

Martes 19 de mayo de 2020

Webinar ANTER



Manual de Reciclado de firmes in situ con cemento

Jesús Díaz Minguela



Organiza

Colaboran



Indice

1. Introducción
 2. Estudios Previos
 3. Definición reciclado
 4. Características mecánicas de los materiales
 5. Formula de trabajo
 6. Dimensionamiento
 7. Equipos
 8. Obras
 9. Control de calidad
 10. Estudio de Costes
- 6 anejos:** borrador de proyecto; análisis tensional; prefisuración; mediciones de densidad en obra; fichas y bibliografía.

1

Introducción:



www.ieca.es

www.anter.es

“La mejor forma de evitar los problemas es su prevención”

“1 onza de prevención vale tanto como 1 libra de curación”

(Benjamin Franklin)



Técnica de rehabilitación cuyo objetivo fundamental es transformar un firme degradado en una estructura homogénea y adaptada al tráfico, reutilizando la carretera deteriorada como cantera

1962 = INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZACION

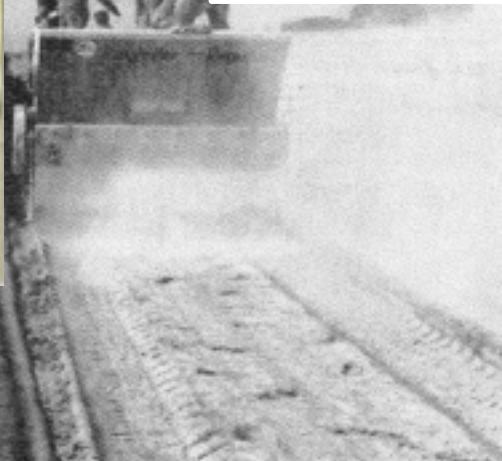
No es una idea nueva



Caminos de
Suelo-Cemento

HORMIGON

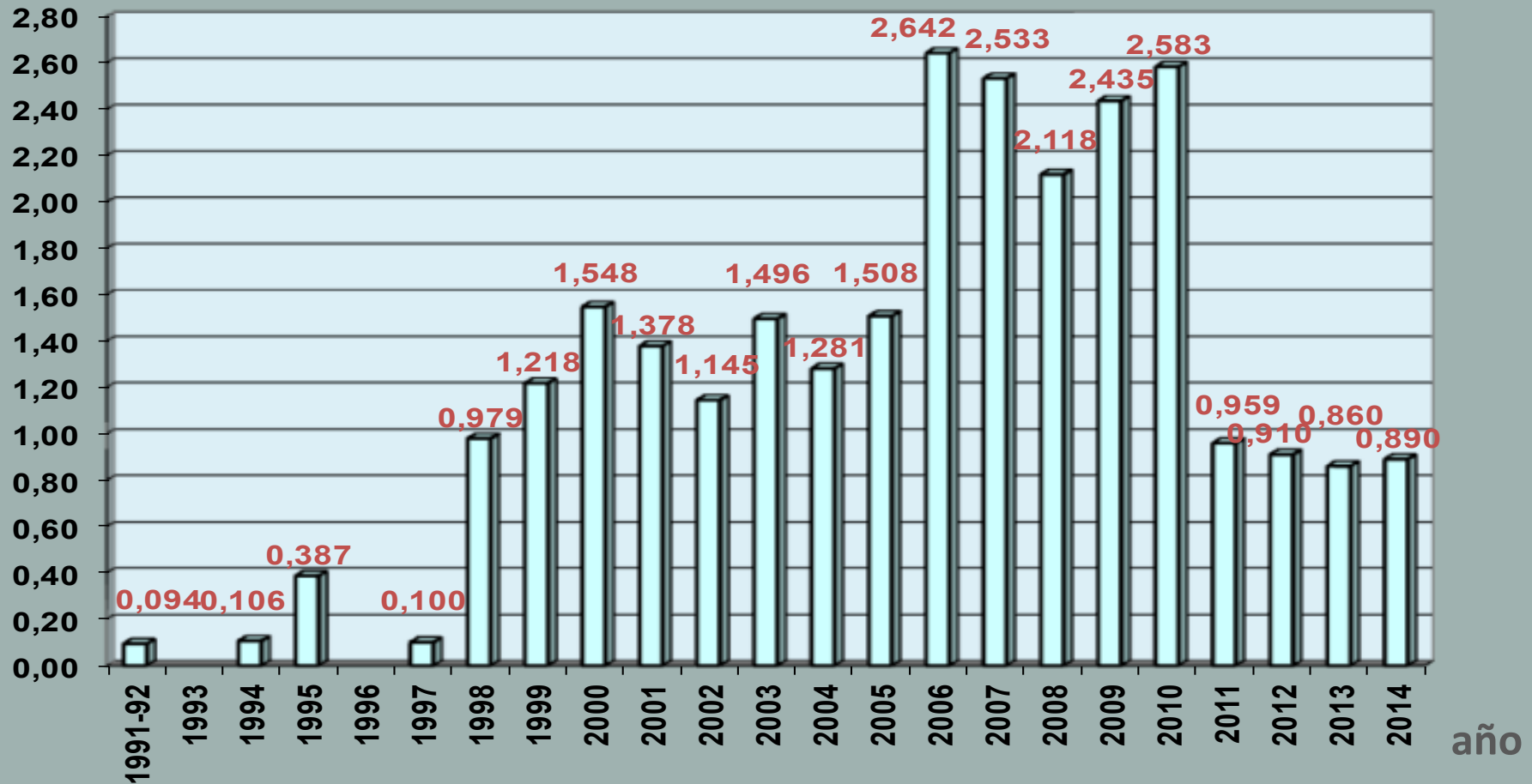
Obra de pavimentación de la Agencia de Colonización de Edo de México N°7



