

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE ESTABILIZADOS CON LIGANTES HIDRAULICOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tesista:

Mgtr. Ing. Dino I. Batalla

Directora de Tesis:

Mgtr. Ing. Diana Cainelli

Codirector de Tesis:

Dr. Ing. Oscar Giovanon

Introducción



Introducción



Introducción

Estabilizado granular con cemento



Introducción

Ventajas



Desventajas

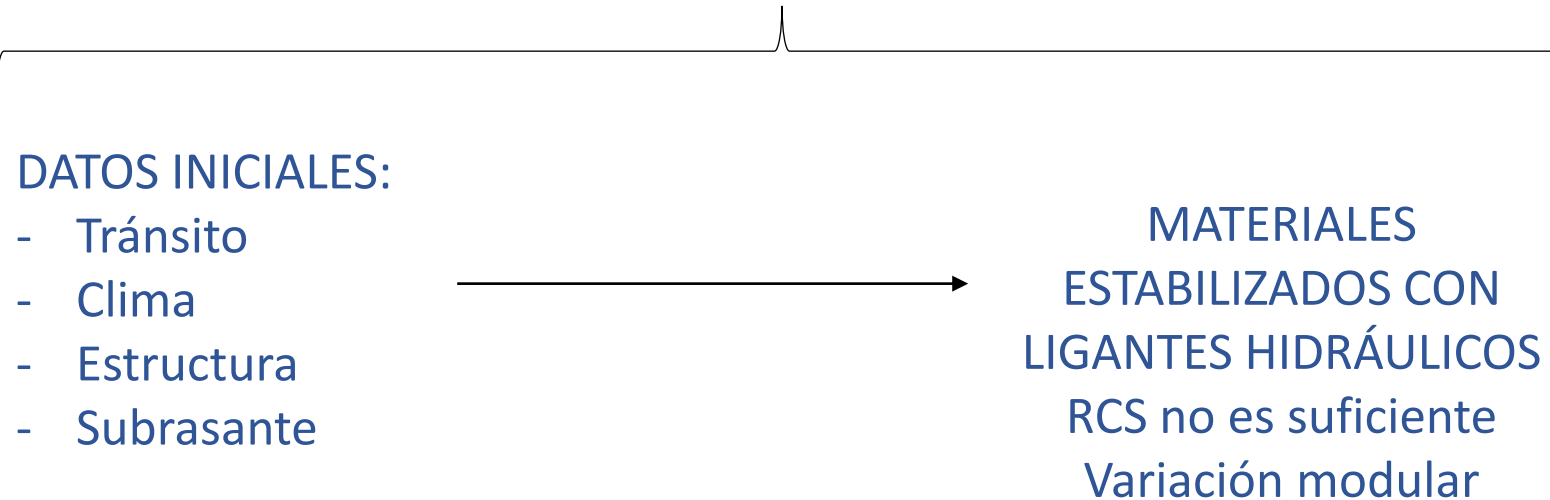
- Tiempo de trabajo limitado.
- FISURAS: - por contracción.
- por fatiga (flexotracción y/o aplastamiento).

Control de fisuración en superficie:

- Intervención sobre capa asfáltica y/o base cementada.
- Intervención sobre el diseño de la estructura.
- Técnicas de prefisuración y microfisuración.

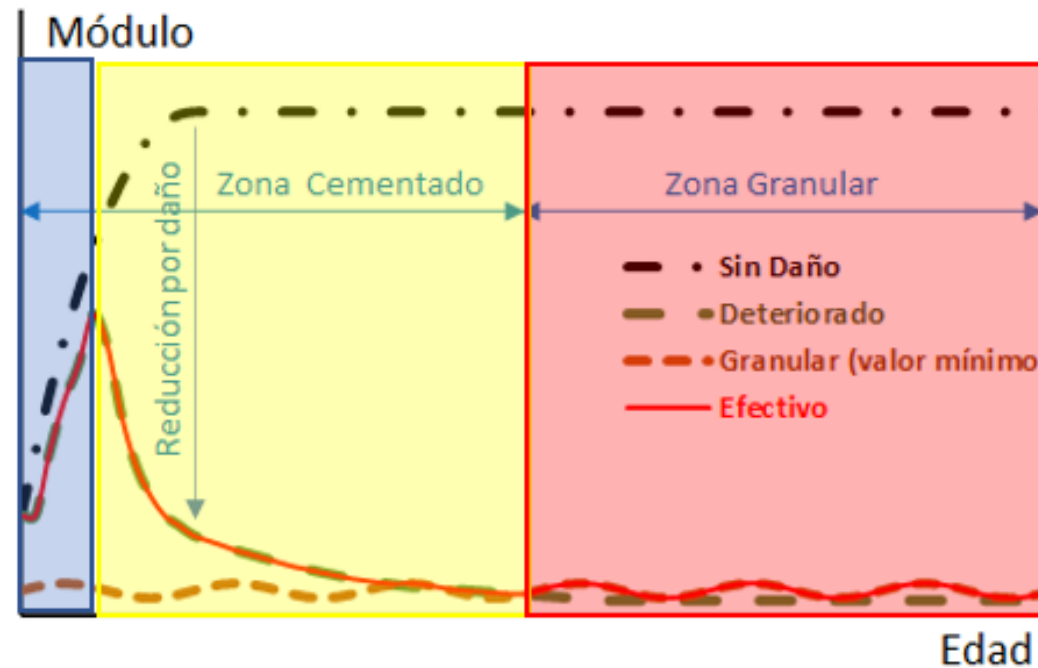
Introducción

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS



Introducción

Caracterización estructural estabilizado con cemento



Etapa 1: Construcción

Etapa 2: Apertura al tránsito

Etapa 3: Ruina

Introducción

Cuestionamientos

- ¿Cómo se debería caracterizar estructuralmente el Estabilizado Granular Cementado a lo largo de su vida en servicio?
- ¿Son válidas las hipótesis de los métodos de cálculos existentes?

Desarrollo

Tramos analizados:

	Ruta	Tramo	Longitud (m)	Condición	Año medición de deflexiones
1	RP n°2	Km. 273+000 - 281+100	8.100	Repavimentado 2004	2016
2	RP n°2	Km. 301+500 - 308+700	11.300	Repavimentado 2004	2016
3	RP n°10	Km. 108+900 - 125+150	16.250	Repavimentado 2005	2016
4	RP n°17	Km. 14+200 - 34+100	19.900	Repavimentado 2005	2016
5	RP n°22-s	Km. 0+200 - 10+900	10.950	Pavimentado 2016	2016
6	RP n°91	Km. 1+000 - 8+500	7.500	Repavimentado 2005	2016
7	RP n°90	Km. 124+900 - 149+800	24.900	Repavimentado 2008	2008, 2018 y 2021

Desarrollo

Evaluaciones realizadas:

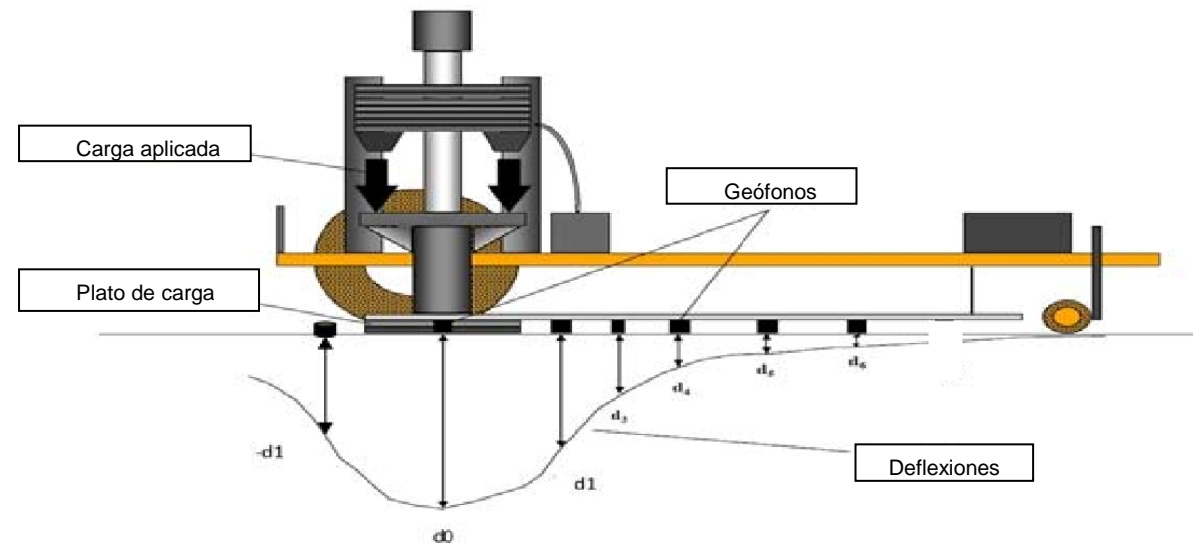
- Deflectómetro de impacto (FWD)



Desarrollo

Evaluaciones realizadas:

- Deflectómetro de impacto (FWD)



Desarrollo

Evaluaciones realizadas:

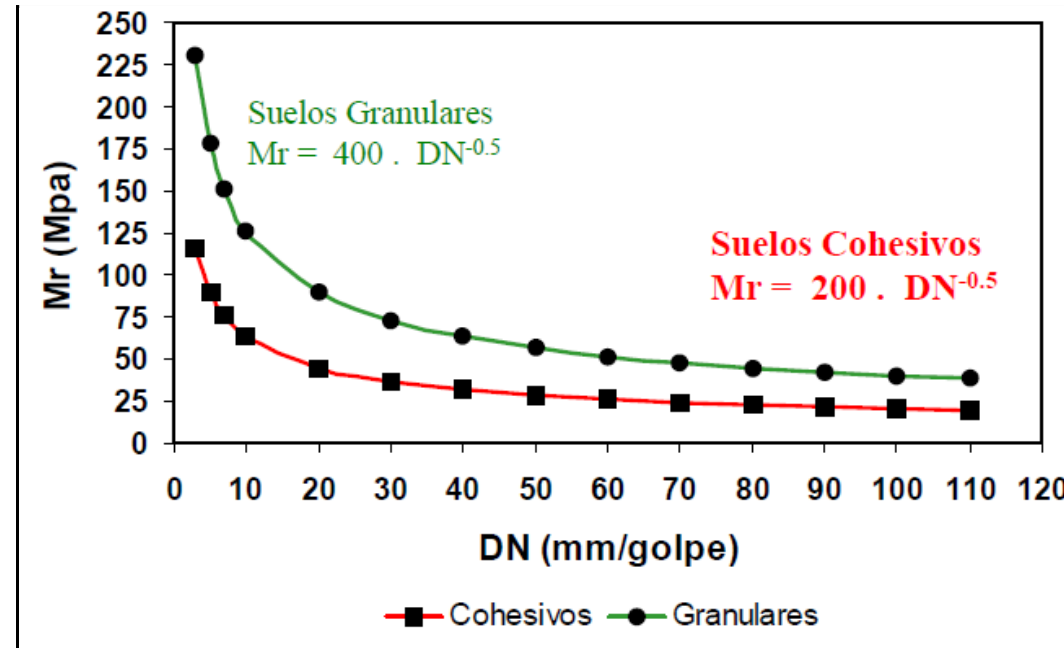
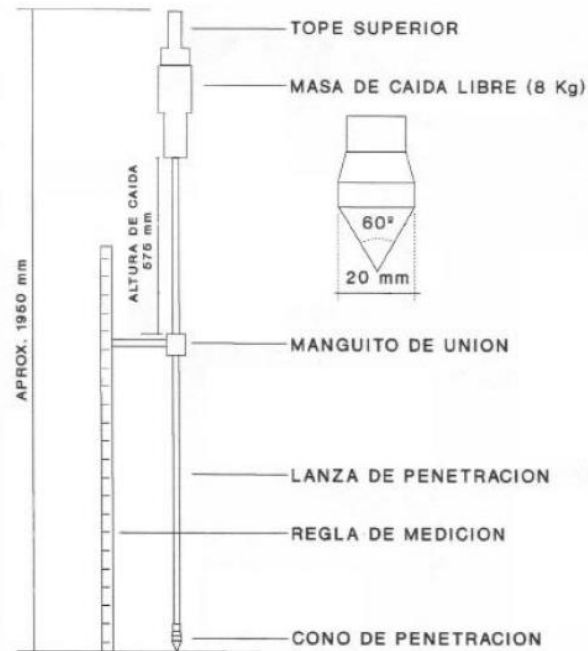
- Penetrómetro de cono (DCP)



Desarrollo

Evaluaciones realizadas:

- Penetrómetro de cono (DCP)



Desarrollo

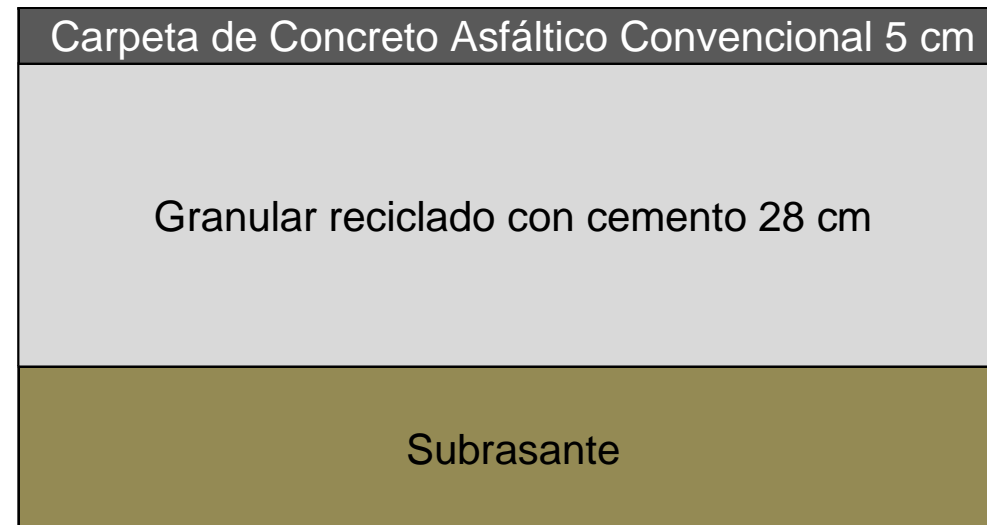
Evaluaciones realizadas:

- Calado/extracción de testigos
- Evaluación superficial
- Otros



Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100
Última intervención: reciclado con cemento 2004.



