

DISEÑO ESTRUCTURAL



PAVIMENTOS ASFALTICOS

CONTENIDO



- METODOS EMPIRICO MECANICISTA
- METODOS EMPIRICOS
- DISEÑO NUEVO VOL 3
- AASHTO 2002

METODOS DE DISEÑO



- EMPIRICOS MECANICISTAS
 - SHELL
 - THE ASPHALT INSTITUTE
 - DESARROLLOS LOCALES
- EMPIRICOS
 - AASHTO

Método Empírico - Mecanicista

Por que usar MEM?



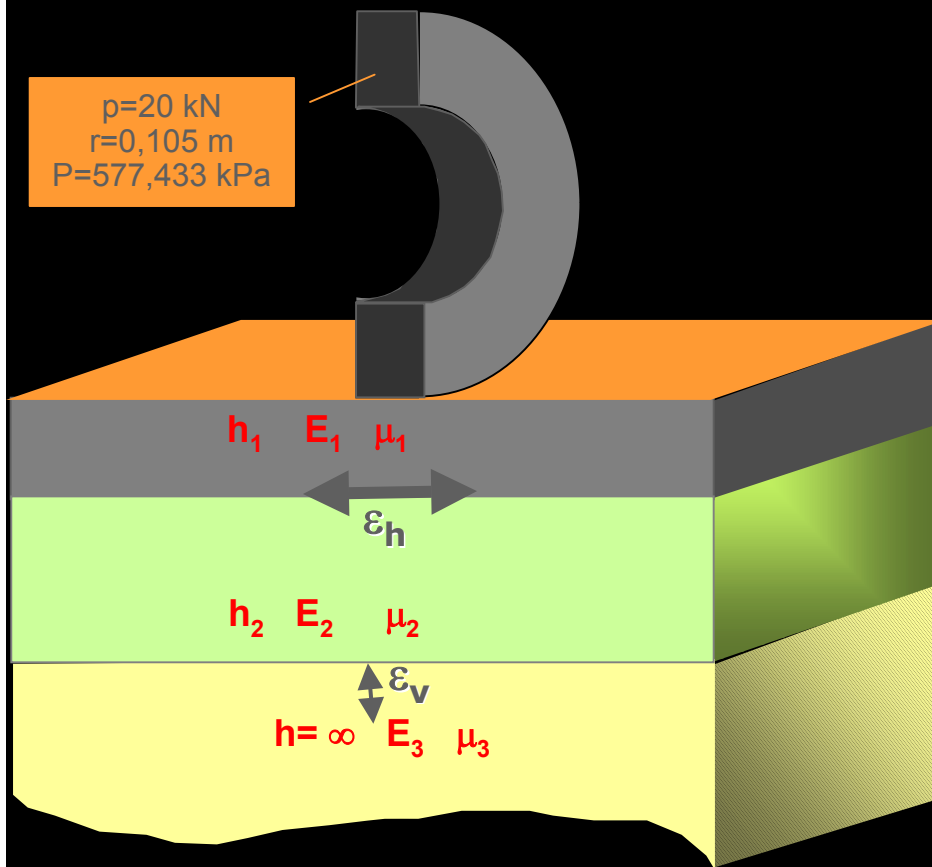
- Clara conceptualización del diseño
- Aplicable a condiciones de carga particulares
- Aplicable a distintos tipos de mezclas

Método Empírico Mecanicista

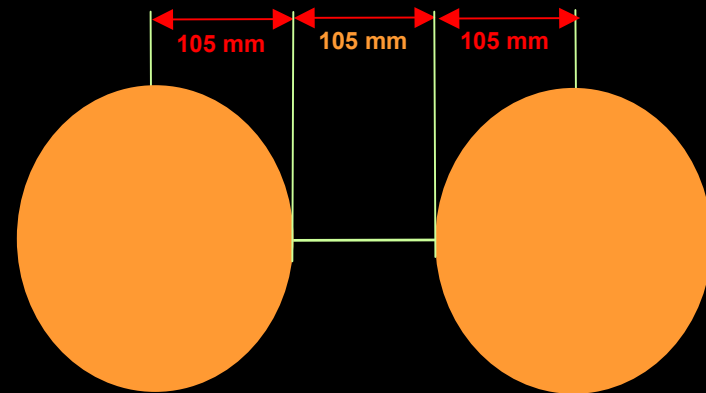


- Mecánica:
 - Al aplicar carga, determina tensiones, deformaciones o deflexiones (Respuesta)
- Empírica
 - Relaciona la respuesta con el comportamiento a través de Leyes de Fatiga o Funciones de Transferencia

Modelación Estructural



Eje Simple Rueda Dual



Caracterización Materiales: Módulos

- Suelo de Fundación

$$M_R = k_1 \sigma_d^{k_2}$$

- Capas No ligadas

$$M_R = k_1 \theta^{k_2}$$

- Mezcla

$$S_{mix} = \frac{\sigma}{\varepsilon}(t, T)$$

t = tiempo de carga

T = temperatura

Objetivo Diseño



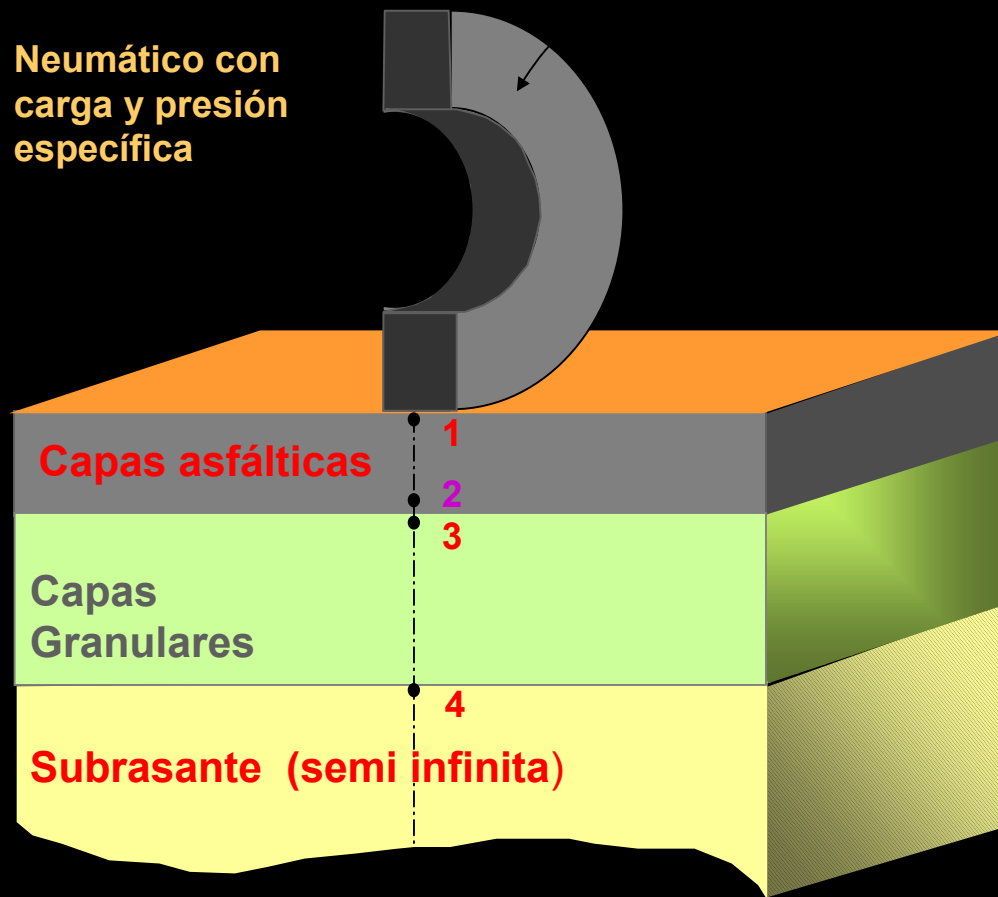
- Reducir tensiones, deformaciones y deflexiones críticas a niveles aceptables

