



Webinar C.T. 4.1 Pavimentos

“Uso de Materiales Reciclados para Pavimentación”



RECICLADO DE FIRMES con CEMENTO EN CASTILLA Y LEON
(*Recycling with cement in Castilla y Leon - Spain*)

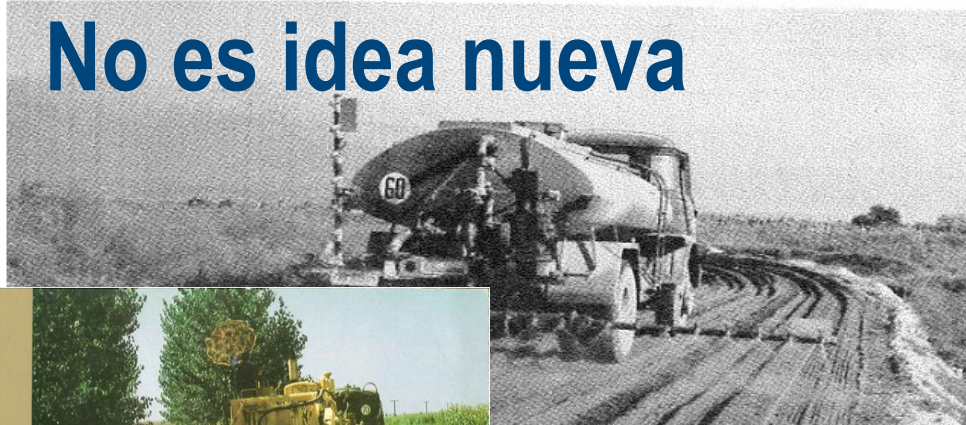
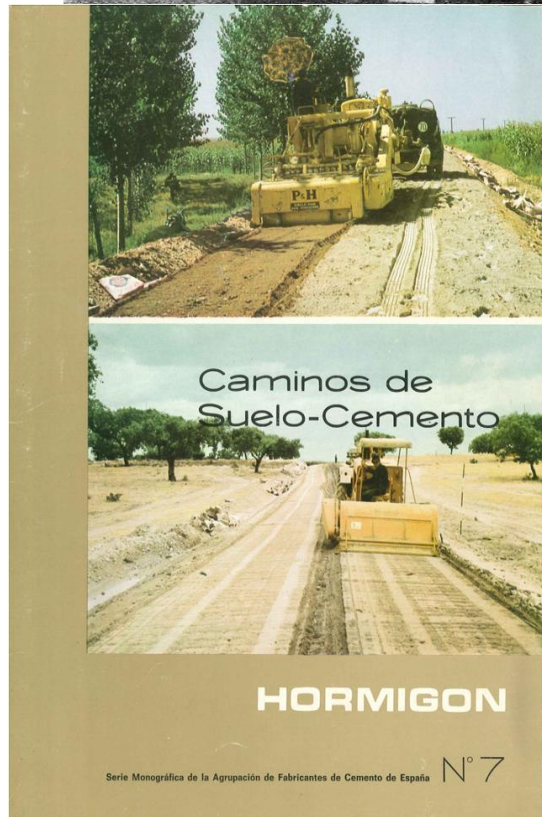


Jesús Díaz Minguela
IECA Instituto Español del Cemento
y sus Aplicaciones

20 de Septiembre de 2021
Webinar, Buenos Aires

No es idea nueva

1962 en España



RECICLADO: TÉCNICA DE REHABILITACIÓN cuyo objetivo es transformar un firme degradado en una estructura homogénea y adaptada al tráfico, reutilizando la carretera deteriorada como cantera

ESTABILIZADO: Técnica cuyo fin es modificar las características de un suelo, al incorporar un conglomerante, para su aprovechamiento

SUELOCEMENTO IN SITU: Capa de base del nuevo firme

**TECNICAS MUY LIGADAS
AL CONCEPTO DE
SOSTENIBILIDAD**



VENTAJAS TÉCNICAS

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

VENTAJAS ECONÓMICAS

- ↓ costes por uso
- 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 (- emisiones)



