

8ª JORNADA PROAS DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA

Santiago de Compostela
18-Febrero-2014

Aplicación de la técnica de reciclado en frío con emulsión bituminosa en carreteras de Galicia



PROAS

Ignacio Pérez Pérez
E.T.S. Ingenieros de Caminos
Universidade da Coruña

Índice

1. La técnica del reciclado en frío
 - 1.1. Definición
 - 1.2. Clasificación
 - 1.3. Aplicación
 - 1.4. Ventajas y limitaciones
 - 1.5. Materiales
 - 1.6. Fórmula de trabajo y control de calidad
 - 1.7. Fabricación y puesta en obra
2. Experiencia en Galicia
3. Conclusiones

1.1. Definición

Mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de un firme existente en un espesor comprendido entre 6 y 12 cm, emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos.

1.2. Clasificación

	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Material reciclado	Capa bituminosa (<4-5 cm)+base granular	Capa bituminosa (5-10 cm)+base no bituminosa	Mezclas bituminosas
Emulsión	Emulsión de betún blando	Emulsión de betún blando o regenerante	Emulsión regenerante
Dotación (60% B. res.)	4-7%	3-5%	2,5-4%
Espesor	8-12 cm	8-12 cm	6-12 cm
Objetivo	Mejora de las características mecánicas y geométricas	Igual tipo I y eventualmente regeneración del ligante	Reciclado y regeneración del ligante existente

- Tipos de reciclado



Tipo I

(Fuente: ATEB)



Tipo III

1.3. Aplicación

- En rehabilitación de firmes total o parcialmente agotados
 - **Tráfico T1**
 - Calzada: RFE + 8 cm mínimo de MBC
 - Arcenes: RFE + rodadura bituminosa
 - **Tráfico T2-T4**
 - RFE + Rodadura MBC D ó S

	T00	T0	T1	T2-T4
Calzada	No se contempla		6 cms. MBC MbRCC:	MBC rodadura (S ó D) MbRCC:
		10 cms. MBC MbRCC:	8 cms. MBC MbRFE	MBC rodadura (S ó D) MbRFE
				MBC rodadura (S ó D) RC
Arcén	No se contemplan		Rodadura MbRCC:	Rodadura MbRCC
		Rodadura MbRCC:	Rodadura MbRFE	Rodadura MbRFE
				Rodadura RC

Orden circular 8/2001 sobre reciclado de firmes

1.4. Ventajas y limitaciones

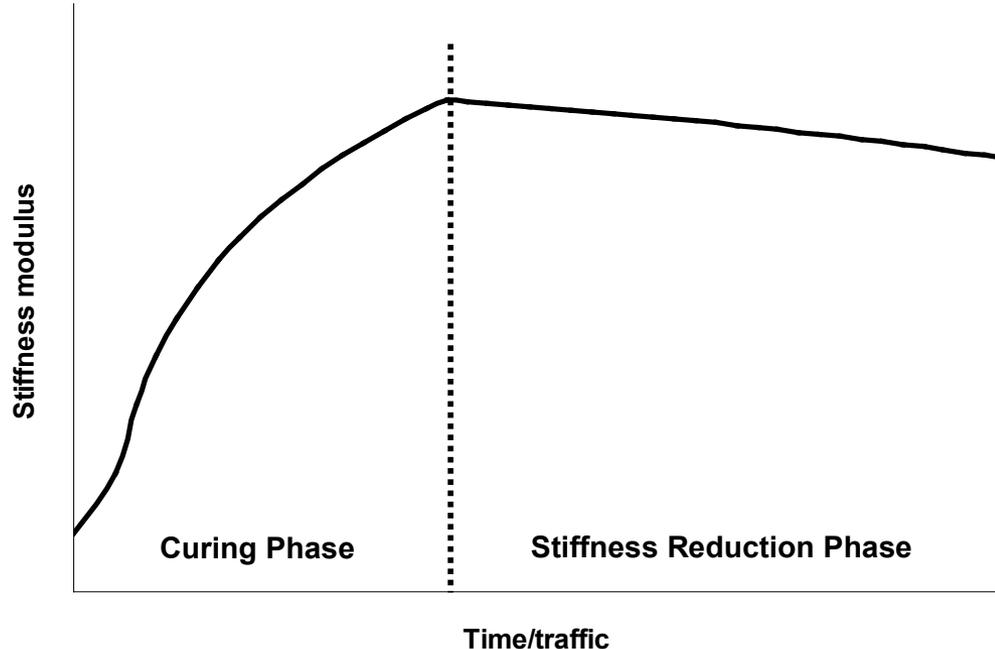
Ventajas

- Reutilización de los materiales del firme
- Reducción de las operaciones de transporte
- Ahorro de energía
- Nulo efecto contaminante
- Restituye la cohesión y resistencia de las capas bituminosas

