

INNOVACIONES EN LOS MODERNOS TRATAMIENTOS IN SITU O EN CAPAS DE GRANULARES DE FIRME CON EMPLEO DE RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS COMO HERRAMIENTAS DE GESTIÓN EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE LAS INFRAESTRUCTURAS VIARIAS

JUAN MANUEL CADENAS ARMENTIA
SERVIA CANTO
BENITO ROMERO ROBLES
SERVIA CANTO
JAVIER AINCHIL LAVIN
FCC CONSTRUCCION

RESUMEN

La construcción de infraestructuras viarias viene condicionada, hoy en día, por numerosos requerimientos ambientales que llevan aparejados consecuencias económicas de ninguna manera despreciables. Así, mientras el necesario respeto por el paisaje conduce a un interés por evitar la apertura de nuevas canteras o emplear subproductos, tal premisa conlleva a su vez a un encarecimiento de materias primas vírgenes extraíbles de aquellas. Paralelamente la reducción de los transportes de materias primas aporta beneficios económicos pero también medioambientales, por la reducción de consumos energéticos y emisiones de todo tipo y mayor durabilidad de la red viaria. Como consecuencia de esta situación los modernos tratamientos in situ de materiales granulares naturales o reciclados permiten emplear materiales subóptimos o residuos para construir capas estructurales de firme (materiales estabilizados, reciclados en frío, capas de base) reduciendo los costes económicos y ambientales del transporte y al mismo tiempo prolongando la vida útil de los yacimientos de materiales pétreos o evitando la creación de nuevos. En esta línea se están desarrollando trabajos tendientes a mejorar las prestaciones de este tipo de materiales mediante proyectos de investigación, desarrollo e innovación tecnológica, y tramos reales de prueba de magnitudes representativas.

INTRODUCCIÓN

Desde hace pocos años se viene observando que la preocupación medioambiental existente en nuestra Sociedad se está traduciendo en actuaciones concretas influidas también por el contexto económico. En el caso de la construcción de vías de transporte la escasez de áridos de calidad en entornos próximos ha llevado a potenciar el empleo de materiales subóptimos que son competitivos al tener reducidos costes de transporte. Al mismo tiempo aportan beneficios ambientales con la reducción de consumos energéticos, emisiones de volátiles y deterioro de la red viaria existente. Paralelamente es factible emplear en carreteras ciertos residuos de construcción u otras actividades por la aplicación extensora de los mismos, proximidad a puntos de generación y aptitud técnica.

Todos estos materiales deben ser tratados a fin de ser capaces de responder a las demandas resistentes, deformacionales y de durabilidad que se requieren en una capa de firme de calidad.

La aparición de maquinaria de tratamiento in situ de estos materiales, también conocidos como recicladoras o estabilizadores, ha permitido desarrollar un elenco de tecnologías que denominamos tratamientos in situ.

Ahora bien, dichos tratamientos han sido conocidos desde hace décadas con diversas denominaciones: estabilizaciones en frío, reciclados en frío y otros, pero no ha sido hasta la aparición de maquinaria de alta versatilidad hasta que se ha podido realizar un enfoque integrado del tema. Los numerosos proyectos de innovación que se están desarrollando sobre utilización de residuos en carreteras introducen nuevas perspectivas en este campo.

ANTECEDENTES

Los esfuerzos del hombre para convertir el suelo en una estructura resistente, estable y duradera se remontan a las civilizaciones más primitivas. Sin embargo, en España puede considerarse el inicio de las estabilizaciones en el concepto moderno de la mejora in situ de un suelo mediante la incorporación de cemento o cal, como productos industriales para lograr una explanada de buena capacidad de soporte, en el amplio programa de construcción de caminos en las zonas regables, iniciado en los años sesenta, por parte del Instituto Nacional de Colonización (posteriormente IRYDA), y que afectó a más de 250 km de caminos. En todos estos casos de estabilización o mejora del suelo in situ con cemento, el espesor del firme tratado es de 15 cm, profundidad máxima eficaz de los equipos utilizados, formados por rotoarados agrícolas de varias fresas verticales o bien mezcladoras autopropulsadas rotativas, conocidos también como rotavátros.