Dimensionamiento:

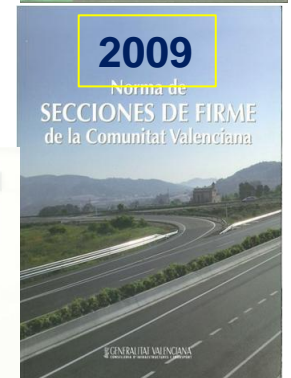
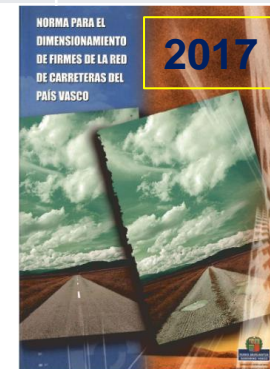
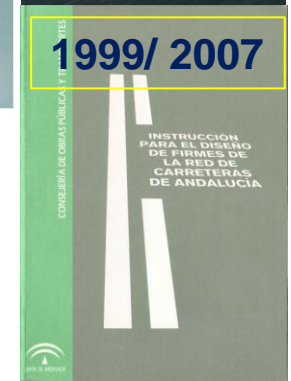
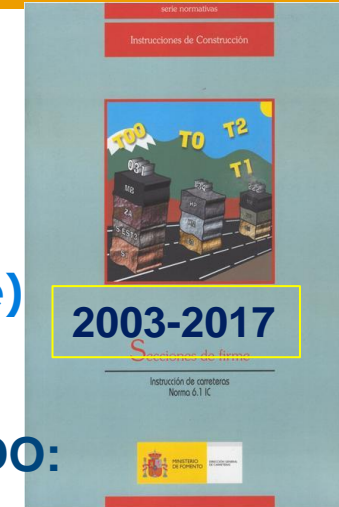
- ✓ Norma 6.1-IC (orden FOM/3460/2003 de Secciones de firme)
- ✓ Norma 6.3-IC (orden FOM/3459/2003 de Rehabilitaciones de firme)
- ✓ Art. 21 del Pliego General PG-4 (O.C. 40/2017).

TABLA 1 CRITERIOS DE APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE RECICLADO:

Reciclado en frío con cemento o con emulsión $T \leq T_1$

TABLA 2 COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL:

TIPO DE MATERIAL	LEY DE FATIGA	ESPESOR (cm)
RECICLADO con emulsión	0,75 equivalencia - (0,80 en central). Ley específica	6-12 cm
RECICLADO con cemento	Material \approx suelocemento	20-30 cm (-35 cm)



Tesis doctoral

Relación 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:

