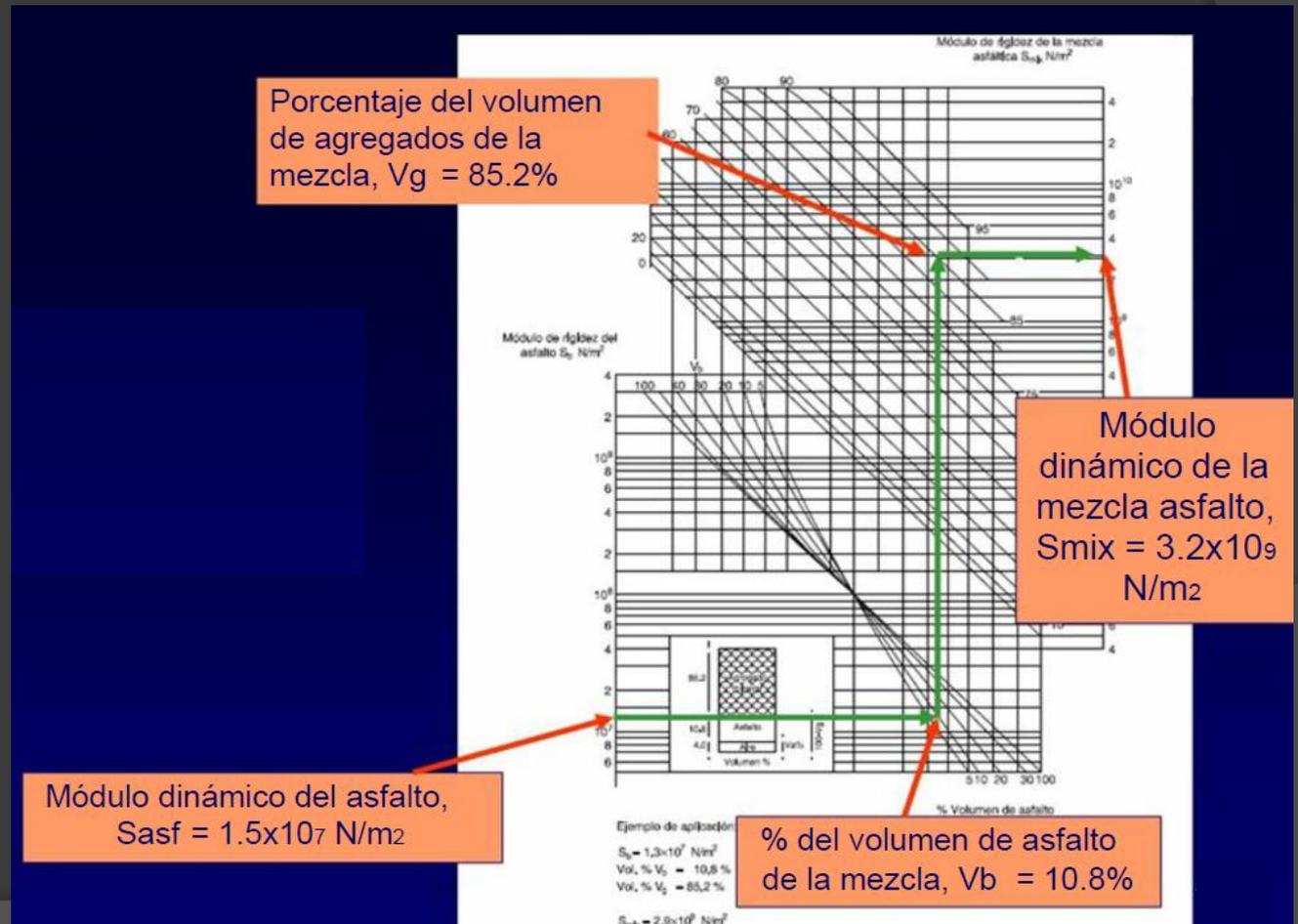
- Porcentaje del volumen de asfalto de la mezcla, $V_b = 10,8\%$
- Porcentaje del volumen de agregados de la mezcla, $V_g = 85,2\%$
- Módulo dinámico del asfalto, $S_{asf} = 1,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

Se obtiene un valor del módulo dinámico de la mezcla asfáltica de $S_{mix} = 3,2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

8. DETERMINACION DEL MODULO DINAMICO DE LA MEZCLA ASFALTICA

Nomograma Smix para determinar la rigidez de la mezcla



9. CLASIFICACION DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFALTICA, S

Con los datos del módulo del asfalto y el módulo de la mezcla, se entra a la carta M-1 y se determina el punto de intersección de los dos módulos. Si este punto está cerca de las curvas S1 o S2, se toma el código de la curva más próximo al punto de intersección.

