

Métodología YONAPAVE para la Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles con Deflexiones FWD

ING. PABLO DEL AGUILA

CAMINEROS SAC/Perú – Consultores en Gestión Vial

**Basado en la presentación en Inglés en el
82nd Annual Meeting of TRB, Washington DC, January 2003
por el Dr. Mario S. Hoffman**

Metodología YONAPAVE

Método simple y directo “YONAPAVE” para evaluar las necesidades estructurales de pavimentos flexibles que:

Se basa en el análisis de cuencos de deflexiones del FWD,

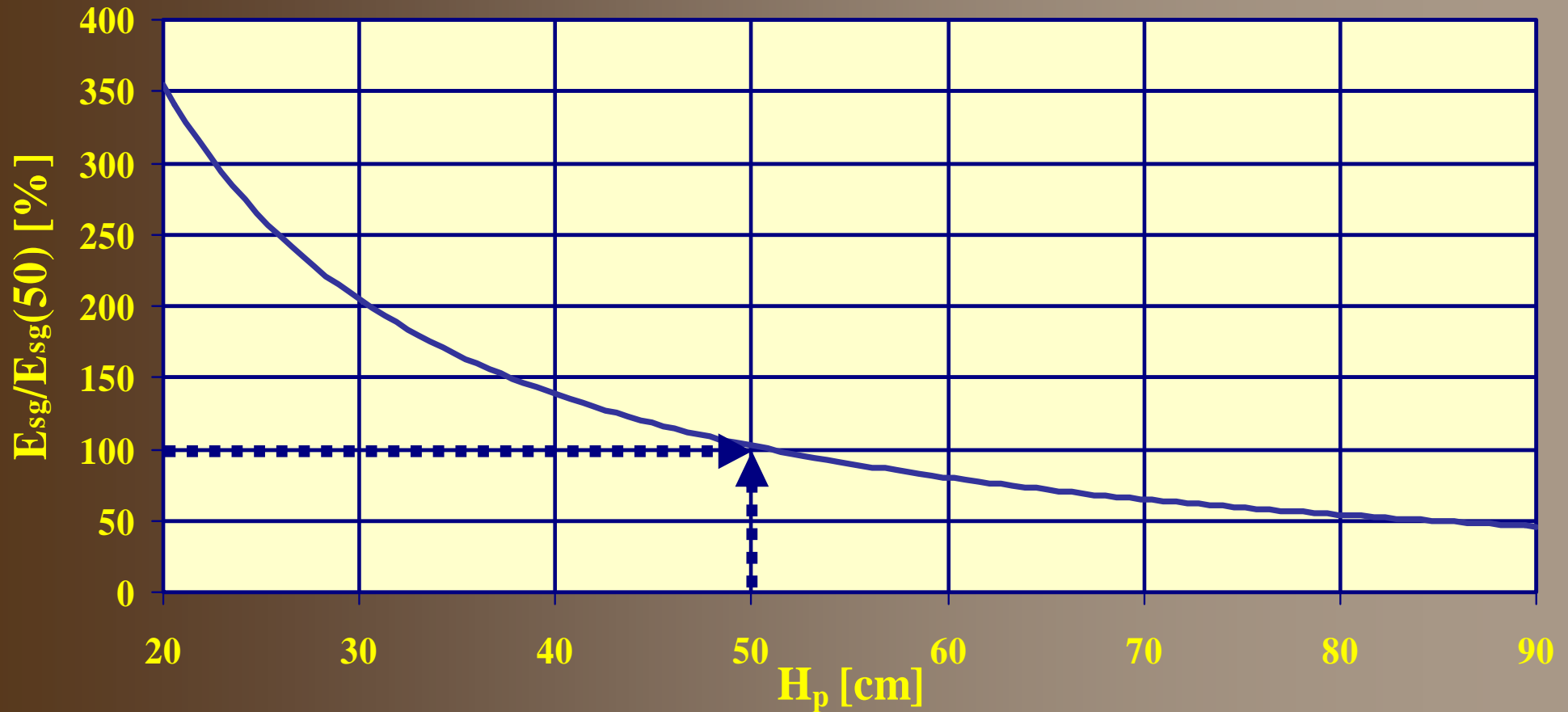
Es independiente del espesor de capas o pavimento,

Usa ecuaciones simples – Excel o Calculadora,

Toma en cuenta la capacidad portante total del pavimento y verificación a la fatiga de la carpeta asfáltica.

Permite el cálculo independiente del Módulo Equivalente del conjunto de capas del pavimento.

Dependencia Típica de E_{sg} (Rohde) del Espesor Total del Pavimento H_p



Rohde, G. T., "Determining Pavement Structural Number from FWD Testing", TRR 1448, Transportation Research Board, Washington DC, 1994

Espesores (en cms) de Capa en Secciones de Carretera Típicas de Israel

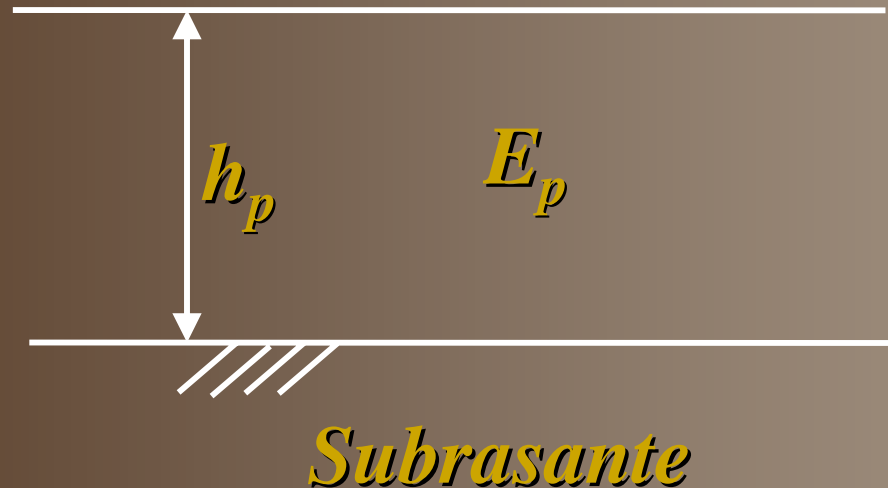
Carretera No.	Longitud (km)	No. de Calicatas	Espesor Capa Asfáltica	Espesor de Base/ Subbase	Rango Espesor Total
4	5.5	11	13 - 28	25 - 44	45 - 70
90	7.0	29	8 - 20	5 - 72	15 - 80
60	2.0	8	15 - 33	17 - 115	40 - 130
2	2.0	9	9 - 13	36 - 65	45 - 80
73	5.7	22	20 - 50	20 - 85	50 - 120
767	2.5	10	12 - 17	0 - 55	15 - 70
MB	1.0	8	8 - 18	22 - 90	35 - 110

Cuál es el valor de cálculo para H_p ?