* Antecedente 2004

Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100



Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100

Evaluación superficial:

- Fisuras reflejas
- Piel de cocodrilo
- Baches



Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100



	A	D	D	A	D
	276+000	277+000	278+000	279+000	280+500
0	4	5	6	5	5
5					
10					
20					
30					
35					
	Concreto Asfáltico Convencional				
	Reciclado RAP, Suelo, Cemento				

Carpeta, fisuras que permiten el ingreso de agua

Capa cementada, retiro parcial

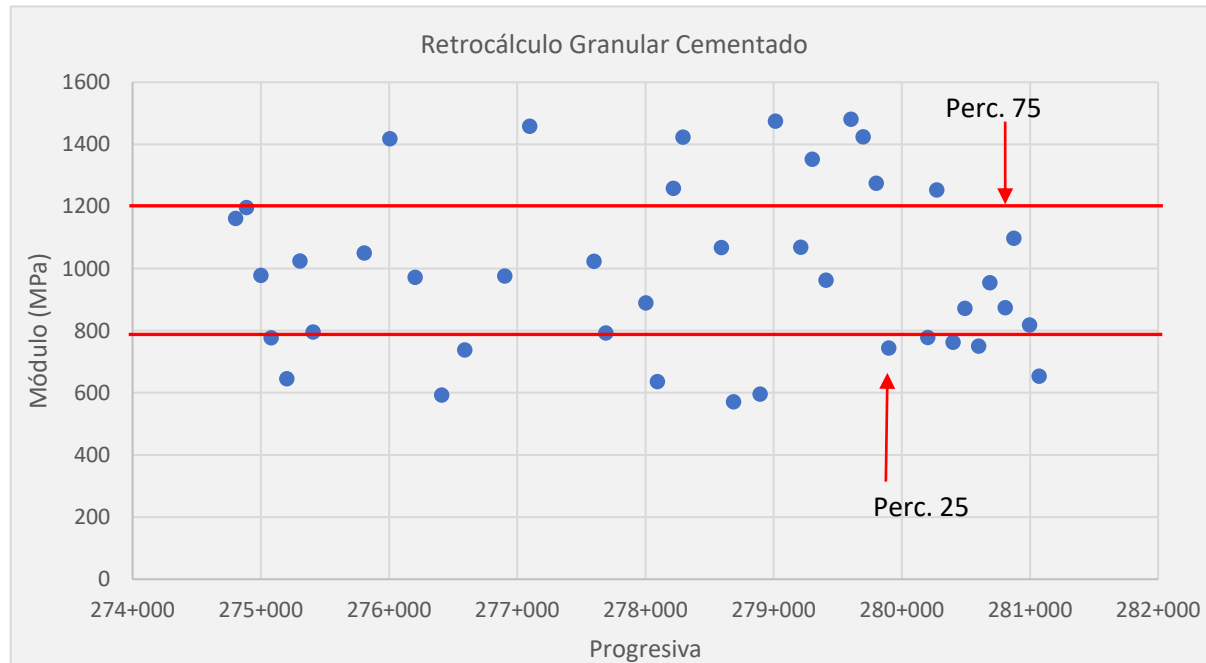
Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100



Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100



- $M_{máx} = 1480 \text{ MPa}$
- $M_{75\%} = 1196 \text{ MPa}$
- $M_{med} = 971 \text{ MPa}$
- $M_{25\%} = 771 \text{ MPa}$
- $M_{min} = 571 \text{ MPa}$

Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+100

Carpeta de Concreto Asfáltico Convencional 5 cm	650 MPa
Granular reciclado con cemento 28 cm	971 MPa
Suelo seleccionado 30 cm	67 MPa
Subrasante	60 MPa

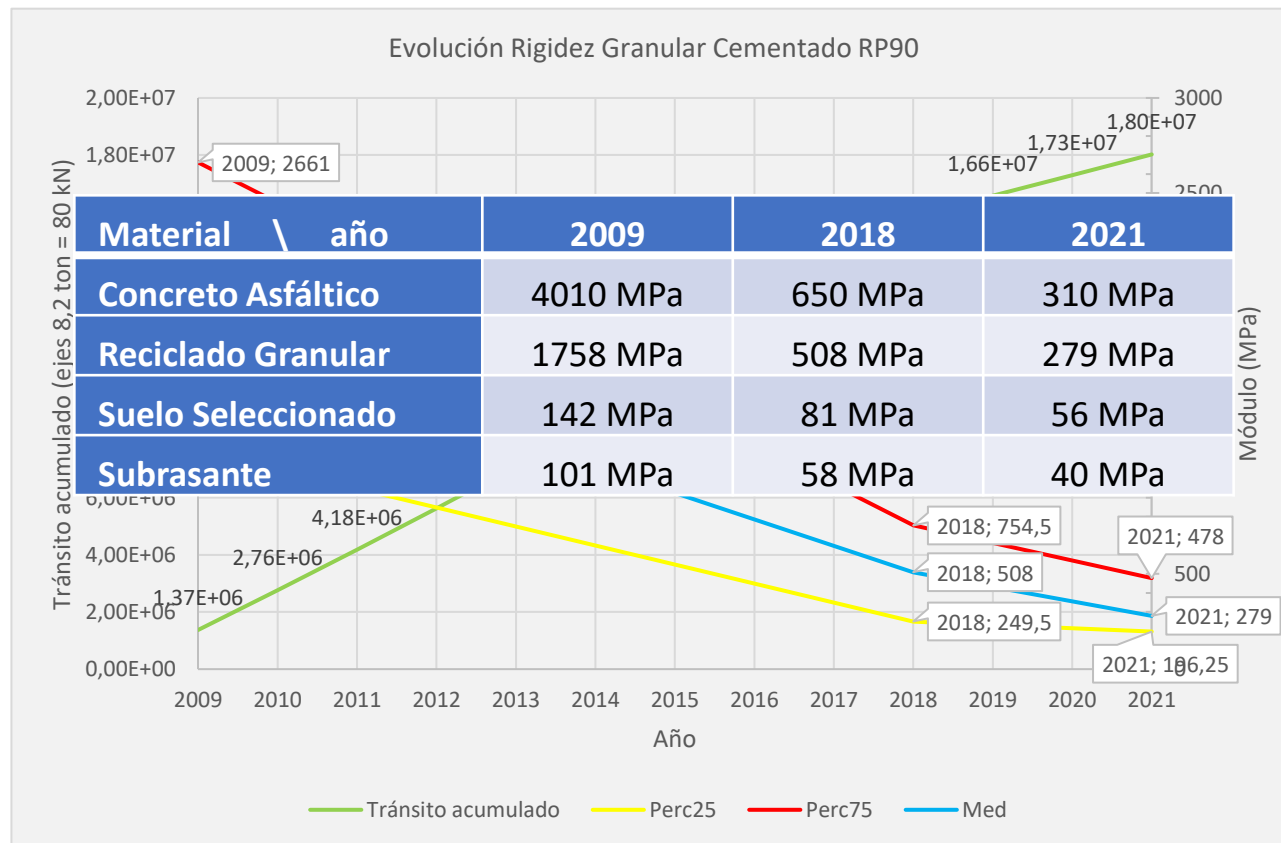
Desarrollo

1) Resumen retrocálculo de tramos

	Ruta	Tramo	Espesor (cm)	Cont. Cto (%)	Edad (N° ejesx10 ⁶)	Módulo medio (Mpa)	Módulo característico (Mpa)
1	RP n°2	Km. 273+000 - 281+100	28	5,00	9,29	971	771
2	RP n°2	Km. 301+500 - 308+700	28	5,00	10,85	400	307
3	RP n°10	Km. 108+900 - 125+150	30	3,50	9,01	518	481
4	RP n°17	Km. 14+200 - 34+100	30	3,50	4,28	250	181
5	RP n°22-s	Km. 0+200 - 10+900	15	4,00	0,00	4372	2488
6	RP n°91	Km. 1+000 - 8+500	24	3,00	14,20	1178	947
7'	RP n°90	Km. 124+900 - 149+800	25	3,50	1,37	1758	1149
7''	RP n°90	Km. 124+900 - 149+800	25	3,50	14,92	508	250
7'''	RP n°90	Km. 124+900 - 149+800	25	3,50	18,02	279	196