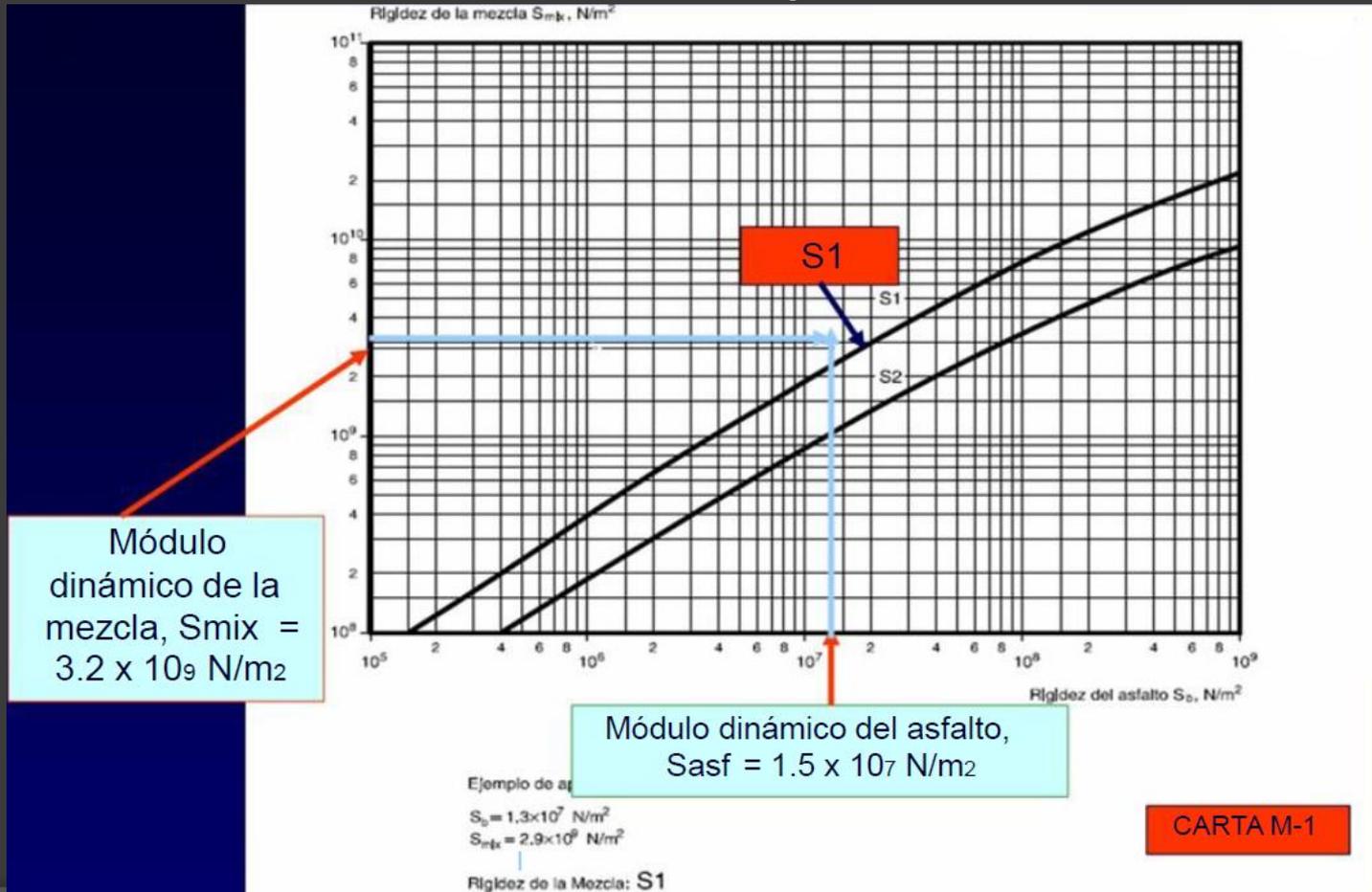
Para ilustrar lo anterior, entramos a la carta M-1 con:

Módulo dinámico del asfalto, $S_{asf} = 1,5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

Módulo dinámico de la mezcla, $S_{mix} = 3,2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

Luego, la mezcla se clasifica como S1. (Mezcla densa y rígida)

9. CLASIFICACION DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFALTICA, S



9. CLASIFICACION DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFALTICA, S1-50 o S1-100

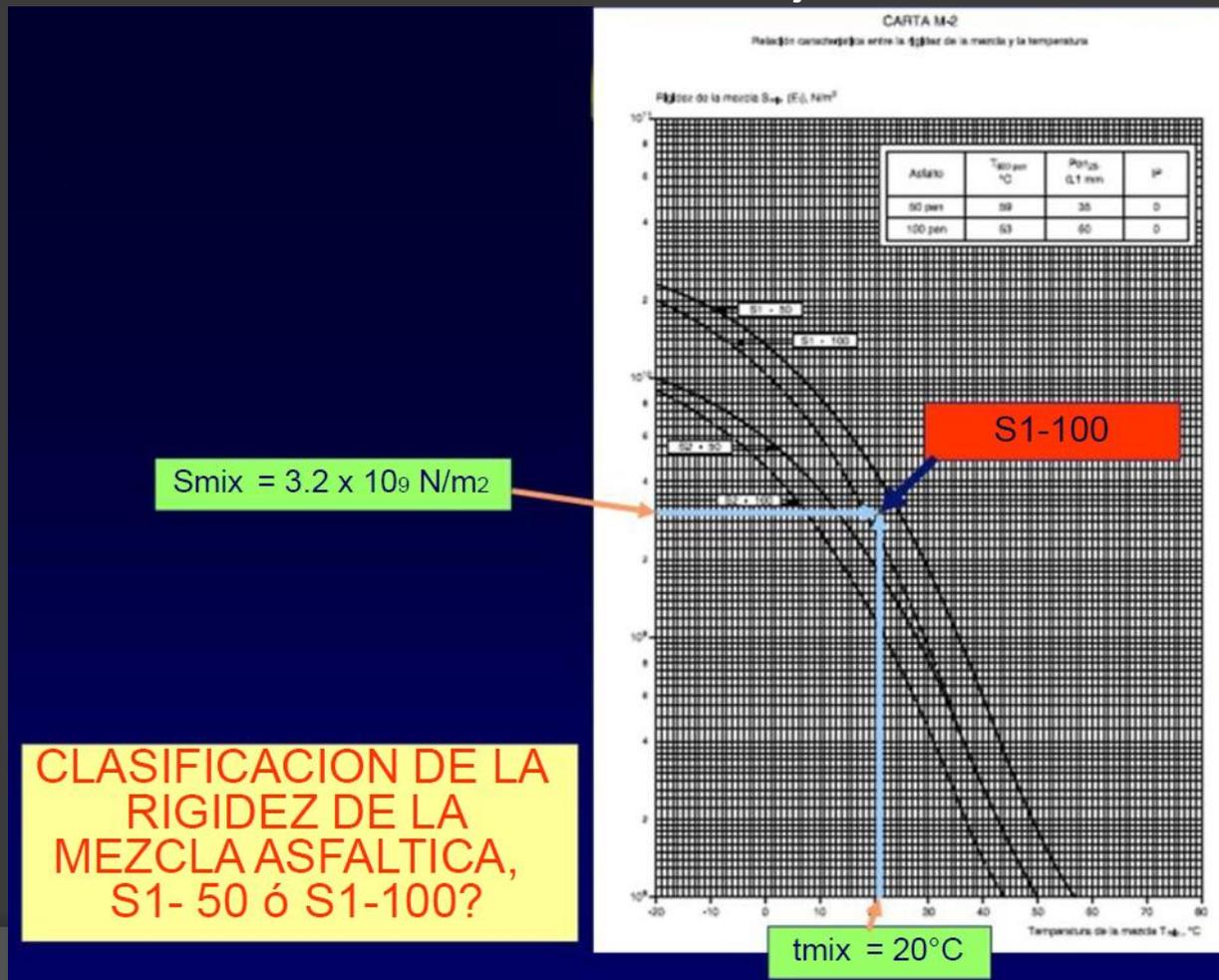
Con los datos de temperatura de la mezcla t_{mix} °C y el módulo de la mezcla S_{mix} N/m², se entra a la carta M-2 y se determina el punto de intersección. Se escoge el código de la curva más próximo al punto de intersección, teniendo en cuenta el paso anterior si la mezcla es tipo S1 ó S2.

