



DISEÑO Y EJECUCIÓN DE CAPAS DE SUELOCEMENTO CON  
RCDs

**Autores/Ponente**

**Ángel Sampedro Rodríguez**

Profesor Coordinador de Ingeniería de Carreteras  
E.P.S. de la Universidad Alfonso X El Sabio (UAX)

**Javier Pablo Ainchil Lavín**

Director Técnico Zona VI  
FCC Construcción, S.A.

**Enric Vázquez Ramonich**

Catedrático de Ingeniería de la Construcción  
Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

**José M<sup>a</sup> Navarro Vaquerizo**

Consultor

**Juan Manuel Cadenas Armentia**

Gerente  
Servià Cantó, S.A.


**Christian Cortés de la Fuente**

Departamento I+D  
Servià Cantó, S.A.

**Carolina Rios Losada**

Departamento I+D  
Servià Cantó, S.A.

## RESUMEN




La presente comunicación analiza y expone los resultados logrados mediante el Proyecto de I+D+i "*ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES PARA EXPLANADAS Y FIRMES DE CARRETERAS CON APORTACIÓN VARIABLE DE ÁRIDOS RECICLADOS CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS ASPECTOS DE FISURACIÓN*", en desarrollo desde el año 2007, realizado por la empresa Serviá Cantó y las Universidades Alfonso X El Sabio (UAX) y Politécnica de Cataluña (UPC).

El presente proyecto se basa en el estudio de los factores a analizar para el diseño y construcción de capas estabilizadas compuestas por áridos y suelos procedentes del reciclado de residuos de construcción y demolición (RCDs). Este tipo de residuos suponen una media, en toda España, de 7 millones de toneladas al año.

Aunque los objetivos marcados en un principio por el presente estudio fueron mucho más modestos, a la vista de los primeros resultados obtenidos, se ha decidido orientarlo hacia las tipologías de capas tratadas con cemento para capas de base en firmes de carretera.

En la presente comunicación se describe el proceso de estudio, ejecución y control del tramo de prueba objeto del citado proyecto. Se trata de un tramo de suelo-cemento en la Obra "Desdoblamiento de la carretera C-35. Tramo: Vidreres - Llagostera", en Girona, que tiene una longitud de unos 200 metros, y ha sido ejecutado recientemente con excelentes resultados.



El material que se ha utilizado proviene de residuos de construcción y demolición (RCD), concretamente árido reciclado 0/32 de hormigón de la planta Germans Cañet Xirgu S.L. Este material ha sido ampliamente caracterizado en los laboratorios de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La dosificación de cemento aplicada, en base a los resultados de los ensayos realizados, ha sido del 4,0 %. Debido a las lluvias producidas durante los días de la ejecución de las obras, las humedades obtenidas en el tramo han estado alrededor del 12 %, por lo que se decidió ejecutarlo por vía seca.

Paralelamente, se han realizado ensayos con este material procedente de reciclado y con otros tipos de conglomerantes: cal, cementos de vidrio, ligantes especiales, etc. Se han obtenido resultados muy interesantes que se van exponer en la presente comunicación.

Palabras Clave: estabilización, suelocemento, residuos de construcción y demolición, RCD, reutilización de materiales.



## 1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, en España, por motivos técnicos, económicos y medioambientales, las técnicas de tratamiento y estabilización in situ de suelos para la construcción de las explanaciones necesarias en las obras de carreteras y demás obras lineales han experimentado un gran desarrollo.

El objetivo principal del Proyecto de I+D+i *"ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE MATERIALES PARA EXPLANADAS Y FIRMES DE CARRETERAS CON APORTACIÓN VARIABLE DE ÁRIDOS RECICLADOS CON ESPECIAL ATENCIÓN A LOS ASPECTOS DE FISURACIÓN"* ha consistido en desarrollar nuevas técnicas de tratamientos y procesos para la estabilización in situ de suelos y residuos con fisuración controlada mediante aportación combinada de conglomerantes y aditivos químicos al material del suelo para convertirlo en capas de base o subbase de obras de infraestructuras de transporte (carreteras y líneas ferroviarias) minimizando las afecciones medioambientales.