1.4. Ventajas y limitaciones

Limitaciones

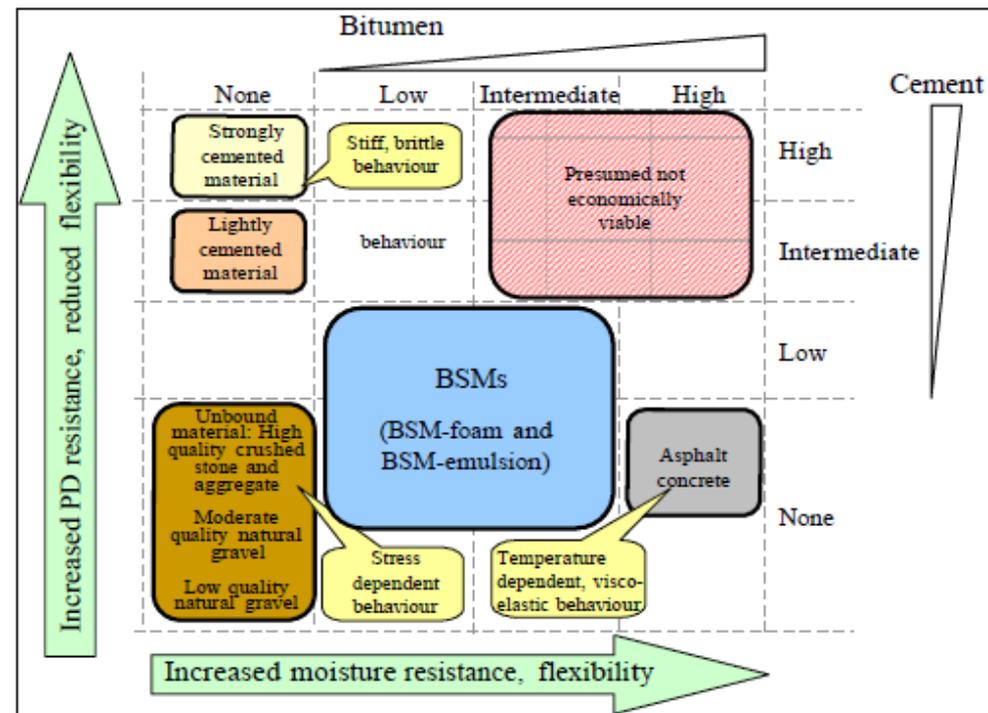
- Mala solución de problemas asociados a mala calidad de la explanada
- Existe un período de maduración



