



**FICHA TÉCNICA**

**RECICLADO IN SITU CON CEMENTO**

**RECEBIT**



*Reciclado in situ con cemento*

El reciclado en frío, que comenzó en España al comienzo de los 90, es una alternativa muy interesante en la rehabilitación de carreteras.

Frente a otras soluciones de rehabilitación, el reciclado de estos firmes con cemento permite el aprovechamiento de estas capas deterioradas, logrando recuperar su capacidad de soporte y unas características físico-mecánicas acordes con los requerimientos necesarios para permitir un adecuado nivel de servicio.

Técnicamente, se consigue además un firme en conjunto más duradero, con mucha menor susceptibilidad al agua y mayor resistencia a la erosión.

El reciclado de firmes in situ con cemento está íntimamente ligado al concepto de sostenibilidad, dado que a esta serie de ventajas se suman otras económicas y medio ambientales, que juntas son las que han promovido ampliamente esta técnica en la mayor parte de España.

Es una técnica que se ha ido perfeccionando gracias a la mejora de los conocimientos de los firmes tratados con cemento y a la constante evolución de la maquinaria utilizada.

En el aspecto económico destaca el no tener que aportar áridos (o solo muy reducidamente), lo que supone un doble ahorro, tanto por su coste en sí, como por suprimir su transporte. Además los rendimientos son elevados y el coste total de la solución reciclado es inferior al del refuerzo que dote al firme de la misma capacidad estructural.

En el aspecto ecológico, el citado aprovechamiento de los materiales existentes en la carretera, que puede estimarse en un ahorro de áridos entre 3.000 y 4.000 toneladas por kilómetro para una carretera de 6 a 8 metros de anchura, es sin duda el principal efecto ambiental positivo. A este se suma la ausencia de transporte, y por tanto se evita la posibilidad de vertidos y el deterioro y contaminación de los caminos y espacios colindantes. Además no es necesario el uso de vertederos. Al ser una técnica en frío, consume poca energía y la carga contaminante es reducida.

Es evidente que la opción de reciclado del firme con cemento tiene una importante y beneficiosa repercusión ambiental claramente compatible y comprometida con un desarrollo sostenible.

### **Dimensionamiento.**

El reciclado in situ con cemento es una técnica muy interesante para carreteras que necesiten una reconstrucción total, un ensanche o una mejora del perfil. Es un tratamiento muy eficaz con el que se consiguen de manera económica firmes de gran robustez y se homogeniza la sección transversal. Es una técnica muy versátil en cuanto a realización de trabajos bajo tráfico, posibilidad de simultanear las tareas de reciclado con la construcción in situ de nuevas capas en variantes, realización de ensanches, corrección de perfiles y peraltes, etc. Los elevados rendimientos conseguidos minimizan además las molestias al tráfico.

Esta técnica puede aplicarse a capas granulares exclusivamente, a capas de mezclas bituminosas o tratadas con cemento o a una superposición de estas sobre capas granulares. El cemento se dosifica con el objetivo de conseguir un material similar a un **suelo cemento**.

Las características principales se resumen en lo siguiente:

- El espesor mínimo que puede reciclarse es del orden de 20 cm, para evitar roturas por tratarse de capas rígidas. El espesor máximo, limitado por la capacidad de los equipos de compactación, es del orden de 35 cm. La gama más usual de espesores es entre 25 y 30 cm.
- Al admitir un gran intervalo de espesores y terminarse con motoniveladora es fácil poder llevar a cabo correcciones de perfil longitudinal o transversal aportando ahorros.
- El espesor y resistencia del material reciclado facilita una gran capacidad de soporte de manera que es fácil rehabilitar firmes muy deteriorados.
- El contenido de cemento se encuentra generalmente entre 3 y 5 %.
- Puede tratarse firmes antiguos contaminados con cantidades reducidas de arcilla. En firmes más contaminados puede ser necesario un tratamiento previo con cal.
- La compactación es muy sensible al contenido de agua.
- Si se protege adecuadamente puede abrirse inmediatamente al tráfico.

El reciclado in situ es una técnica muy adecuada para las redes regionales o locales que tienen una gran longitud, un bajo presupuesto y pocos medios para su mejora, en las que suele haber firmes de pequeña anchura y formados principalmente por capas granulares y riegos bituminosos, que en general se encuentran muy deteriorados y necesitan de rehabilitaciones, ensanches de firme y pequeñas mejoras de trazado con un coste relativamente reducido.