En 1974, en la construcción de la autopista de Navarra, se realiza también la estabilización de la explanada sobre la que se apoya el firme en una longitud aproximada de 20 km, y a pesar de utilizarse en algunas otras obras diversas, no se ha podido recopilar documentación hasta el año 85 en el que se estabilizan 15 km de la N-1 entre Cerezo y Boceguillas. No obstante, es a partir del año 1986, cuando la estabilización de los suelos existentes en la traza empieza a ser una alternativa seriamente considerada frente a la opción de sustituir dichos suelos por otros de mayor calidad, que en muchas regiones de España no se pueden encontrar a una distancia aceptable. Además de resultar una opción más económica, en dichos casos se consigue una mejor superficie de apoyo, y es una solución más respetuosa con el medio ambiente, al evitarse extracciones de suelos (préstamos), y el vertido de los suelos marginales que aparecen en la traza.

De todas estas experiencias que se refieren en los textos citados en la bibliografía merece destacar sin embargo la creciente experiencia obtenida fundamentalmente en Castilla y León, que en dicho año elabora las primeras recomendaciones al respecto.

Por lo que respecta a Cataluña las primeras experiencias se producen en el año 2003 con las estabilizaciones con cemento (y en menor medida con cal) que tienen lugar en la ampliación del Aeropuerto del Prat. Posteriormente con la obligatoriedad de ejecutar explanadas estabilizadas según la nueva Instrucción de Carreteras se generaliza su uso. A partir de 2006 empieza a ejecutarse suelo cemento mediante recicladores in situ y con la referencia de otras normativas autonómicas y europeas.

CONCEPTO DE TRATAMIENTO DE SUELOS

Los tratamientos de suelos se realizan incorporando al suelo o carretera existente un material que actúa como conglomerante o impermeabilizador y tienen como objetivo cambiar las características físicas y químicas del material existente. Los conglomerantes más utilizados, con diferencia, son la cal, el cemento y las emulsiones. Los principales efectos de los tratamientos son los siguientes:

- disminución de la plasticidad y mejora de la estabilidad volumétrica
- aumento de la capacidad de soporte
- aumento de la durabilidad, mejorando la resistencia a la erosión, a los agentes climáticos o al desgaste producido por el tráfico
- mejora de la trabajabilidad

De las anteriores algunas se consiguen estabilizar de manera inmediata incluso con pequeñas adiciones de conglomerante, otras necesitan mayores dotaciones y plazos medios o largos. El caso de una capa granular convencional tipo zahorra podría asimilarse a un tratamiento in situ sin conglomerante.

Suelen utilizarse las siguientes denominaciones en función del contenido de aditivo y de los objetivos perseguidos con el tratamiento:

Suelo mejorado

Sólo tiene por objetivo reducir la sensibilidad al agua o la expansión. Los contenidos de conglomerante suelen ser iguales o inferiores al 2%

Suelo estabilizado

Se trata de dotar el material de mejores características de soporte junto con una insensibilidad al agua. Los contenidos de estabilizante suelen encontrarse entre el 2% y el 5%, aunque pueden ser superiores. Una muestra de su ejecución puede verse en la figura 1.



Figura 1. Estabilización de suelos

Suelo-cemento (o suelo-cal)

Es una unidad de obra para capas de firme en la que el objetivo es obtener materiales resistentes a la fatiga y con capacidad de soporte elevada.

Reciclado en frío con cemento o emulsión

Si en lugar de un suelo se aplica la recicladora sobre una carretera existente con aportación de ligante se puede obtener una estabilización y regularización del firme (reciclado en frío con emulsión tipo I y II), un reciclado y regeneración de ligantes existente (reciclado en frío con

emulsión tipo III) o incluso la formación in situ de una losa tratada (reciclado en frío con cemento). Ver figura 2



Figura 2. Reciclado en frío

De acuerdo con el enfoque ambiental del presente artículo debe destacarse que los tres primeros toman como material de partida un suelo natural existente, mientras que el cuarto coge su parte de un residuo sin demoler (yacimiento granular existente). Con análogos criterios podría partirse de un material (granular o no) obtenido a partir del desmonte de la traza, escombros de firmes antiguos o incluso reciclados de RCD obtenidos de una planta de tratamiento, escorias de industrias u otros residuos.

Completan el elenco de posibles combinaciones la adición de líquidos al objeto de mejorar algunas propiedades del material final. Merece la pena destacar por su experiencia en otros países el empleo de polímeros líquidos, compuestos enzimáticos e incluso lignosulfonatos que son a su vez un residuo de la industria de la madera.