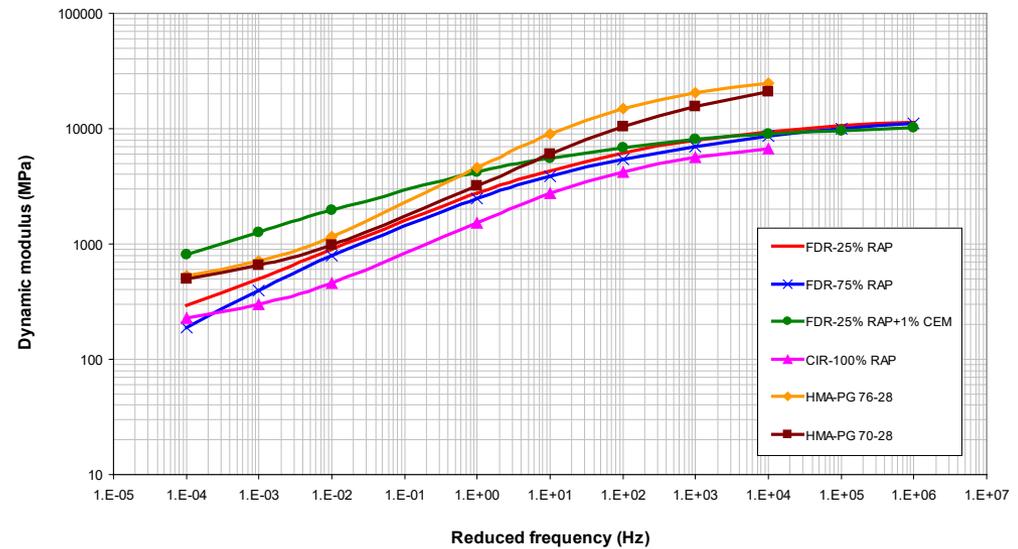
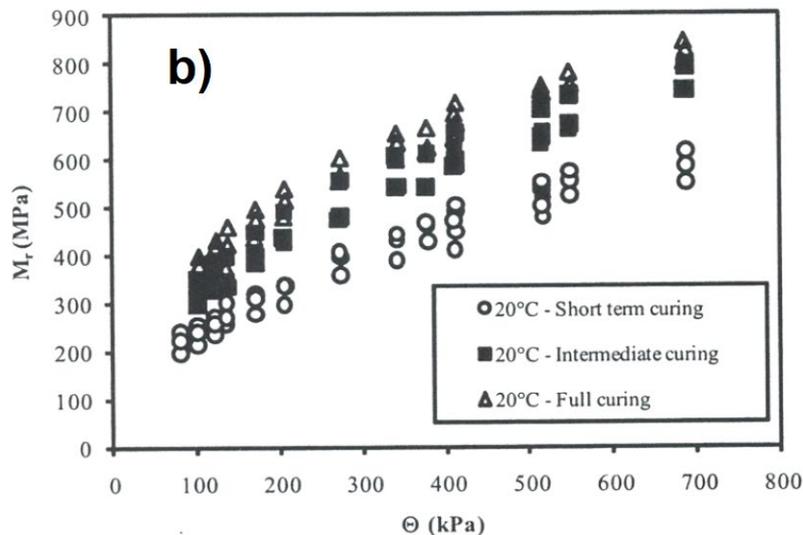
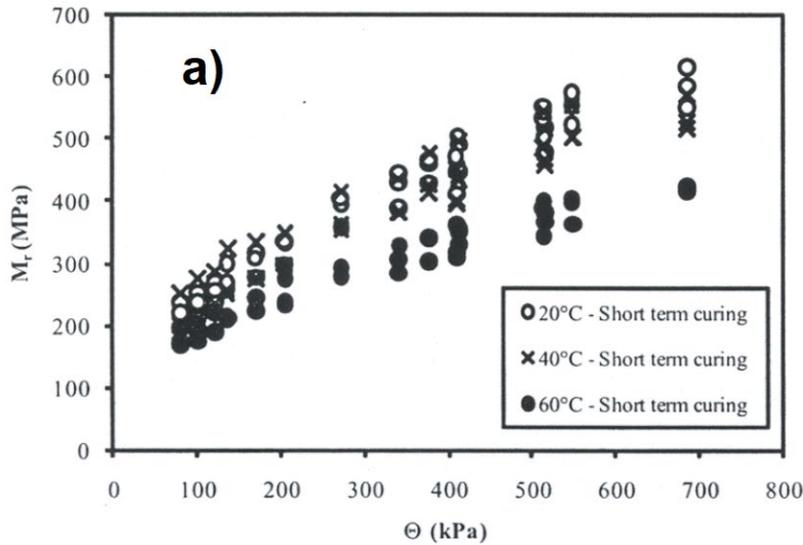
1.4. Ventajas y limitaciones

Limitaciones

- Criterios de diseño poco definidos
- Escaso conocimiento de las propiedades mecánicas



1.4. Ventajas y limitaciones



1.5. Materiales

- Emulsión bituminosa de rotura lenta para no terminar prematuramente la fase de envuelta (C60B7REC y C60B6REC)
- Agua
- Aditivos (cal, cemento)
- Material resultante del fresado del firme existente “in situ”

1.5. Materiales

Material resultante. Husos granulométricos

Reciclado III	CEDAZOS Y TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,50	0,25	0,063
RE1	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	2-20	0-10	0-3
RE2	-	100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	2-20	0-10	0-3

Orden circular 8/2001 sobre reciclado de firmes

RE1 espesores superiores a 10 cm

RE2 espesores entre 6 y 10 cm

1.6. Fórmula de trabajo y control de calidad

- Material fresado
 - ✓ Cuarteo
 - ✓ Granulometría
 - ✓ % de ligante envejecido
 - ✓ Características del ligante
- Tipo de emulsión y envuelta