Las técnicas de reciclado in situ con cemento están normalizadas en el artículo 21 del PG-4 del Ministerio de Fomento, además, la Junta de Andalucía y la Junta de Castilla y León disponen de normativas propias. IECA ha editado también unas recomendaciones sobre reciclado con cemento, que coinciden con las recomendaciones de la Junta de Castilla y León

En las recomendaciones de la Junta de Castilla y León incluye un anejo dedicado al “reciclado in situ con cemento”, que indica que para el reciclado se pueden adoptar por similitud, las estructuras de firme incluidas con capa de suelo-cemento apoyadas sobre una explanada de categoría E3. Las explanadas de este tipo de firme no suelen tener una gran capacidad portante igual a la de una E3, pero suelen ser explanadas muy consolidadas, a pesar de ello, es importante que siempre se respete el espesor de la capa a tratar, ya que el espesor de la capa con la capacidad estructural es exponencial.

### Secciones de firme reciclado diseñadas en el Manual IECA

SECCIONA DE FIRME REHABILITADO (Espesores mínimos en cm)									
Categoría de tráfico pesado	T0	T1	T21	T22	T31	T32	T41	T42	T43
Mezclas bituminosa	18	15	12	12	12	10	8	5	DTS
Capa reciclada in situ con cemento	35	35	35	30	25	25	22	20	20

### Características del material reciclado

Características	
Rc min 7 días	2,5 Mpa
E de cálculo 90 días	6.000 Mpa
Contenido mínimo de cemento	3%
Densidad mínima en obra	97 % D <sub>máx</sub>

Este tipo de material reciclado de 2,5 Mpa, es el que ha adoptado la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento en la publicación del correspondiente capítulo nº 21 del Pliego General de Prescripciones Técnicas PG-4, Reciclado in situ con cemento de capas de firme, O.C. 8/2001 de 28 de Diciembre. En este capítulo se incluye las prescripciones exigidas al material reciclado, que se resumen a continuación:

### Reciclado in situ con cemento de firmes

Tamaño máximo	≤ 80 mm
Pase tamiz UNE 4 mm	≥ 30 % (si no corrector ZA)
Materia Orgánica	< 1 %
Contenido sulfatos SO <sub>3</sub>	< 1 %
Plasticidad	IP < 15 Y LL < 35
Mínimo contenido de cemento tipo 32,5	> 3%
Resistencia a compresión 7 días	≥ 2,5 Mpa
Densidad in situ	> 97% D <sub>máx</sub> Proctor Modificado

### El proyecto.

Antes de efectuar un reciclado con cemento es preciso realizar una serie de estudios previos con objeto de:

Verificar la factibilidad del reciclado, definiendo las características de los materiales existentes y el espesor de las capas de firme (determinando si existen sustancias tales como materia orgánicas, sulfuros (piritas), sulfatos (yesos) o cloruros (sal gema) que puedan perturbar o incluso impedir el fraguado del cemento)

Para ello se debe proceder al reconocimiento de la carretera con recopilación de toda la información posible como proyectos o informes de las actuaciones que se haya realizado, la inspección del firme existente, evaluando los deterioros del mismo y la realización de una campaña de auscultación, normalmente se reciclan tramos con deflexiones superiores a los 200 x 10<sup>-2</sup> mm si la categoría de tráfico es inferior a T1.



Calicata de muestreo

Realizar una división de la carretera en tramos homogéneos en cuanto a tráfico, tipo de firme, estado del mismo, etc., en base a los datos anteriores y a una campaña de extracción de testigos y aperturas de calicatas (al menos una por Km), que nos definan los espesores de cada capa y nos permita obtener muestras de los materiales.