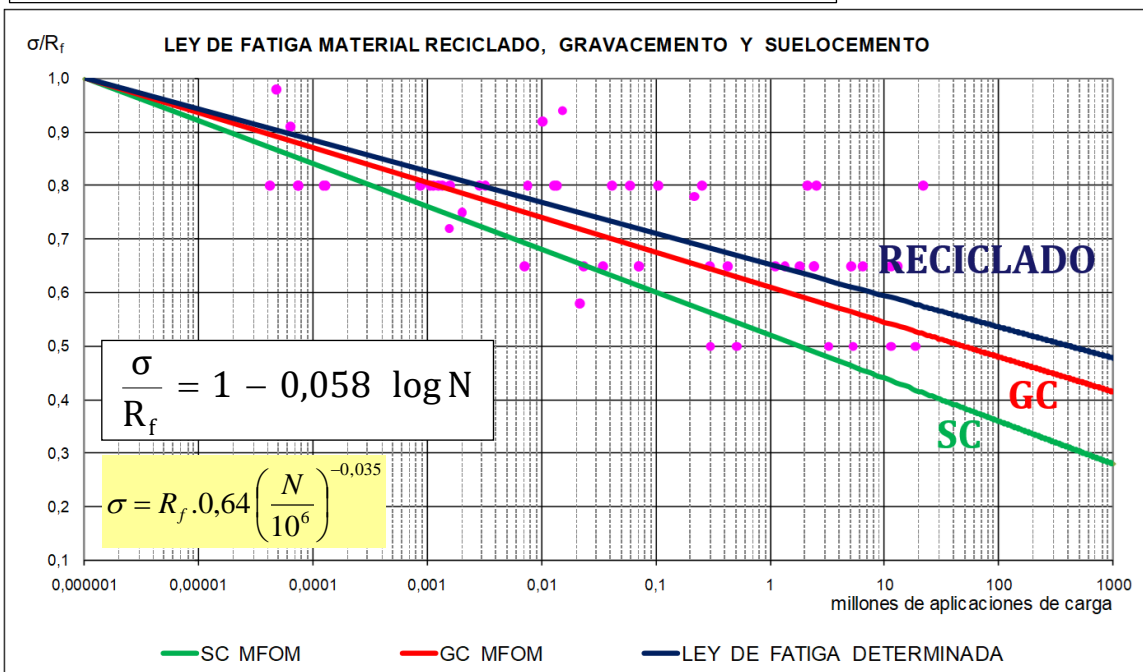
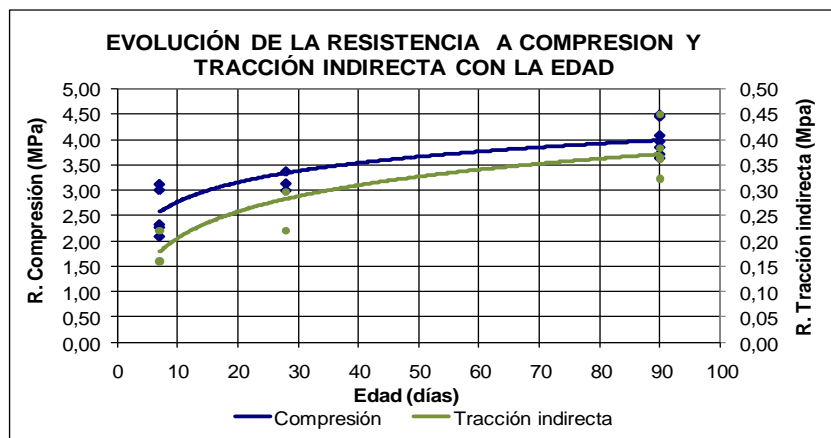
$$R_{ti,90d} = 0,15 R_{c,7d}$$

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

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

$$R^2 = 0,72$$

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



Dimensionamiento:

Rc_{7 días} ≥ 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)	<div><div>20</div><div>35</div></div>	<div><div>18</div><div>35</div></div>	<div><div>16</div><div>35</div></div>	<div><div>12</div><div>35</div></div>	<div><div>12</div><div>30</div></div>	<div><div>10</div><div>30</div></div>	<div><div>10</div><div>25</div></div>	<div><div>8</div><div>25</div></div>	<div><div>5</div><div>25</div></div>
Explanada de baja calidad (CBR >5 MPa)			<div><div>20</div><div>35</div></div>	<div><div>15</div><div>35</div></div>	<div><div>12</div><div>35</div></div>	<div><div>10</div><div>35</div></div>	<div><div>10</div><div>30</div></div>	<div><div>8</div><div>30</div></div>	<div><div>5</div><div>30</div></div>