ESTADISTICA en ESPAÑA 2020

Reciclado > 32 mil.m² ≈ 4.400 km > 29 años

millones m²



VENTAJAS TÉCNICAS

- Homogeneidad
- Responsabilidad estructural
- Fatiga
- ↓ Tensiones
- cualquier Ancho
- ↓ Sensible Agua
- ↓ Daños => DURABILIDAD

VENTAJAS ECONÓMICAS

- ↓ costes por uso ÁRIDOS exist.
- no hay TRANSPORTE
- alto rendimiento
- no central
- Mayor DURABILIDAD
- EXCELENTE COSTE/BENEFICIO

VENTAJAS

MEDIOAMBIENTALES

- NO Canteras
- NO Vertederos
- NO Transporte:
 - ↓ Emisiones y vertidos
 - No impactos colaterales
- CEMENTOS con adiciones
- técnica en frío

**TECNICA MUY
LIGADA AL
CONCEPTO DE
SOSTENIBILIDAD**

TIPOS RECICLADOS

POR EL LUGAR

IN SITU

EN CENTRAL



POR LA TEMERATURA

EN FRIO

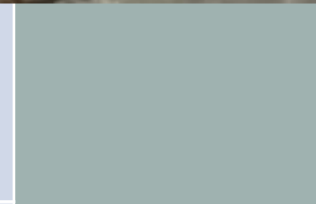
EN CALIENTE



POR LA CARACTERÍSTICA
DEL MATERIAL

UNA CAPA

DOS O MAS



POR EL LIGANTE

CEMENTO

CAL Y CEMENTO o HRB

EMULSIÓN

ESPUMA DE BETÚN

CEMENTO + EMULSIÓN



EMPLEO DE ESTE MANUAL

ELECCIÓN DE UN RECICLADO COMO REHABILITACIÓN



2 Estudios Previos

- ✓ Viabilidad del reciclado:
- ✓ Reconocimiento de la carretera
- ✓ Caracterización de los materiales
- ✓ Drenaje y clima
- ✓ Tráfico
- ✓ Ensanche y arcenes



Estudios Previos

¿acopio

Cuanto más se estudie antes,
menos operaciones habrá después



1. A veces los estudios **NO** son representativos



**REALIZAR TESTIGOS
Y CALICATAS IN SITU**

**COMPROBAR LOS DATOS DE LA CARRETERA
(CAPAS Y ESPESORES) Y REALIZAR TOMA DE MUESTRAS
PARA ENSAYOS DE LABORATORIO**

**REALIZAR GRANULOMETRÍA DE LAS MUESTRAS PARECIDAS A LO QUE SE OBTENDRÁ
EN OBRA CON RECICLADORA. AL MENOS CUMPLIR TAMAÑO MÁXIMO ≤ 80 mm;
PASE POR TAMIZ DE 4 mm $\geq 30\%$ Y PASE TAMIZ DE 63 μm $\geq 3\%$**

**DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD QUÍMICA
(SULFATOS, CONTENIDO ORGÁNICO, ETC.)**

**DETERMINAR PLASTICIDAD
(LÍMITES DE ATTERBERG)**

**REALIZAR 3 SERIES DE 3 PROBETAS CON 3 CONTENIDOS DE CEMENTO
(POR EJ. 4, 5 Y 6%) Y LA DENSIDAD PRESCRITA**

**ROMPER DICHAS PROBETAS A COMPRESIÓN A 7 DÍAS.
SELECCIONAR EL % DE CEMENTO CUYA RESISTENCIA
CUMPLA HOLGADAMENTE LO PRESCRITO**