Respuestas críticas



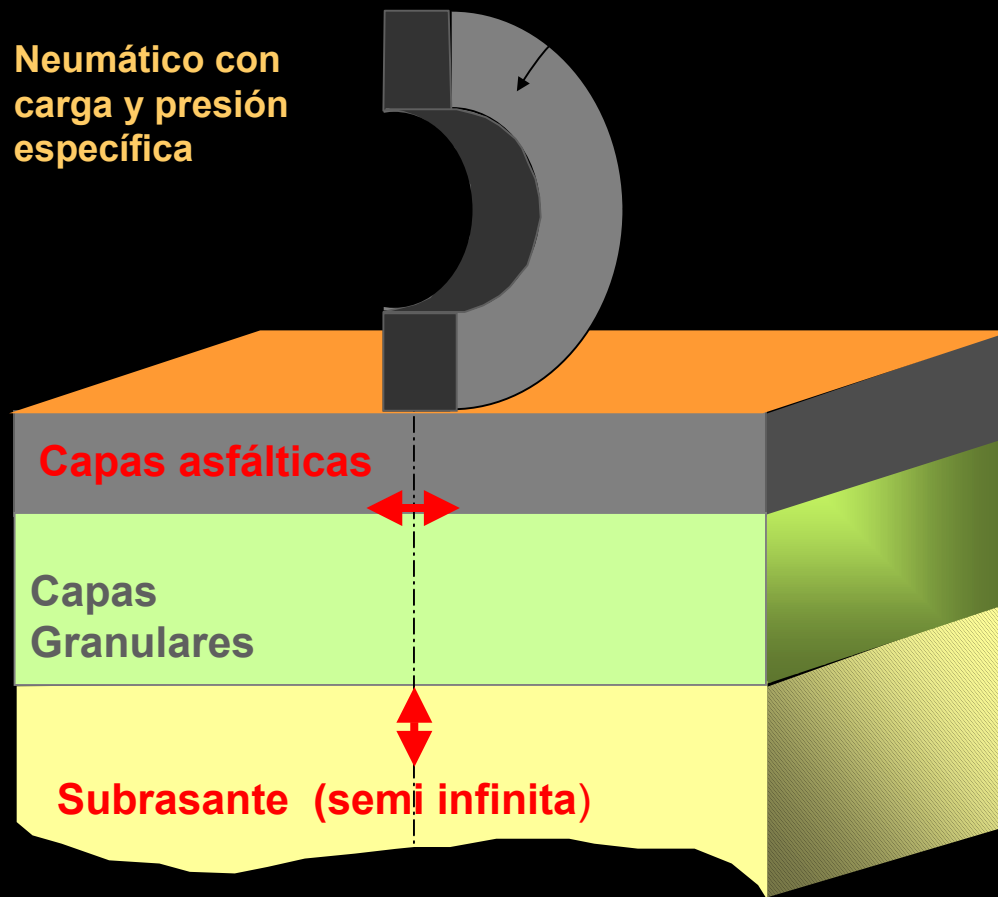
- Aquellas que ocasionan daño estructural
- Se presentan en más de una ubicación en un sistema multicapa

Respuestas



1. Deflexión superficial
2. Deformación unitaria por tracción mezcla
3. Deformación unitaria por compresión granulares
4. Deformación unitaria por compresión subrasante

Criterios de Diseño Típicos



- Agrietamiento Fatiga Mezcla
- Deformación por tracción en mezcla
- Ahuellamiento
- Compresión en subrasante

Existen Otros Criterios?



- ¡¡ Si !!

- Ej: Grietas superiores

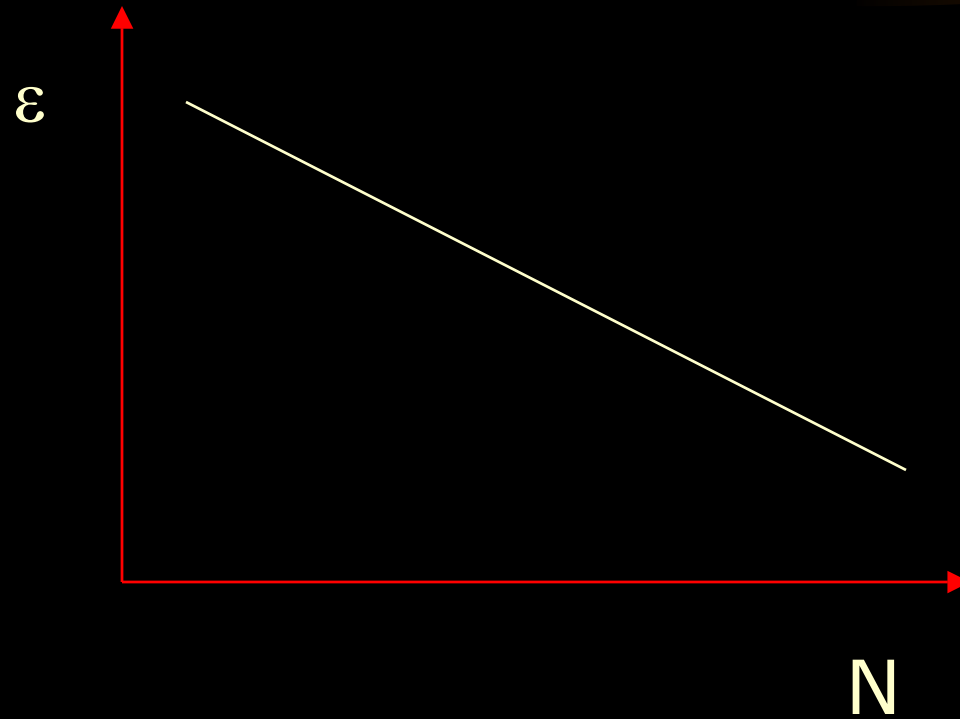
- Condiciones térmicas
- Envejecimiento mezcla
- Presiones desuniformes

Criterios típicos



- Grietas de Fatiga:
 - Tracción en fibra inferior mezcla
- Ahuellamiento
 - Compresión en la parte superior de la subrasante

Leyes de Fatiga



Leyes de Fatiga

- Mezcla asfáltica
 - k, a, b : factores experimentales

$$N = k \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^a \left(\frac{1}{S_{mix}} \right)^b$$

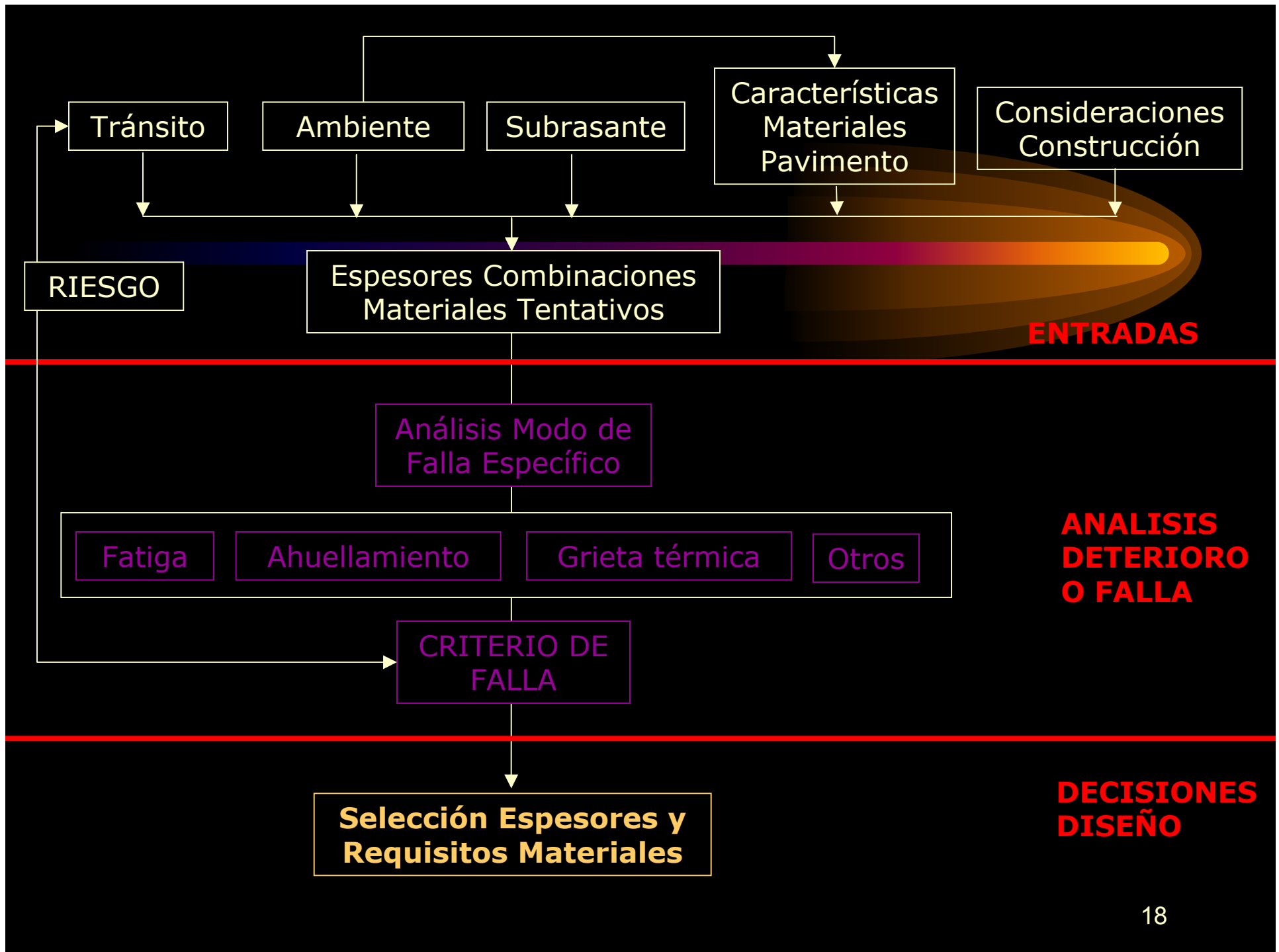
- Suelo

$$\varepsilon_v = A(N)^{-b}$$

Leyes de Fatiga



- Mas conocidas
 - Shell
 - Asphalt Institute
- También empleadas
 - NRB
 - Sudafricanas