Otro reciclado Rc_{7 días} ≥ 3,5MPa



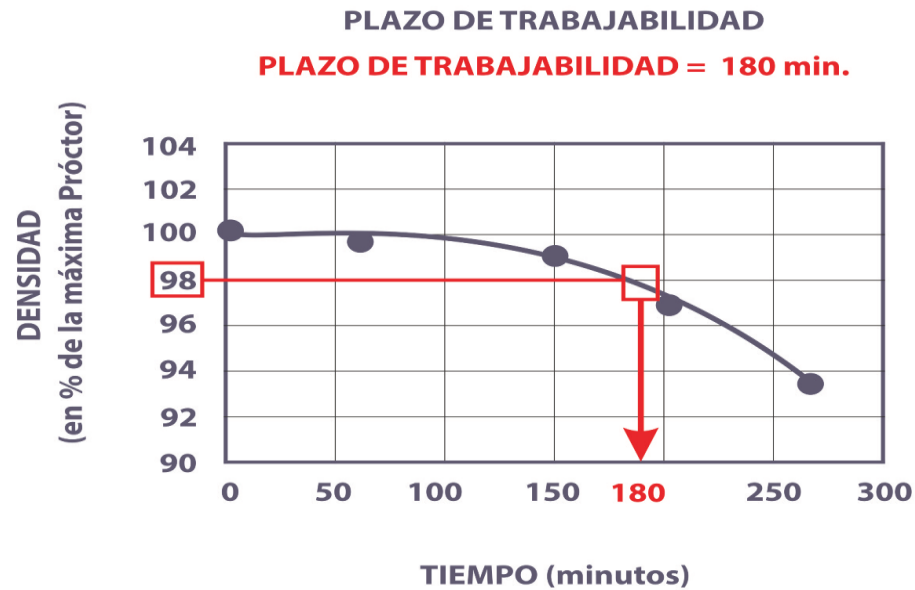
Junta de C y L

T 21	T 22	T 31	T 32	T 41	T 42
<div><div>12</div><div>35</div></div>	<div><div>12</div><div>30</div></div>	<div><div>12</div><div>25</div></div>	<div><div>10</div><div>25</div></div>	<div><div>8</div><div>22</div></div>	<div><div>5</div><div>20</div></div>



Ensayos previos

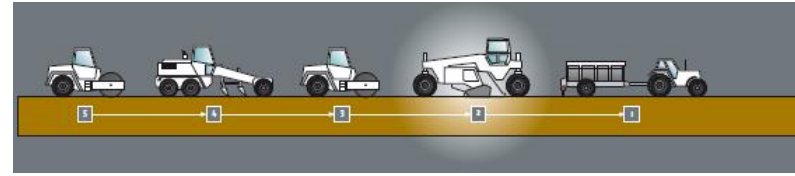
Plazo Trabajabilidad UNE 13286-45



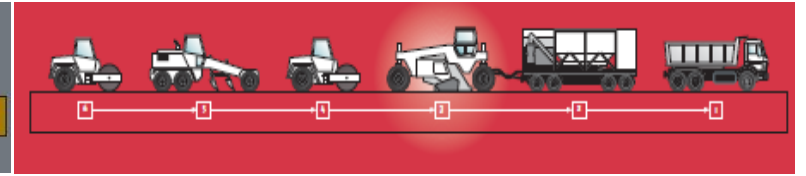
¿abrir al tráfico?: UNE 13286-47
(\approx CBR) IPI ≥ 50



Ejecución



Vía SECA



Vía Humeda

1. Preparacion carretera
2. Extensión Conglomerante
3. Excarificado y mezclado
4. Realizacion de Juntas
5. Refino
6. Compactación
7. Curado y, en su caso, proteccion
8. Apertura a tráfico



WIRGEN

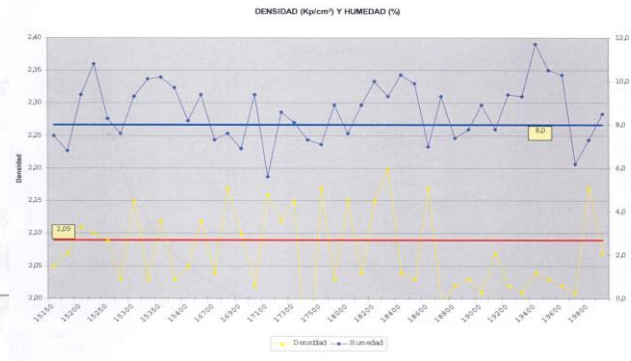
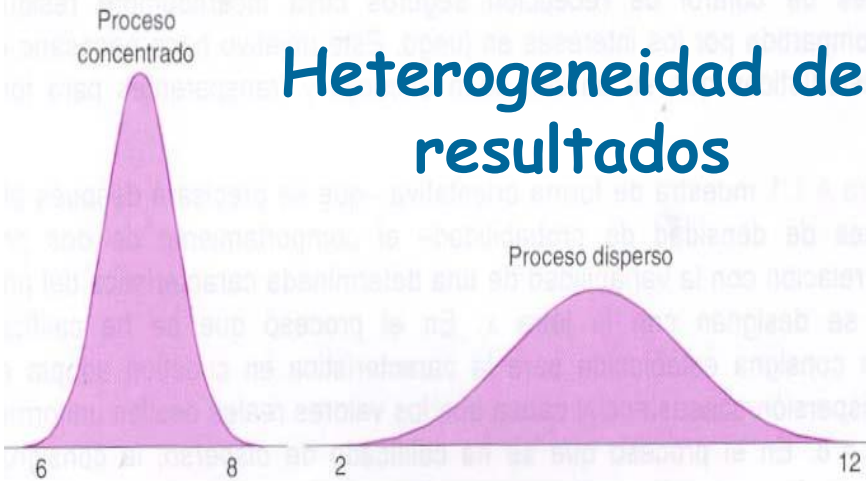