El esquema gráfico de funcionamiento de estos tratamientos puede verse en la Figura 3. Variando la relación de espesores entre el árido de aportación y el pavimento deteriorado es posible obtener los diferentes tratamientos antes expuestos, o incluso desarrollar otros novedosos.

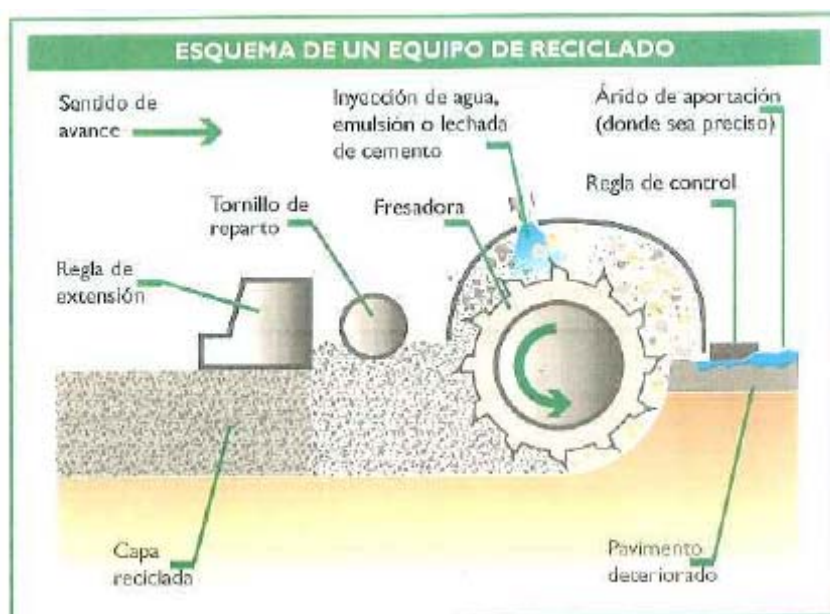


Figura 3. Esquema de un equipo de reciclado

EMPLEO DE RESIDUOS EN FIRMES

Los materiales o residuos a emplear en capas de firme se pueden agrupar en:

- a) residuos de la propia actividad de construcción
- b) residuos de otras actividades industriales
- c) materiales marginales

RESIDUOS DE LA PROPIA ACTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con la perspectiva del Análisis del Ciclo de Vida la situación ambiental óptima es aquella en la cual los residuos de demolición de una carretera se emplean en la reconstrucción de la misma. Por extensión se puede considerar también que los residuos de demolición de estas actividades también son susceptibles de aprovechar previo tratamiento, por lo común de machaqueo en planta portátil (figura 4)



Figura 4. Estación Portátil de machaqueo

Algunos casos posibles son:

- 1) Residuos del fresado o demolición de antiguas carreteras. Una de las técnicas cada día más utilizada en firmes es la del fresado (retirada de la capa superficial de un firme bituminoso) de la capa de rodadura existente en las calles de una ciudad o carretera y reposición con una nueva capa de características y espesor similar manteniendo rasantes. Como el material fresado está compuesto por unos áridos de gran calidad y recubierto por un cierto contenido de betún, el empleo de este en la nueva mezcla permite un gran ahorro ambiental y de coste en la fabricación de la nueva capa de mezcla evitando que los residuos vayan a vertedero. Por extensión puede extenderse esta técnica al material obtenido por machaqueo en planta móvil de trozos de firmes antiguos que han sido retirados por demolición. El PG 4 admite aprovechar estos materiales mediante reciclados in situ con emulsión o cemento o en central como mezclas recicladas.

- 2) Reciclados de Edificación. Los productos de reciclado de residuos de construcción y demolición (RCD) obtenidos en plantas fijas, también llamados “reciclados”, se han impuesto como material de construcción habitual en obras de urbanización. Se producen en instalaciones específicas de alta producción situadas próximas las grandes ciudades y receptoras de materiales de derribos, explotadas por gestoras de residuos. Su ventaja reside tanto en el alto número de instalaciones existentes fijas como otras móviles que se instalan en obra. Se puede obtener un material uniforme sólo si el residuo inicial lo es, empleándose en obras de explanadas, zahorra natural y encachados en obras de edificación.