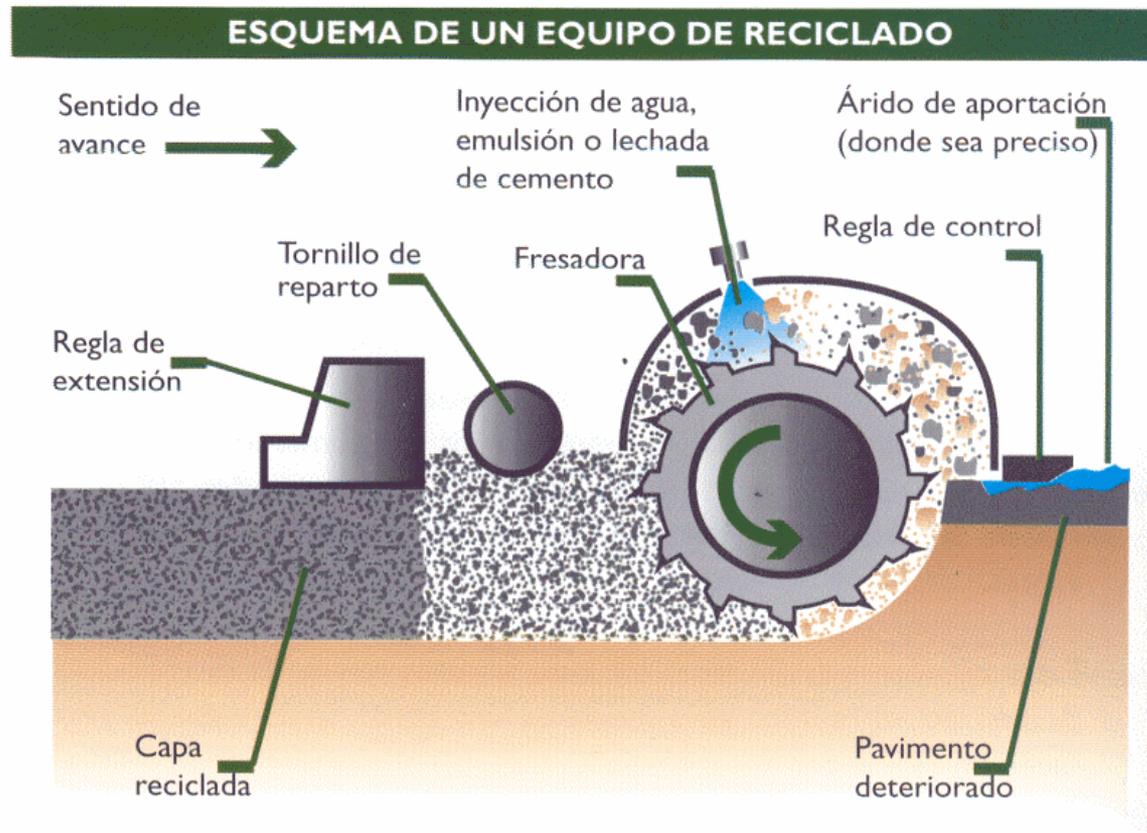
1.6. Fórmula de trabajo y control de calidad

- Fórmula de trabajo
 - ✓ Granulometría
 - ✓ Densidad seca máxima-humedad óptima
 - ✓ Envueltas (material fresado + % agua + % emulsión y grado de cubrición)
 - ✓ Inmersión-compresión
- En obra: contenido agua, contenido betún y densidad

1.7. Fabricación y puesta en obra

- Camión cisterna (emulsión)
- Fresadora-mezcladora-extendedora
- Compactador vibratorio de rodillo metálico pesado
- Compactador de neumáticos pesado

1.7. Fabricación y puesta en obra



Esquema de un equipo de reciclado

2. Experiencia en Galicia

- Ministerio de Fomento. Unidad de carreteras de Lugo. Jefe Servicio de Conservación: Narciso González Florido

- 5 obras de reciclado en frío con emulsión
 - “CONSERVACIÓN DEL FIRME. REFUERZO DEL FIRME CN-VI P.K. 515+900 AL 546+600. TRAMO: RÁBADE-L.P. LA CORUÑA -GUITIRIZ.- 32-LU-3040”. (30,1 km)
 - “CONSERVACIÓN DEL FIRME. REFUERZO DEL FIRME. N-VI DE MADRID A LA CORUÑA, P.K. 459 AL 464 Y 469 AL 483. TRAMO: BECERREÁ-VEGA DE ANZUELO.-32-LU-3030”. (17 km)
 - “CONSERVACIÓN DEL FIRME. REFUERZO DEL FIRME CN-120, P.K. 472+800 AL P.K. 548+800. L.P. OURENSE-LUGO A L.P. LUGO-OURENSE.- 32-LU-3860”. (7 km)
 - “CONSERVACIÓN DEL FIRME. REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DEL FIRME DEL 37,7 AL 61,7 (DE LA N-640).PROVINCIA DE LUGO.-32-LU-4440”. (24 km)
 - “MEJORA DE RODADURA Y BALIZAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE GLORIETA. CN-640, PK 13,400 AL 37,700. TRAMO: L.P. OVIEDO – A PONTENOVA.- 33-LU-4260”. (24,3 km)

2. Experiencia en Galicia

- N-VI tramo Rábade-límite provincia de A Coruña (P.K. 515,9 a P.K. 546,4)
- Director de obra: César García Cordovilla
- Inspección visual
- Varias rehabilitaciones