**DETERMINAR LA FORMULA DE TRABAJO CON AL MENOS
GRANULOMETRÍA, HOPT Y DMAX DE COMPACTACIÓN,
TIPO Y % DE CEMENTO Y PLAZO DE TRABAJABILIDAD A CUMPLIR.**

3

Definición del reciclado

- ✓ Espesor del firme a tratar
- ✓ ¿necesita corrector o árido?
- ✓ Elección tipo de reciclado
- ✓ Dotación del conglomerante
- ✓ Dotación de agua
- ✓ Elección equipos



4

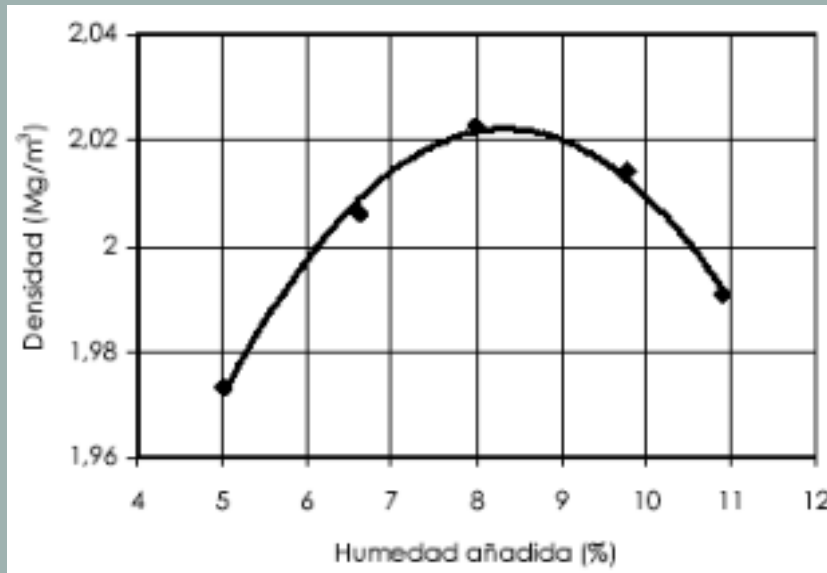
Características

Tipos de reciclados in situ con cemento

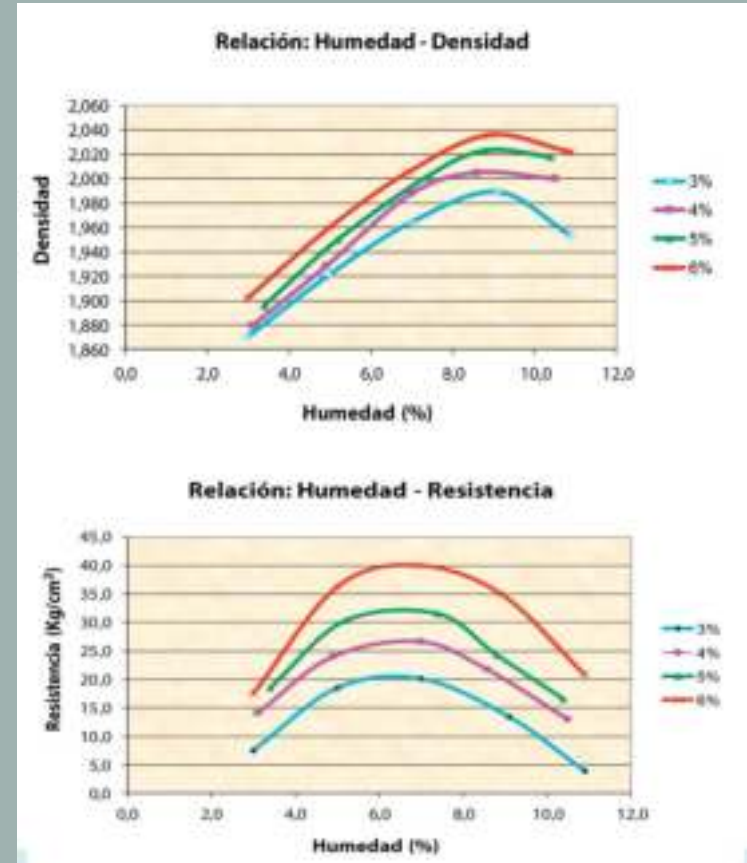
Características	Tipo A	Tipo B
R_c min 7 días	2,5 MPa	3,5 MPa
E de cálculo 90 días	5.000 MPa	10.000 MPa
Contenido mínimo cemento	3%	3,5%