Caracterizar los materiales del firme en el laboratorio determinando:

- La naturaleza y humedad de la explanada
- La naturaleza y humedad de los materiales de cada capa del firme

A partir de los resultados del estudio de factibilidad, se determinan los distintos parámetros del proceso de reciclado. En concreto, hay que precisar el espesor de firme existente que puede ser tratado y en función del dimensionamiento realizado, si es necesario aportar material, así como la fórmula de trabajo. Dicha fórmula debe indicar:

- La **granulometría** y tolerancia en el huso de los productos resultantes del escarificado y, en su caso, la necesidad de una corrección mediante el aporte de un corrector granulométrico (árido fino).
- El **contenido de agua** del material en el momento de mezclado
- La **densidad** a obtener, cuyo valor medio no debe ser inferior al 97% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.
- El **tipo y contenido de cemento** a utilizar. (igual o superior al 3%, según el pliego), no siendo conveniente excederse con las resistencias por peligro a la retracción y los eventuales aditivos (por ejemplo, retardadores de fraguado)

### **Planificación de las obras.**

Aunque el reciclado de un firme con cemento es una operación que se puede subcontratar a empresas especializadas, hay una serie de aspectos concernientes a su preparación y a la planificación de la obra, que se deben prever y tener en cuenta:

- ✓ Resolución de los problemas de drenaje y realización de cunetas: el reciclado del firme con cemento permite la recuperación estructural de esta capa, pero si el agotamiento se debe a problemas de drenaje, acumulación de agua en los márgenes de la carretera y penetración en las capas inferiores formadas por suelo sensibles, la carretera volverá a presentar deterioros con el tiempo. Por eso previamente a la realización del reciclado, se deben resolver los problemas de explanada, blandones y drenaje existentes y realizar las cunetas adecuadas.
- ✓ Regularidad superficial: no se puede pretender arreglar con la motoniveladora los problemas de regularidad superficial. Si se retira material reciclado de una zona para aportarlo a otra, además de tener serios problemas de segregación, se reducirá el espesor de capa reciclada en la zona donde se extrajo. Se debe por tanto aportar material antes de realizar el reciclado donde se desea modificar la rasante, como puede ocurrir en las curvas que carezcan de peralte.
- ✓ Tráfico: hay que intentar, si es posible, cortar la carretera al tráfico para lo que habrá que señalizar los itinerarios alternativos e informar adecuadamente y con antelación al usuario. En el caso de tener que trabajar con tráfico habrá que señalizar bien las obras, disponer de personal que dirija el paso alternativo, planificar bien la forma de trabajo y proteger el material reciclado con un riego de curado arenado (árido 3-6), extendido con una dotación de 4 a 6 l/m<sup>2</sup>. El

reciclado por carriles tiene el inconveniente que en el solape de ambos se pueda producir una junta fría.

### Proceso constructivo.

La operación del reciclado se realiza sobre la misma carretera mediante un tren de equipos. El firme que se va a reciclar se fresa, se mezcla con agua y con cemento, se compacta enérgicamente y se nivela. El tratamiento se hace por franjas de 2,5 m de anchura de trabajo aproximadamente y a una profundidad variable.



Tren de reciclado

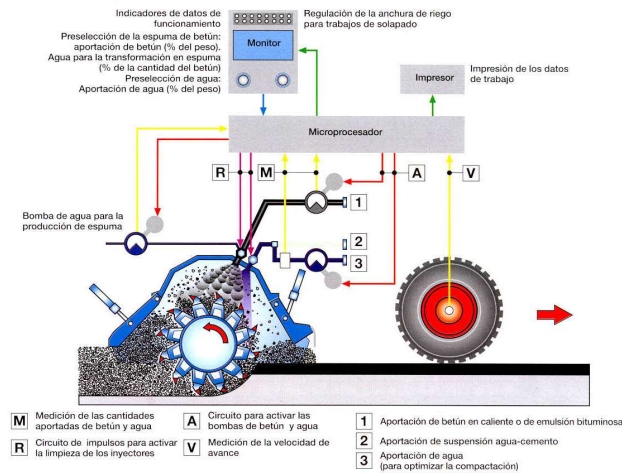
La ejecución de un tramo de prueba es aconsejable al permitir comprobar la idoneidad de la fórmula de trabajo y de los medios mecánicos propuestos, la relación entre el número de pasadas de equipo de compactación y la densidad obtenida, y la conformidad del material reciclado con las condiciones especificadas en laboratorio.

Esta prueba se podría hacer en el inicio de los trabajos, en este caso, es imprescindible tener en obra los equipos de laboratorio necesario, como la sonda nuclear para la comprobación de humedades y posterior compactación. Lo único que no podemos saber inmediatamente son los datos de resistencias conseguidas, al romperse a los 7 días.