Control:

- Asegurar pegado entre capas
- Cuidar la limpieza
- Problemas con la Humedad y la Heterogeneidad



Heterogeneidad de resultados



- # Aplicaciones:
- Carreteras de todo tipo
 - ferrocarril
 - Puertos
 - Aeropuertos
 - Estructuras,
 - Parques eólicos, termosolares, otros (caninos) ...



Autovías



**Carreteras
comarcales**



Ensanches



Caminos de Servicio



Caminos



Urbanizaciones



ffcc



Puertos



Aeropuertos



Estructuras



Polideportivos

2.1. Reciclado en Palencia

Reciclado in situ con cemento

Fecha	Desde agosto 1999 todos los años
Organismo	Junta de Castilla y Leon (Autónomo)
Contratista	Varios
Longitud	50 km cada año
Ancho	6 m
Tráfico pesado	T4 (tráfico ligero)
Sección existente	4 cm mezcla bituminosa ó DTS 20 cm de macadam-piedra (a veces 5 cm)
Sección dejada	4 cm de mezcla bituminosa 30 cm reciclado con cemento
Corrector granulométrico	No usado en general
Cemento dotación	3-5% cemento
tipo	CEM IV / B 32.5



Reciclado en Palencia

Reciclado in situ con cemento	
Ensayos Previos (estudio fórmula de trabajo)	Estudio árido (granulometría, plasticidad, materia orgánica,...), Proctor modificado (Densidad máxima =2,15 t/m ³ , Humedad optima=variable) Resistencia, ...
Equipo	Wirtgen WM400 y WM1000 para dosificar el cemento Wirtgen 2500 para reciclar Motoniveladora para nivelar Rodillos tándem mayor de 15 t para compactar Prefisuración no usada
Curado	con emulsión ECR-1
Paso tráfico	Inmediato a veces
Comportamiento	Magnifico en general
Tramos:	P-940, P-944, P-53, P-972,P- 963,P-984, P-934, . P-411, P-430, P-924, P-921, P-931. p-941 (2 tramos), . P-141, P-405, CL-515 y CL-517





Magnifico comportamiento tras 22 años

2.2. Reciclado de Autovía A-231 (León – Burgos)

Reciclado in situ con cemento

Fecha	julio de 2012
Organismo	Junta de Castilla y Leon (Autónomo)
Contratista	SACYR
Longitud	26 km de un total de 54,5 km reciclados en central
Ancho	10,5 m x 2 calzadas (reciclados 1 carril \approx 3 m)
Tráfico pesado	T0 = 2.109 camiones/día.
Sección existente	18 cm mezcla bituminosa 25 cm de suelocemento
Sección dejada	4 cm de BBTM 11B BM3c 12 cm de mezcla bituminosa reciclada en central 31 cm reciclado in situ con cemento (25 SC + 6 MB)
Corrector granulométrico	No usado
Cemento dotación	4%
tipo	CEM II / B (M) 32, 5 R