Desarrollo del Método YONAPAVE

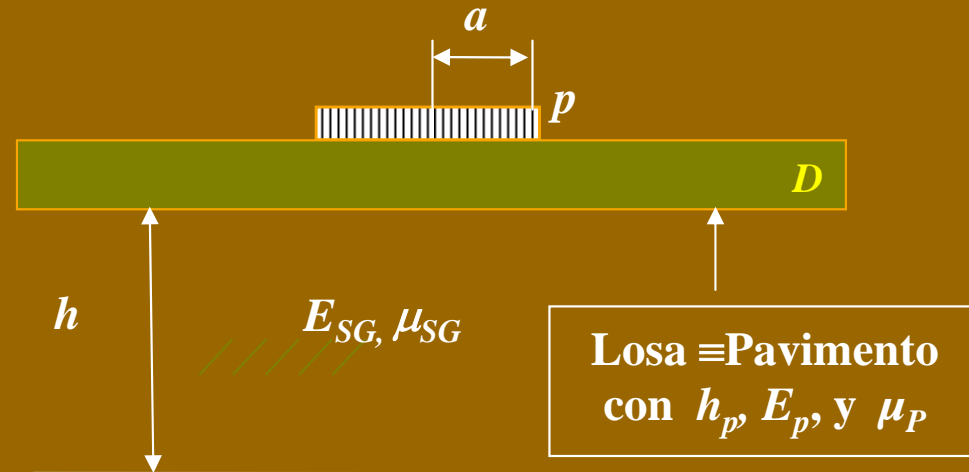
Guía AASHTO 1993 (Método NDT)

$$SN_{eff} = 0.0045h_p \sqrt[3]{E_p}$$



Modelo de Hogg: Parámetros y Definiciones

Geometría del Modelo



Parámetros Básicos

Rigidez de losa (pavimento),

$$D = \frac{E_p h_p^3}{12(1 - \mu_p^2)}$$

Longitud Característica,

$$l_0 = \sqrt[3]{\frac{D}{E_{sg}} * \frac{(1 + \mu_{sg})(3 - 4\mu_{sg})}{2(1 - \mu_{sg})}}$$

Módulo de Subrasante y Coef. de Poisson, E_{SG} , μ_{SG}

Substituyendo en el Modelo de Hogg, la ecuación de AASHTO se redefine como:

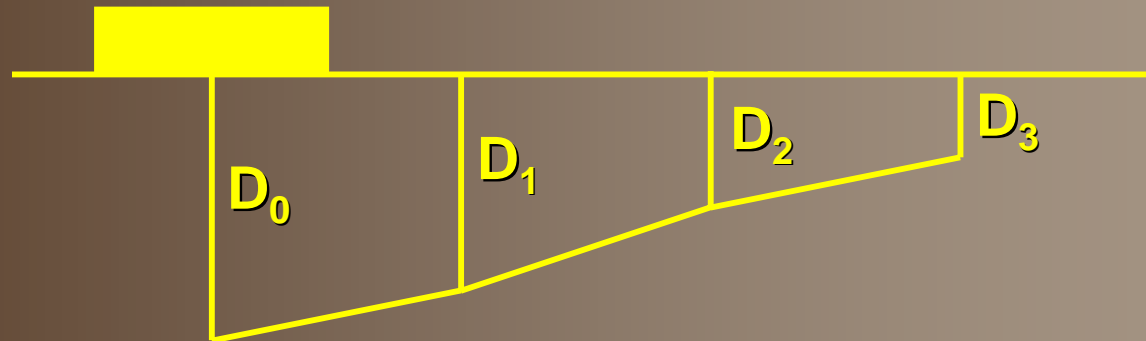
$$SN_{eff} = 0.0182l_0 \sqrt[3]{E_{SG}}$$