Para la buena ejecución de estos trabajos es importante tener en cuenta las normas de buena práctica:

- ✓ Debe analizarse detalladamente el firme a reciclar, caracterizando el material, realizando fórmula de trabajo y proctor modificado, para tenerlas en cuenta en el proceso.
- ✓ Los equipos deben ir a una velocidad adecuada para que la granulometría del material reciclado no contenga partículas excesivamente grandes.
- ✓ Debe de cuidarse la anchura del tratamiento para no reciclar las bermas, generalmente con material no adecuado.
- ✓ Se debe tener muy en cuenta el contenido de agua del material a reciclar, para ello es muy importante haber sacado un proctor modificado y posteriormente ir pinchando con la sonda nuclear para su comprobación.
- ✓ Se debe de cuidar especialmente los solapes de las bandas de extendido para no sobredosificar estas zonas. Para ello, las máquinas de nueva generación (Wirtgen 2500S) tienen dentro del tambor – fresador 16 inyectores que se puede cerrar uno a uno para los solapes.

## SISTEMA DE RECICLADO WIRTGEN WR 2500



- ✓ Hay que realizar una debida compactación, teniendo en cuenta el tiempo de trabajabilidad y protección de la humedad óptima cerrando el material en la mayor brevedad posible.
- ✓ Hay que realizar los riegos de curado en cada jornada de trabajo, para dejarlo protegido. En caso de que la obra se haga bajo tráfico hay que realizar un riego de curado arenado.

Las rodaduras para tráficos ligeros pueden ser tratamientos superficiales, mezclas bituminosas en caliente con espesores reducidos, generalmente de 5 ó 6 cm. Para tráficos medios y altos conviene disponer dos capas de mezcla bituminosa para conseguir una regularidad superficial adecuada.

La ejecución de estas técnicas se puede ejecutar por vía seca o vía húmeda. En el caso de ser un firme existente con mezcla bituminosa, recomendamos que la ejecución sea por vía húmeda debido que el extendido del conglomerante en el asfalto puede perder la dosificación con un leve aire, sin embargo, si la ejecución es sobre un material granular, se puede ejecutar por las dos vías.

### Vía húmeda.

En el caso de reciclado con conglomerantes hidráulicos, la preparación de la lechada de agua-cemento se lleva a cabo en el WM1000, dotado con dos tolvas de cemento, otra de agua, un dosificador para cada material, un mezclador y una bomba que impulsa la lechada a la recicladora WR2500 a través de una manguera.

Esta bomba, de caudal variable, está conectada al microprocesador del estabilizador de manera que la cantidad de lechada que se envía está controlada en función de los parámetros que se fijan: profundidad de trabajo de la máquina, anchura, densidad y velocidad de la misma, de modo que pueda asegurarse una correcta distribución del conglomerante y del agua.

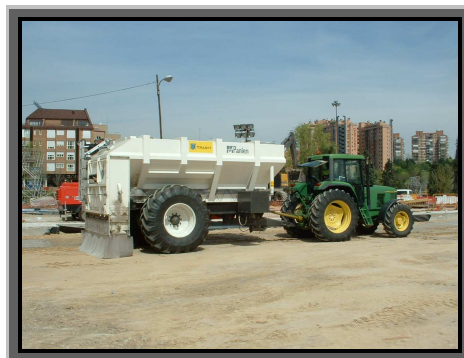
Por medio de los inyectores-pulverizadores la lechada se añade al suelo al mismo tiempo que éste se fresa y se tritura, obteniéndose una mezcla perfectamente homogénea. La estabilizadora va dejando una superficie plana, paralela a la original.

En el caso de la ejecución con material granular y épocas de meteorología adversas, al tener el material con una humedad más heterogénea, es más difícil conseguir la humedad óptima del Proctor Modificado, teniendo en cuenta que la lechada que debemos de fabricar siempre llevará un mínimo de agua.



### Vía seca.

En la vía seca se utilizará un equipo repartidor del conglomerante que dosifica de forma ponderal y tornillo distribuidor, ligada a la velocidad de avance del vehículo tractor. Extendiendo el cemento o la cal de forma exacta a la dosificación exigida. Se compone de un tanque remolcado con tolvas acopladas en la parte posterior con compuertas regulables (ejecución de los solapes). Van protegidos con faldones para limitar la emisión de polvo.