Desarrollo

3) Análisis expa... explicación de los datos Estructural RP90



Desarrollo

Retroajuste modular (BackViDe)

Tipo de Análisis

- Condiciones iniciales fijas
- Método incremental (Deterioro y Clima)

Desarrollo

Hipótesis elásticas adoptadas por BackViDe

A) Condiciones iniciales fijas:

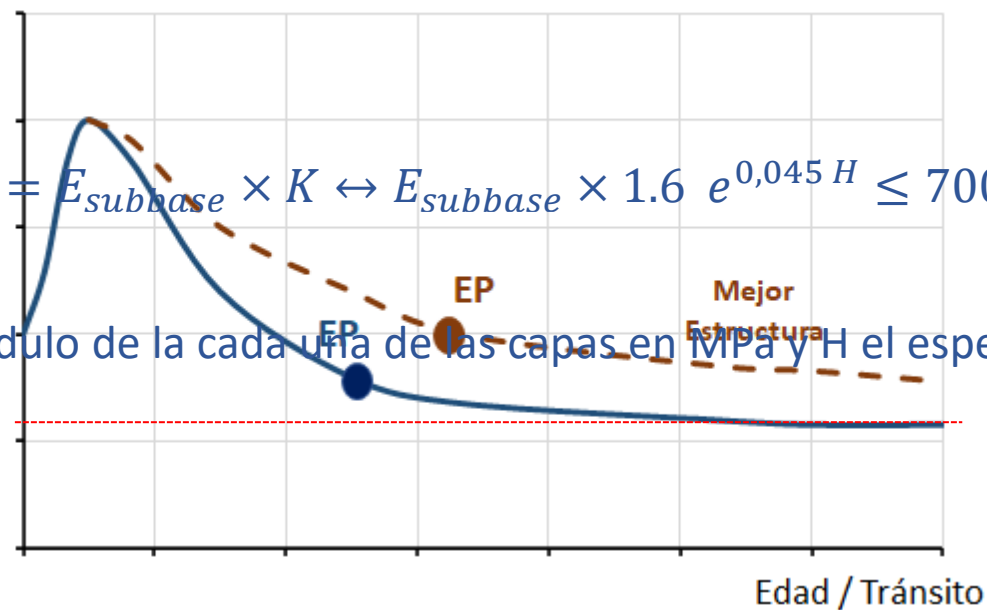
- Definición EP:

Módulo del EGC

$$E_{\text{cementada}} = E_{\text{subbase}} \times K \leftrightarrow E_{\text{subbase}} \times 1.6 e^{0,045 H} \leq 700 \text{ MPa} \quad (1)$$

Siendo $E_{\text{cementada}}$ y E_{subbase} el módulo de la cada una de las capas en MPa y H el espesor de la capa cementada en cm.

Módulo final



Interpretación módulo EP (Asphalt Academy, 2009)^[1].

Desarrollo

Hipótesis elásticas adoptadas por BackViDe

B) Método incremental:

Evolución modular:

$$E_{daño} = E_{min} + \frac{E_{integro} - E_{min}}{1 - e^{mv1} + e^{mv1+mv2} (Daño^{mv3})} \quad (2)$$

Siendo $E_{daño}$ el módulo asociado a un valor del daño, E_{min} el módulo final correspondiente a un daño máximo 300 MPa (valores previos al presente trabajo), $E_{integro}$ el módulo correspondiente al material sin daño en MPa, Daño es el valor del daño acumulado, e es la base de los logaritmos neperianos, mientras que $mv1$, $mv2$, $mv3$ son coeficientes que caracterizan al material, -3.00, 4.00 y 1.00 (valores previos al presente trabajo).

Desarrollo

Hipótesis elásticas adoptadas por BackViDe

B) Método incremental:

Módulo mínimo:

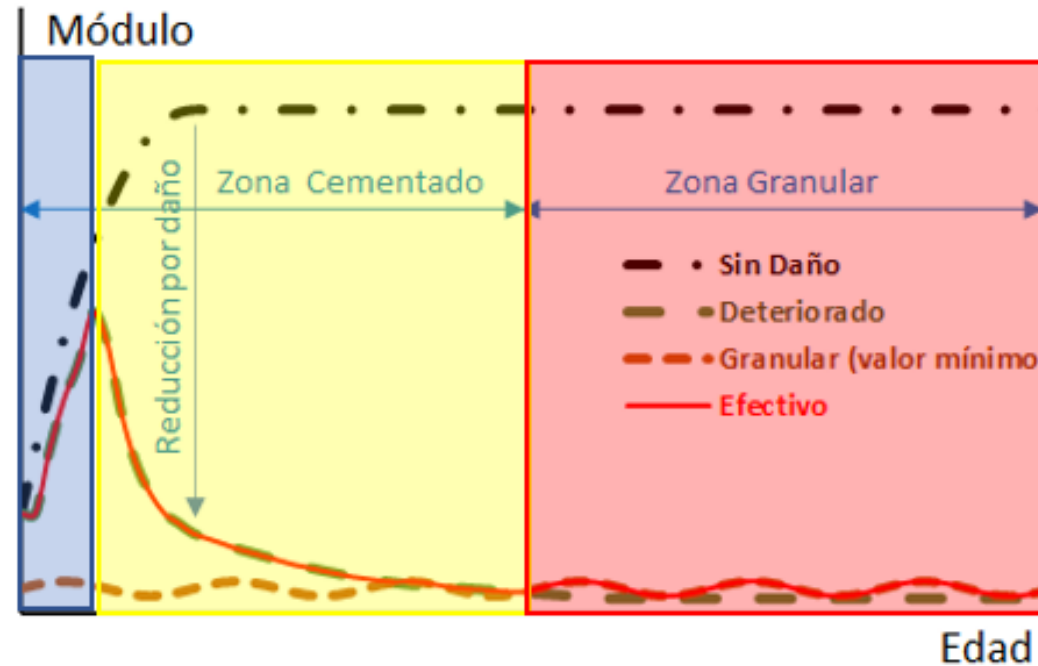
$$Mr = 700 \theta^{0.7} \quad (3)$$

Siendo Mr el resultando en MPa y θ primer invariante de tensiones en MPa.