SN_{eff} es independiente de h_p

El problema se reduce a evaluar l_0 y E_{SG}

Parámetros del Cuenco de Deflexiones Usados en YONAPAVE

1. $AREA = 6 (1 + 2D_1 + 2D_2 + D_3)/D_0$

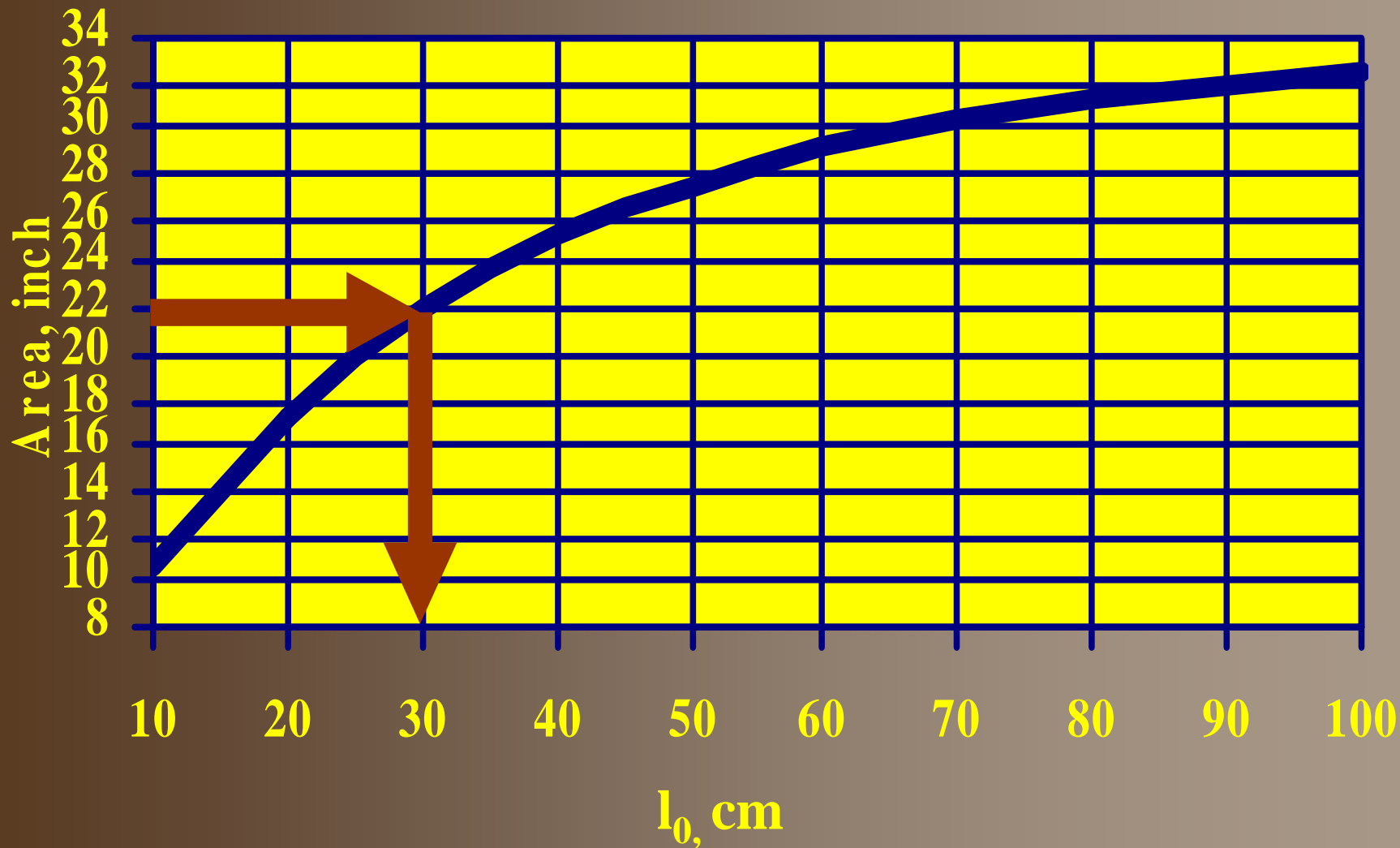


2. D_0, D_1, D_2, D_3 á 0, 30, 60 y 90 cm del eje de carga

MEDICION DE DEFLEXIONES CON FWD



Variación típica del "Area" versus l_0 en el Modelo de Hogg



Obtención de l_0 en función del “Area”

$$l_0 = A \times e^{B \times Area}$$

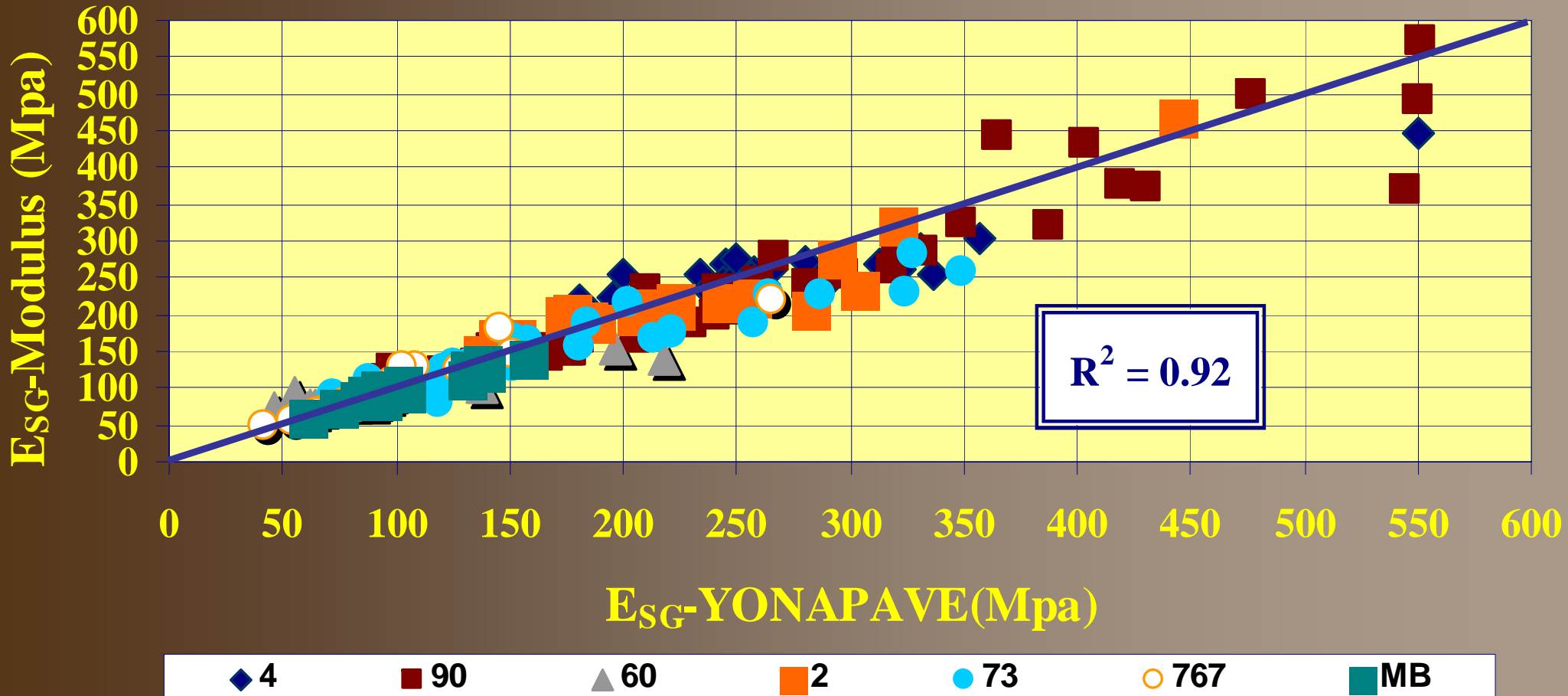
A, B = Parámetros de ajuste de la curva

Ecuación para Obtención de E_{SG}

$$E_{SG} = m \times \frac{p}{D_0} \times l_0^n$$

$m, n =$ Parámetros de ajuste de la curva

Comparación de E_{SG} -Modulus versus E_{SG} -YONAPAVE



Cálculo de SN_{eff}

Para compensar el efecto de “losa” vs “capa” (deformaciones unitarias verticales) usando MODULUS como referencia:

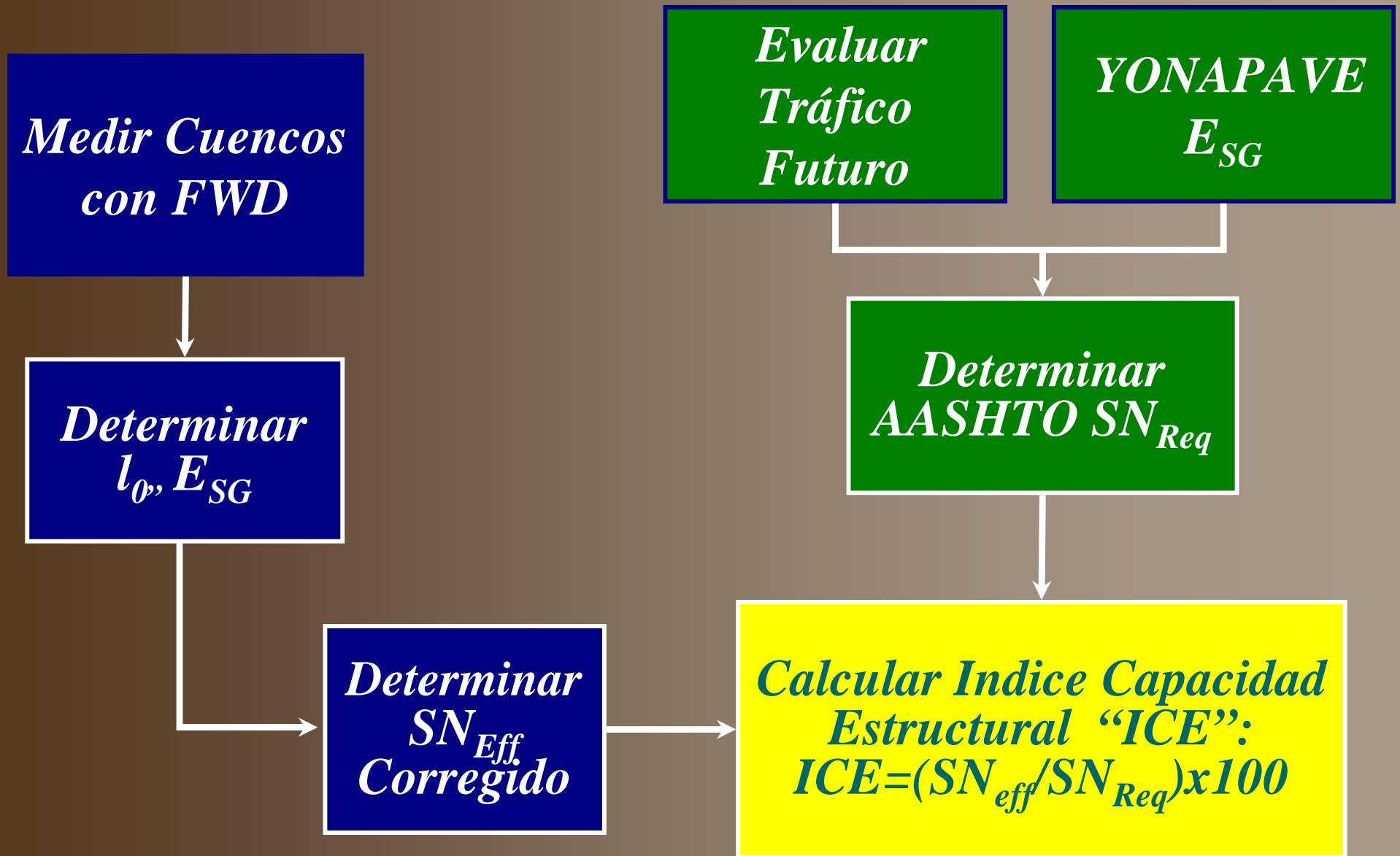
$$SN_{(YONAPAVE)} = 2 \times SN_{(HOGG)} - 0.5$$

Corrección por Temperatura => temperatura base de 30°C cuando $h_{AC} > 10 \text{ cm}$