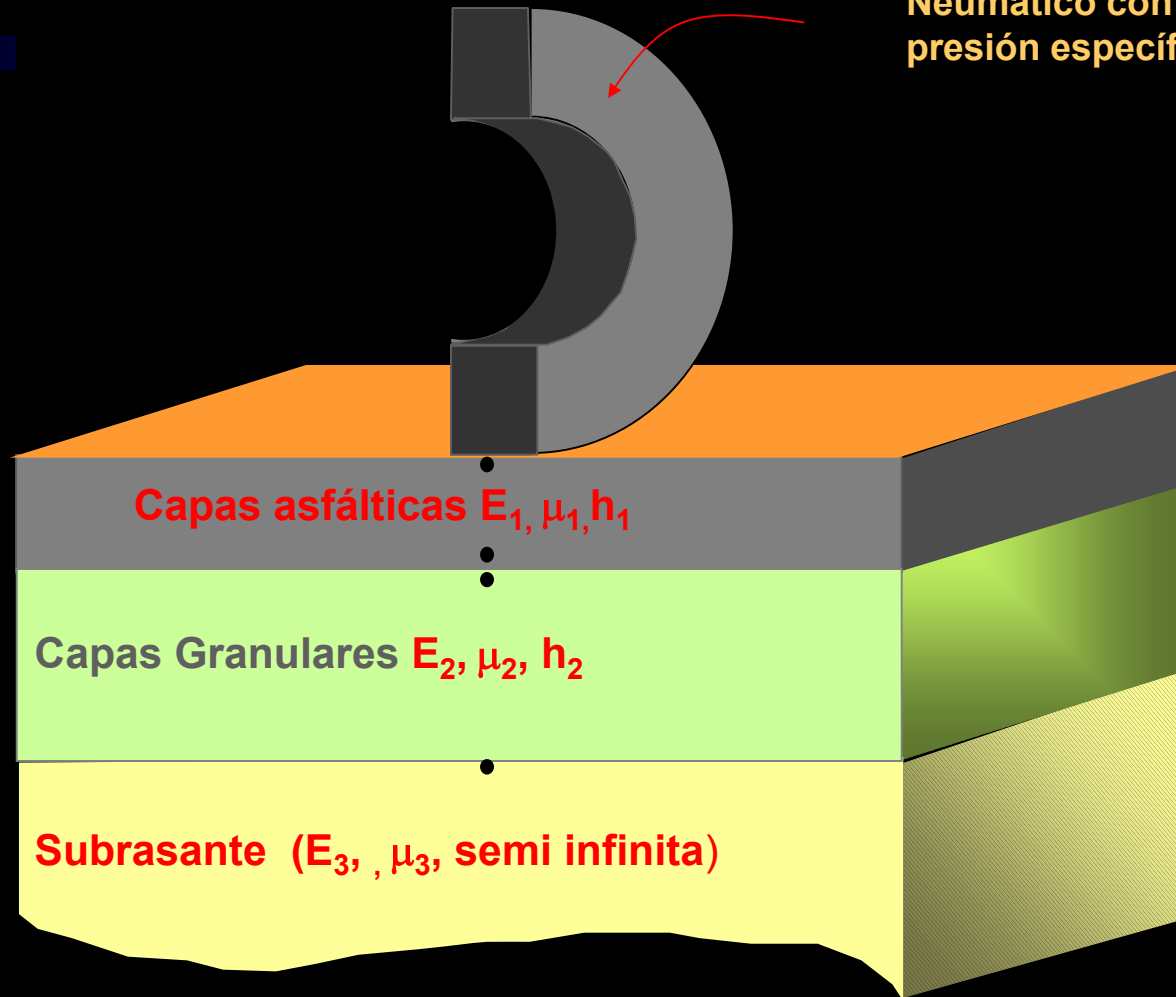


Pasos en Diseño

1. Recopilación datos Entrada
 - Tránsito
 - Ambientales
 - Caracterización materiales
 - Definir Sección Tentativa
2. Cálculo Tensiones y Deformaciones
3. Análisis Modo de Falla
 - Fatiga
 - Ahuellamiento
4. Decisión Respecto Sección Tentativa
 - Satisfactoria
 - Insatisfactoria

Paso 1: Sección Tentativa

Neumático con carga y presión específica



Paso 2: Cálculo Tensiones y Deformaciones



- Deformación unitaria horizontal mezcla asfáltica

$$\epsilon_h$$

- Deformación unitaria vertical suelo de subrasante

$$\epsilon_v$$

Paso 3:

- FATIGA MEZCLA
 - k, a, b : factores experimentales

$$N = k \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^a \left(\frac{1}{S_{mix}} \right)^b$$

- Ahuellamiento Suelo

$$\varepsilon_v = A(N)^{-b}$$

Paso 4: Decisión Sección Tentativa

$$EE_{\text{admisibles}} \geq EE_{\text{solicitantes}}$$



Ecuaciones Fatiga



Tránsito Esperado

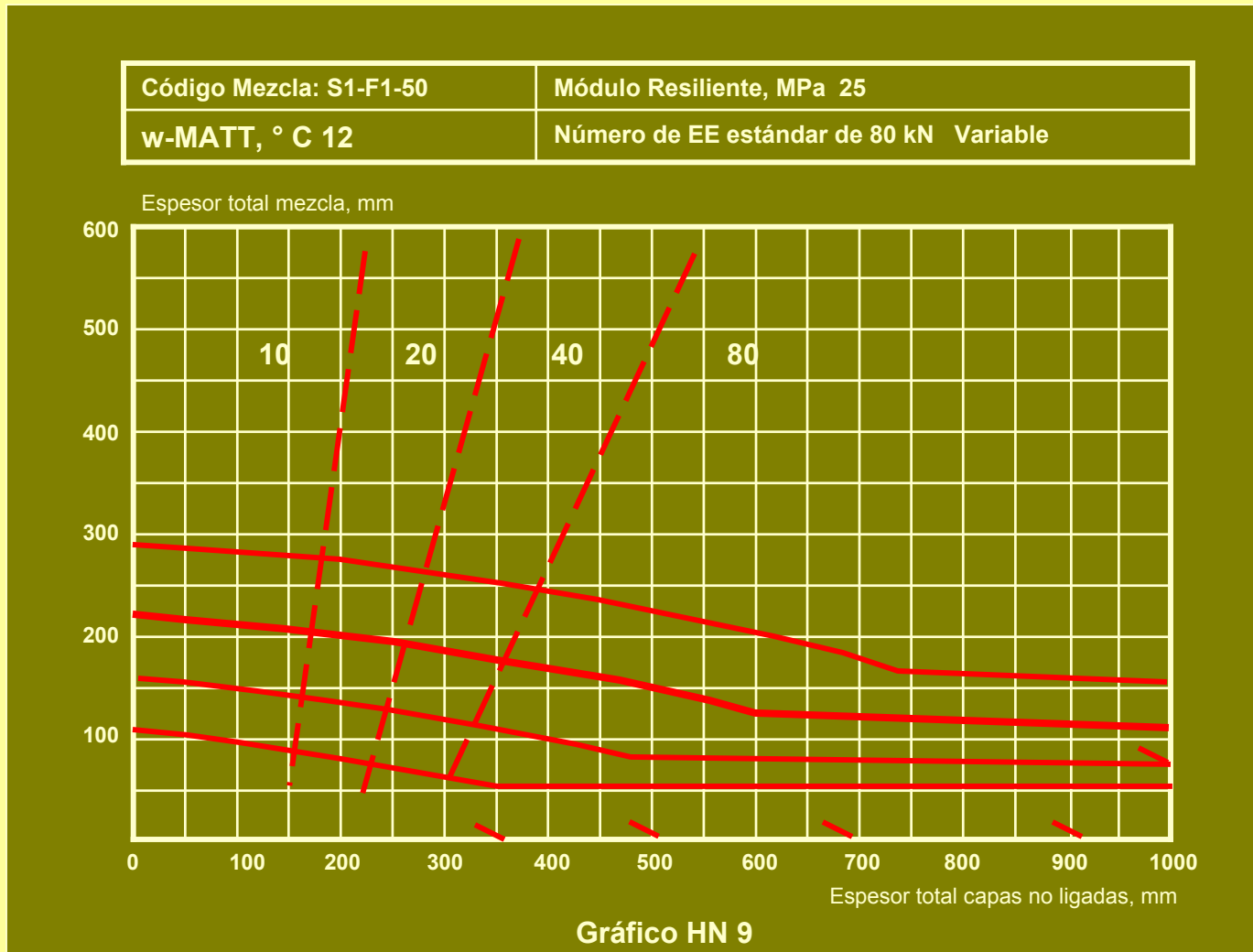
- Satisfactoria
 - FIN
- Insatisfactoria:
 - Repetir Análisis con sección y/o materiales diferentes