Para ilustrar lo anterior, entramos a la carta M-2 con:

- Temperatura de la mezcla, $T_{mix} = 20^{\circ}\text{C}$
- Módulo dinámico de la mezcla, $S_{mix} = 3,2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
- Luego, la mezcla se clasifica como S1 - 100 (Mezcla densa y rígida)

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

9. CLASIFICACION DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA ASFALTICA, S



10. CALCULO DE LA FATIGA DE LA MEZCLA

Para determinar la fatiga de la mezcla asfáltica se debe determinar la deformación admisible de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (ϵ_{fat}).

Para esto se emplea el Nomograma Nfat de la Shell, en el cual se requieren como parámetros:

- Para determinar la fatiga de la mezcla asfáltica se debe determinar la deformación admisible de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (ϵ_{fat}).
- Para esto se emplea el Nomograma Nfat de la Shell, en el cual se requieren como parámetros:

Deformación horizontal de la capa asfáltica, $\epsilon_r = 2 \times 10^{-4}$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

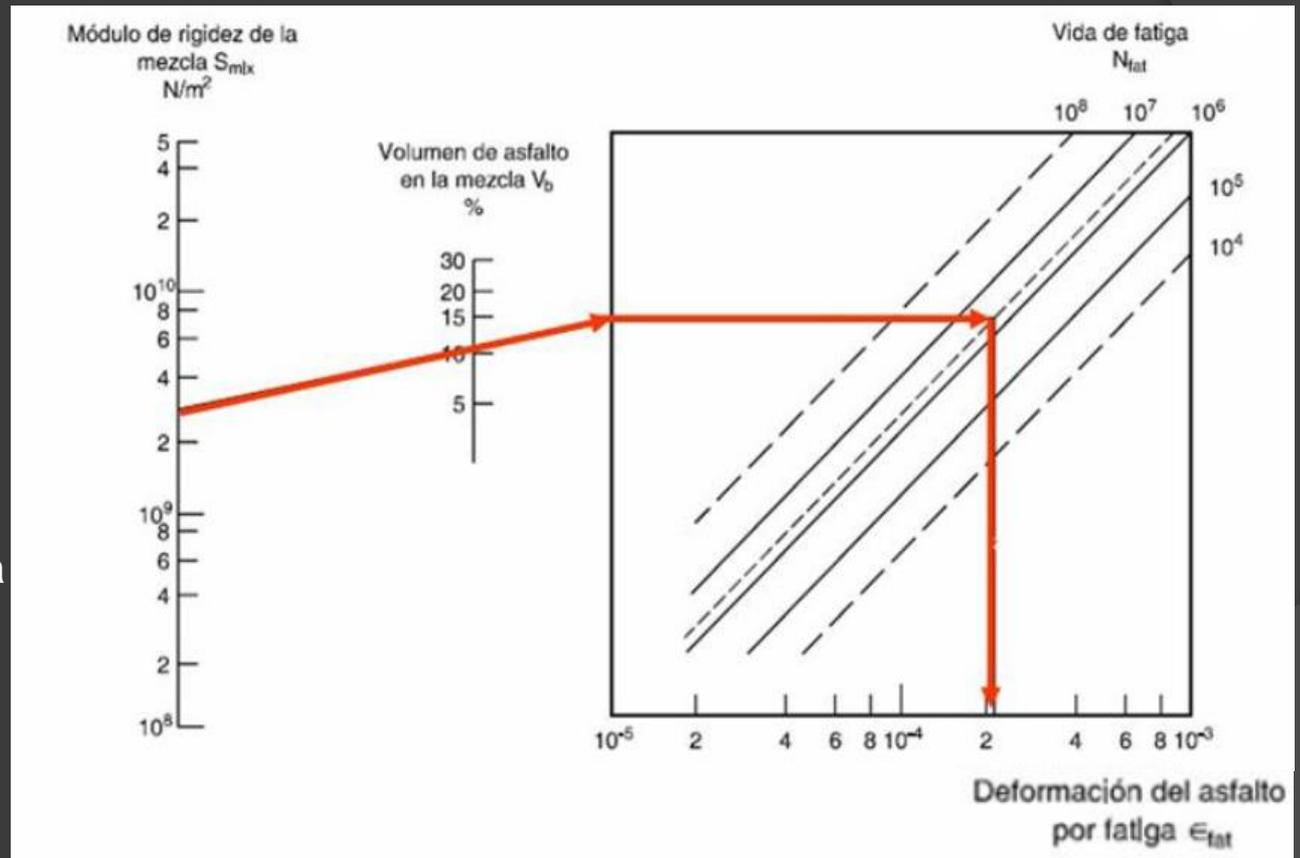
10. CALCULO DE LA FATIGA DE LA MEZCLA

Volumen de asfalto de la mezcla, $V_b = 10,8\%$

Módulo dinámico de la mezcla, $S_{mix} = 3,2 \times 10^9$ N/m²

Tránsito de diseño, $N_{fat} = 3.0 \times 10^6$ Ejes de 8,2 ton

Deformación horizontal de la capa asfáltica, $\epsilon_r = 2 \times 10^{-4}$



11. CLASIFICACION DE LA FATIGA DE LA MEZCLA F1 o F2

Con los datos de deformación de la mezcla, ϵ_r y el módulo de la mezcla S_{mix} N/m², se entra a las cartas M-3 y M-4, se compara el punto de intersección con la curva de Nfat. (tránsito de fatiga) y el punto que esté más próximo a la línea Nfat, se toma el código de la carta correspondiente, ya sea F1 o F2. Al final de este proceso se tiene la calificación de la mezcla.