Desarrollo

Hipótesis elásticas adoptadas por BackViDe

B) Método incremental:



Etapa 1: Construcción

Etapa 2: Apertura al tránsito

Etapa 3: Ruina

Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 301+500 – 308+700

Resultados del Retroajuste modular

Recuperando resultados

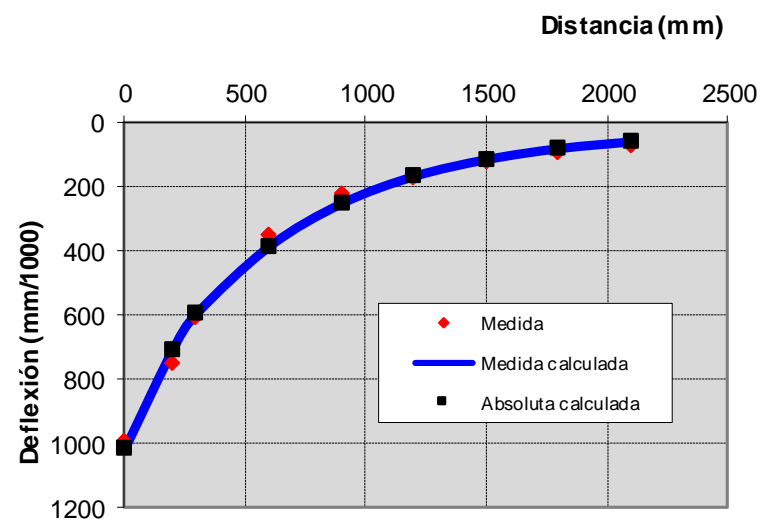
Número de iteraciones 7, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

Distancia(mm)	Deformada (mm/1000)									Error promedio 19,9					Error promedio caso anterior 20,20				
	0	200	300	600	900	1200	1500	1800	2100										
Medida	995	750	612	356	226	175	124	99	80										
Calculada	1018	708	596	389	256	172	120	86	65										
Error	23	42	16	33	30	3	4	13	15										

Estructura	Tipo de Capa	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
	CAC D 19 CA30	55	310
	Estab Granular cementado	280	307
	Suelo Seleccionado	260	47
	Suelo Seleccionado	270	39
	Subrasante	1000	29
	Subrasante profunda		84



Radio de Curvatura (m)
Medido 82
Calculado 65

Desarrollo

Resultados del Retroajuste modular

Recuperando resultados

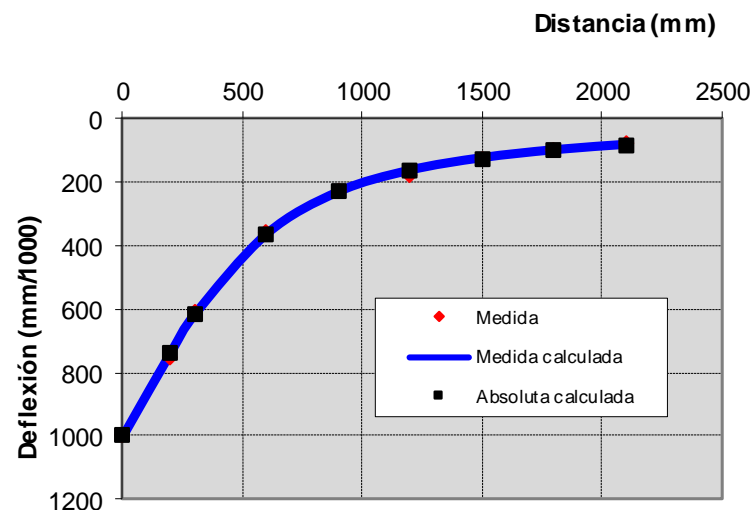
Número de iteraciones 24, Convergencia de módulos,

Tipo de medición de la deformada

ABSOLUTA FWD

	Deformada (mm/1000)										Error promedio 5,6					Error promedio caso anterior 5,90				
Distancia(mm)	0	200	300	600	900	1200	1500	1800	2100											
Medida	995	750	612	356	226	175	124	99	80											
Calculada	1000	737	617	364	231	163	124	99	82											
Error	5	13	5	8	5	12	0	0	2											

Estructura	Tipo de Capa	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
	CAC D 19 CA30	55	310
	Granular	140	699
	Suelo Seleccionado	140	67
	Suelo Seleccionado	260	52
	Suelo Seleccionado	270	56
	Subrasante	1000	42
	Subrasante profunda		62

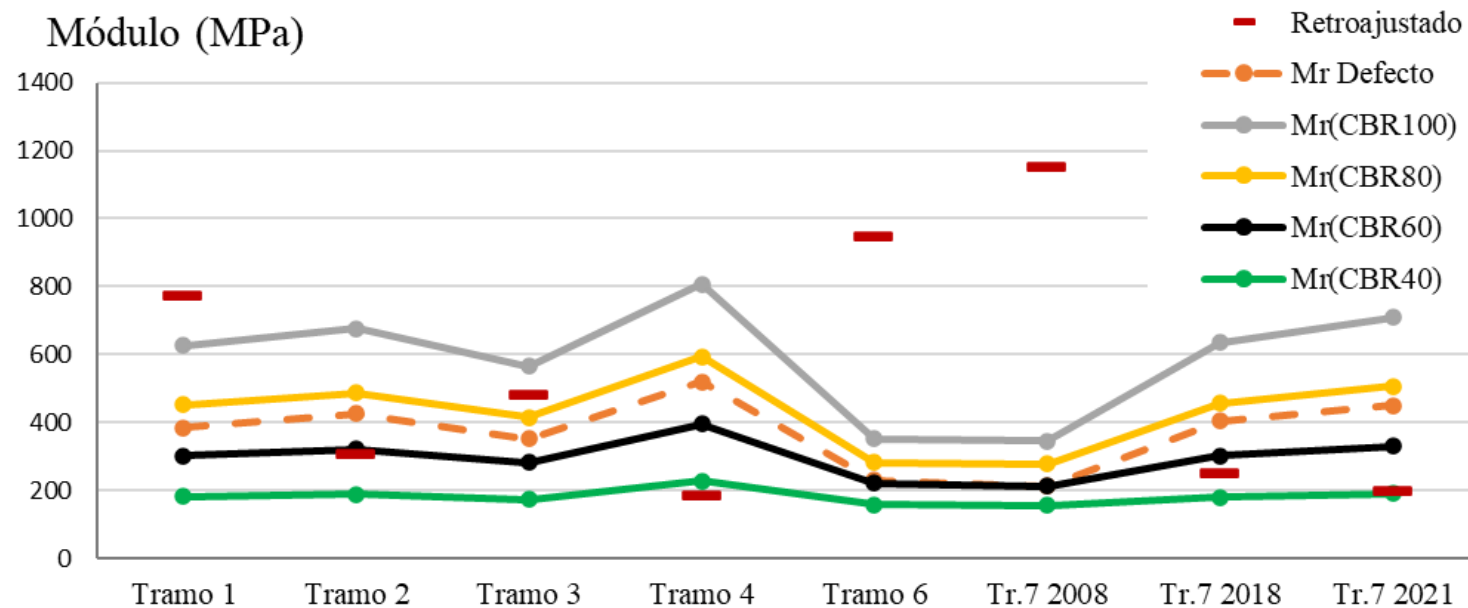


Radio de Curvatura (m)
 Medido 82
 Calculado 76

$$Mr = 1785 \theta^{0,70}$$

Desarrollo

Resultados del análisis por método incremental



Comportamiento de diferentes tramos del material granular cementado.