Diseño MEM en la práctica

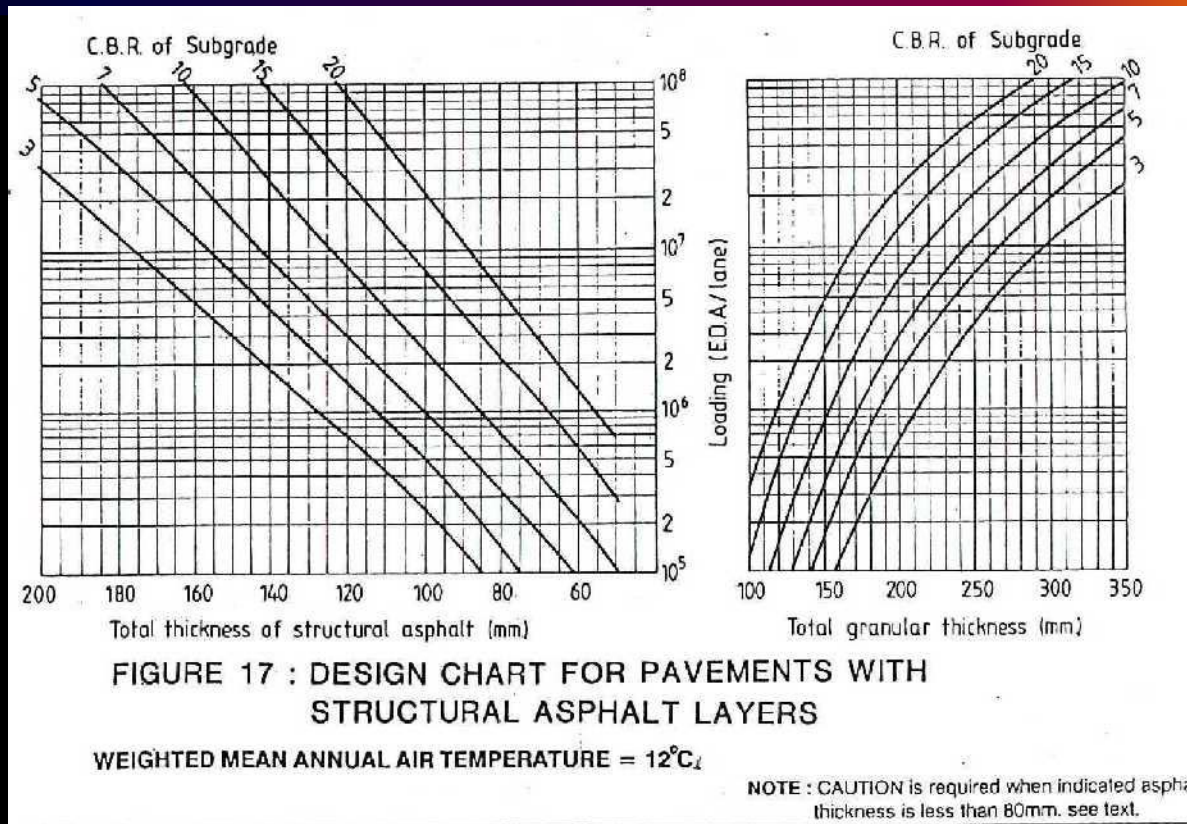


- Gráficos
- Programas computacionales

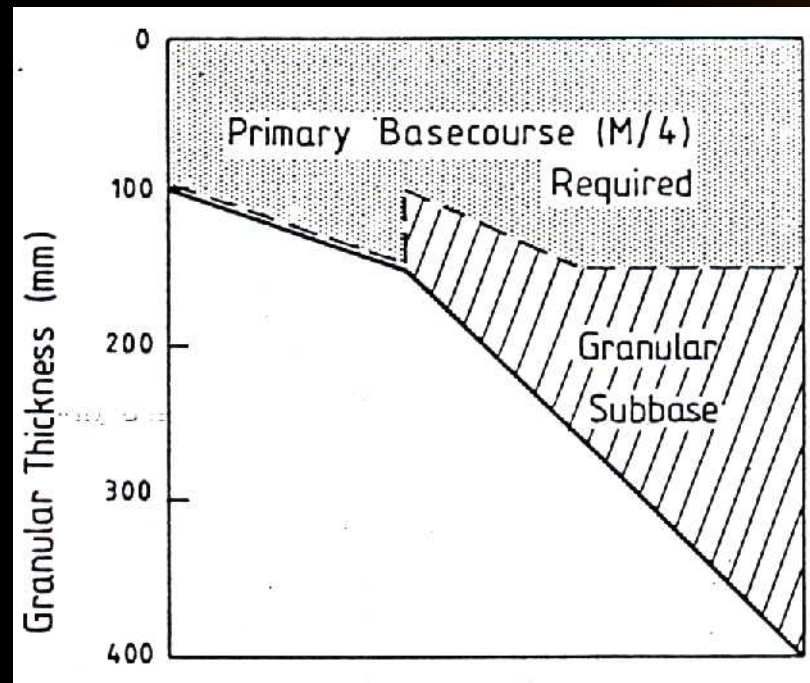
Curva Típica de Diseño



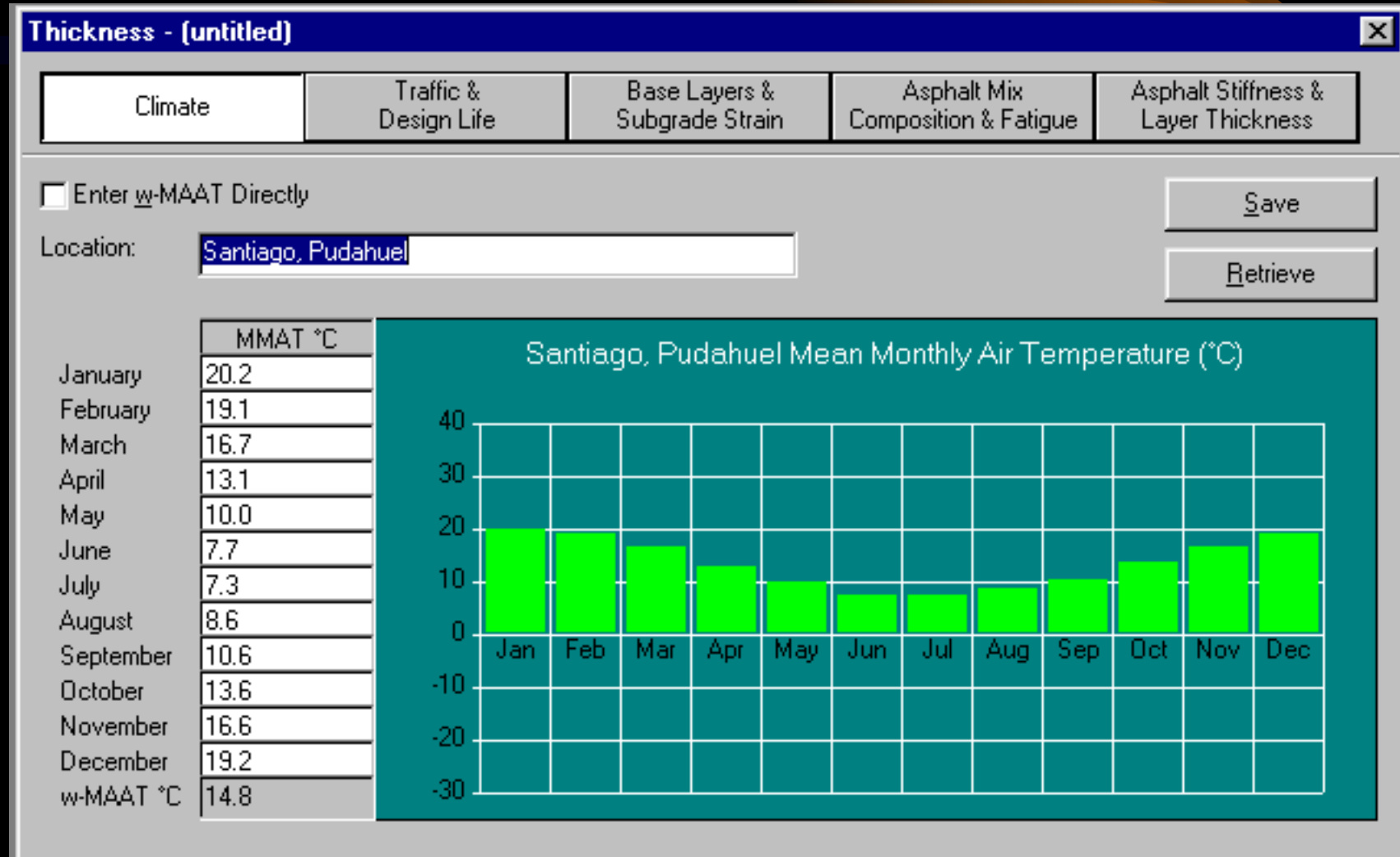
Curva de Diseño NRB



Curva NRB Base y Subbase



SPDM Clima



Módulos Subrasante y Capa Granular

Thickness - (untitled) [X]

Climate Traffic & Design Life **Base Layers & Subgrade Strain** Asphalt Mix Composition & Fatigue Asphalt Stiffness & Layer Thickness

Sub-base Modulus Options:

☐ Enter sub-base modulus

☒ Calculate at 50% confidence level

☐ Calculate at 85% confidence level

☐ Calculate at 95% confidence level

Description:

	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio
Sub-base:	0.20	173.61	0.35
Subgrade:	infinite	80.00	0.35

Permissible Subgrade Strain Criterion:

☐ Use specific criterion

☒ Default criterion at 50% confidence level

☐ Default criterion at 85% confidence level

☐ Default criterion at 95% confidence level

SPDM Mezcla

Thickness - Ejemplo Shell H9 [X]

Climate	Traffic & Design Life	Base Layers & Subgrade Strain	Asphalt Mix Composition & Fatigue	Asphalt Stiffness & Layer Thickness
---------	-----------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Asphalt Mix Calculation Options:

☒ Enter bitumen and voids content
☐ Enter aggregate and voids content
☐ Enter bitumen and aggregate content

[Save] [Retrieve]

Name of Asphalt Mix	Volume % of Bitumen	Volume % of Aggregate	Volume % of Voids
Intermedia	9.60	83.50	6.90

Asphalt Fatigue Options:

☐ Use own fatigue characteristics
☒ Use standard fatigue nomograph

SPDM Características Ligante

Thickness - Ejemplo Shell H9

Climate	Traffic & Design Life	Base Layers & Subgrade Strain	Asphalt Mix Composition & Fatigue	Asphalt Stiffness & Layer Thickness
---------	-----------------------	-------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Asphalt Layer Calculation Options:

☐ Enter mix stiffness
☐ Enter bitumen stiffness
☒ Enter routine bitumen properties

Thickness (m) (Initial/Calculated)	Poisson's Ratio	Mix Stiffness (MPa)
0.153	0.35	5101.96

Asphalt Layer Temperature (°C)	Loading Time (s) (required)	Bitumen Stiffness (MPa)
17.3	0.02	38.55

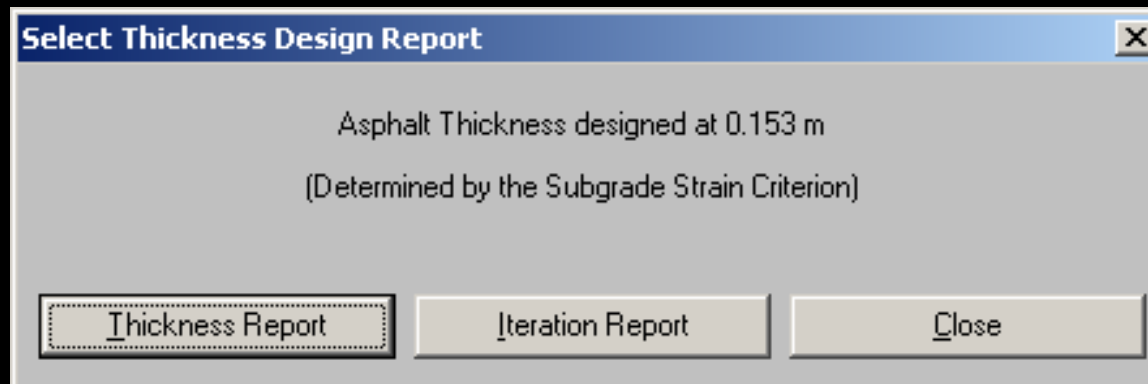
Routine Bitumen Properties Options:

☐ Enter Softening Point and PI
☒ Enter Softening Point and Pen Value
☐ Enter 2 x Pen Value
☐ Enter PI and Pen Value

Save
Retrieve

Bitumen Name	Softening Point (°C)	Pen Value (.1mm)	Pen Temp (°C)	Pen Index
CA 60/80	54.6	50.6	25.0	-0.1

SPDM Espesor mezcla



Herramientas de Cálculo



- Teoría elástica multicapas
 - Bisar
 - Everstress
 - ELSYM5
 - otros
- Elementos finitos
 - A nivel investigación

METODO AASHTO

Método AASHTO



- Método de Regresión (Ecuaciones de Regresión)
- Se basa en comportamiento Tramo de Prueba
- Tramo de Prueba se conoce como
 - **AASHTO ROAD TEST**
- Guía de Diseño 1993

Método AASHTO

- Desventajas Métodos de regresión
 - Las ecuaciones son aplicables al lugar
 - Para otras condiciones
 - Se deben hacer modificaciones de acuerdo a:
 - Teoría
 - Experiencia

AASHO Road Test

Objetivo



- Determinar relación entre Carga Aplicada y Comportamiento del Pavimento

AASHO Road Test



- Carga
 - Ejes de Carga de distintas magnitud y composición
- Pavimento
 - Flexible
 - Rígido

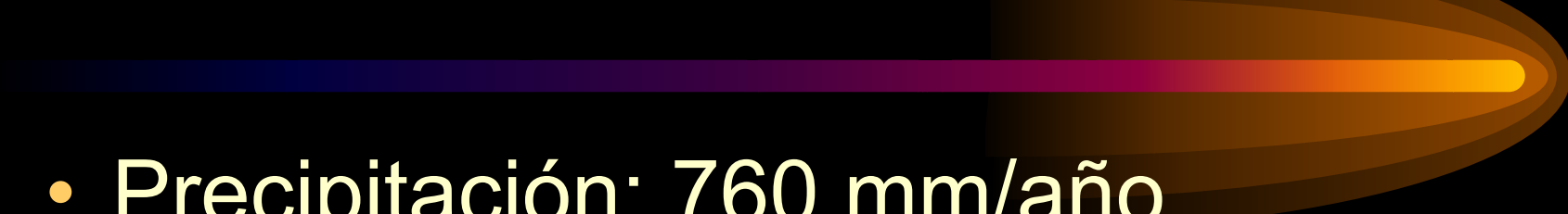
AASHO Road Test *Ubicación*



- Interestatal 80
- 130 km Chicago,
- Estado Illinois

AASHO Road Test

Condiciones climáticas



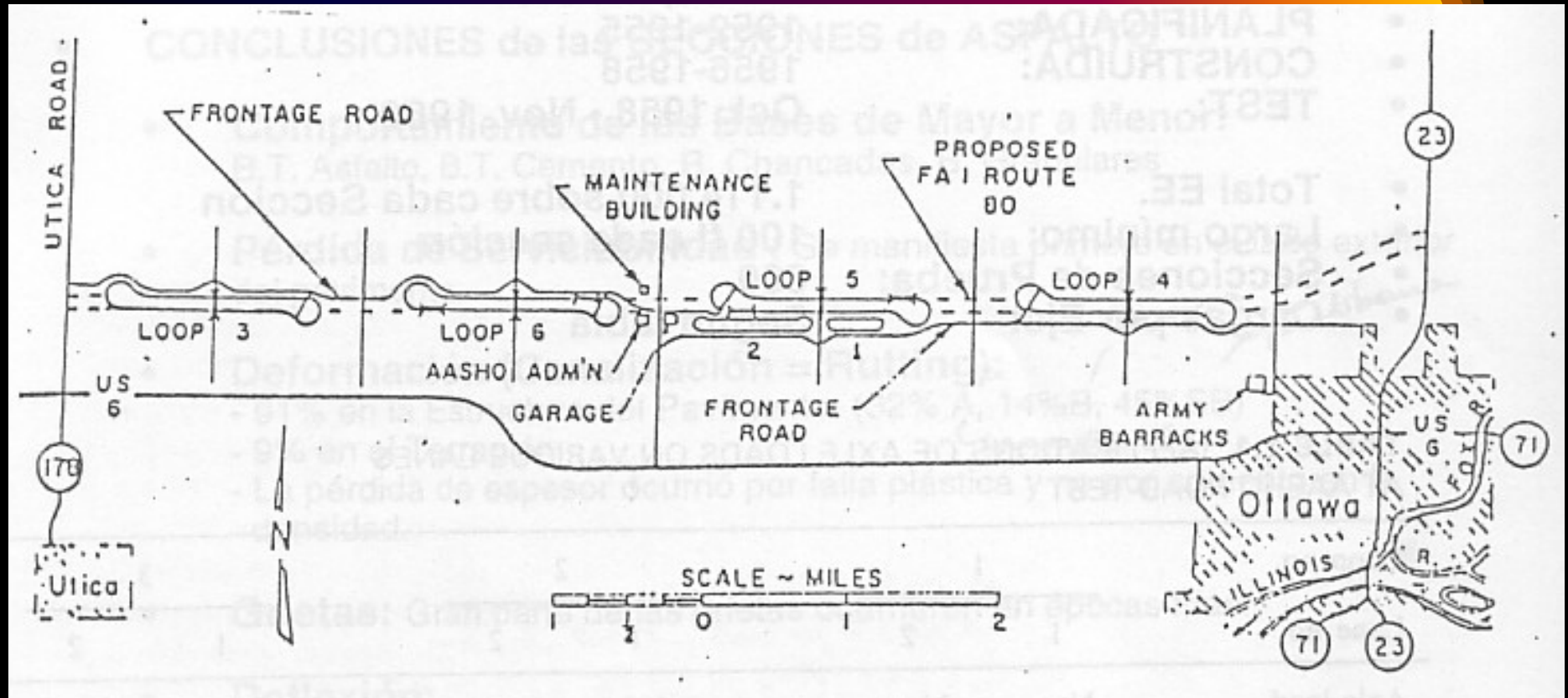
- Precipitación: 760 mm/año
- Penetración media heladas: 760 mm
- Promedio de ciclos hielo deshielo (Nivel subbase): 12