$$SN_T / SN_{30^\circ\text{C}} = 1.33 - 0.011 T (^\circ\text{C})$$

Diagrama de Flujo de YONAPAVE

Indice de Capacidad Estructural del Pavimento

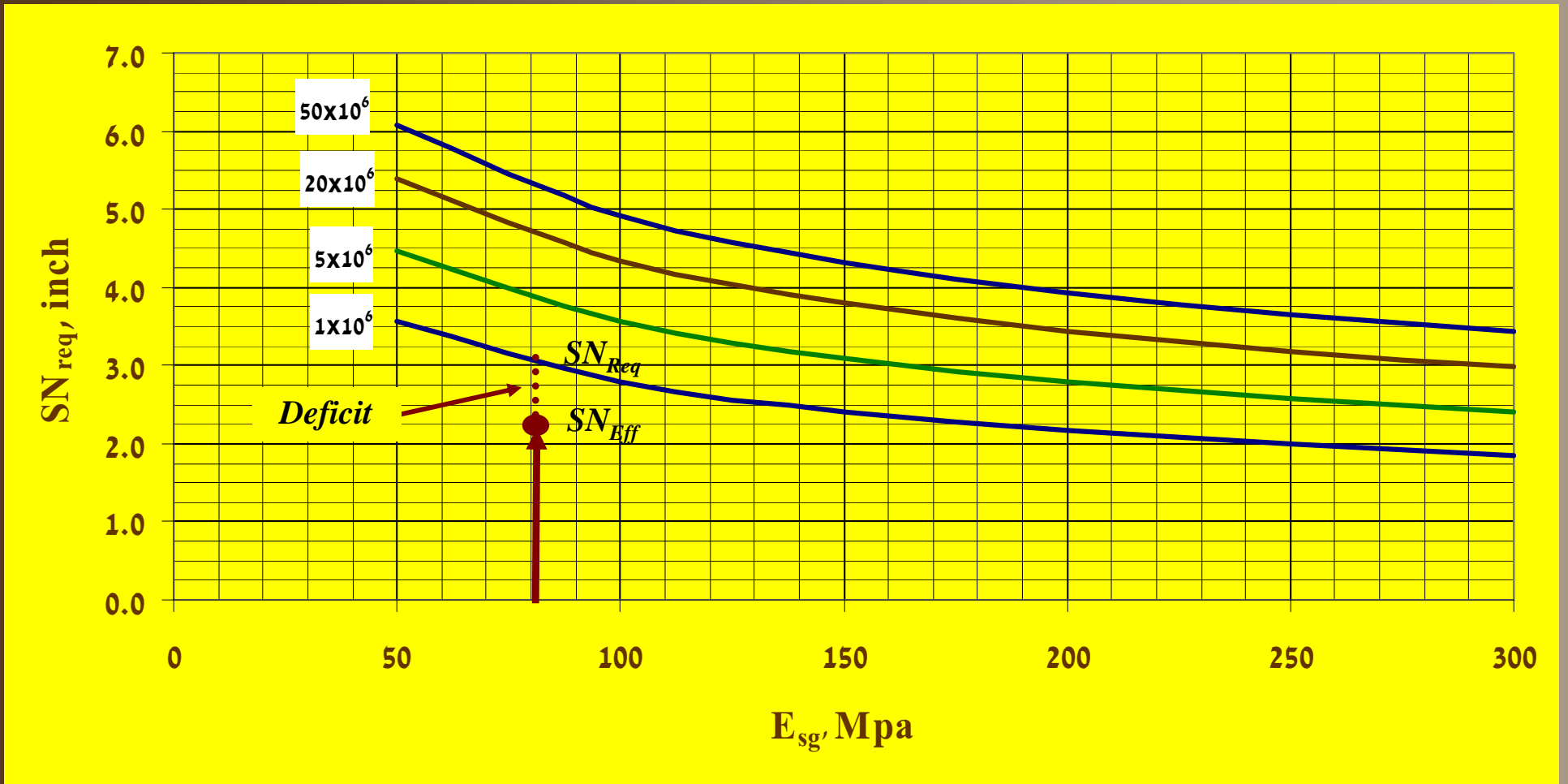


Espesor de Refuerzo por Déficit Estructural (ICE < 100%)

$$h_{AC} = (SN_{Req} - SN_{Eff})/a_{AC}$$

a_{AC} = Coeficiente de Capa AC

SN según AASHTO 1993 ($psi_f = 2.0$)



Ejemplos (Secciones Homogéneas)

RUTA No.	Promedio D_0 , micras	Promedio AREA, pulgadas	30 th Percentil E_{SG} , MPa	15 th Percentil SN_{ef} Corregido	80 kN Ejes Eq's Millones	SN_{REQ}	ICE, %	Refuerzo h_{AC} , mm
020	290	20.3	245	3.9	33.1	3.3-3.6	113	0
03S	390	19.0	164	3.1	13.8	3.4-3.6	89	20-30
03B	455	24.1	82	4.7	11.0	4.1-4.5	109	0
03N	340	20.3	186	3.4	49.6	3.9-4.3	82	30-50
016B	330	23.7	110	5.2	7.4	3.5-4.2	135	0
05N	665	21.1	86	3.6	3.7	3.4-3.7	100	0-10
016	640	20.7	92	3.2	16.5	4.2-4.6	74	60-80

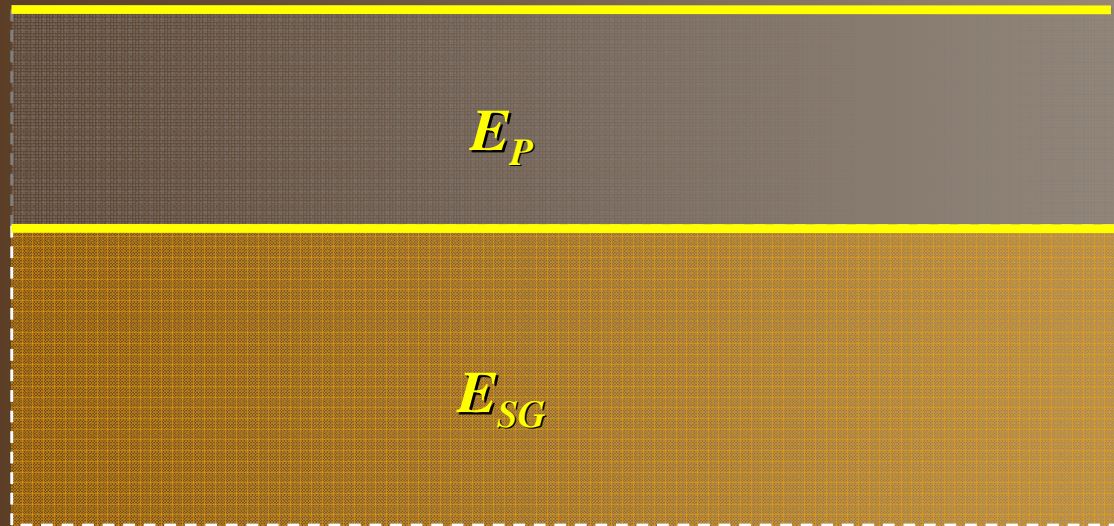
YONAPAVE

Cálculo del Módulo Equivalente E_p

Sistema bi-capa Equivalente (Burmister)

Para H_p entre 25 y 75 cm:

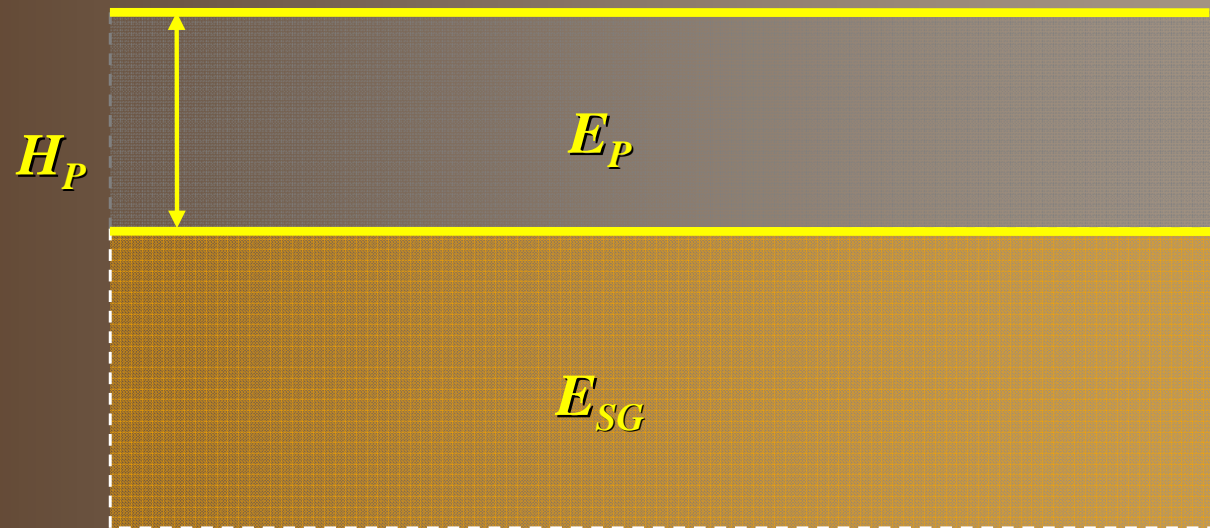
$$E_p/E_{SG} = 0.126 e^{0.2095 \text{ AREA}} \quad [\neq f(H_p)]$$