Las ventajas medioambientales que supone esta aplicación para el desarrollo sostenible de nuestra sociedad son más que evidentes, convirtiéndose la carretera en un sumidero de residuos procedentes de otras actividades humanas que permite, no sólo reutilizarlos sino, además, valorizarlos, pudiendo llegar a obtener capas de altas prestaciones.




Estos tratamientos y estabilizaciones de suelos permiten la reutilización de los suelos de la traza e, incluso, de distintos tipos de residuos próximos a las zonas por las que discurre. Y, además, permiten construir plataformas más resistentes y estables, en resumen, más duraderas.

Mediante estas técnicas se logra, a partir de un material con problemas geotécnicos y baja capacidad de soporte (materiales marginales, residuos, etc.), anular sus riesgos y mejorar sus propiedades hasta alcanzar valores característicos de materiales de elevadas prestaciones. Frente a la solución tradicional que consistía en llevar ese material a vertederos y traerse mejores materiales de préstamos (yacimientos y canteras), la estabilización permite eliminar todas estas afecciones medioambientales, incluyendo la que supone el transporte de tierras necesario.

De esta forma, gracias a estas técnicas, se está permitiendo la reutilización de todo tipo de residuos en la construcción de obras lineales, con las consiguientes ventajas medioambientales que esto implica para la sociedad. El tratamiento adecuado permite no solo su reutilización sino, además, su valorización, pues al mejorar sus características permite su empleo en capas de explanadas y de base, más exigentes.

Además, la estabilización de suelos permite obtener materiales y capas de mayor resistencia, lo cual implica también que a igualdad de condiciones de tráfico, permite reducir los espesores de capas de firme que se necesitan colocar encima. Esto supone otra ventaja económica y medioambiental más, pues reduce la necesidad de materiales

para las citadas capas.



Partiendo de este objetivo, durante los años 2007 y 2008 se ha realizado reuniones de gestión del proyecto y se ha diseñado un plan para la consecución de los objetivos marcados.

## 2 CONGLOMERANTES EMPLEADOS

Se denomina conglomerante a los materiales que al hidratarse son capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos.

En este caso se ha considerado, desde un principio, el estudio y análisis de la posibilidad de empleo de los siguientes tipos de conglomerantes:

- **Cemento.** Cemento tipo II y tipo IV puzolánico.
- **Cal.** Cal Viva o Hidratada.
- **Puzolanas naturales y escorias residuales con actividad puzolánica.**
- **Cementos de vidrio y otros estabilizantes.**

El empleo de estos tipos de conglomerantes ha ido encaminado a investigar y desarrollar los siguientes conceptos:

- Influencia del tipo de conglomerante en la resistencia y modelo de deformación en probetas del laboratorio.

- Tiempo de fraguado o endurecimiento en función del tipo de conglomerante.
- Análisis de las interacciones entre diferentes tipos y combinaciones de conglomerantes y aditivos.

### 3 MATERIALES A ESTABILIZAR

Antes de empezar con el diseño de una obra concreta, se han analizado en el Laboratorio del Departamento de Materiales de la Universidad Politécnica de Cataluña las muestras representativas de los tipos de suelos que habitualmente se encuentran en las obras.

Los tipos de suelos y materiales más comunes o más interesantes de estudiar para este tipo de capas son los siguientes:

- **Suelo arenoso:** Suelo no cohesivo compuesto en su mayoría por un conjunto de partículas de rocas disgregadas. En geología se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 mm.
- **Suelo arcilloso:** Suelo cohesivo compuesto con grandes concentraciones de agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm.

- **Suelo limoso:** Suelo compuesto por material con una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla (entre 0,002 mm y 0,06 mm).
- **Todo uno de excavación en roca:** Material granular que se emplea en las subbases.
- **Carretera existente (reciclado en frío):** Reutilización del material disponible de la carretera existente.
- **RCD:** Material procedente de la recuperación de residuos de la construcción.

#### 4 ADITIVOS

También se ha considerado la posibilidad de emplear distintos tipos de aditivos disponibles en el mercado para controlar problemas de figuración y otros en la ejecución de capas estabilizadas.