La recicladora / estabilizadora WR2500S mezcla el material con el conglomerante. Es posible conectar la cuba de agua directamente a los inyectores de la WR2500S a través de una manguera, lo cual nos permite añadir el agua al material mezclado y controlar la humedad necesaria mediante el caudalímetro que lleva la WR2500S. Así conseguimos la humedad óptima requerida por la fórmula de trabajo.





## **Compactación.**

A continuación se realizará la compactación mecánica, nivelación y curado de la mezcla reciclada, mediante las técnicas convencionales de movimiento de tierras.

Una correcta compactación tiene una gran influencia en la calidad final.

Dado que el material se debe compactar en una única tongada, se debe disponer de equipos de compactación capaces de conseguir la densidad especificada.

Es usual utilizar un compactador pesado de 18 t de peso con carga estática sobre generatriz de 500 N/cm o superior, para capas de 25 a 40 cm, y algo menos pesados, con carga estática del orden de 350 N/cm, para capas entre 15 y 25 cm.

Ambos compactadores se pueden utilizar también conjuntamente disponiendo el más pesado tras el equipo de estabilización y el segundo (normalmente de un peso del orden de 14-17 t) para completar la compactación tras el refino con motoniveladora.



Es muy importante mentalizar adecuadamente al maquinista de la importancia de su trabajo, pues la monotonía del mismo puede dar lugar a que se reduzca el número de pasadas y la compactación de algunas zonas.

Los conductores de los compactadores han de conocer:

- ✓ Momento en el que deben de intervenir
- ✓ Velocidad de trabajo de su compactador
- ✓ Parámetros de trabajo (Frecuencia y amplitud de la vibración)
- ✓ Número de pasadas que tiene que realizar

Durante la compactación se debe efectuar un control continuo de la densidad alcanzada y de la humedad mediante el uso de equipos rápidos como la sonda nuclear. De esta forma se pueden detectar anomalías en el proceso y corregir sus causas.

## **Nivelación o refino.**

El reciclado in situ con cemento se convierte en capa de base o subbase del firme por lo que es imprescindible que su regularización sea lo más precisa posible.

A pesar que existe sistema de nivelación automatizado no siempre son los más aconsejables dependiendo de la irregularidad del firme a reciclar, siendo, en algunos casos, más conveniente utilizar los sistemas convencionales de nivelación.

Tras una primera compactación inicial hasta alcanzar una densidad del orden del 90-92 % de la máxima del Proctor Modificado, se procede a la nivelación de la capa.

El refinado debe realizarse de forma rápida y siempre dentro del plazo de trabajabilidad del material reciclado.

### **Curado y protección superficial.**

El tratamiento de protección que se debe de aplicar una vez reciclado depende de la condiciones de la obra, sobre todo del tráfico que deba pasar.

En el caso de ser una obra completamente cerrada al tráfico podemos aplicar un riego de curado con emulsión de betún residual de 300 g/m<sup>2</sup>, tipo ECL-1.



En el caso de tener que abrir esta capa al tráfico de obra, no se debe permitir el paso de vehículos ligeros durante los tres primeros días, ni de pesados en los siete primeros. Si no se pueden respetar estos plazos, se debe proteger el riego de curado mediante el extendido de un árido de protección 3/6 con dotación de 2 – 4 l/m<sup>2</sup>. Además, se debe comprobar que el tráfico no provoca un deterioro superficial importante en la capa reciclada. Esta debe limpiarse bien antes de extender la capa superior.

Independientemente del curado, siempre que se produzca una desecación superficial por altas temperaturas, sol o viento, se debe humedecer la superficie mediante la pulverización de agua.