YONAPAVE

Verificación a la Fatiga de la Carpeta Asfáltica

Si se tiene $E_P + S_{Neff} \rightarrow H_P$ (AASHTO 93)

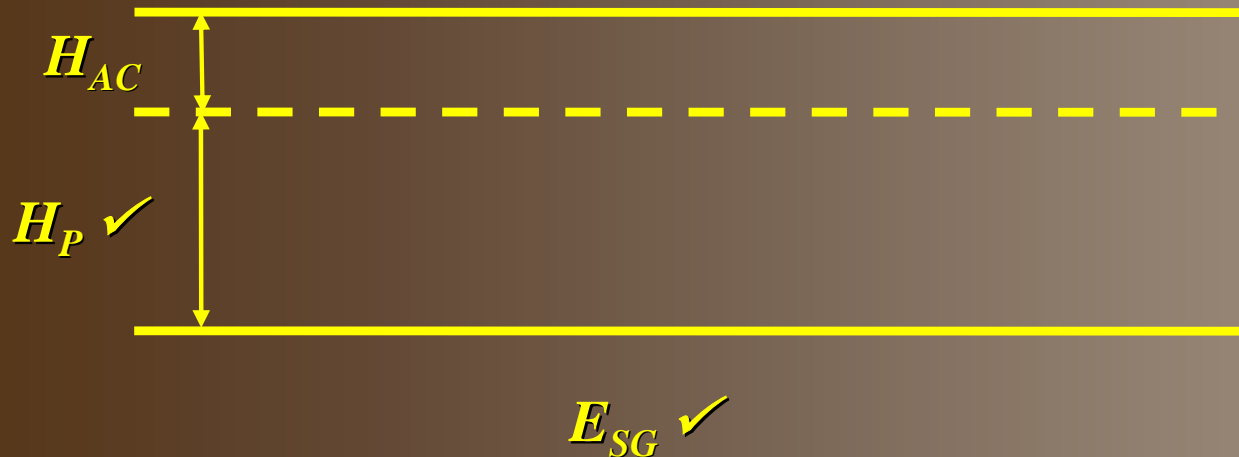


YONAPAVE

Espesor Mínimo de Carpeta por Fatiga

Según Finn (1977), Uzan (1996):

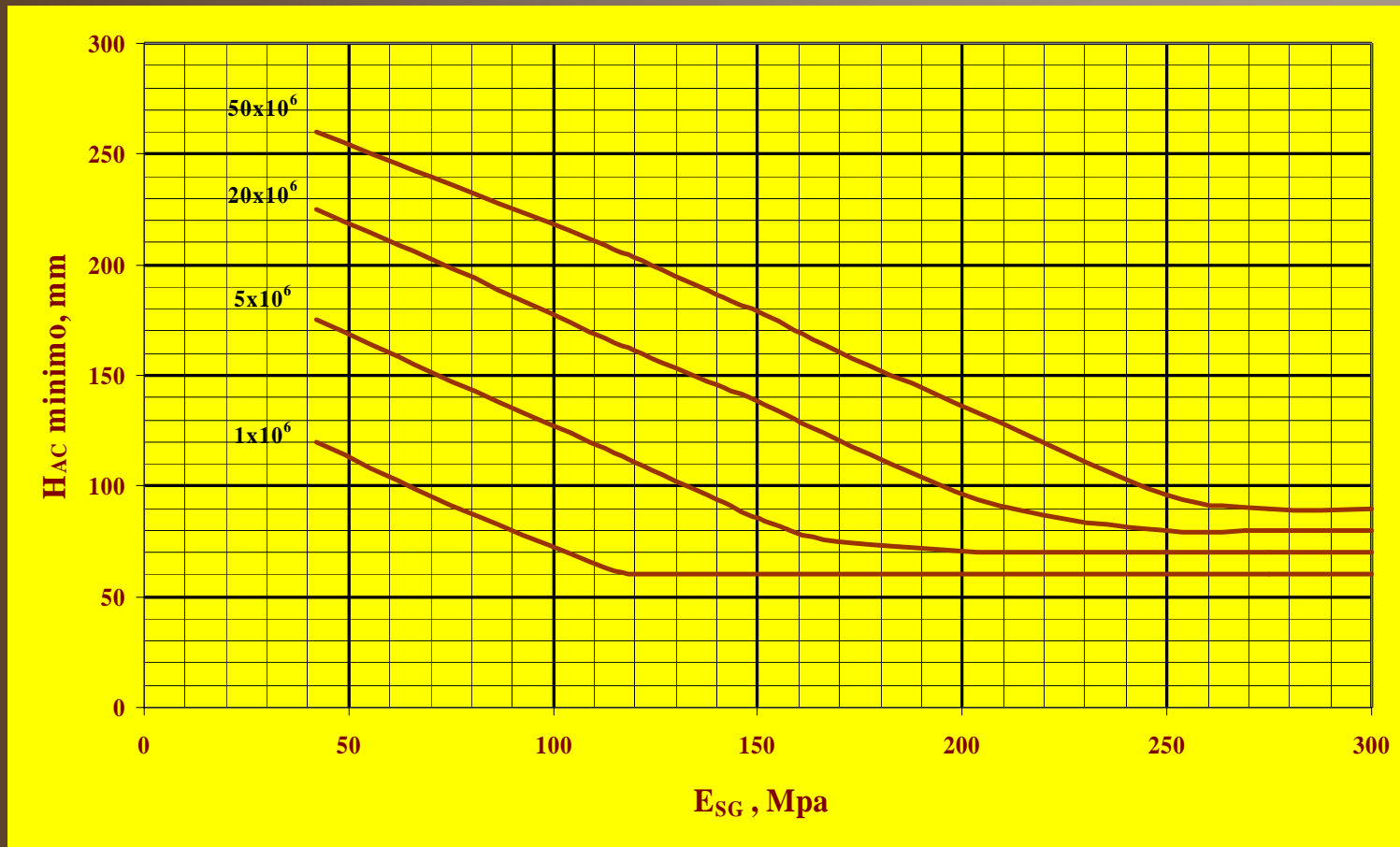
$$\log W_{80} = -3.13 + H_{AC}/380 - 3.291 \log \varepsilon_t - 0.854 \log E_{AC}$$