2. Experiencia en Galicia

- Estado inicial



2. Experiencia en Galicia

- Sección bastante homogénea
 - 20 cm MBC
 - 18 cm GC
 - 15 cm material granular sobre suelos adecuados y seleccionados (A1)
- Proyecto reciclado en frío con emulsión
 - Norma 6.3.-IC (1980)
 - Orden Circular 323/97

2. Experiencia en Galicia

- Dimensionamiento (2001)
 - IMDp=146 vp (T3) (10 años)
 - Deflexión de cálculo (d_{kc}) y deflexión característica (d_k) de los subtramos

$$d_{kc} = C_h \cdot C_t \cdot d_k \quad d_k = m + 2s$$
$$m = \frac{\sum d_i}{n} \quad s = \frac{\sum (d_i - m)^2}{n - 1}$$

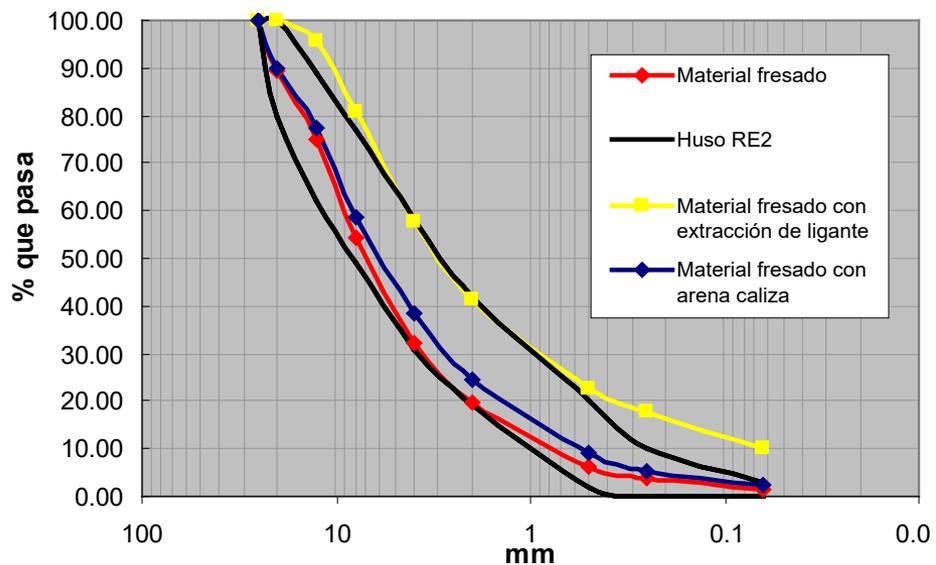
d_i = deflexión patrón en i
 n = número de puntos medidos
Ch = corrección por humedad
Ct = corrección por temperatura

2. Experiencia en Galicia

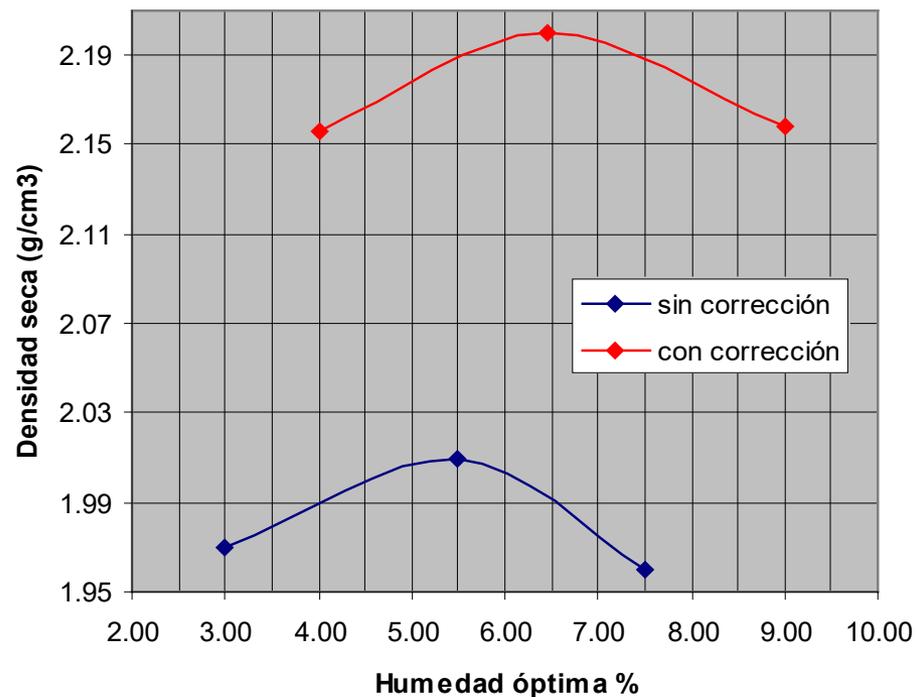
- Solución adoptada (2001)
 - Espesor de mezcla de 12 cm (14 cm)
 - Fresado y reciclado 8 cm (10 cm)
 - Refuerzo 4 cm MBC D-12
- Fórmula de trabajo (OC 8/2001) (verano 2005)
 - Emulsión ECL-2 y material fresado RE2
 - Fluidos óptimos de compactación
 - Contenido óptimo de emulsión