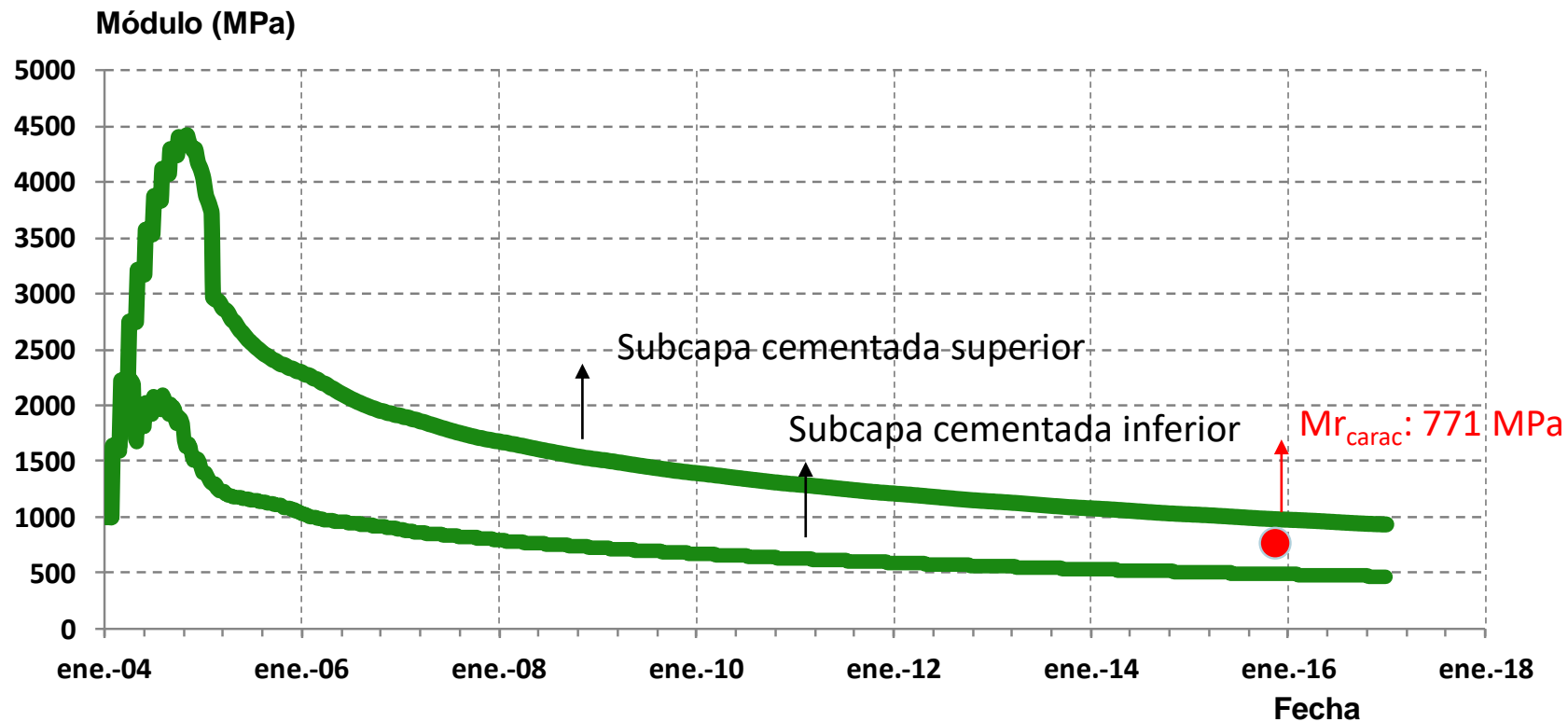
Desarrollo

Resultados del análisis en **condiciones iniciales**

Tramo	Espesor (cm)	Mr subbase retrocalc. (Perc. 25%) (MPa)	Tipo de subbase	Factor Escalonamiento (K)	EP (Mpa)	Mr base retrocalc. (Perc. 25%) (MPa)
RP90 2008	25	171	SS	4,93	700	1176
RP90 2018	25	64	SS	4,93	315	250
RP90 2021	25	47	SS	4,93	232	196
RP10	30	64	SS	6,17	395	608
RP17	30	30	SS	6,17	185	167
RP91	24	200	SAC	4,71	700	952
RP2 T1	26	65	SS	5,16	340	771
RP2 T2	28,5	46	SS	5,77	265	307

Desarrollo

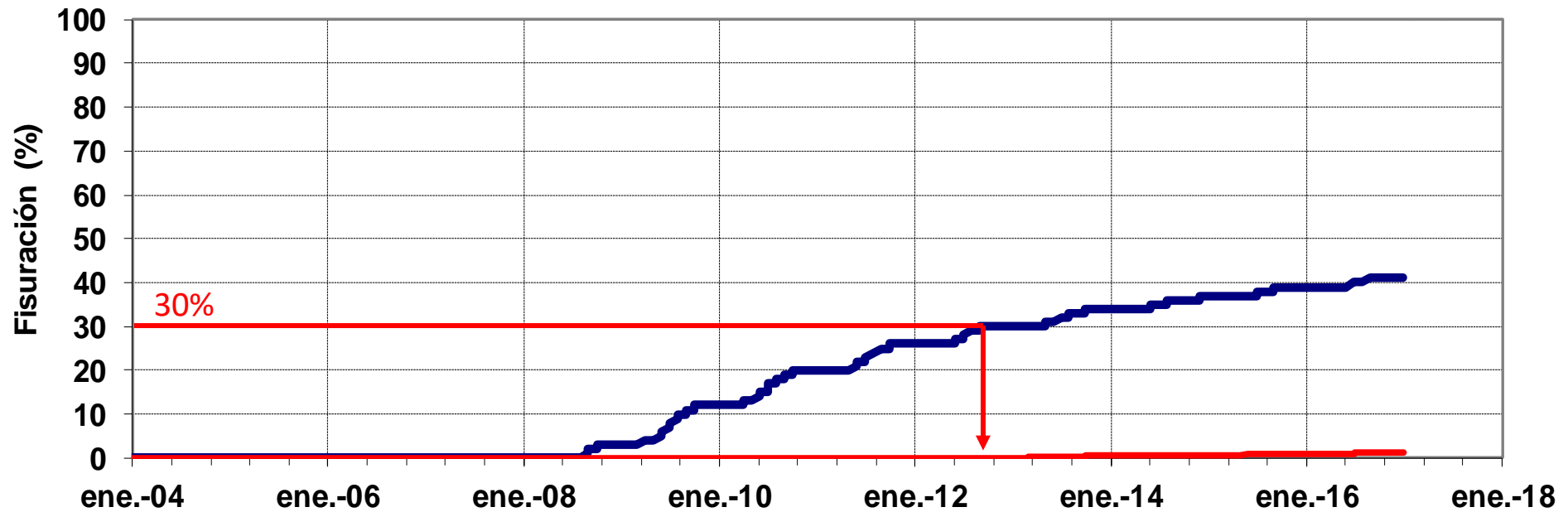
Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+000



Variación modular (Análisis método incremental BackViDe)