5 Formula de trabajo

- ✓ Se define la FORMULA DE TRABAJO con:
(granulometría, tipo de cemento >3%, etc.)
- ✓ Se realiza un Proctor modificado → Hopt Dmax

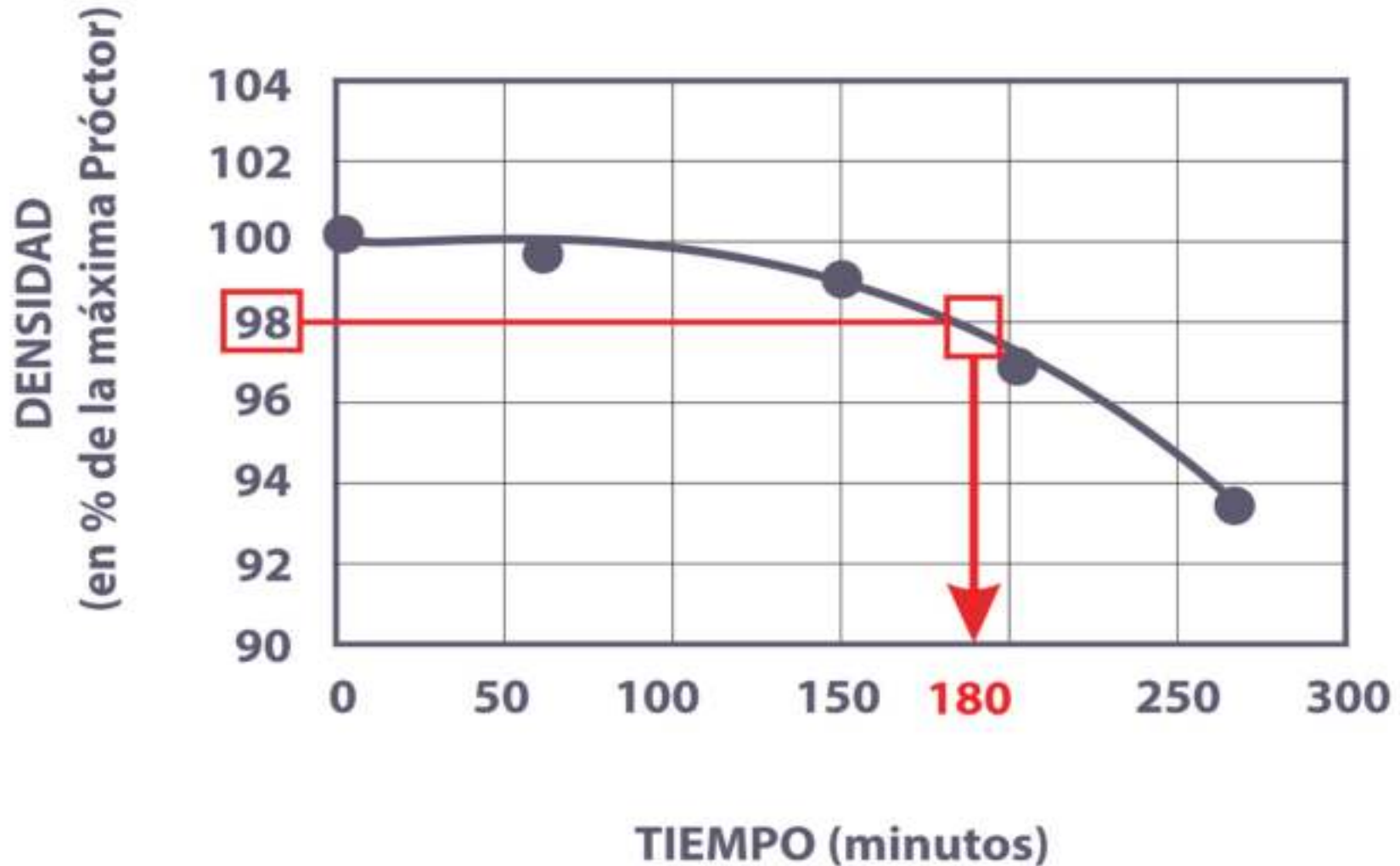


- ✓ Se fabrican y rompen series 3 probetas



PLAZO DE TRABAJABILIDAD

PLAZO DE TRABAJABILIDAD = 180 min.



Norma UNE-EN 13286-45 (a la temperatura máxima de obra=PG-3)

¿abrir al tráfico?