2 casos considerados:
 $H_P < 30 \text{ cm}$
 $H_P \geq 30 \text{ cm}$

Uzan, J., "A Pavement Design and Rehabilitation System", Transportation Research Record 1539, TRB, Washington DC., 1996

Espesor Mínimo de Carpeta Asfáltica para $H_p < 30$ cm



Ejemplos de Verificación del Espesor Mínimo por Fatiga

RUTA No.	AREA Promedio, Pulgadas	Percentil 30 E_{SG}, MPa	Espesor Equivalente, H_P, cm	80 kN Ejes Equiv's, millones	Espesor mínimo H_{AC} por Fatiga, mm
020	20.3	245	32	33.1	90
03S	19.0	164	32	13.8	80
03B	24.1	82	43	11.0	140
03N	20.3	186	31	49.6	120
016B	23.7	110	45	7.4	80
05N	21.1	86	40	3.7	100
016	20.7	92	36	16.5	130

Recomendaciones Generales para el Aprovechamiento del espesor de la Carpeta Asfáltica Existente

Caso No.	Nivel y Severidad de Fallas en la Carpeta Existente	Valor Residual de la Carpeta
1	Fisuramiento en más del 25% del área	0%
2	Fisuramiento menor al 25% del área con escasa a mediana desintegración	25%
3	Escaso a nulo fisuramiento u otras fallas visibles	50%

Ejemplo de cálculo del refuerzo por fatiga

EJEMPLO

H_{AC} existente = 100 mm

Fallas: Caso 3 → Valor residual 50%

$H_{AC \text{ mín}}$: 120 mm (mínimo requerido por fatiga
→ Función de Transferencia)

Mantenimiento:

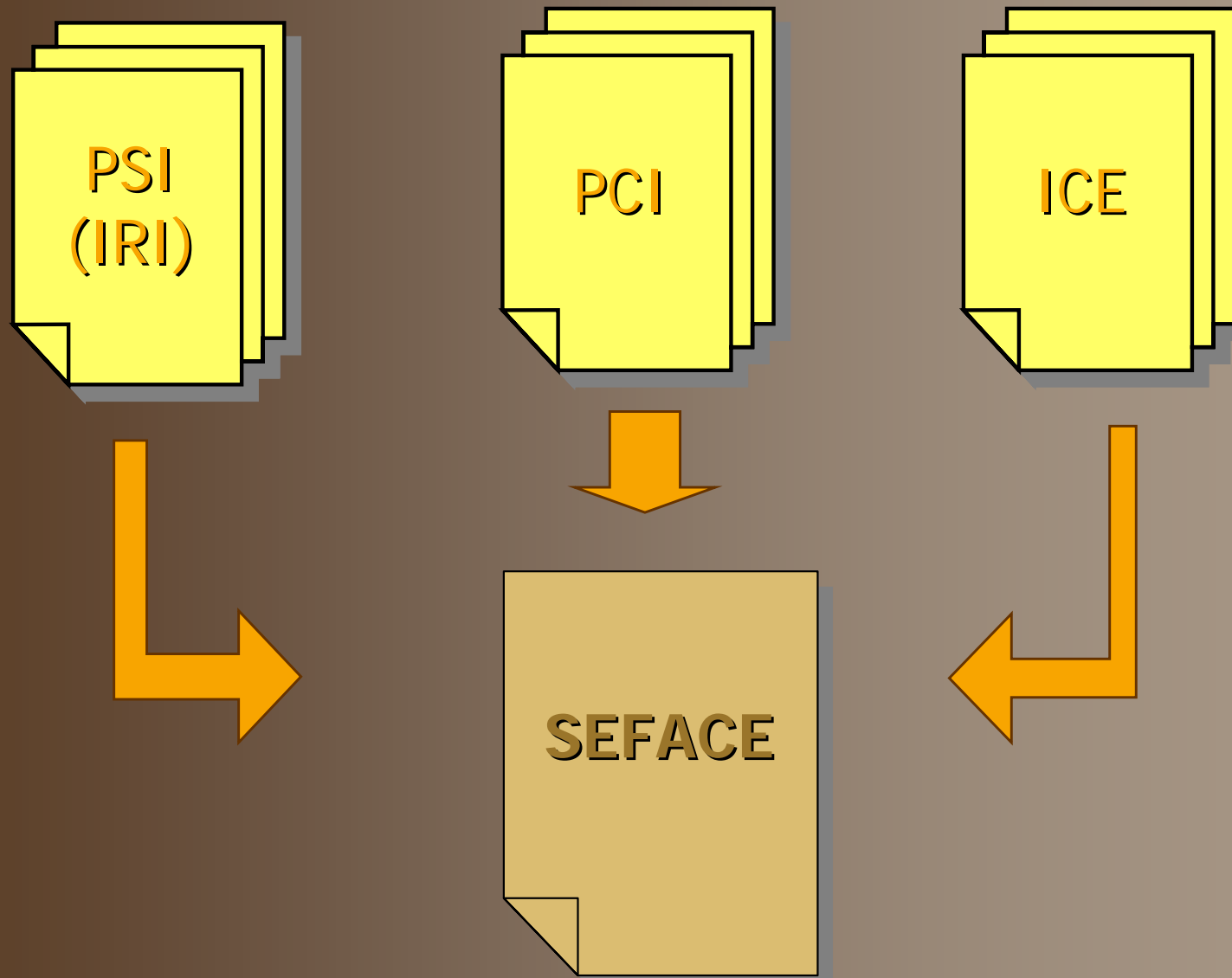
Fresado nivelante 20 mm → quedan 80 mm
que equivalen a $H_R=40$ mm (Caso 3: 50%)