Desarrollo

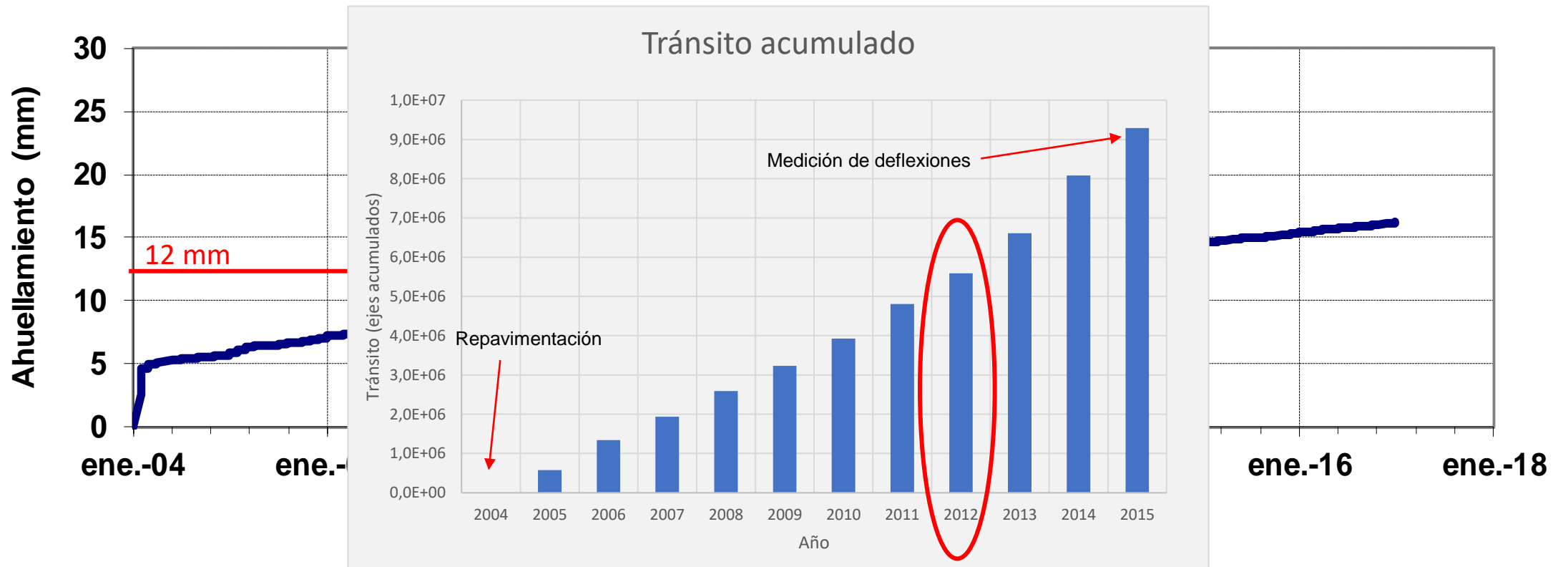
Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+000



Análisis evolución fisuración

Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+000

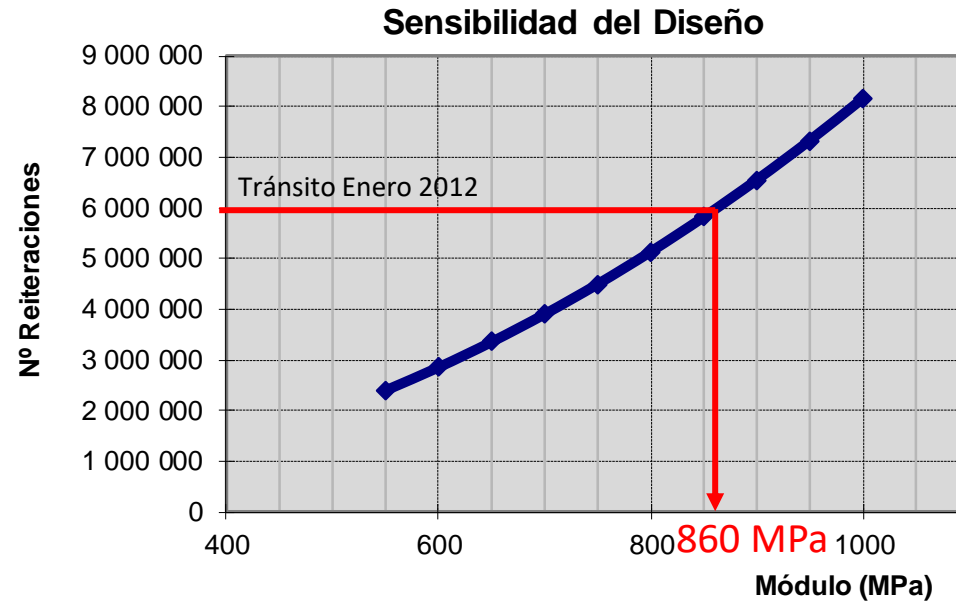


Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+000

Estructura Analizada

Tipo	Espesor (mm)	Módulo (MPa)
CAC D 19 CA30	50	3020
Estab Tratado con Cemento	260	Variable
Suelo Seleccionado	370	66
Subrasante		48



Resultado retrocálculo en condiciones iniciales

Desarrollo

Obra: Ruta Provincial nº 2 – Tramo: Km 273+000 – 281+000

Tramo	Espesor (cm)	Mr subbase retrocalc. (Perc. 25%) (MPa)	Tipo de subbase	Factor Escalonamiento (K)	EP (Mpa)	Mr base retrocalc. (Perc. 25%) (MPa)
RP90 2008	25	171	SS	4,93	700	1176
RP90 2018	25	64	SS	4,93	315	250
RP90 2021	25	47	SS	4,93	232	196
RP10	30	64	SS	6,17	395	608
RP17	30	30	SS	6,17	185	167
RP91	24	200	SAC	4.71	700	952
RP2 T1	26	65	SS	5,16	340	771
RP2 T2	28,5	46	SS	5,77	265	307

860 Mpa > 340 MPa

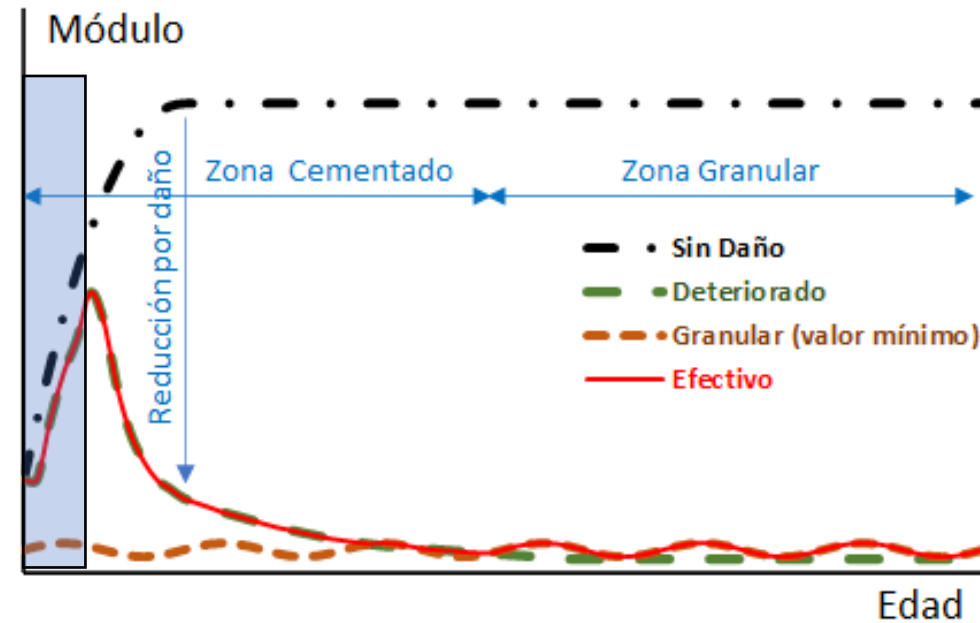
Conclusión

1- Análisis hipótesis

Es posible afirmar lo enunciado en la **hipótesis** que indicaba un aumento en la resistencia inicial de este material debido a un proceso de cementación, para luego degradarse paulatinamente a partir de la aparición de fisuras originadas por la naturaleza del material, como también del tránsito.