Estos aditivos pueden ser de los siguientes tipos:

- **Polímeros** (catalizadores polímeros concertados o polímeros líquidos concertados). Los polímeros consisten en cadenas largas de monómeros forman moléculas grandes con alto peso molecular. Se ha planteado el estudio de la posible formación de geles con suelo puro y con suelo con conglomerado.
- **Enzimas.** Las enzimas sirven para controlar las reacciones químicas, acelerándolas. Son sustancias de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas siempre que sea termodinámicamente posible.



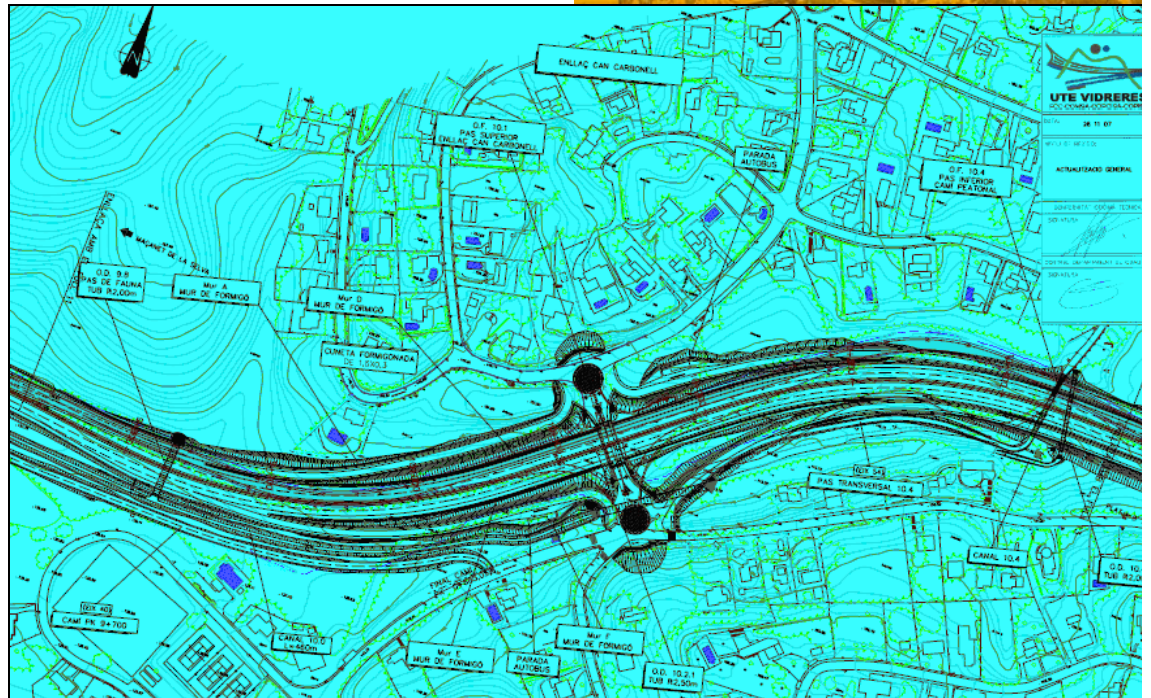
- **Lignosulfonatos.** Los lignosulfonatos son compuestos orgánicos que tienen propiedades adhesivas y aglomerantes. Si bien tienen muchas aplicaciones, una de las más difundidas es su utilización para el control de polvo en caminos y calles de tierra o ripio. Mediante un simple riego con una solución diluida se logra un efecto muy superior al de un riego con agua, constituyéndose en un paliativo del polvo muy efectivo y económico. Los lignosulfonatos son derivados de la industria celulósica, ya que se obtienen de la lignina que es uno de los componentes naturales de la madera.

## 5 TRAMO DE ENSAYO

Con el objeto de poder cumplir adecuadamente los objetivos del citado proyecto de investigación se ha decidido la realización de un tramo de ensayo que permita, a escala real, analizar todos los aspectos comentados.

Se ha ejecutado un tramo de prueba de **suelo-cemento** en la Obra "**Desdoblamiento de la carretera C-35. Tramo: Vidreres - Llagostera**", concretamente en el eje 41 que tiene una longitud de unos 200 m.