Para ilustrar lo anterior, se presenta el siguiente ejemplo:

Deformación horizontal de la capa asfáltica, $\epsilon_r = 2 \times 10^{-4}$ Módulo dinámico de la mezcla, $S_{mix} = 3,2 \times 10^9$ N/m² Tránsito de diseño, Nfat = $3,0 \times 10^6$ Ejes de 8,2 toneladas

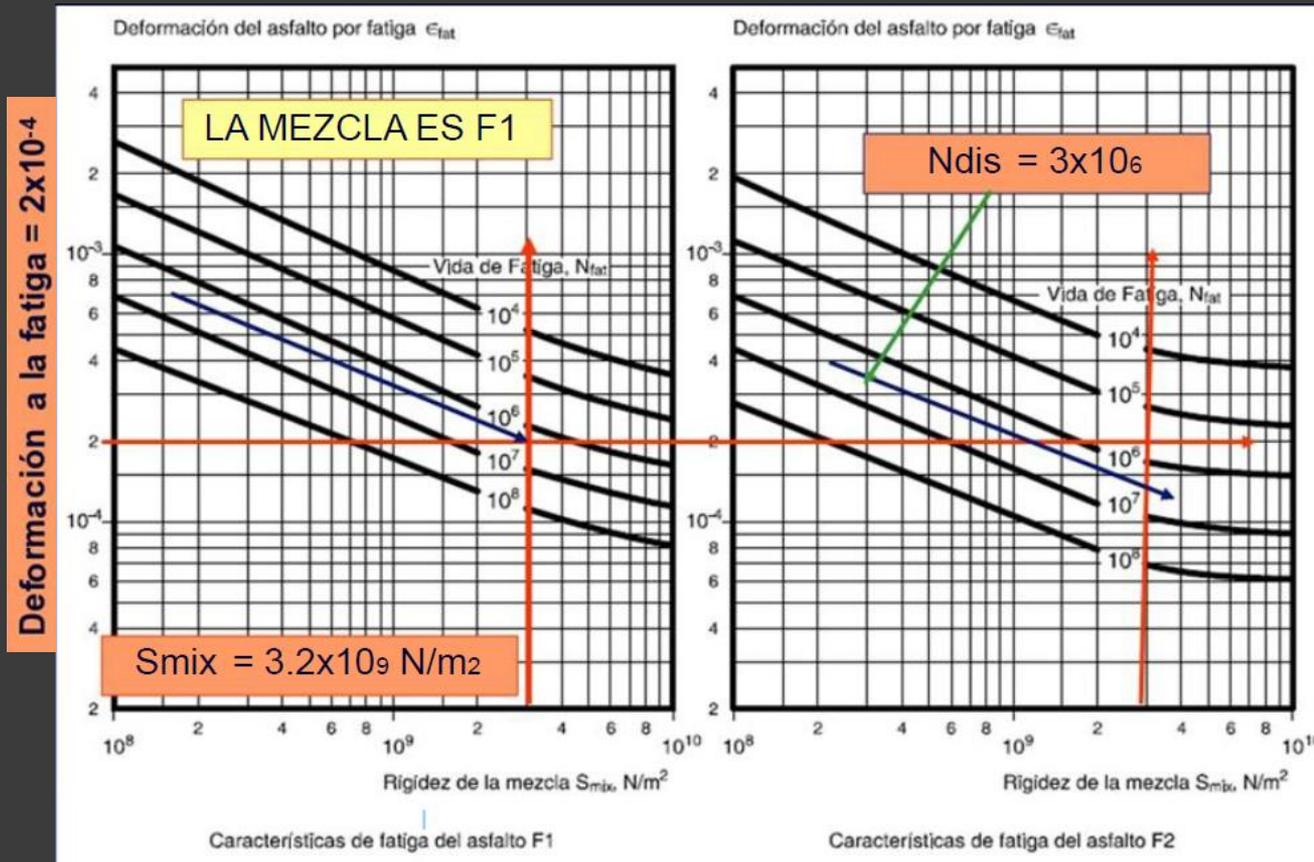
Luego, el código de la carta es F1.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

11. CLASIFICACION DE LA FATIGA DE LA MEZCLA F1 o F2

Carta M-3 y Carta M-4. Características de fatiga del asfalto



Por lo tanto, el código de la mezcla a utilizar es S1-F1-100, o sea una mezcla densa con gran vida de fatiga.

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

12. SELECCIÓN DE LA CARTA DE DISEÑO

DISEÑO DE PAVIMENTOS POR EL METODO SHELL

INDICE DE LAS CARTAS HN

Mr N/m ²	TMAP °C	Código de la Mezcla Asfáltica							
		Penetración = 50 1/10 mm				Penetración = 100 1/10 mm			
		S ₁ -F ₁ -50	S ₁ -F ₂ -50	S ₂ -F ₁ -50	S ₂ -F ₂ -50	S ₁ -F ₁ -100	S ₁ -F ₂ -100	S ₂ -F ₁ -100	S ₂ -F ₂ -50
2.5 * 10 ⁷	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	12	9	10	11	12	13	14	15	16
	20	17	18	19	20	21	22	23	24
	28	25	26	27	28	29	30	31	32
5 * 10 ⁷	4	33	34	35	36	37	38	39	40
	12	41	42	43	44	45	46	47	48
	20	49	50	51	52	53	54	55	56
	28	57	58	59	60	61	62	63	64
1 * 10 ⁸	4	65	66	67	68	69	70	71	72
	12	73	74	75	76	77	78	79	80
	20	81	82	83	84	85	86	87	88
	28	89	90	91	92	93	94	95	96
2 * 10 ⁸	4	97	98	99	100	101	102	103	104
	12	105	106	107	108	109	110	111	112
	20	113	114	115	116	117	118	119	120
	28	121	122	123	124	125	126	127	126

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

Para facilitar la aplicación del método por parte del diseñador, la Shell elaboró una serie de cartas de diseño, a partir de los resultados del programa BISAR, (software), considerando diferentes módulos de resistencia de la subrasante, tipos de mezclas asfálticas, temperatura media anual ponderada del aire y el número de repeticiones de carga por eje estándar de diseño durante la vida del pavimento.

Una vez se aplique el procedimiento establecido se obtienen las variables de salida que básicamente son el espesor de las capas asfálticas (h_1) y el espesor de las capas granulares (h_2).

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

SELECCIÓN DE LA CARTA DE DISEÑO

Con los datos del módulo de la subrasante en N/m^2 , el código de la mezcla S1-F1-100 y el tránsito de diseño N_{dis} , se selecciona la carta de diseño, con ayuda de la carta HN.

Para ilustrar lo anterior, se presenta el siguiente ejemplo:

Módulo resiliente de la subrasante = $6 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ Temperatura media anual ponderada = 13°C

Tránsito de diseño, $N_{dis} = 3,0 \times 10^6$ Ejes de 8,2 toneladas / carril de diseño
Código de la mezcla de diseño S1-F1-100

Carta de diseño: HN-45 (Es la que más se aproxima en referencia a la TMDA y al módulo resiliente de la subrasante del diseño en cuestión).