AASHO Road Test Circuitos

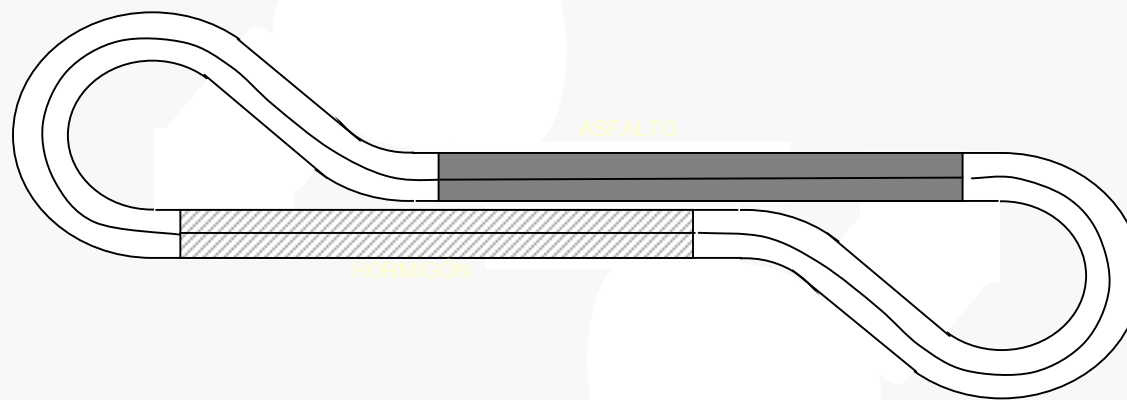


- La Prueba consistía:
 - 4 circuitos grandes (3 al 6)
 - 2 circuitos chicos (1 y 2)
- Circuitos eran un segmento de la I 80.
 - Carretera de cuatro carriles
 - Pista interna 1, Pista externa 2
 - Tangentes estaban conectadas con retornos en los extremos

AASHO Road Test Circuitos



AASHTO Loop 5



AASHO Road Test



- Longitudes de las tangentes
 - 2070 m (3 al 6)
 - 1340 m (2)
 - 610 m (1)
- En todos los circuitos las tangentes:
 - Norte: Mezclas asfálticas
 - Sur: Hormigón

AASHO Road Test



- Cada tangente estaba construida por una sucesión de secciones estructurales
- La longitud minima de sección
 - Circuitos 2 a 6: 30 m
 - Circuito 1 : 5 m
 - Mayoría de las secciones 50 m

AASHO Road Test

Cargas Aplicadas

Circuito	1		2		3		4		5		6	
Pista	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Carga Kip	-	-	2	6	12	24	18	32	22,4	40	30	48
Eje			S	S	S	T	S	T	S	T	S	T

$$1\text{kip} = 4,45 \text{ kN}$$

AASHO Road Test



- Construcción
 - Comienza en Agosto 1956
 - Se inaugura en octubre de 1958
 - Opera hasta noviembre de 1960

AASHO Road Test Pavimentos

- Espesores de CA rango 25 – 150 mm
- Se usaron cuatro bases:
 - Grava, G chancada, GTC, GTA
 - Espesores 75 – 230 mm
- Subbase no tratada
 - Grava arenosa graduación densa
 - Espesores 0 – 410 mm
- Subrasante
 - Suelo Fino tipo A-6 y A-7-6
 - CBR 2 – 4%
 - Pobremente drenados

AASHO Road Test



- Opera hasta noviembre de 1960
- Tránsito Final
 - Se aplicaron 1.114.000 Ejes de Carga
 - Equivalentes a: 7 Millones de 80 kN en el más cargado.

Método AASHTO



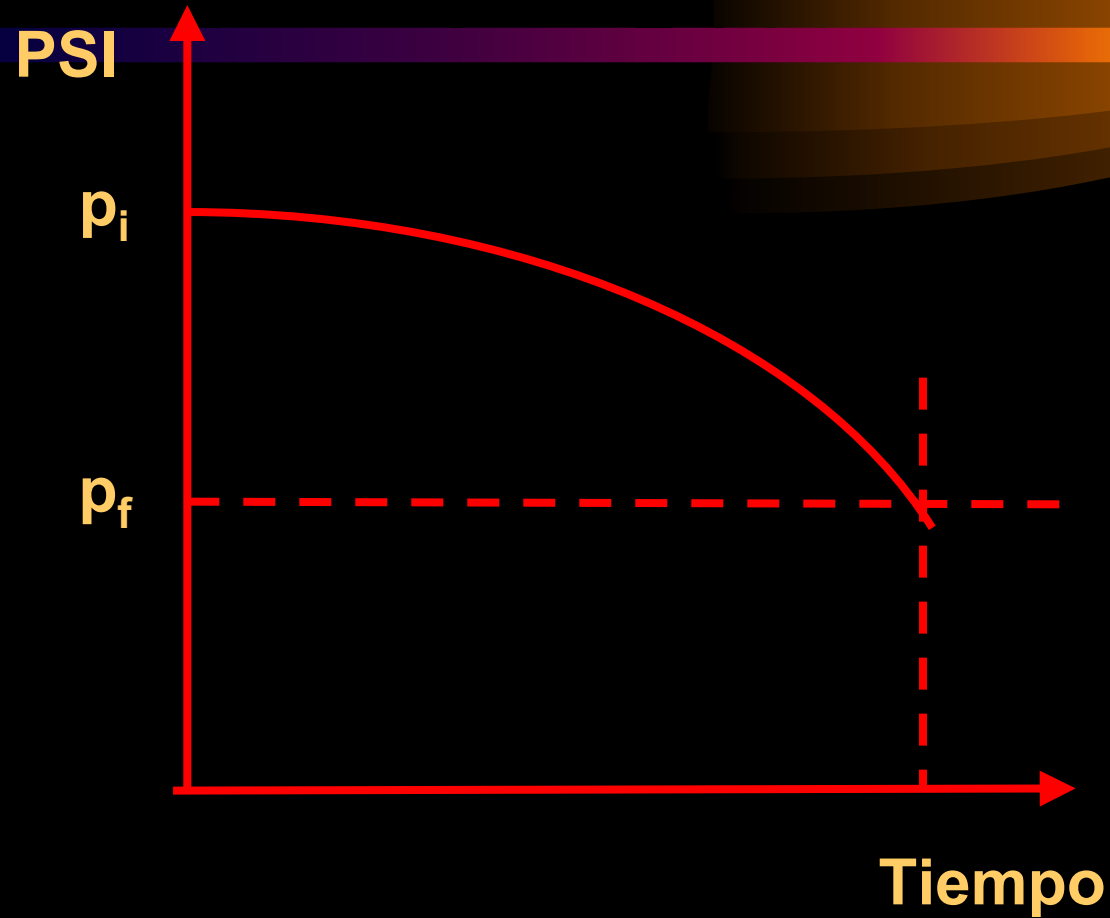
- Ecuaciones de Regresión obtenidas en AASHTO Road Test

Serviciabilidad Comportamiento



- Objetivo es el Confort del Usuario
- Confort respuesta subjetiva
- Serviabilidad asociada Rating
- Indice Serviabilidad Objetivo
- Comportamiento historia serviabilidad

Serviciabilidad -Comportamiento



Pavimento Flexível

$$\begin{aligned} \log_{10}(EE) = & Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(NE / 2,54 + 1) - 0,20 + \frac{\left(\frac{p_0 - p_t}{2,7} \right)}{0,40 + \frac{1094}{(NE / 2,54 + 1)^{5,19}}} \\ & + 2,32 \times \log_{10}(M_R / 0,0069) - 8,07 \end{aligned}$$

$$NE = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Entradas del Diseño



- Periodo de Diseño
- Tránsito
- Serviciabilidad
- Confiabilidad
- Caracterización de Materiales
- Condiciones climáticas

Serviciabilidad

Valores Normalmente usados



- Asfalto
 - Inicial = 4,2
 - Final = 2,0 (2,5 Autopistas)

Confiabilidad

- Probabilidad que el pavimento sobreviva el periodo de diseño con Serviciabilidad mayor o igual al terminal

Confiabilidad y S_0

- Se puede interpretar como factor de seguridad

$$F_R = 10^{-Z_R} \times S_0$$

Confiabilidad

- Valores recomendados por AASHTO

Clasificación	Confiabilidad (R %)	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopistas	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectores	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80

Caracterización Materiales



- Suelo de Fundación
- Capas Granulares
- Concreto Asfáltico

Suelo de Fundación



- Modulo resiliente
 - Ensayo de laboratorio
 - Correlación CBR
 - FWD

Capas Granulares



- Módulo resiliente
 - Ensayo Laboratorio
 - Correlación CBR
 - FWD

Concreto asfáltico



- Módulo elástico
- Estabilidad Marshall

Coeficientes Estructurales

Capa	Características	a_i
Rodadura	Estabilidad: 9.000 N	0,43
Intermedia	Estabilidad: 8.000 N	0,41
Base Graduación Gruesa	Estabilidad: 6.000 N	0,33
Base Graduación Abierta		0,28
Base Granular	CBR = 80 %	0,13
Subbase Granular	CBR = 40 %	0,12