2. Experiencia en Galicia

■ Corrección granulométrica



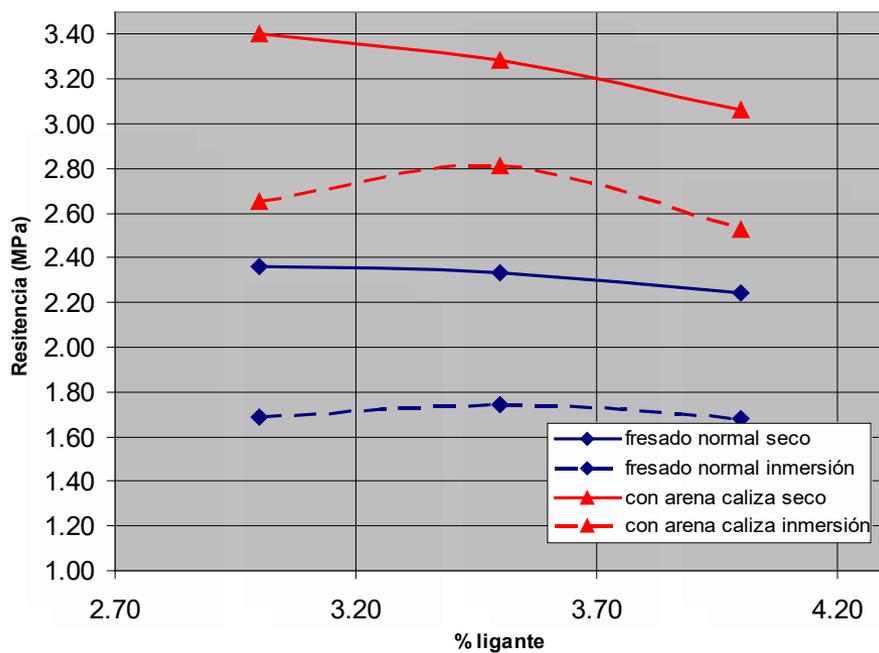
Resultados ensayos granulométricos



Resultados Ensayo Proctor

2. Experiencia en Galicia

- Ensayo de inmersión compresión



FRESADO NORMAL	RESISTENCIA (MPa)		
	% LIGANTE	SECO	TRAS INMERSIÓN CONSERVADA (%)
	3,00	2,36	1,69
	3,50	2,33	1,74
	4,00	2,24	1,68

CON ARENA CALIZA	RESISTENCIA (MPa)		
	% LIGANTE	SECO	TRAS INMERSIÓN CONSERVADA (%)
	3,00	3,41	2,65
	3,50	3,30	2,81
	4,00	3,06	2,53

- 3,5% de ECL-2 y 3,0% de agua

2. Experiencia en Galicia

- Ejecución del reciclado
 - Equipo 2100 DCR de Wirtgen
 - Fases de ejecución
 1. Adición de arena caliza correctora de la granulometría
 2. Disgregación y homogenización
 3. Adición de la emulsión bituminosa y agua
 4. Mezclado de todos estos componentes
 5. Extensión y nivelación de la mezcla
 6. Compactación

2. Experiencia en Galicia

- Máquina de reciclado



2. Experiencia en Galicia

- Arena caliza extendida delante de la máquina



- Sinfín distribuidor transversal de la mezcla

2. Experiencia en Galicia

- Extendido de la mezcla



- Compactación: rodillo neumático + rodillo vibratorio metálico

2. Experiencia en Galicia

- Drenajes



2. Experiencia en Galicia

- Estado del reciclado (3 meses sin capa de rodadura)