**Ilustración 1: Plano de planta de la obra del Tramo de Ensayo.**

Como material a emplear se decidió emplear **Residuos de Construcción y Demolición (RCD)**. Este planteamiento surgió de la idea del máximo aprovechamiento de la realización de este tramo, empleando un tipo de residuo que, en primer lugar, proviene del mismo sector en que nos encontramos, la construcción, y, en segundo lugar, está disponible en gran parte del territorio español, especialmente en las proximidades de las ciudades, donde han proliferado un gran número de plantas dedicadas a su gestión.

La posibilidad de emplear RCD en una capa de suelocemento ha permitido comprobar una clara posibilidad de valorización de este tipo de residuos. Hasta ahora se están empleando en obras de viales de urbanización, en capas de menores prestaciones, lo cual, a juicio de los autores, no es lógico, pues parte de estos materiales son de excelente calidad,

siempre y cuando se realice su adecuada selección, clasificación y tratamiento en la planta de gestión.

El material que se ha utilizado proviene de residuos de construcción y demolición (RCD), concretamente árido reciclado 0/32 de hormigón de la empresa *Germans Cañet Xirgu S.L.*

Este material se ha caracterizado en los laboratorios de la UPC obteniéndose la humedad y densidad especificadas en la tabla 1. En esta tabla se resumen las principales características de la capa ejecutada.

**Tabla 1: Características de la prueba realizada**

<b>Material utilizado</b>	<b>Árido reciclado 0/32 de hormigón</b>
<b>H<sub>OPT</sub></b>	<b>10,4 %</b>
<b>D<sub>MAX</sub></b>	<b>1,94 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>% Cemento 32,5</b>	<b>4,0 %</b>
<b>Método de ejecución</b>	<b>In Situ – Vía SECA</b>
<b>Espesor capa suelocemento</b>	<b>22 cm.</b>

Respecto a la dosificación de cemento, se consideró recomendable, en función de los ensayos realizados, aplicar el 4,0 % de cemento.

La ejecución se consideró realizarla, desde el principio, In Situ, realizando la mezcla sobre la propia traza. Y aunque,

normalmente, esta unidad de obra debería haberse ejecutado mediante vía húmeda, dosificando el cemento en forma de lechada, las circunstancias climáticas durante la obra obligaron a realizar un cambio.

Debido a las fuertes lluvias que cayeron durante las semanas previas a la ejecución, las humedades obtenidas en el tramo fueron muy elevadas, estando alrededor del 12 %, por lo cual se decidió ejecutarla por vía seca.

Esto supuso otra línea de investigación que cumplía con los objetivos del presente proyecto. Y se ha podido comprobar que los resultados de la ejecución mediante esta vía permiten obtener resultados excelentes.

### **5.1 Procedimiento de ejecución**

El procedimiento constructivo del tramo de ensayo ha sido el que se describe a continuación, en la siguiente secuencia de fotografías.