La vigente instrucción de secciones de firmes solamente admite este tipo de explanadas para las clases de tráfico menores, reservando para las importantes las explanadas estabilizadas in situ, lo cual reduce el campo de aplicación de este material. Sin embargo en el borrador de la nueva versión de la instrucción del hormigón estructural está previsto aceptar áridos reciclados con el límite del 20 %. Por todo lo cual los trabajos de investigación comenzados recientemente profundizan en el uso de los reciclados de hormigones en aplicaciones de mayor valor añadido, seleccionándose para tal fin los RCD de hormigón preferentemente estructural y empleados en la misma obra, al objeto de resolver tanto el problema de la heterogeneidad como el de la limitación de aplicaciones para facilitar su consumo masivo. Estos trabajos son financiados parcialmente por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el CDTI, dentro del Programa PROFIT, entre otros.

- 3) Reciclados de Hormigón: Constituye un caso particular del anterior donde se ha podido eliminar la fracción cerámica del todo uno como pétreo. En ciertos casos se ha logrado obtener una zahorra artificial según lo previsto en el PG3 (figura 5)

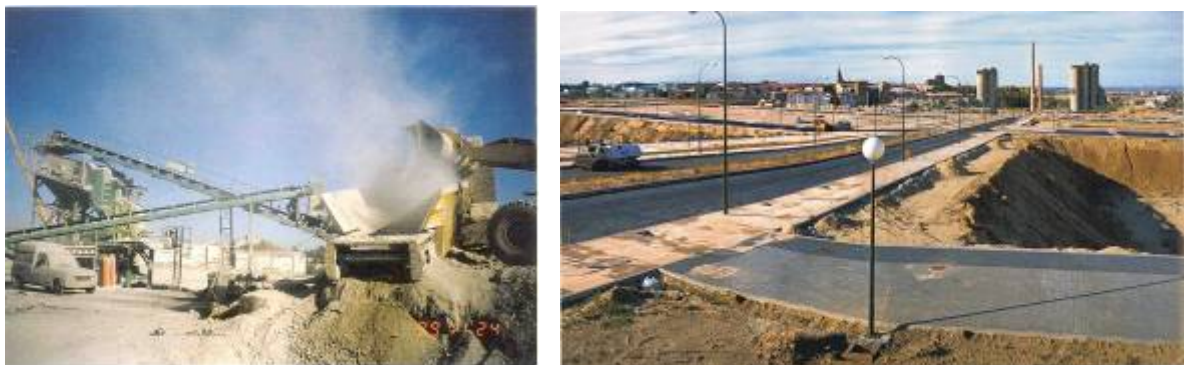


Figura 5. Reciclado de Hormigón

- 4) Escombros mixtos

Han sido estudiados abundantemente definiéndose aplicaciones como gravas para edificación, rellenos, terraplenes y explanadas.

- 5) Escombros de mampostería

Existen referencias de aplicación experimental como árido para hormigón o aglomerado asfáltico, árido ligero, material para explanada e incluso en fabricación de tejas recicladas

RESIDUOS DE OTRAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Se pueden distinguir entre estos residuos:

1) Escorias de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos.

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se producen en toda España constituyen uno de los epígrafes más impactantes ambientalmente por su magnitud y características. Una parte importante de los mismos va a vertedero, aunque existe una proporción notable y creciente de reciclado con separación selectiva y una fracción del orden del 5 % que es valorizada energéticamente en plantas incineradoras. Dicha valorización genera varios tipos de residuos como las cenizas volantes o las cenizas de hogar llamadas habitualmente escorias. La escoria producida en el proceso de incineración tiene características granulares y tamaño máximo del orden del centímetro. En numerosos países europeos se han venido estudiando aplicaciones prácticas de dichas escorias, en especial en el campo de la construcción, habiéndose efectuado estudios sobre posible expansividad y lixiviación.

Las plantas incineradoras de residuos sólidos urbanos existentes en el territorio nacional producen entre 200 y 300 kilos de escoria por tonelada de RSU recibido, estimándose que se incineran un millón de toneladas anuales de los más de diecisiete millones de toneladas de RSU producidos en todo el territorio. De esta manera puede entreverse que una aplicación fiable técnicamente y ambientalmente adecuada de las mismas podría suponer una salida adecuada a dicho residuo y reducir las extracciones de canteras y otros yacimientos. Servia Cantó ha ejecutado aplicaciones documentadas y soportadas con ensayos de laboratorio de subbases granulares en obras reales de urbanización, tal como se recoge en la figura 3, y se trabaja en aplicaciones que produzcan mayor valor añadido.