- Comportamiento excelente

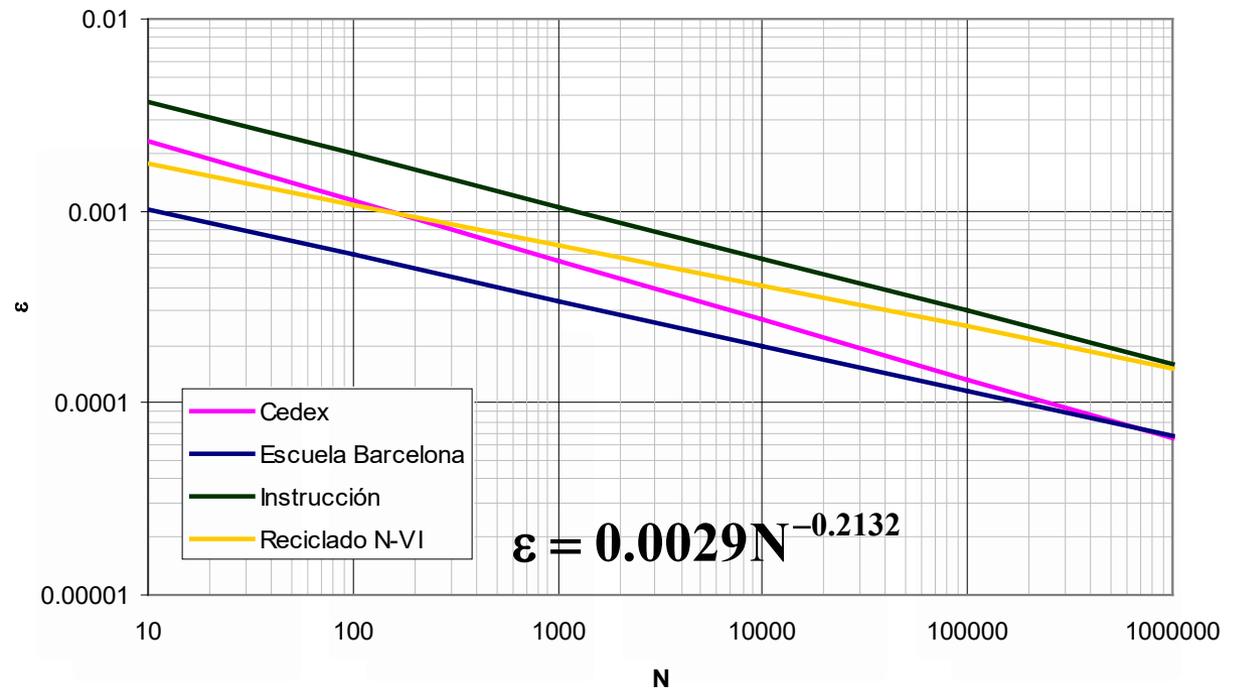
2. Experiencia en Galicia

- Control de la obra
 - ✓ Densidades por el método de la arena
 - ✓ Rotura a compresión simple de muestras
 - ✓ Extracción de testigos



2. Experiencia en Galicia

- Ensayo de flexotracción dinámica (3 puntos)
- Maduración a temperatura ambiente (5 meses)



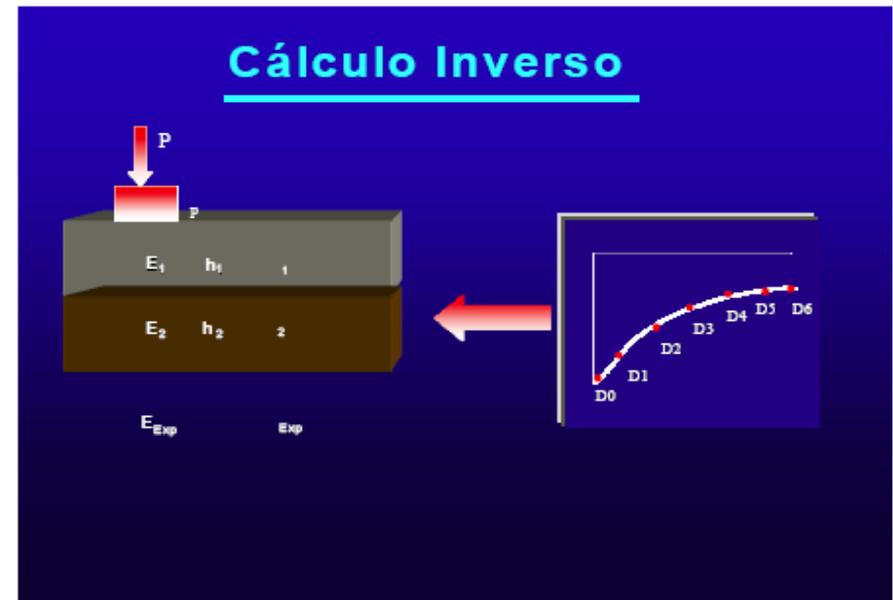
2. Experiencia en Galicia

- Módulo dinámico

Probeta	Modulo dinámico (MPa)
1	2944
2	3200
3	3241
4	4750
5	5750
6	4160
Media	4008

2. Experiencia en Galicia

- Deflexiones (DYNATEST HWD 8081) (1 mes de maduración) antes de rodadura.
- Cálculo inverso (EVERCALC 5.0. Departamento de Transportes del Estado de Washington)