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

SELECCIÓN DE LA CARTA DE DISEÑO

DISEÑO DE PAVIMENTOS POR EL METODO SHELL

INDICE DE LAS CARTAS HN

Mr N/m ²	TMAP °C	Código de la Mezcla Asfáltica							
		Penetración = 50 1/10 mm				Penetración = 100 1/10 mm			
		S ₁ -F ₁ -50	S ₁ -F ₂ -50	S ₂ -F ₁ -50	S ₂ -F ₂ -50	S ₁ -F ₁ -100	S ₁ -F ₂ -100	S ₂ -F ₁ -100	S ₂ -F ₂ -50
2.5 * 10 ⁷	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	12	9	10	11	12	13	14	15	16
	20	17	18	19	20	21	22	23	24
	28	25	26	27	28	29	30	31	32
5 * 10 ⁷	4	33	34	35	36	37	38	39	40
	12	41	42	43	44	45	46	47	48
	20	49	50	51	52	53	54	55	56
	28	57	58	59	60	61	62	63	64
1 * 10 ⁸	4	65	66	67	68	69	70	71	72
	12	73	74	75	76	77	78	79	80
	20	81	82	83	84	85	86	87	88
	28	89	90	91	92	93	94	95	96
2 * 10 ⁸	4	97	98	99	100	101	102	103	104
	12	105	106	107	108	109	110	111	112
	20	113	114	115	116	117	118	119	120
	28	121	122	123	124	125	126	127	126

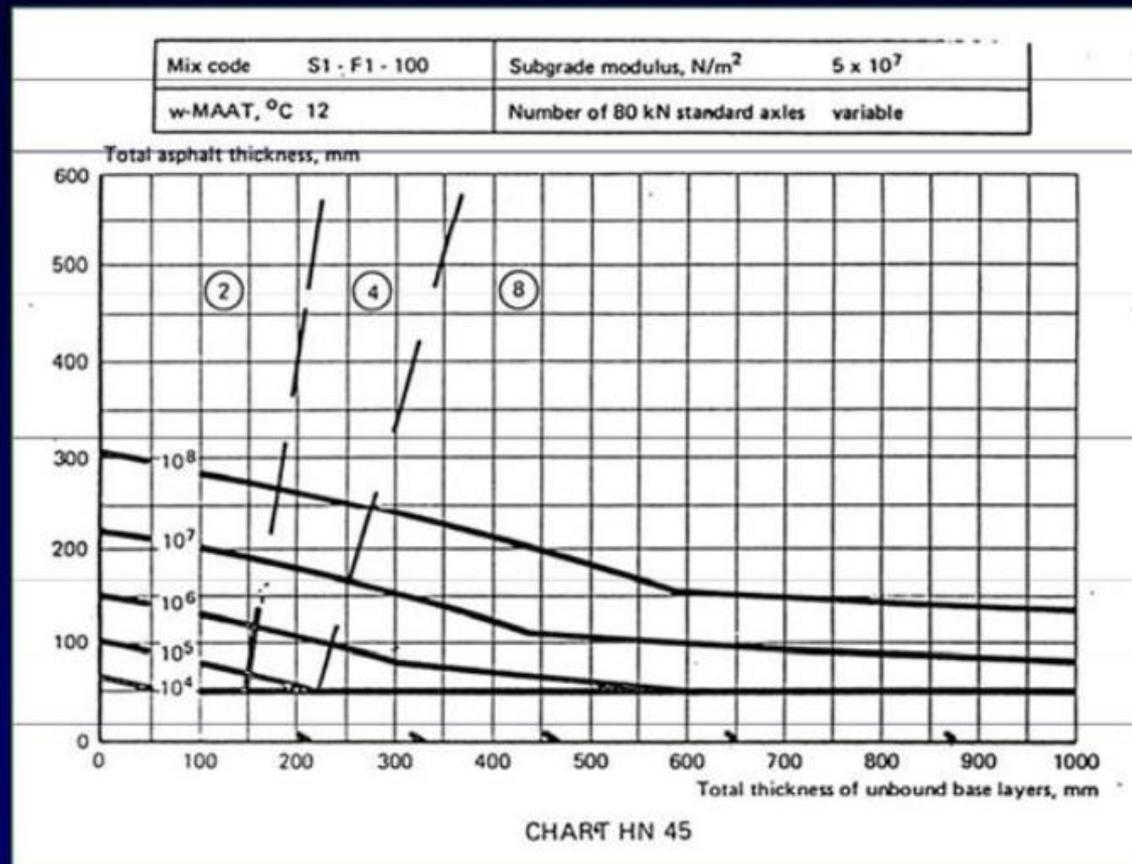
CARTA NH 45

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

Cartas de diseño estructural HN

- Son las cartas de diseño básico, las cuales permiten determinar en la abscisa el espesor necesarios de las capas granulares (h2) y en las ordenadas el espesor de las capas asfálticas (h1).
- El paquete de cartas de diseño HN de la Shell es de 128 cartas.
- La carta de diseño se selecciona mediante los valores considerados de clima, módulos de elasticidad de la subrasante, código de la mezcla y tránsito esperado.