Figura 6. Extendido y compactado en obra de escorias de RSU

Se están estudiando aplicaciones estabilizadas in situ para residuos no totalmente madurados por el poder de control de lixiviados, dentro del Programa antes citado.

2) Escorias Siderúrgicas de Horno Eléctrico

Las escorias provenientes de la siderurgia son un material muy experimentado para sus aplicaciones prácticas como subproducto de la construcción. Las denominadas escorias de acería de horno de arco eléctrico se clasifican en escorias blancas y negras, siendo estas últimas las que proporcionan mayores posibilidades de aplicación práctica. Se han realizado

estudios en los últimos años con estos residuos como capas de base o subbase, con precauciones en zonas próximas a niveles freáticos o inundables por riesgo de lixiviación. El mayor enemigo para la utilización práctica de este material viene dado por el coste del transporte, ya que si bien presenta unas excelentes propiedades como árido para rodadura es más pesado que un árido granítico equivalente. El caso de estabilizaciones presenta especial interés para reutilización de escorias blandas que con los conocimientos actuales hoy por hoy no son aprovechables por su expansividad.

3) Empleo del polvo granulado de NFU.

Su posible aprovechamiento pasa por desarrollar un proceso de incorporación satisfactoria del material granulado procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (NFU) en las mezclas bituminosas en caliente, promoviendo de esta manera se tanto la mejora de los procesos productivos a fin de incorporar materiales de desecho de otras actividades. Pese a que la tecnología para utilizar el polvo de los NFU ha sido muy estudiada en diversos países, no existe en la actualidad normativa española que defina la forma de emplearlo en la construcción de carreteras, no obstante lo cual se han construido diversos tramos experimentales en todo el territorio nacional. Servià Cantó ha desarrollado un proyecto con granulado de tamaño elevado financiado por la Agencia Catalana de Residuos.

4) Residuos de industrias extractivas acumulados en escombreras.

Existen en nuestro país numerosas escombreras con volúmenes considerables formadas por residuos de minas, canteras y graveras. Es habitual encontrar por ejemplo en las zonas pre-pirenaicas áreas restauradas que ocultan residuos de actividades mineras de extracción de carbón, potasas y hierro entre otros, acumulados durante decenas de años, y también en las inmediaciones de las bocas de los túneles carreteros, ferroviarios e hidráulicos grandes escombreras que albergan la mayoría de los productos de excavación de los mismos. De acuerdo con las tendencias medioambientales actuales de priorizar proyectos que propongan la utilización de los productos de las minas, canteras y graveras, se ha comenzado una nueva línea de trabajo que busca investigar sobre posibles usos de residuos de dichas actividades, bien sin tratar o reutilizadas, ya estén en escombreras o la salida de la instalación. Los túneles construidos se asimilan en este caso a una actividad minera donde el residuo es el producto de la excavación.

5) Estériles de Carbón.

Constituye un caso particular del anterior que ha estado muy estudiado en el pasado, con aplicaciones conocidas como árido para capas granulares, capas estabilizadas y en mezclas bituminosas (estériles rojos) y en rellenos y terraplenes (estériles rojos y negros)

6) Escorias de Alto Horno.

Las escorias granuladas se emplean como adiciones al cemento e incluso al hormigón, mientras que las cristalizadas son aptas para rellenos, terraplenes, capas granulares, capas estabilizadas con cemento, y áridos para hormigones, capas superficiales de firme y mezclas bituminosas.

7) Escorias de Acería LD.

Se emplean como rellenos, capas granulares, capas estabilizadas con cemento, y áridos para capas superficiales de firme y mezclas bituminosas.

8) Cenizas volantes.

Las cenizas volantes obtenidas en las centrales térmicas de carbón comenzaron a difundirse profusamente en hormigones preparados a partir de los años ochenta, si bien se habían empleado con anterioridad, llegando a elaborarse recomendaciones de uso en alguna comunidad autónoma a fin de normalizar su empleo (UC – 85). En muchos países suelen hacerse estabilizaciones con cenizas volantes, como por ejemplo Estados Unidos.