Conclusión

2 – Comportamiento modular

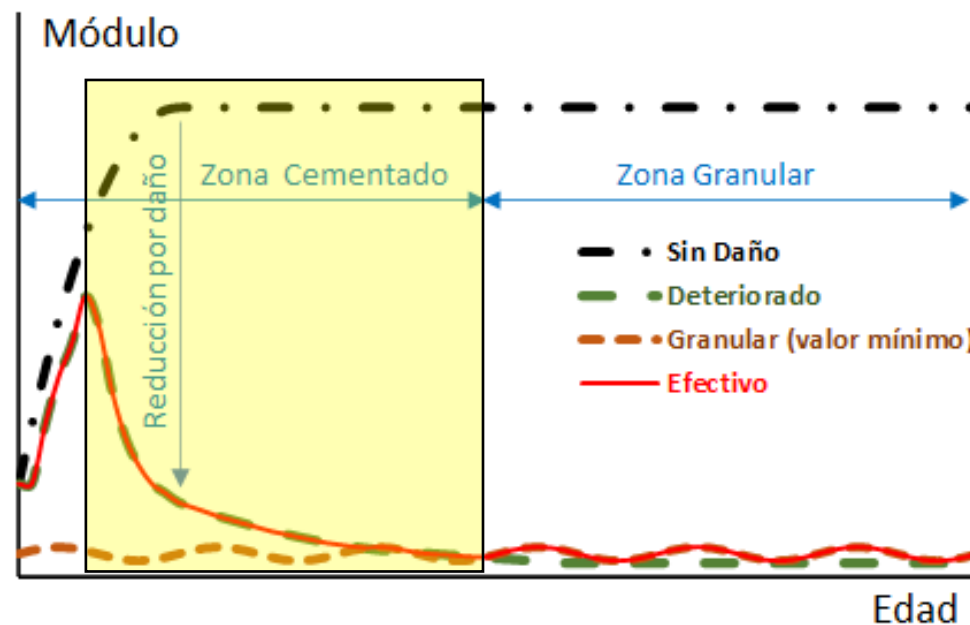


FASE 1 – CONSTRUCCIÓN Y EDADES TEMPRANAS

- El contenido de cemento elevando considerablemente el módulo resistente hasta de 9.000 MPa.
- Valores medios de 4.000 MPa podrían adoptarse como representativos en la etapa inicial, para cantidades de cemento incorporadas del 3% al 4%, típico de la Provincia de Santa Fe.
- A partir de los resultados de retrocálculo obtenidos se concluyó en incrementar el módulo cementado inicial con el que trabaja el programa BackViDe, de 3.000 MPa a 5.000 MPa.

Conclusión

2 – Comportamiento modular

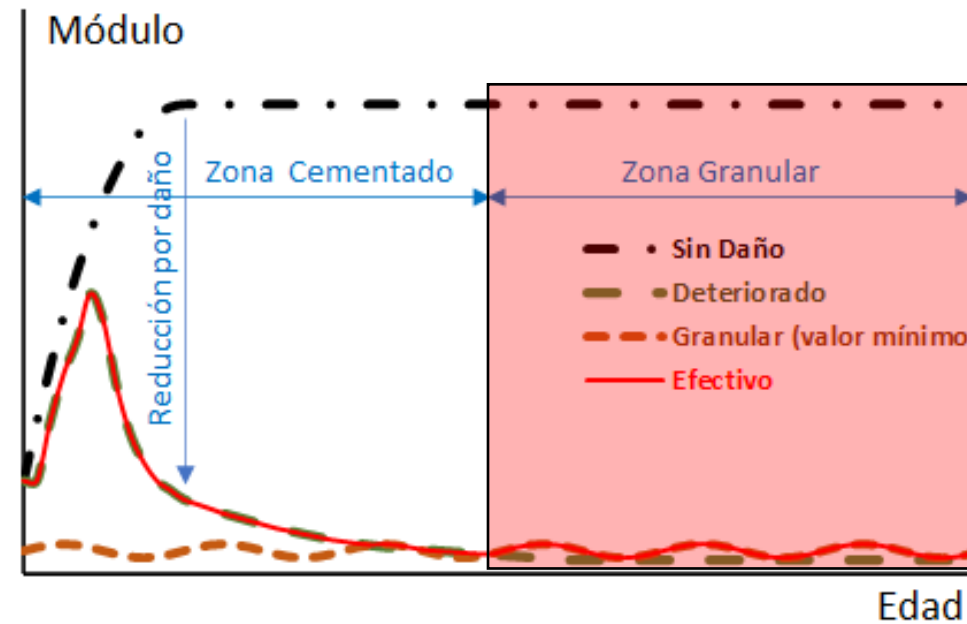


FASE 2 – ETAPA DE SERVICIO

- Valores medios de 1.500 MPa y se forman bloques de una a cinco veces el espesor de la capa
- Condicionado fuertemente por factores como son el espesor de la capa cementada, la cantidad de cemento incorporado, el curado recibido, las características de la capa subyacente, etcétera.

Conclusión

2 – Comportamiento modular



FASE 3- FIN DEL SERVICIO

- Valores asintóticos de entre 300 – 900 MPa y se obtiene una vez que la totalidad del espesor cementado se encuentra fisurado, lo que es asimilable a una capa granular, variando este valor modular en función de la curva granulométrica alcanzada en su diseño.

Conclusión

3 – Deterioro material multicapa

- Deterioro predominante, desde fibras inferiores.
- Variación rigidez capa, simplificación de subdivisión de capas.
- Se plantea adecuado considerar al mismo en la modelización, si supera los 20 cm de espesor, como dos capas de un semi espesor.

Conclusión

4 – Análisis hipótesis software BackViDe

- Hipótesis en condiciones iniciales
- Hipótesis modelo incremental



$$Mr_{min} = 340 \theta^{0,55} \tau_{octa}^{-0,19}$$

Siendo Mr es el resultando en MPa, τ_{octa} esfuerzo de corte octaédrico en MPa y θ primer invariante de tensiones en MPa.

Sin embargo, debería plantearse su adopción en función del estabilizado analizado, ya que el comportamiento dependerá del contenido de cemento, del esqueleto granular y del comportamiento de las capas inferiores.

“La Ingeniería de Pavimentos es el arte de utilizar materiales que no entendemos completamente, en formas que no podemos analizar con precisión, para que soporten cargas que no sabemos predecir, de tal forma que nadie sospeche de nuestra ignorancia.”

Dr. Matthew W. Witczak

Muchas gracias por su atención