Refuerzo "Neto": $(H_{AC \text{ mín}} - H_R) = 120 - 40 = 80$ mm

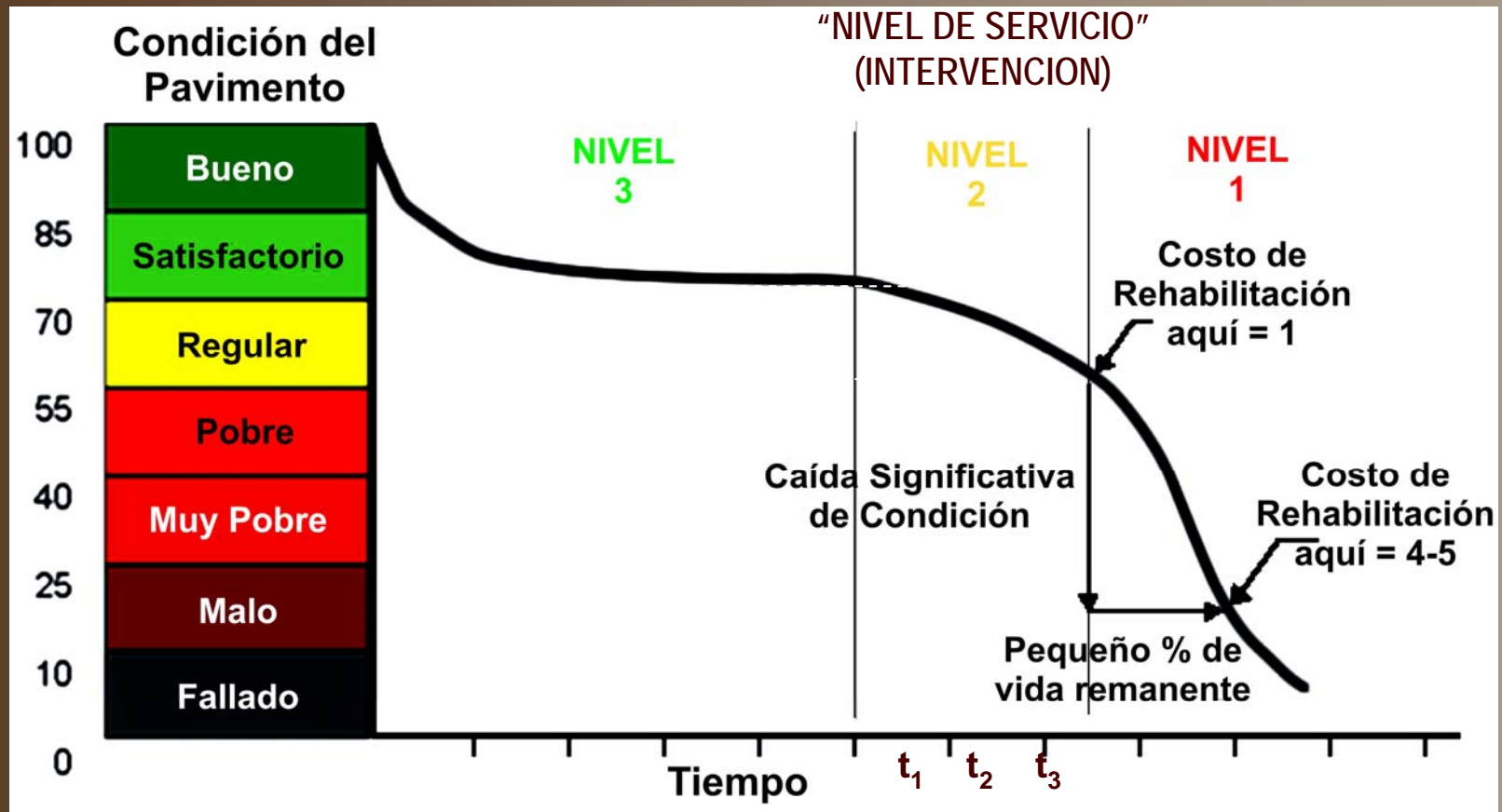
CONCLUSIONES

- Los parámetros obtenidos por retrocálculo dependen en gran medida de los espesores de capa y del pavimento.
- Estos espesores son difíciles de determinar y suelen ser muy heterogéneos, incluso en secciones cortas.
- YONAPAVE permite calcular el módulo E_{SG} en forma rápida y directa, comparable al valor obtenido con MODULUS pero en forma independiente de H_i .

APLICACION DE LOS RESULTADOS DEL YONAPAVE EN SISTEMAS DE GESTION



NIVELES DE SERVICIO (Pavimentos)



EL NIVEL DE SERVICIO ES UN RANGO (70-55)

INDICE GLOBAL DEL PAVIMENTO - SEFACE

INDICE	Valor de <u>SEFACE</u> para niveles de IMDA								
	Menor á 5,000			Entre 5,000 y 15,000			Mayor á 15,000		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PSI (Escala 0-5)	<2.5	2.5-4.0	>4.0	<2.8	2.8-4.2	>4.2	<3.0	3.0-4.5	>4.5
PCI (%)	<30	30-60	>60	<35	35-65	>65	<45	45-75	>75
ICE (%)	<80	80-100	>100	<85	85-100	>100	<90	90-100	>100

SEFACE → ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO

SE	FA	CE	Tipo de Rehabilitación
3	3	3	Verificar macro y microtextura
2	3	3	Recapeo
1	3	3	Recapeo
3	3	2	Recapeo
2	3	2	Recapeo
1	3	2	Recapeo
3	3	1	Recapeo
2	3	1	Recapeo
1	3	1	Reciclado Profundo+Recapeo
3	2	3	Tratamiento Superficial
2	2	3	Reciclado en Caliente+Recapeo
1	2	3	Fresado y Recapeo

SEFACE → ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO

SE	FA	CE	Tipo de Rehabilitación
3	2	2	Fresado y Recapeo
2	2	2	Fresado y Recapeo
1	2	2	Fresado y Recapeo
3	2	1	Fresado y Recapeo
2	2	1	Fresado y Recapeo
1	2	1	Reciclado Profundo+Recapeo
3	1	3	Reciclado en Caliente+Recapeo
2	1	3	Reciclado en Caliente+Recapeo
1	1	3	Fresado y Recapeo
3	1	2	Fresado y Recapeo
2	1	2	Fresado y Recapeo
1	1	2	Fresado y Recapeo
3	1	1	Fresado y Recapeo
2	1	1	Reciclado Profundo+Recapeo
1	1	1	Reciclado Profundo+Recapeo

CONCLUSIONES

- Basado en la guía AASHTO 1993 y su esquema de evaluación “NDT”, YONAPAVE proporciona una evaluación directa del SN_{ef} que es independiente de H_i
- Ecuaciones pueden resolverse en hoja electrónica o simples calculadoras.
- YONAPAVE sirve para evaluar las necesidades de refuerzo por capacidad portante general (SN_{eff}) y por fatiga de la carpeta asfáltica (H_{AC-min}).
- Uso, calibraciones y experiencia locales sirven para refinar las soluciones de refuerzo propuestas

MUCHAS GRACIAS!

<http://www.cameneros.com/biblioteca>
pdelaguila@cameneros.com