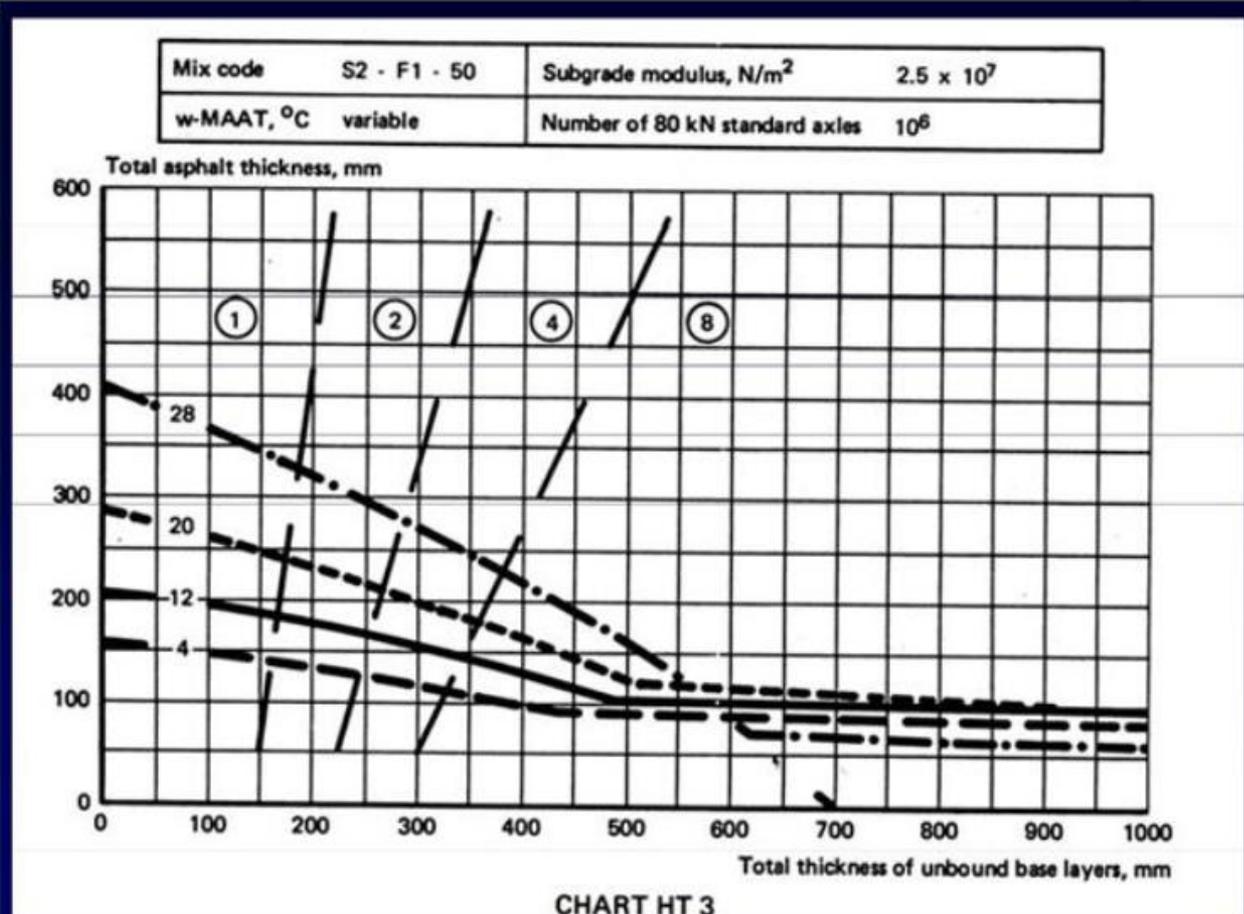
DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

Cartas de diseño estructural HT.

Son 72 cartas en la cuales se suministra el espesor de las capas asfálticas (h1) y capas granulares (h2) en función de la temperatura, para un valor fijo del tránsito y para todas las combinaciones de tipos de mezclas y módulos de resistencia de la subrasante.

Son similares a las cartas HN pero, en las cuales la variable es la temperatura.



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

Cartas de diseño estructural TN.

Son 48 cartas en la cuales se suministra el espesor de las capas asfálticas (h_1) en función de la temperatura y el valor del tránsito N , manteniendo fijo el espesor de las capas granulares ($h_2 = 0,300$ mm) y para todas las combinaciones de tipos de mezclas y módulos de resistencia de la subrasante.

Mix code	S1 - F2 - 50	Subgrade modulus, N/m^2	2.5×10^7
Unbound layers h_2 , mm	0	Number of 80 kN standard axes	variable