### Obras de reciclado in situ con cemento ejecutadas por Trabit:

- **Camino de Belén (Trujillo).** (Noviembre 2015) Reciclado in situ con cemento. 61.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor.
- **Carretera M-220 Campo Real (Madrid)** (Agosto 2015) Reciclado in situ con cemento. 10.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Carretera CR-5221 Valdepeñas.** (Marzo 2015) Reciclado in situ con cemento. 58.320 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Refuerzo de firme carretera TO-2516 desde A-42 a Yuncillos (Toledo).** (Octubre – 2014) Reciclado in situ con cemento. 20.170 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Refuerzo de firme carretera TO-2988 Puebla de Almoradiel a Miguel Esteban (Toledo).** (Agosto – 2014) Reciclado in situ con cemento. 54.000 m<sup>2</sup> a 27 cm. de espesor
- **Carretera M-213 en Santorcaz (Madrid).** (Agosto 2014). Reciclado in situ con cemento. 14.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor.
- **Carretera Madrigalejos a Logrosan (Cáceres)** (Noviembre – 2013) Reciclado in situ con cemento. 45.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Refuerzo de firme carretera TO-2657 AP-36 - Noblejas (Toledo).** (Julio 2013) Reciclado in situ con cemento. 35.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Rehabilitación carretera S-449 Bétera – Serra (Valencia).** (Julio 2013) Reciclado in situ con cemento. 11.250 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Carretera N-502 del P.K. 179 al 183 (Provincia de Toledo).** (Julio – 2012) Reciclado in situ con cemento 28.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor.
- **Carretera M-229 Valdilechas a Orusco (Madrid)** (Mayo – 2011) Reciclado in situ con cemento 25.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor
- **Carretera en Zafarraya a Puente de Don Manuel (Málaga).** (Diciembre – 2010) Reciclado in situ con cemento. 40.000 m<sup>2</sup> a 40 cm. de espesor.
- **Carretera M-225 Campo Real (Madrid).** (Septiembre – 2010) Reciclado in situ con cemento. 70.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor.
- **Carretera CUV-7032. Tramo: Torrebucait – Abia. (Cuenca)** (Agosto – 2010) Reciclado in situ con cemento. 65.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor
- **Acondicionamiento de la carretera GU-418 (Guadalajara)** (Agosto – 2010) Reciclado in situ con cemento. 39.000 m<sup>2</sup> a 40 cm. de espesor.
- **Carretera TO – 2515 Lominchar – Recas (Toledo)** (Diciembre – 2009) Reciclado in situ con cemento. 32.000 m<sup>2</sup> a 25 cm. de espesor.
- **Reparación Autopista AP-71 León – Astorga. (León)** (Septiembre – 2009) Reciclado in situ con cemento. 52.000 m<sup>2</sup> a 30 cm. de espesor.
- **Carretera de Quijorna (Madrid).** (Agosto – 2009) Reciclado in situ con cemento y suelo cemento in situ. 44.000 m<sup>2</sup> a 22 cm. de espesor.
- **Caminos Generales nº 4 y 7 (Plasencia).** (Agosto – 2009) Reciclado in situ con cemento. 30.000 m<sup>2</sup>. 30 cm. de espesor.
- **Carretera TO-2121 Villanueva de Bogas – CM-4005 (Toledo).** (Noviembre – 2008) Reciclado in situ con cemento. 11.000 m<sup>2</sup>. 30 cm. de espesor.
- **Mejora y ensanche CV-770 Sella (Alicante).** (Febrero – 2008) Reciclado in situ con cemento. 30.576 m<sup>2</sup>, 25 cm. de espesor.
- **Mejora de infraestructura Monumento Natural Monte Santiago – Berberana (Burgos).** (Septiembre – 2007) Reciclado in situ con cemento. 15.000 m<sup>2</sup>, 15 cm. de espesor.
- **Carretera ZA-V-2107 Castrillo de la Guareña – Fuentelapeña (Zamora).** (Septiembre – 2006) Reciclado in situ con cemento. 27.000 m<sup>2</sup>, 25 cm. de espesor.
- **T-700 Prades – Poblet. (Tarragona).** (Mayo – 2005) Reciclado in situ con cemento. 21.325 m<sup>2</sup>, espesor 30cm.



**Ctra. CR-5221 Valdepeñas**



**Ctra. TO-2516 desde A-42 a Yuncillos (Toledo)**



**Ctra. N-502 del PK 179 al 183 (Toledo)**



**Ctra. Zafarraya a Puente de Don Manuel (Málaga)**



**Caminos Generales nº 4 y 7 (Plasencia)**



**Autopista AP-71 León – Astorga**



**Ctra. M-220 Campo Real (Madrid)**



**Ctra. TO-2657 Bogas - Noblejas (Toledo)**



**Ctra. ZA-V-2107 (Zamora)**