#### **1) Material en la Planta de RCD**

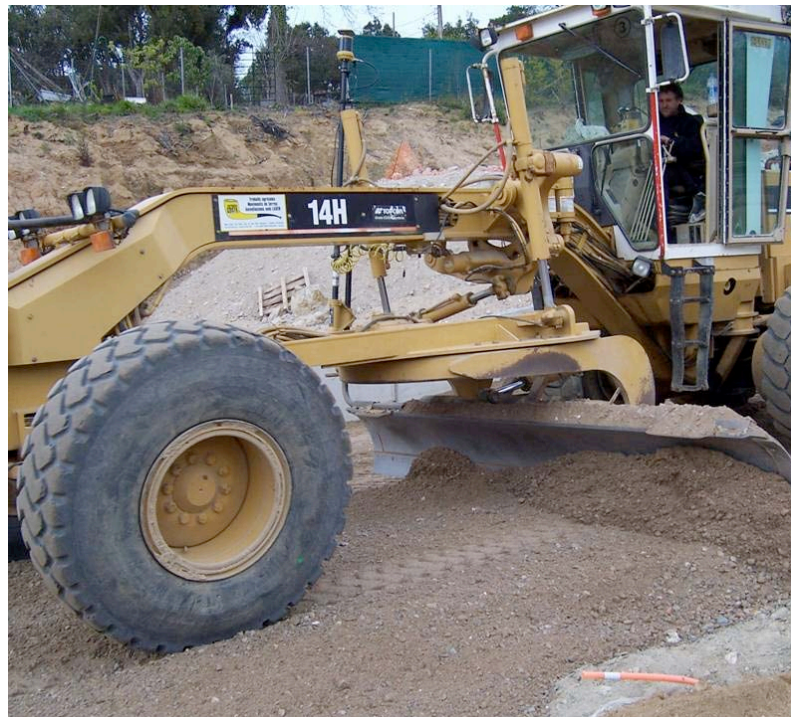




**2) Vertido del material de RCD sobre la traza**



**3) Extendido y nivelación del material**



**4) Extendido del cemento por vía seca**



**5) Mezclado in situ del suelo con el cemento**



**6) Recogida de muestras**



**7) Compactación de la capa estabilizada**



**8) Refino y humectación de la capa estabilizada**



**9) Prefisuración y ejecución de juntas**



## 10) Medición de humedad y densidad in situ



### 5.2 Características de la compactación

En las tablas 2 y 3 se incluyen los datos de las mediciones obtenidas de humedad y compactación in situ, así como las características de la compactación realizada determinada en función de las medidas obtenidas.

En general la humedad era superior a la óptima, sobretudo en la parte inferior del tramo, pero como hace sol el tramo se seca rápidamente.

**Tabla 2. Medición humedad y densidad in situ con métodos nucleares ( $H_{OPT} = 10,4 \%$ )**

Zona medición	Humedad	Compactación
Medida (1) parte superior del tramo	<b>10,4 %</b>	<b>100 %</b>
Medida (1) parte inferior del tramo	<b>14,0 %</b>	<b>100 %</b>
Medida (2) parte media del tramo	<b>11,0 %</b>	<b>100 %</b>
Medida (2) parte inferior del tramo	<b>12,0 %</b>	<b>100 %</b>

**Tabla 3. Características de la compactación**

<b>Peso rodillo</b>	22 Toneladas
<b>Vibración</b>	SÍ
<b>Ciclos (pasadas dobles)</b>	3 vibración grande + 1 refino con vibración menor

## **6 ESPECIFICACIONES PARA EL SUELOCEMENTO**

A continuación se detalla cuál ha sido el grado de cumplimiento del tramo de ensayo realizado conforme a las especificaciones marcadas por la normativa vigente en carreteras para este tipo de material.

En concreto, se refiere al artículo 513" *MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO (SUELOCEMENTO Y GRAVACIMIENTO)*", del PG-3, aprobado en su última versión mediante la Orden Circular 10/2002, de 30 de septiembre.

### 6.1 Definición

Se define como material tratado con cemento la mezcla homogénea, en las proporciones adecuadas, de material granular, cemento, agua y, eventualmente aditivos, realizada en central, que convenientemente compactada se utiliza como capa estructural en firmes de carretera.


En el caso que nos ocupa la ejecución se ha realizado por mezclado de los materiales in situ, sobre la propia traza. Este es un método que todavía se aplica sólo en casos concretos, previa justificación previa, lo cuál incide aún más en su carácter experimental.

Su ejecución incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla en central.
- Preparación de la superficie existente.
- Transporte y extensión de la mezcla.
- Prefisuración (cuando sea necesario).
- Compactación y terminación.
- Curado y protección superficial.



## 6.2 Materiales



El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras ha fijado el tipo y la clase resistente del cemento. Éste cumple las prescripciones del artículo 202 del PG-3 y las adicionales que ha establecido el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

La clase resistente del cemento ha sido la **32,5N** (32,5 para cementos especiales).


El material granular que se ha utilizado en el suelocemento corresponde a *Residuos de Construcción y Demolición (RCD)*, dentro de lo que el PG-3 establece como “subproductos o productos inertes de desecho”.

El material granular está exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa.