Reciclado de Autovía A-231

Reciclado in situ con cemento

Ensayos Previos	Estudio suelo o árido, Proctor modificado, resistencia, ...
Resistencia a 7, 28 y 90 días	2.6; 3.2 y 4.1 MPa
Equipo	Wirtgen WM1000 para dosificar el cemento Wirtgen 2500 Para reciclar Motoniveladora para nivelar Rodillos Dynapac tándem de 15 t y Corinsa de neumáticos de 35 t para compactar Prefisuración cada 3 m con regla
Curado	con emulsión ECR-1
Paso tráfico	En 5 días
Comportamiento	Muy bueno (tras 9 años)

Tramos: Reciclado en provincia Palencia de la autovía León - Burgos (170 km)



No nos atrevemos a muchas cosas porque nos parecen difíciles, pero en realidad son difíciles porque no nos atrevemos a hacerlas. (Séneca)

Si buscas resultados distintos ¿por qué haces siempre lo mismo?. (Einstein)

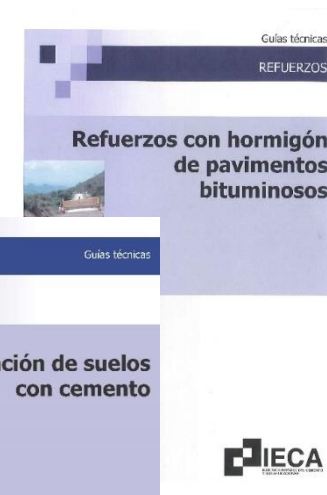
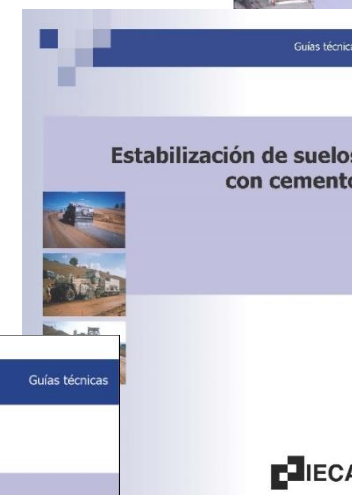
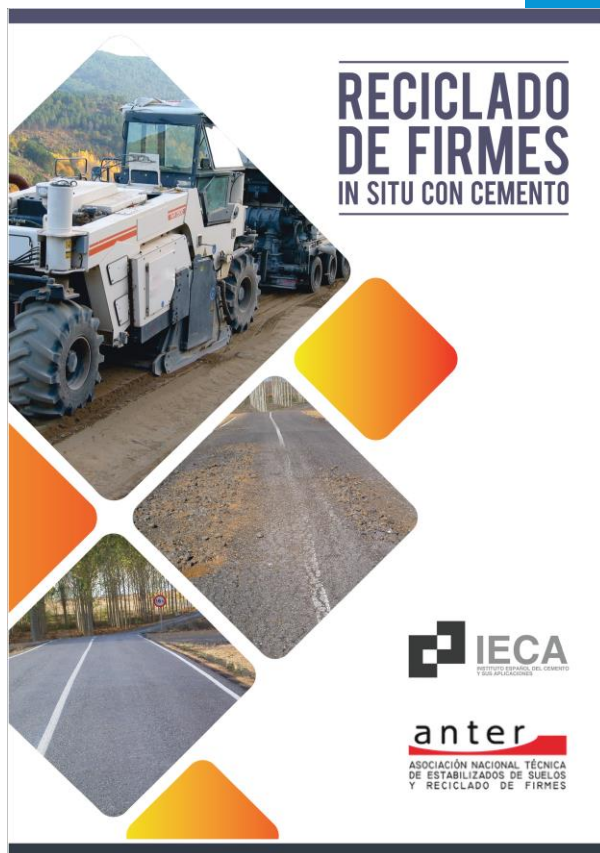
Ninguna ciencia, en cuanto a ciencia, engaña; el engaño está en quien no sabe (Quijote).

Miguel de Cervantes (Escritor español, 1547-1615)

Hay 2 enemigos de la carretera. ¡Cuidado con el agua!



www.ieca.es





Gracias por su atención!



Jesús Díaz Minguela
IECA Tecnología