Número Estructural



$$NE = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Coeficientes Estructurales



- MAC
- Base Granular
- Sub Base Granular
- Base tratada con cemento
- Base tratada con asfalto

Coeficiente de drenaje, m_i

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Normal	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Condiciones climáticas



- Módulo resiliente
 - Ajuste por condiciones estacionales
- Capas granulares

Procedimiento Diseño



- Paso 1: Cálculos
- Paso 2: Estructuración

Procedimiento de Diseño

Cálculos



$$EE_{\text{admisibles}} \geq EE_{\text{solicitantes}}$$



Ecuación de Diseño



Tránsito Esperado

Procedimiento de Diseño

Cálculo Ejes Admisibles

- Entrar en ecuación y calcular EE_a
 - NE dado
 - Z_R, S_0, M_R, p_i, p_f
- Verificar que $EE_a > EE_s$
- Iterar hasta que se cumpla condición

Procedimiento de Diseño Estructuración

- Se debe cumplir ecuación:

$$NE = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

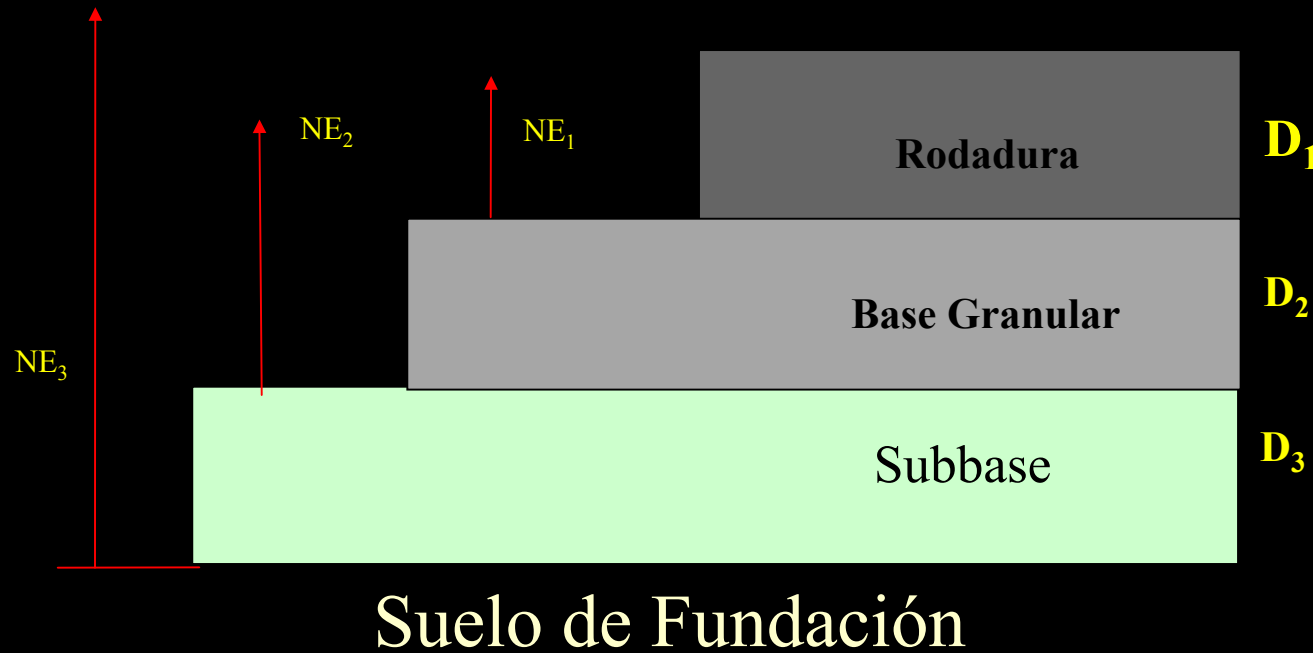
- Cancelar NE de acuerdo a espesores mínimos
 - Experiencia
 - Valores mínimos establecidos
- Verificación por capas

Estructuración: Espesores Mínimos

Tránsito (EE x 10 ⁶)	Concreto asfáltico ^[1] (cm)	Capas Granulares (cm)
< 0,05	Doble Tratamiento	10
0,05 – 0,5	6	10
0,5 - 2	8	15
2 - 7	9	15
> 7	10	15

^[1] El espesor de concreto asfáltico, se refiere a la suma de las capas asfálticas sobre las capas granulares.

Estructuración: Análisis por capas



$$D_1^* \geq \frac{NE_1}{a_1}$$

$$NE_1^* = a_1 D_1^* \geq NE_1$$

$$D_2^* \geq \frac{NE_2 - NE_1^*}{a_2 m_2}$$

$$NE_1^* + NE_2^* \geq NE_2$$

$$D_3^* \geq \frac{NE_3 - (NE_1^* + NE_2^*)}{a_3 m_3} \quad 0$$

Vol 3 Manual de Carreteras

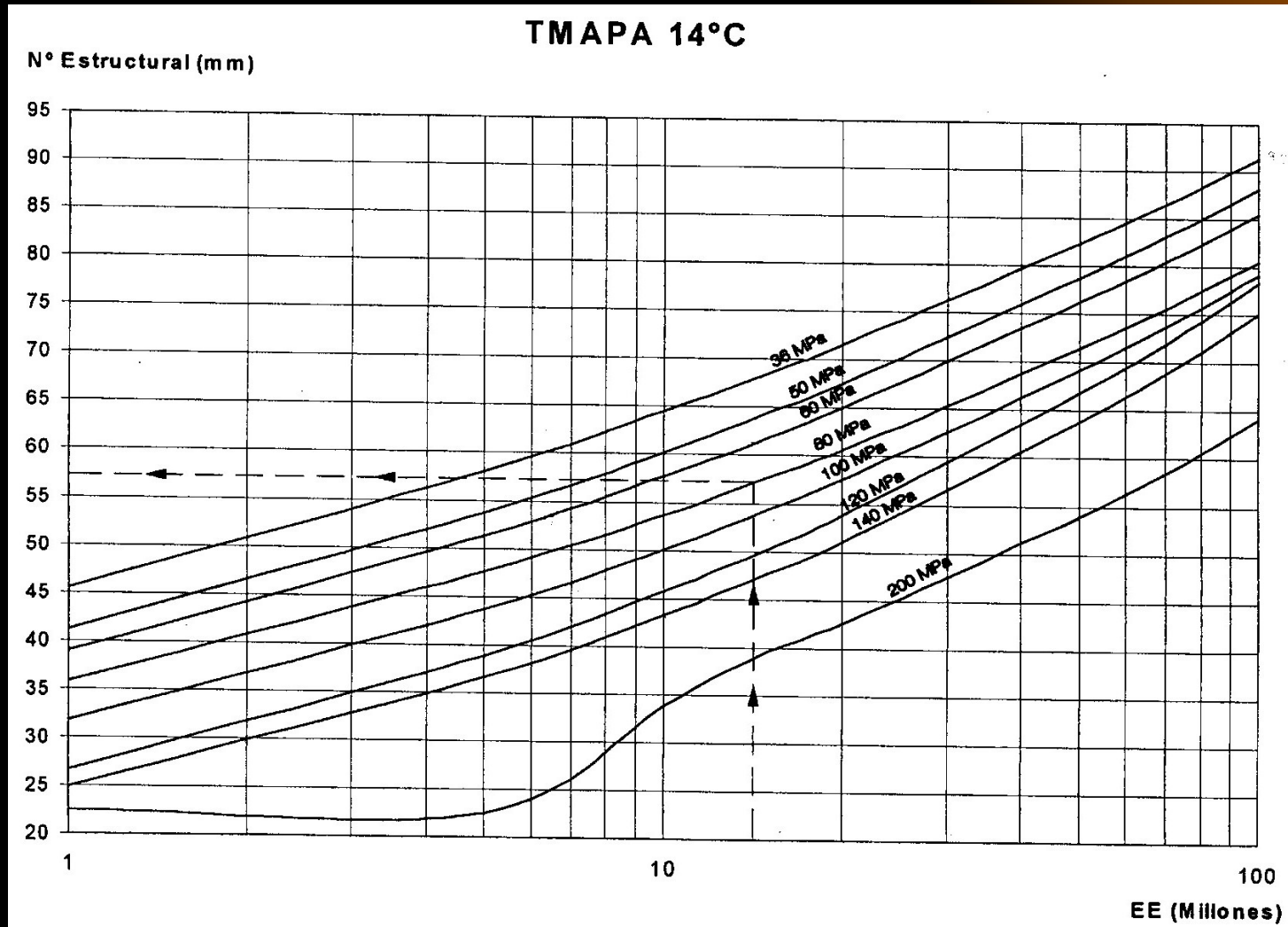
Nuevo Vol 3



- AASHTO 93
- Diferencia Estructuración
 - Antes: Verificación por capas.
 - Ahora: Espesor mínimo de mezcla.