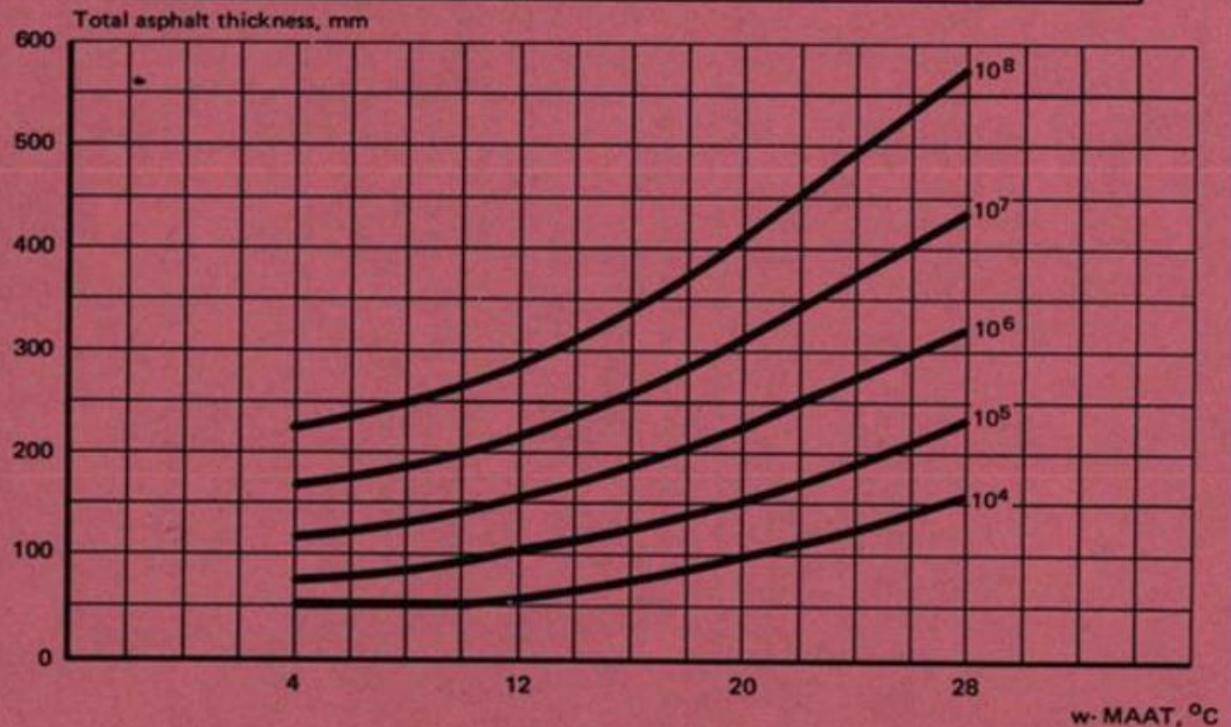


CHART TN 2

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

DETERMINACION DE ESPESORES

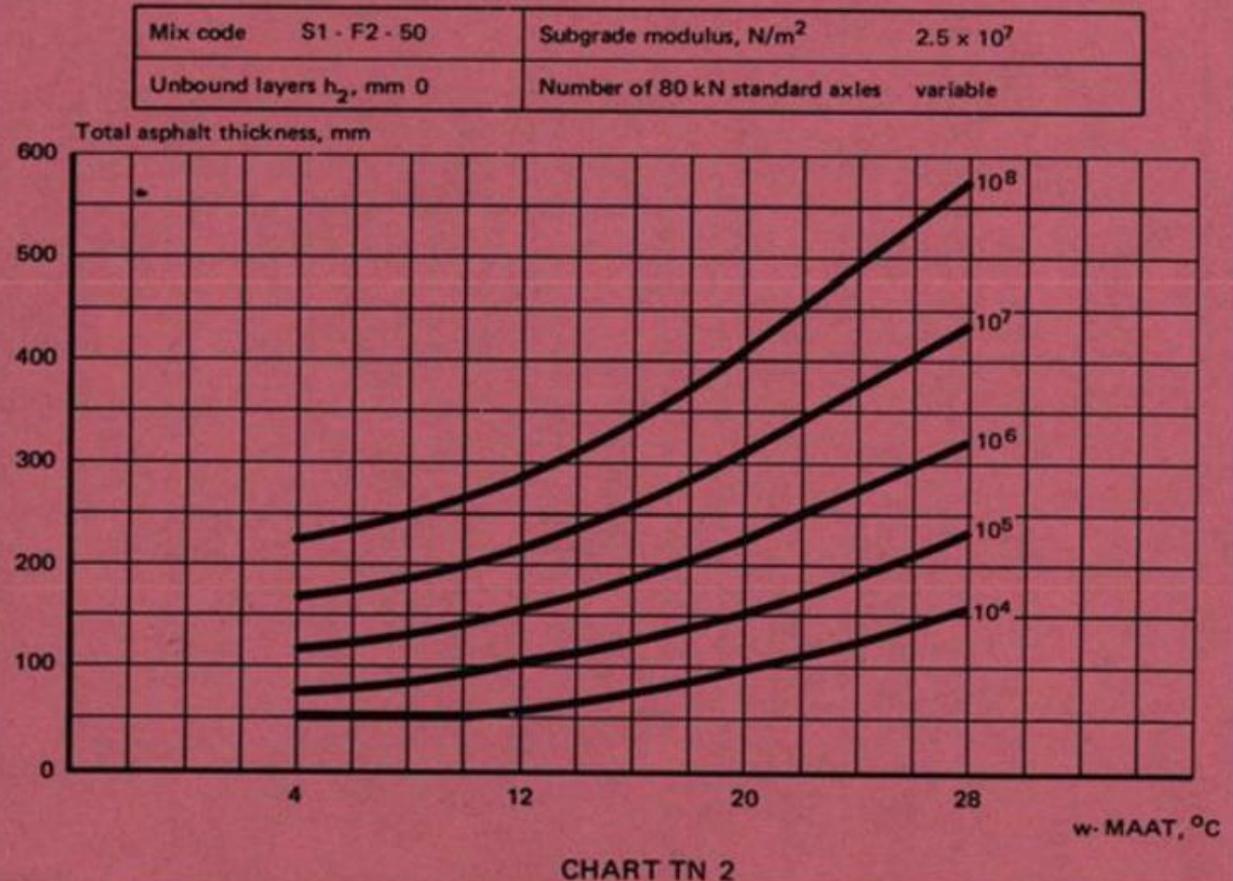
- En la carta de diseño seleccionada HN-45 se interpola la curva de Ndis.
- La curva presenta dos secciones : La sección circular representa la deformación de la subrasante y la sección recta la deformación de las capas asfálticas.
- La carta de diseño presenta la relación entre el espesor total de capas asfálticas (h_1) y el espesor total de capas granulares (h_2).
- De la curva interpolada Ndis se determina el punto de quiebre, donde la curva pasa de circular a tangente, este punto de quiebre se lleva a las abscisas y se determina el espesor total de capas granulares h_2 y el punto de quiebre se proyecta a las ordenadas y se determina el espesor total de la capa asfáltica, h_1 .

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

13. DISEÑO ESTRUCTURAL

Cartas de diseño estructural TN.

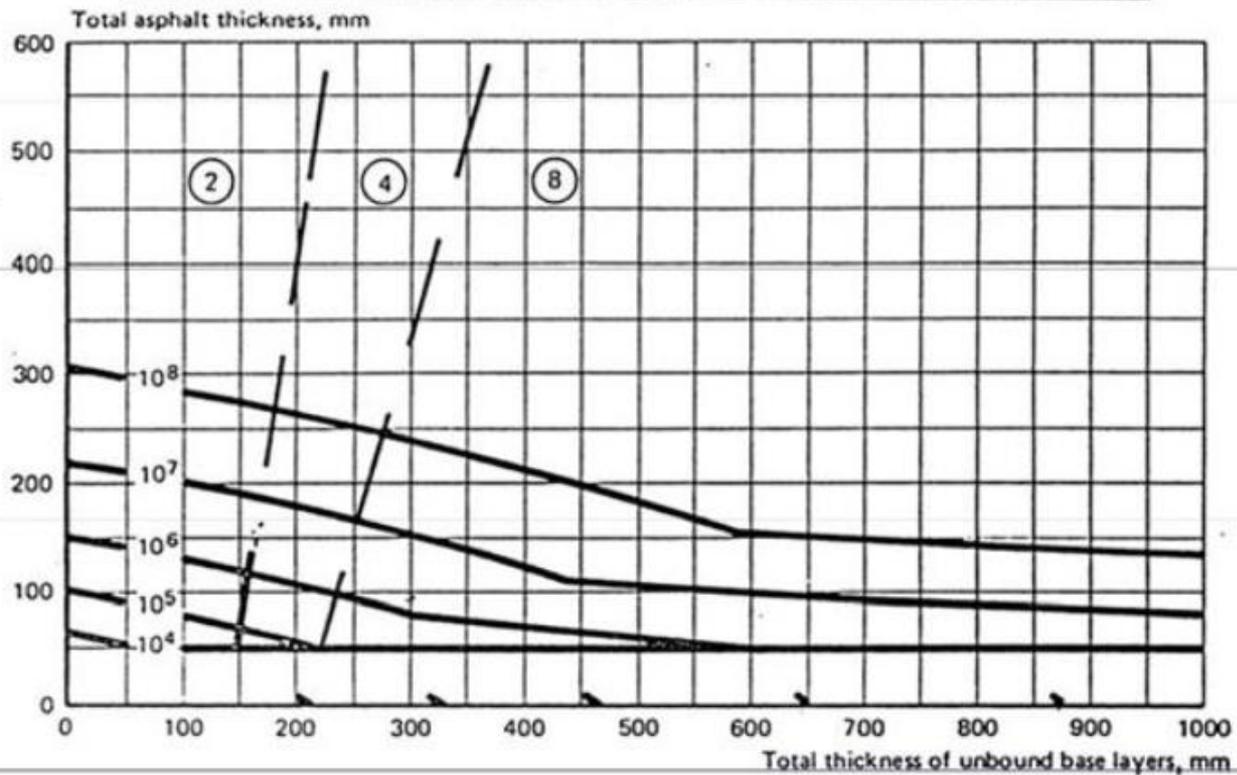
Son 48 cartas en la cuales se suministra el espesor de las capas asfálticas (h_1) en función de la temperatura y el valor del tránsito N , manteniendo fijo el espesor de las capas granulares ($h_2 = 0,300$ mm) y para todas las combinaciones de tipos de mezclas y módulos de resistencia de la subrasante.