En los ensayos realizados previamente con el material a emplear en el presente proyecto se ha determinado la inalterabilidad del material. Además, se han caracterizado los componentes del material RCD que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades. Los resultados han sido negativos.

El contenido ponderal de compuestos totales de azufre y sulfatos solubles en ácido ( $\text{SO}_3$ ), referidos al material granular en seco, determinados según la UNE-EN 1744-1, no debe ser superior al uno por ciento (1%) ni a ocho décimas expresadas en términos porcentuales (0,8%). En este caso, el referido


porcentaje es del 0,4 por ciento, mucho menor.



El límite líquido del material granular del suelocemento, según la UNE 103103, deberá ser inferior a treinta (30), y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, deberá ser inferior a quince (15). En este caso, los RCD empleados tiene un Índice de Plasticidad nulo, es decir, son No Plásticos.

Se comprueba, por lo tanto, que en este caso los RCD cumplen cualquier especificación. Debido a ello, se decidió no emplear ningún aditivo de los contemplados inicialmente y que permite el PG-3.


### **6.3 Tipo y composición de la mezcla**



El material del tramo de ensayo encaja perfectamente dentro de un suelocemento **SC40**.

En este caso, los valores de Resistencia a Compresión, a 7 días, obtenidos, han sido los siguientes: 4,02 MPa (3,0 % cemento), 4,38 MPa (3,5 % cemento) y 5,96 (4,0 % cemento).

### **6.4 Equipos necesarios para la ejecución de las obras**



Se ha cumplido, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se ha utilizado, como es preceptivo, en la ejecución de los materiales tratados con cemento ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras.



Los equipos de mezcla utilizados, estabilizadores de suelos, son capaces de asegurar una completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas. Este aspecto ya se ha tratado con anterioridad.

Los compactadores empleados son autopropulsados, tiene inversores del sentido de la marcha de acción suave y están dotados de dispositivos para mantenerlos húmedos, en caso necesario. La composición del equipo de compactación se ha determinado previamente en el tramo de prueba, y estuvo compuesto por un compactador vibratorio de rodillos metálicos y un compactador de neumáticos.

El rodillo metálico del compactador vibratorio tiene una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y es capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t) con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas.

El compactador de neumáticos es capaz de alcanzar una masa de al menos treinta y cinco toneladas (35 t) y una carga por rueda de cinco toneladas (5 t), con una presión de inflado que pueda llegar a alcanzar un valor no inferior a ocho décimas de megapascal (0,8 MPa).

Los compactadores de rodillos metálicos no presentan surcos ni irregularidades en ellos. Los compactadores vibratorios tienen dispositivos automáticos para eliminar la vibración al invertir el sentido de la marcha. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y configuración tales que permitan el solape de las huellas de las delanteras con las de las traseras.




El Director de las Obras aprobó el equipo de compactación que se ha empleado, su composición y las características de cada uno de sus componentes, que fueron las necesarias para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la mezcla con cemento en todo su espesor, sin producir roturas del material granular, o del árido, ni arrollamientos.

Para la ejecución de las juntas transversales en fresco se han utilizado equipos automotrices que efectúan en cada pasada un surco recto que penetre al menos dos tercios ( $2/3$ ) del espesor de la capa y que al mismo tiempo introduzca en él un producto adecuado para impedir que la junta se cierre de nuevo. Este producto ha consistido en una emulsión bituminosa de rotura rápida, una cinta de plástico flexible, un perfil ondulado de plástico rígido u otros sistemas que además de impedir que se cierre de nuevo la junta durante la compactación, permitan la transmisión de cargas entre los dos lados de la junta. En capítulos anteriores puede apreciarse en detalle cómo se han ejecutado estas juntas.

### **6.5 Curado y protección superficial**

Una vez terminada la capa se procedió a la aplicación de un riego con una emulsión bituminosa, del tipo y en la cantidad que figuran en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.


Esta operación se efectuó inmediatamente después de acabada la compactación, y en ningún caso después de transcurrir tres horas (3 h) desde la terminación, manteniéndose hasta entonces la superficie en estado húmedo.