UNE 13286-47 (norma como CBR): se pide $IPI \geq 50$

SE DEFINE LA FORMULA DE TRABAJO

- ✓ Granulometría
- ✓ Humedad
- ✓ Densidad
- ✓ Tipo y % cemento



6 Dimensionamiento

- ✓ Norma 6.1-IC (orden FOM/3460/2003 de Secciones de firme)
- ✓ Norma 6.3-IC (orden FOM/3459/2003 de Rehabilitaciones de firme)
- ✓ Art. 21 del Pliego General PG-4 (O.C. 40/2017).

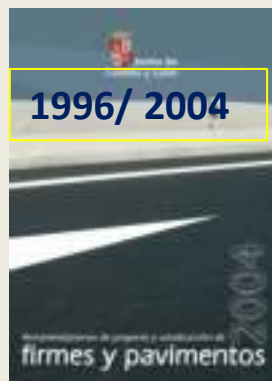
TABLA 1 CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO:

Reciclado con cemento $T \leq T_1$

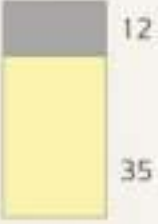
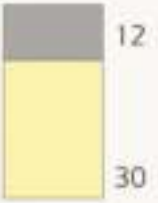
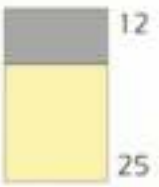
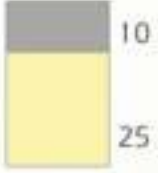
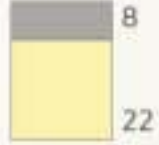
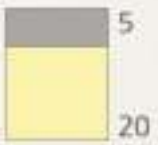
TABLA 2 COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL:

TIPO DE MATERIAL	LEY DE FATIGA	ESPESOR (cm)
RECICLADO con cemento del firme	Material semejante al suelocemento	20-30 cm ³⁾

(3) Este valor máximo podrá aumentarse hasta 35 cm, siempre y cuando el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares especifique sistemas constructivos que garanticen una compacidad uniforme en todo el espesor de la capa.



Normativa Reciclado

T 21	T 22	T 31	T 32	T 41	T 42
					
					



1996

2004



PG-4

2017



2018

Tesis doctoral del autor

Relación R. entre corto y largo plazo:

$$R_{c,90d} = 1,5 R_{c,7d}$$

$$R_{f,90d} = 2 R_{f,7d}$$

Relación entre resistencias:

$$R_{ti,90d} = 0,10 R_{c,90d}$$

Relación entre resistencias a corto y largo plazo:

$$R_{ti,90d} = 0,15 R_{c,7d}$$

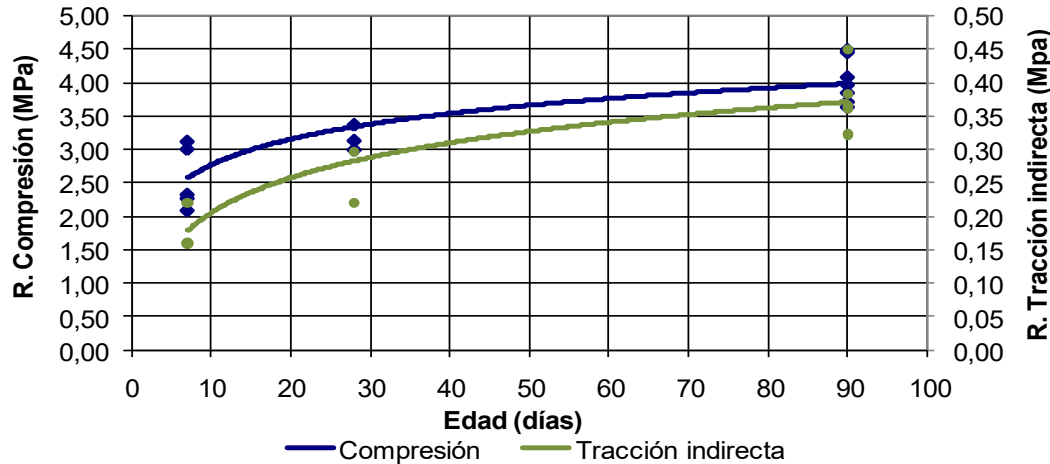
$$R_{f,LP} = 0,2 R_{c,7d} + 0,17$$

$$R_{f,LP} = \frac{1}{0,44 + \frac{5,08}{R_{c,7d}}}$$

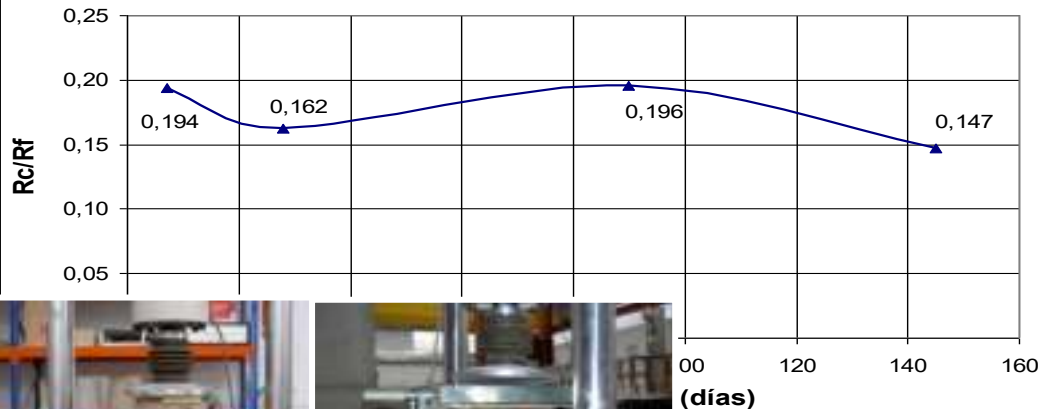
$$R^2 = 0,72$$

No se puede establecer una relación estadísticamente significativa entre R - D

EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESION Y TRACCIÓN INDIRECTA CON LA EDAD