Espesor Mínimo de Mezcla:

Vol 3





AASHTO 2002

Ref: Michael I. Darter

Objetivo

Desarrollar Guía de Diseño 2002 para estructuras de pavimentos nuevos y rehabilitaciones

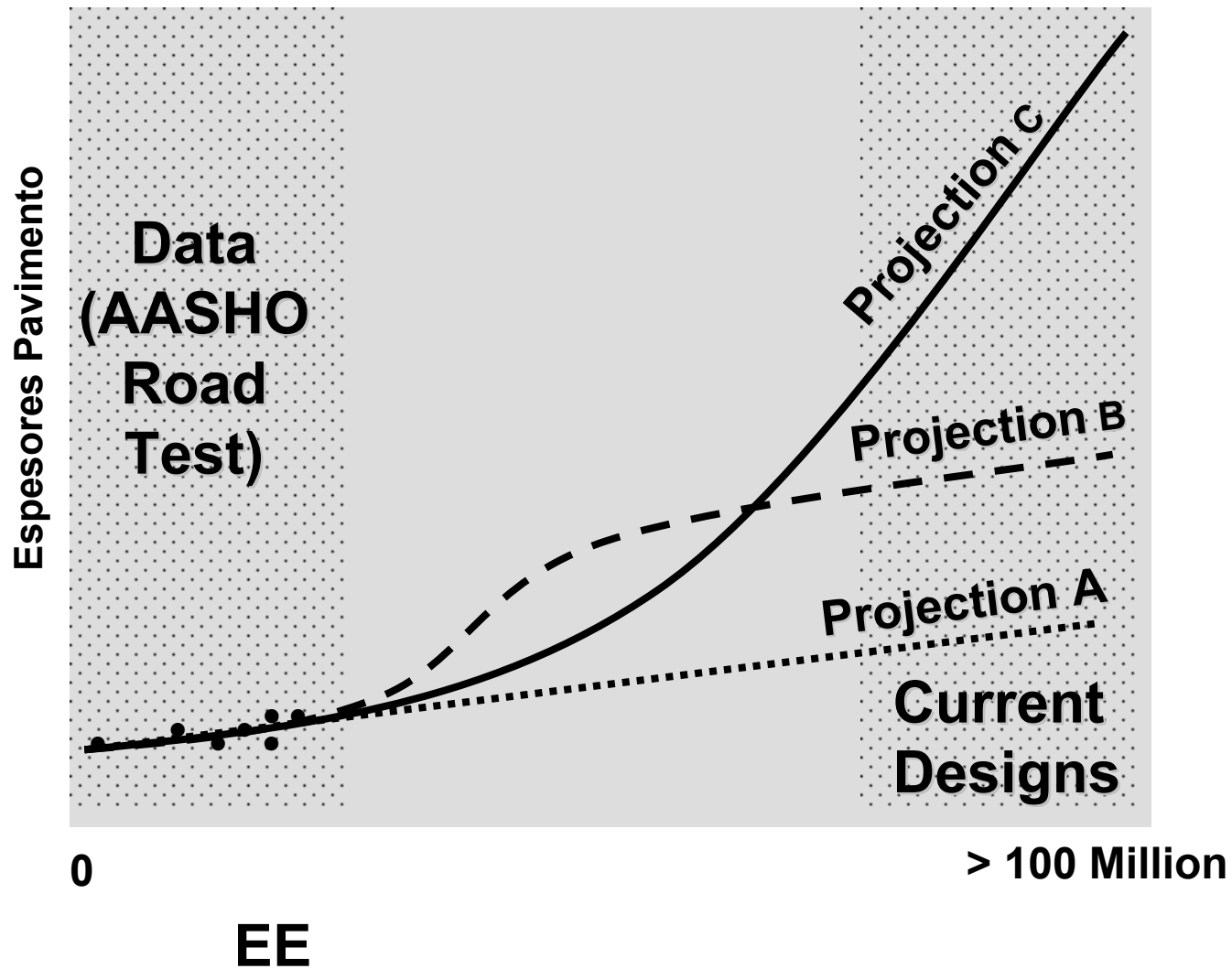
Develop and deliver the 2002 Guide for Design of New and Rehabilitated Pavement Structures

- Basada en principios empírico - mecanicistas
- Acompañada por el software necesario
- Para adopción y distribución de AASHTO

Por que la Guía 2002?

- El volumen de tránsito y los requerimientos de diseño han crecido más allá de los procedimientos empíricos desarrollados hace 40 años en AASHO Road Test.
- Gran necesidad de caracterizar materiales nuevos o mejorados
- Énfasis en la rehabilitación
- Proporciona un marco teórico adecuado para el desarrollo futuro (diseño, materiales)

DISEÑO BASADO AASHO



Diseño MEM



- **Caracterización materiales en términos de espesores, módulos y Poisson**
- **Caracterización clima**
- **Caracterización cargas mediante ejes simples, tandem y tridem.**

Diseño MEM



- **Predicción del deterioro basado en modelos mecánicos calibrados con datos de terreno**
- **Variabilidad e incerteza consiserados**

Proceso Diseño Iterativo



1. Se inicia con sección tentativa
2. Se estima el deterioro en la vida de diseño
3. Se modifica el diseño de acuerdo requerimientos de comportamiento y confiabilidad

Niveles de Entrada Jerárquicos

- ***Nivel 1 — Se requieren ensayos***

Ensayes de materiales;

Deflexiones

Tránsito, pesaje en sitio

- ***Nivel 2 — Correlaciones***

- ***Nivel 3 – Valores por defecto***

Basados en la experiencia local

Nota: Cálculos son los mismos sin importar el nivel de los datos de entrada

Ambito Guía 2002

Se establecen procedimientos / recomendaciones, entre otros:

- para el diseño/análisis de pavimentos nuevos y rehabilitados tanto rígidos como flexibles
- para evaluar pavimentos existentes
- para rehabilitaciones, drenaje y mejoramiento fundación
- para análisis de tránsito y confiabilidad
- para calibraciones locales

Guía de Diseño 2002

Entradas en el Diseño

- 1. Subrasante / Fundación**
- 2. Caracterización Materiales**
- 3. Efectos ambientales**
- 4. Cargás**

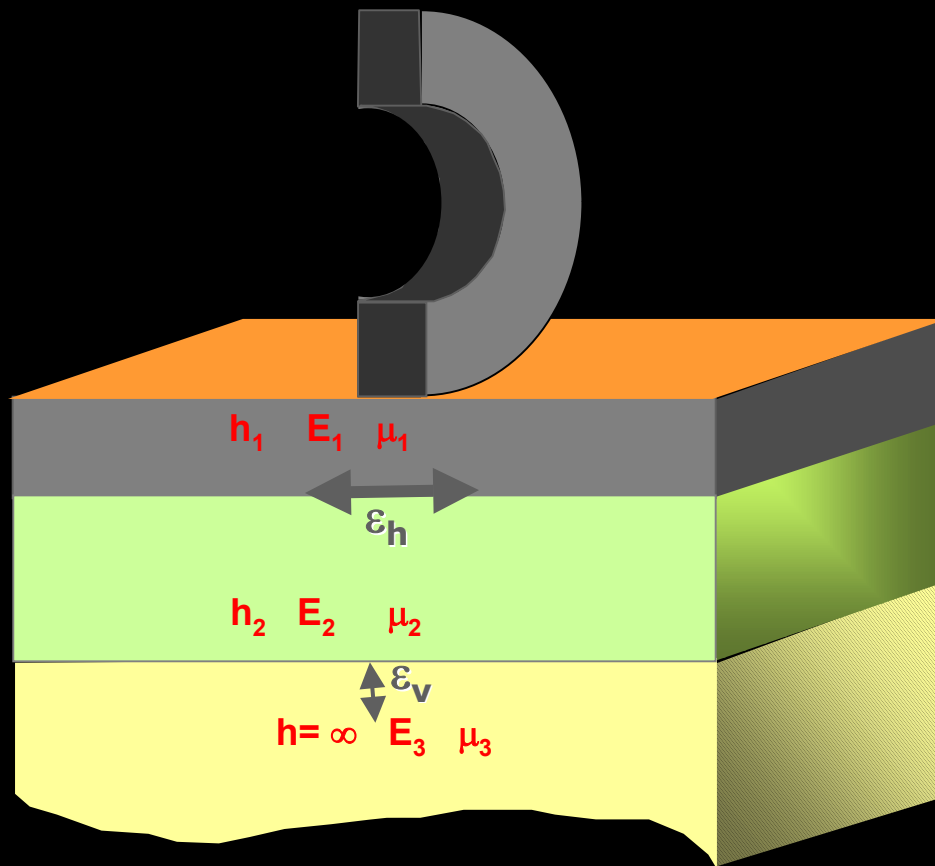
Modulos Principales Software



- Tránsito
- Ambiental
- Materiales (PCC, CA, CG)
- Modelo Rígido
- Modelo flexible (Fatiga, Ahuellamiento, grietas térmicas e IRI)
- Simulación Confiabilidad

Comentarios Finales

Modelo Empírico - Mecanicista



- Marco teórico adecuado
- Incorporación nuevos materiales
- Análisis distintos tipos de cargas