2. Experiencia en Galicia

- Cálculo inverso (carril 1 derecho)

Tramo	PK Inicio	PK final	Deflexión (µm)	D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150	E (MPa)	RMS (%)
10	519.880	520,365	Máxima	662.3	413.8	333.1	271.8	172.3	106.7	74.8	742.46	0.77
60	519.880	520,365	10% superior	575.9	382.8	299.9	240.8	153.1	99.3	69.9	3298.20	0.44
9	519.640	519,860	25% superior	497.1	320.3	261.8	218.8	142.8	92.7	69.9	1616.82	1.77
53	537.927	538,431	Media	406.8	253.0	204.5	169.2	111.7	74.9	55.4	2663.78	1.07
55	539.063	539,383	25% inferior	294.5	192.8	155.8	128.2	82.4	51.7	35.9	4290.77	1.66
29	526.721	526,981	10% inferior	239.1	171.3	147.4	132.2	97.0	69.6	52.7	2608.98	1.09
39	531.996	532,221	Mínima	159.2	89.4	75.8	67.3	48.4	33.8	25.2	2571.47	1.14
Módulo medio											2541.78	

2. Experiencia en Galicia

- Cálculo inverso (carril 2 izquierdo)

Tramo	PK Inicio	PK final	Deflexión (μm)	D0	D30	D45	D60	D90	D120	D150	E (MPa)	RMS (%)
46	521.905	521.765	Máxima	926.5	631.9	493.6	396.4	247.6	154.4	106.6	1862.59	0.77
23	533.590	533.450	10% superior	600.0	397.5	308.3	246.8	146.3	88.1	62.4	2206.62	1.41
12	539.200	538.472	25% superior	486.3	327.9	260.4	212.1	137.2	92.9	67.8	2838.9	0.47
40	525.162	524.060	Media	409.8	249.5	197.7	163.0	107.7	73.2	54.9	1678.99	0.77
15	538.032	537.853	25% inferior	324.6	210.6	165.5	134.2	86.2	56.6	40.9	4000.00	0.68
36	526.984	526.884	10% inferior	229.1	148.4	123.9	105.1	74.1	51.5	39.6	2905.56	1.00
46	530.296	530.036	Mínima	173.5	82.5	65.9	54.9	37.0	23.7	15.9	4861.58	0.53
Módulo medio											2907.75	

2. Experiencia en Galicia

- Cálculo Directo. Redimensionamiento del firme (Kenpave)

Tramo	PK Inicio	PK final	Mezcla D-12		Na (x 10 ⁵)		Nt (x 10 ⁵)
			Módulo (MPa)	Espesor de recrecimiento (cm.)	Fatiga	Roderas	
10	519,880	520,365	5000	4	7.03	2090	4.42
60	519,880	520,365	5000	4	3.22	850	
9	519,640	519,860	5000	4	10.50	888	
53	537,927	538,431	5000	4	8.24	24200	
55	539,063	539,383	5000	4	34.20	7780	
29	526,721	526,981	5000	4	2160	20300	
39	531,996	532,221	5000	4	17.4	121000	

Carril 1 (derecho)

2. Experiencia en Galicia

- Cálculo directo. Redimensionamiento del firme (Kenpave)

Tramo	PK Inicio	PK final	Mezcla D-12		Na (x 10 ⁵)		Nt (x 10 ⁵)
			Módulo (MPa)	Espesor de recrecimiento (cm.)	Fatiga	Roderas	
46	521,905	521,765	5000	4	0.48	258	4.42
23	533,590	533,450	5000	4	1.78	794	
12	539,200	538,472	5000	4	4.75	485	
40	525,162	524,060	5000	4	21.0	781	
15	538,032	537,853	5000	4	27.0	3750	
36	526,984	526.884	5000	4	516.0	4960	
46	530,296	530,036	5000	4	31.7	3330000	

Carril 2 (izquierdo)

2. Experiencia en Galicia

- Estado actual (30/01/2014)



3. Conclusiones

- Técnica eficaz de rehabilitación de firmes de carreteras
- Hace falta mejorar el conocimiento de la evolución de la rigidez en función del tiempo
- Existe la necesidad de mejorar la caracterización mecánica de estas mezclas
- Existe la necesidad de mejorar los métodos de dimensionamiento

Gracias por su atención



8ª JORNADA PROAS DE ESPECIALIZACIÓN TECNOLÓGICA

Santiago de Compostela
18-Febrero-2014

**Aplicación de la técnica de
reciclado en frío con emulsión
bituminosa en
carreteras de Galicia**



PROAS

Ignacio Pérez Pérez
E.T.S. Ingenieros de Caminos
Universidade da Coruña