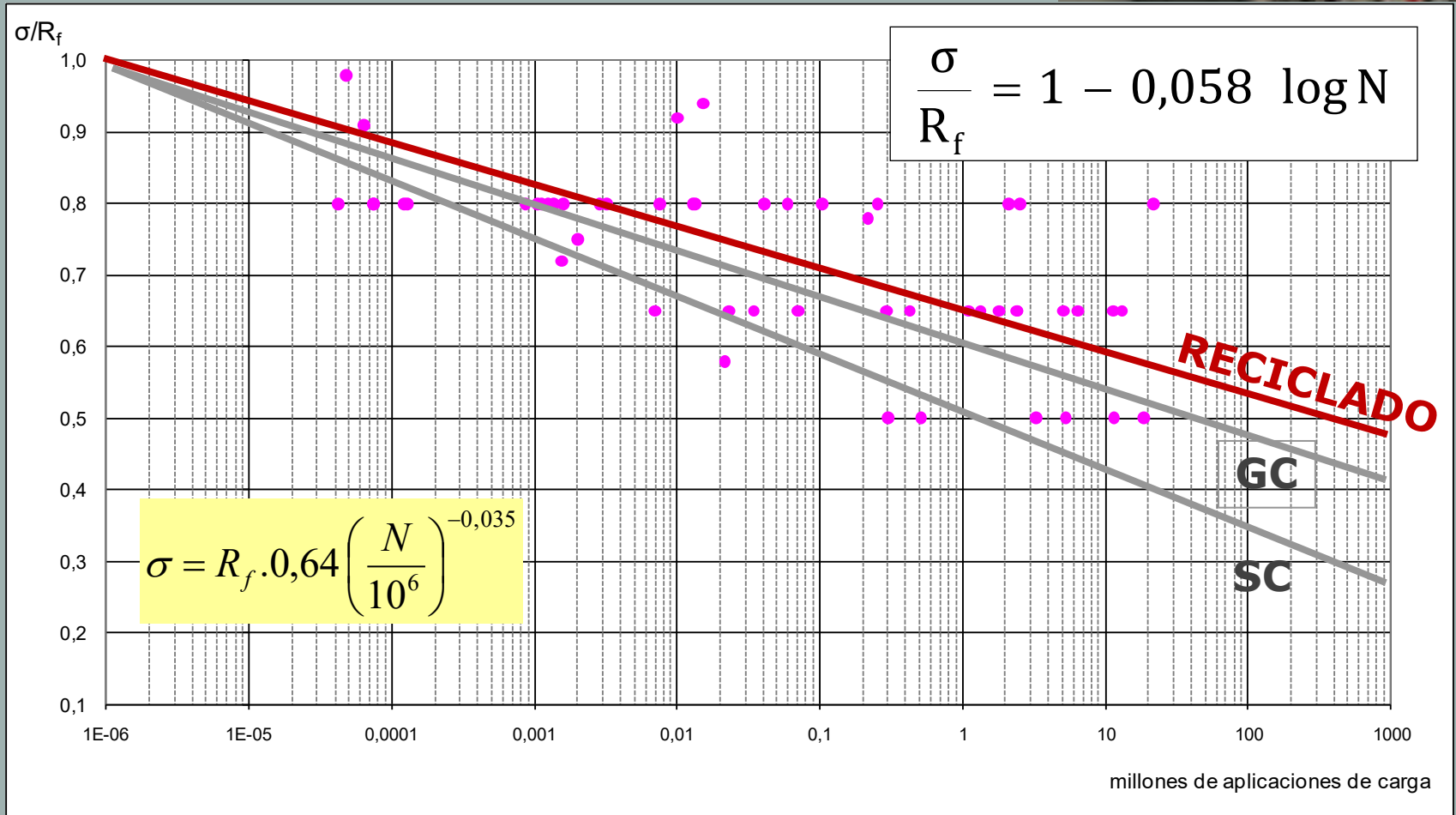


EVOLUCIÓN Rf/Rc CON LA EDAD



Tesis JDM reciclado

<https://www.dropbox.com/s/cqj4ndiwwqsagph/Estudio%20comportamiento%20firmes%20reciclados%20con%20cemento.pdf?dl=0>



Dimensionamiento

Reciclado tipo A = Rc a 7 días de 2,5 MPa

Categoría tráfico pesado	T00	T0	T1	T21	T22	T31	T32	T41	T42
	IMD ≥ 4.000	2.000	800	400	200	100	50	25	0
Explanada de calidad contrastada (CBR >12 MPa)									
Explanada de baja calidad (CBR >5 MPa)									



Mezcla bituminosa



Reciclado in situ con
cemento

Reciclado tipo B: Rc_{7 días} ≥ 3,5 MPa

Catálogo que cubra todos los tráficos (Incluido ≥ 800 vp/carril/día)

**Solución muy empleada para resolver
ciertos problemas en todas las vías**



Tipo de Cemento

II, III, IV, V, ESP VI,
HRB

32,5

- El conglomerante elegido debe ser adecuado, pero es muy importante no olvidar dotación y densidad de compactación.
- Es posible utilizar la gran mayoría de los comercializados en España.

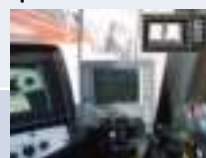
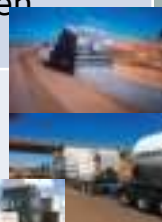


7

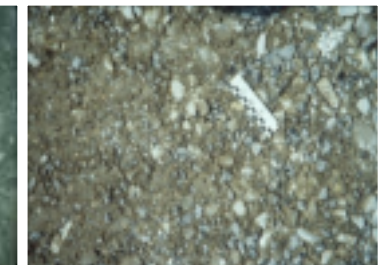
Equipos



OPERACIONES	OBJETIVOS	EQUIPOS USUALES
Disgregación	Disgregar el firme	Motoniv. O Bulldozer con Ripper Recicladora
Eliminar gruesos	Suprimir tamaños > 80mm	Machacadora o equipos agrícolas
Nivelación	Reparto materiales	Motoniveladora
Aporte áridos	Mejora granulometría/ Peraltes o aumento espesor	Distribuidor / Extendedora de mezcla/ Motoniveladora
Humectación	Obtención humedad óptima PM	Barra regadora / Camión cisterna en recicladora/ Distribuidor lechada
Distribución conglomerante	Aporte conglomerante en % requerido	Manual (solo obras pequeñas) Distribuidor congl.(polvo/lechada)
Mezclado	Mezcla homogénea de todo	Estabilizadora /Recicladora
Refino	Cota definitiva y rasanteo. Mejora regularidad superf.	Motoniveladora
Juntas transversales	Control de la fisuración	Equipos manuales Equipos mecanizados
Compactación	Obtener la densidad requerida	Rodillo vibratorio delantero Rodillo mixto Rodillo neumáticos
Riego curado	Curado Protección	Extendedora emulsión Extendedora de gravilla A veces rodillo neumaticos



1. Preparación del pavimento
2. Extensión del conglomerante
3. Escarificado y mezclado
4. Realización juntas en su caso
5. Refino
6. Compactación
7. Curado y protección
8. Apertura al tráfico

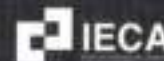




¿PREFISURAR?:

- Tráfico
- Zona climática
- MB superior: Espesor y características
- Resistencia mat. tratado

Manual de firmes con capas tratadas con cemento



TRÁFICO	ZONA CLIMÁTICA	$R7d < 4 \text{ MPa}$	$R7d \geq 4 \text{ MPa}$
$\text{IMDp} \geq 200$	CONTINENTAL	OBLIGATORIO ⁽¹⁾	OBLIGATORIO
	LITORAL	RECOMEND ⁽¹⁾	
$\text{IMDp} < 200$	CONTINENTAL	NO NECESARIO	RECOMEND ⁽²⁾
	LITORAL		