Se prohibió la circulación de todo tipo de vehículos sobre las capas recién ejecutadas, al menos durante los tres días (3 d) siguientes a su terminación, y durante siete días (7 d) a los vehículos pesados.

## **6.6 Especificaciones de la unidad terminada**


### *6.6.1 Densidad*



El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares ha fijado la densidad de la capa tras el proceso de compactación en el noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad máxima Proctor modificado, según la UNE 103501, definida en la fórmula de trabajo.

Los valores medios obtenidos in situ, sobre la capa terminada, han sido del cien por ciento (100 %), lo cual indica una ejecución excelente.

### *6.6.2 Resistencia mecánica y capacidad de soporte*



La resistencia a compresión simple a siete días (7 d), según la NLT-305, debe estar comprendida entre 2,5 y 4,5 MPa para capas de suelo-cemento. Los valores de Resistencia a Compresión a 7 días obtenidos fueron los siguientes:



ZONA MEDICIÓN	RESIST. COMPRESIÓN A 7 DÍAS
Parte superior del tramo (PK 0+050)	7,45 MPa
	6,48 MPa
Parte inferior del tramo(PK 0+290)	4,55 MPa


Los resultados obtenidos están por encima de los exigidos para un suelocemento y se corresponden, más bien, con los de una gravacemento, un material de mejores prestaciones.

Para establecer la capacidad de soporte se realizó un ensayo de carga con placa, según la NLT-357. Se obtuvo un módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga ( $E_{v2}$ ) de 1.125 Mpa y una relación entre los módulos de compresibilidad del primer y segundo ciclo (K) de 5,3. Se obtuvieron valores de módulos muy elevados si se comparan con los obtenidos en otros tramos de la misma obra:

LOCALIZACIÓN	TIPO DE CAPA	DIÁMETRO PLACA (cm)	$E_{v2}$ (MPa)	K
Eje 1, PK 14+880	SC	30	188	2,7
Eje 1, PK 14+885	SC	30	83	2,4
Eje 84, PK 0+350	SC	30	450	5,6
Eje 41	SC	30	1.125	5,3

### 6.6.3 Terminación de la capa

La superficie de la capa terminada ha presentado una textura uniforme, exenta de segregaciones y ondulaciones, y con las pendientes adecuadas. La rasante no ha superado a la teórica



en ningún punto, ni ha quedado por debajo de ella en más de quince milímetros (15 mm).

En todos los semiperfiles se ha comprobado la anchura de la capa extendida, que en ningún caso ha sido inferior, ni superior, en más de diez centímetros (10 cm) a la establecida en los Planos de secciones tipo.

El espesor de la capa no ha sido inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo.

## **7 AGRADECIMIENTOS**

La realización de este proyecto ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) y del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del Programa *PROFIT*.

Los autores quieren agradecer su participación en el proyecto a las empresas Germans Cañet-Xirgu S.L., Cevirec S.L, Innovaciones en Carreteras y Construcción S.L., Derivados Cálculos S.A., a la Dirección de la Obra "Desdoblamiento de la carretera C-35. Tramo: Vidreres - Llagostera", a CEDINSA, concesionaria de la misma, y al personal de la empresa Serviá Cantó, S.A., implicado en la ejecución del tramo de prueba.



## CONCLUSIONES

La unidad de obra construida con los RCD, objeto de la presente investigación, ha permitido obtener unos resultados excelentes, muy por encima de lo exigido para este tipo de materiales de capas de base de firme.

Estos resultados son superiores, incluso, a los obtenidos en el tronco principal de la autovía dentro de la cual se ha encajado la realización de este tramo de ensayo.

Ello se ha debido, fundamentalmente, a tres factores:

- Al material de partida, cuyas características son muy superiores al exigido para suelocemento.

Como ya se ha dicho, las plantas de gestión de RCD pueden llegar a suministrar materiales excelentes, dependiendo del control, clasificación y tratamiento que se aplique.

- A la dosificación de cemento, también superior a la necesaria para obtener los valores mínimos exigidos de resistencia mecánica.