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MÉTODO SHELL 78

Cartas de diseño estructural HN - 45

Mix code	S1 - F1 - 100	Subgrade modulus, N/m^2	5×10^7
w-MAAT, °C	12	Number of 80 kN standard axles	variable



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

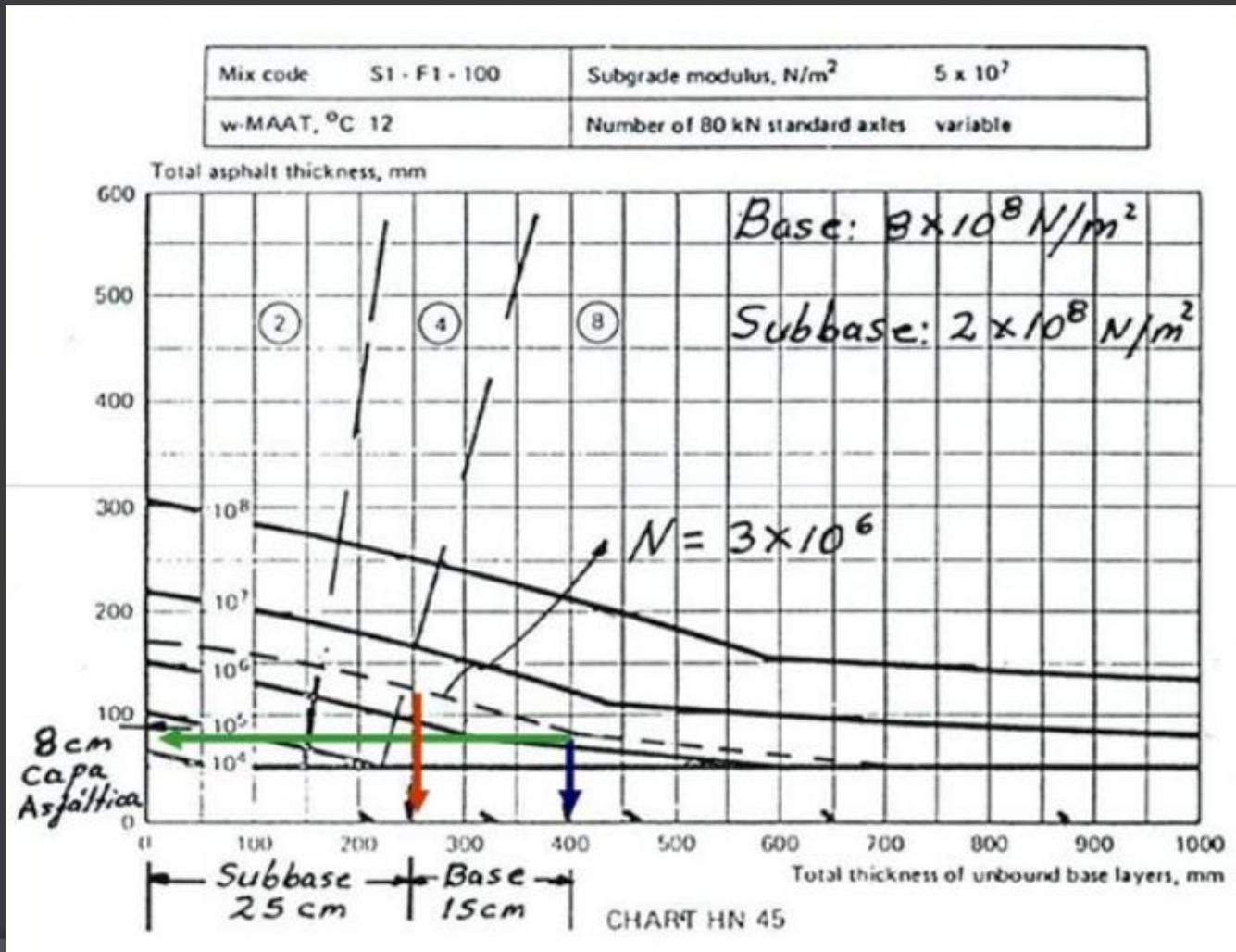
Cartas de diseño estructural HN - 45

- El espesor h_2 se puede descomponer en capas dependiendo del valor del módulo del material, el cual aparece en un círculo en la carta de diseño correspondiente, con los números 2, 4 y 8 que corresponde al módulo del material granular en 10^8 N/m^2 .
- El espesor de las capas granulares se determina proyectando en las abscisas el punto de intersección de la curva de N_{dis} con las rectas que aparecen en la carta de diseño, de manera que h_2 se puede descomponer en h_{sb} de la sub-base y en h_b de base y $h_2 = h_{sb} + h_b$

DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

Determinación de espesores



DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

MÉTODO SHELL 78

Determinación de espesores

Para ilustrar lo anterior se presenta los espesores de la estructura de pavimento:

- Carta de diseño = HN-45
- Tránsito de diseño, $N_{dis} = 3,0 \times 10^6$
- Módulo resiliente de la subrasante: $5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ TPMA = 12°C

MODELO ESTRUCTURAL

Capa asfáltica	$S_{mix} = 3.2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$	8.0 cm.
Base granular	$S_b = 8.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	15.0 cm.
Sub-base granular	$S_{sb} = 2.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$	25.0cm.
Subrasante	$M_r = 6.0 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	

MUCHAS GRACIAS