(1) NO NECESARIO con MB $\geq 18 \text{ cm}$

(2) CADA 3 m + LONGITUDINAL (NO IMITE SUP. RESISTENCIA SI PREFISURA)

1. Prefisuración en estado fresco

a) Con incorporación de emulsión asfáltica



b) Con inserción de film de plástico: Olivía



c) Con inserción de perfil plástico rígido; Juntas Activas



d) Otros: serrado en fresco



2. Fisuración en estado endurecido

a) Serrado de juntas



b) Fisuración por aplicación de cargas pesadas



Aspectos a cuidar en un reciclado:

- Drenaje
- Suministro de cemento
- Dosificación
- Suministro de agua
- Anchura
- Longitud de las bandas
- Regularidad
- Curado
- Rendimientos
- Tráfico
- Limpieza
- Tramo de prueba
- Controles

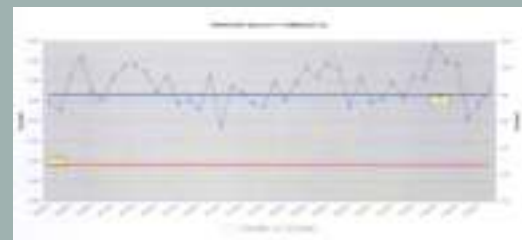


9

Control de calidad

1. Controles durante las obras

- Materiales
- Granulometría
- Homogeneidad
- Compactación
- Profundidad
- Aspecto superficial



2. Controles sobre capa terminada

- Espesor
- Resistencias
- Nivelación
- Anchura
- Regularidad superficial
- Deflexiones
- Control de grietas reflejadas



ejemplo de heterogeneidad: Carretera reciclada



10

Estudio de Costes

COSTES FUNCION DE:

VOLUMEN (Superficie, Espesor, Forma)

TIPO DE SUELO (Naturaleza, Dureza, T.max.)

% DE CEMENTO (97,74 €/t)

Superficie (m²)	Esp. (cm)	Equipos (€/m²)	Cemento		Equipos auxiliares	Riego curado	Coste €/m²		
			3%	5%					
100.000	25	1,38-1,58	1,61	2,69	0,34	0,28	3,61-4,89		
		1,55-1,95					4,10-5,78		
50.000	30	1,40-1,60	1,93	3,21			0,34	0,28	3,63-4,91
		1,60-2,00							4,15-5,83

EQUIPOS: rend. med $\approx 6.000 \text{ m}^2/\text{día}$ (0,06 €/m²/cm)

CEMENTO $\approx$ algo más

Total $\approx 0,14 - 0,19 \text{ €/m}^2/\text{cm}$

En los costes se consideran obras de pequeño volumen:

- **Días reciclado X 7.000 + 9000 € (transporte) o contrastar**



Comparativa coste secciones REFUERZO y RECICLADAS (Díptico ANTER+IECA)

CATEGORÍA TRÁFICO	SECCION REFORZADA	COSTE €/M2	SECCION RECICLADA	COSTE €/M2	AHORRO	N VECES SOPORTA MÁS
T22 (200 a 400)	18 cm	23,94	12 + 30 cm	20,96	14,22 %	57
T31 (100 a 200)	15 cm	19,95	10 + 30 cm	18,30	9,02 %	99
T42 (0 a 25)	8 cm	10,65	5 + 25 cm	10,64	0,09 %	760

Sin tener en cuenta la reducción de vehículos de transporte

10

Anejos

ANEJO 1: Propuesta de proyecto

ANEJO 2: Análisis tensional de firmes reciclados in situ con cemento.

- Cálculo directo
- Cálculo inverso

ANEJO 3: Realización de juntas en fresco

ANEJO 4: Procedimiento para determinar D en obra

ANEJO 5: Fichas

17 en el libro

42 en archivo.pdf

ANEJO 6: Bibliografía



www.anter.es

www.ieca.es

Anejos 5. Fichas

OBRA N° | Titulo (Lugar)

Admon + Contratista+ fecha

Dimensines

Datos: Tráfico, firme existente, nuevo,

Problemas observados

% y tipo cemento

Corrector

Ensayos previos:

Resistencias en obra

Dmáx-Hopt " "

Equoipos

Rendimiento:

Datos auscultación:

Comportamiento





RE - RECICLAR

LA EXPERIENCIA ESPAÑOLA

- 29 años
- > 31,5 mill. M²
- ≈ 4.320 km carreteras

TECNICA CONTRASTADA CON
MUY BUENOS RESULTADOS

VIDEO

GRACIAS POR
VUESTRA ATENCION



Jesús Díaz Minguela
Director IECA Tecnología