Esta sobredosificación se ha aplicado debido a una situación muy frecuente en las obras. Por un lado, se han obtenido disparidad de criterios en base a los resultados de los distintos laboratorios y, por otro lado, la Dirección de Obra recomendó, al adoptarse finalmente la ejecución in situ por vía seca, el empleo de un porcentaje mayor que “resguardara” de posibles incertidumbres.


- Y a la excelente ejecución y control de la obra, que ha permitido obtener estos resultados mediante la ejecución in situ, y por vía seca. Esto supone una nueva línea de investigación abierta por el presente proyecto.






## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) PG-3. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. 1973.
- 2) <http://www.arqhys.com/>
- 3) <http://edafologia.ugr.es/donana/aznal6.htm>
- 4) <http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/insumosagrropecuarios/agricolas/maquinariavial/caterpillar/estabilizadores-de-suelos/default.htm>
- 5) [http://www.emsa-machinery.net/nueva/eq\\_estabilizacion\\_reciclado\\_1.html](http://www.emsa-machinery.net/nueva/eq_estabilizacion_reciclado_1.html)
- 6) [http://www.mge-dairon.com/liste\\_produit.php?ss\\_typ\\_pro=16&langue=esp](http://www.mge-dairon.com/liste_produit.php?ss_typ_pro=16&langue=esp)
- 7) <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=21713>
- 8) <http://www.temac.es/temac/content/view/full/272>
- 9) [www.bomag.com](http://www.bomag.com)
- 10) Asociación Nacional de fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE). "Manual de Estabilización de suelos con cal". Madrid, 1997.
- 11) Little, Dallas N. "Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime". USA, 1995.
- 12) Eades, J.L., and Grim, R.E. "A Quick test to Determine Lime Requirements for Soil Stabilization". USA, 1966.
- 13) Transportation Research Board. "State of the art Report 5: Lime Stabilization". USA, 1987.
- 14) Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) – Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). "Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques". Guide technique. Paris, 2000.



- 
- 15) Norma ASTM C 977-00 "Specification for Quicklime and Hydrated Lime for Soil Stabilization". USA, 2000.
  - 16) IECA, AEC, ATC. Varias Ponencias. "Ier Simposio Internacional sobre Estabilización de Explanadas y Reciclado In Situ de Firmes con Cemento". Salamanca, 2001.
  - 17) Artículos 200 "Cales para estabilización de suelos" (OM 27/12/99) y 512 "Suelos estabilizados in situ" (OC 10/2002) del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), de la D.G. de Carreteras del Ministerio de Fomento. España, 2002.
  - 18) Junta de Andalucía – GIASA. "Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales para el Tratamiento de los suelos con cal". Sevilla, 2003.
  - 19) INTEVÍA. "Mezclas con Cemento en Explanadas y Firmes". Varias Ponencias. Madrid, 2004.
  - 20) Israel, Robert W. "Soil stabilization and Cold-Mix Recycling". USA 1982.
  - 21) CEDEX, IECA. "Manual de firmes con capas tratadas de cemento". Madrid, 2003
  - 22) TREMTI (Traitement and retraitement de Materiaux pour Travaux d`Infrastructures). 2º Simposium Internacional. Paris, 2005
  - 23) Halsted, G.E., Luhr, D.R., Adaska, W.S. "Guide to cement treated Base". Publicación de la PCA (Portland Cement Association) EB236. USA, 2007.

- 
- 
- 
- 24) MINISTERIO DE FOMENTO. Orden Circular 10/2002.  
Secciones de Firme y capas estructurales de firme.
- 25) PCA (Portland Cement Association) Soil Cement  
Laboratory Handbook, Skokie, Illinois. USA
- 26) PCA (Portland Cement Association) Soil Cement  
Construction Handbook, Skokie, Illinois. USA
- 27) Sherwood, P.T. The properties of cement stabilized  
materials. Transport and Road Research Laboratories.  
Report LR205. Crowthorne (United Kingdom) Unido)
- 28) Sherwood, P.T. Soil stabilization with cement and lime.  
London
- 29) JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, Recomendaciones de  
proyecto y construcción de firmes y pavimentos, 2004
- 30) JUNTA DE ANDALUCÍA, Instrucción para el diseño de  
firmes de la Red de Carreteras de Andalucía, 2000