MATERIALES MARGINALES

Se trata de materiales granulares que en décadas anteriores estaban proscritos en la construcción de carreteras y que en los últimos tiempos se han visto incorporados a los Pliegos de Prescripciones Técnicas de los proyectos por motivos ambientales y de coste de sustitución alternativa. Por su importancia se señalan las arcillas expansivas y los materiales yesíferos, así como las margas cuya marginalidad estriba fundamentalmente en su condición de roca evolutiva. Análogas consideraciones pueden efectuarse ante materiales de tipo local abundantes en ciertas regiones de nuestro país.

1) Empleo de arcillas expansivas.

Este tipo de materiales es muy frecuente en la geografía peninsular y se caracteriza por el aumento de volumen que experimenta en contacto con la humedad. Las arcillas expansivas están compuestas por partículas de tamaño pequeño en las que la fuerza de atracción entre ellas les confiere una cierta cohesión pero donde a diferencia de otras arcillas, pueden aparecer fenómenos de aumento de volumen. Estudios realizados refieren presiones máximas del orden de 3 kilogramos por centímetro cuadrado en ciertos paramentos instrumentalizados, aunque por lo general son menores. La aparición de arcillas expansivas en el terreno de soporte de estructuras es por lo común causa de contrariedades, ya que la incertidumbre de la magnitud de los esfuerzos de expansión conduce o bien a reforzar la estructura ante los mismos o bien a sanear y enviar a vertedero el material expansivo y sustituirlo por un material seleccionado. Este planteamiento que a veces es admisible en obras pequeñas es claramente rechazable al tratarse de obras lineales, fundamentalmente por motivos ambientales. Se han podido aplicar en terraplenes o bien encapsulándolas a fin de evitar el efecto del agua, estabilizándolas con cal e incluso sin tratamiento en el núcleo siempre y cuando se garanticen determinadas condiciones.

2) Empleo de materiales yesíferos.

Son de sobra conocidos los problemas que comportan los terrenos donde hay presencia de yesos por capacidad de dilución ante la presencia de agua. La mayoría de las normativas y los pliegos técnicos proscribían hasta la reciente modificación del PG 3 el empleo de yesos en cualquier punto de los terraplenes, y mucho menos en aplicaciones de mayor responsabilidad.

Dentro de esta línea de trabajo se han construido terraplenes con suelos yesíferos con secciones transversales adaptadas en función del grado de inundabilidad o presencia de agua, combinando dichos suelos con materiales de diferente grado de permeabilidad. Se ha estudiado el comportamiento de los mismos ante posibles técnicas de extendido mediante estabilizaciones, compactación y puesta en obra con o sin adiciones de aglomerante hidráulicos u otros, prestando especial atención a la durabilidad y evolución con el tiempo.

3) Empleo de materiales margosos.

Las margas son rocas sedimentarias evolutivas muy abundantes en el territorio peninsular de aparición frecuente durante la construcción de obras lineales de infraestructuras. Dentro de las margas coexisten materiales duros que deben ser excavados con perforación y voladura, otros que son ripables e incluso excavables con maquinaria de suficiente potencia y suelos blandos. Presenta el primer tipo una resistencia mecánica importante así como un coeficiente de desgaste de Los Ángeles apto para emplearse como árido. No obstante acostumbran suponer problemas importantes de estabilidad a largo plazo ante la presencia de agua, lo que dificulta e invalida su uso como materia prima para áridos para la construcción, siendo en ocasiones aceptables solo como relleno o terraplén. Se trata por tanto de un material a priori con características resistentes satisfactorias pero que no puede aprovecharse, y donde además la técnica de detección de efectos perniciosos no es inmediata. Históricamente su mayor salida ha sido como elemento para fabricar cemento Pórtland.

Los elementos constitutivos de las margas carbonatadas (moscovita, chamosita férrica, caolinita, ilita) son componentes hidrófilos, y por tanto pueden dar problemas de cambios volumétricos en presencia de agua. La investigación que se está desarrollando busca someter a los materiales margosos excavados en obra a procesos de tipo mecánico (lavado, machaqueo, cribado, clasificación) así como a adiciones de algún tipo (aglomerantes hidráulicos u otros productos) mediante técnicas y configuraciones específicas que permitan su utilización en capas de explanada y eventualmente como árido de construcción. Se estudia asimismo la durabilidad del material así tratado en el tiempo y ante ciclo extremos. Los trabajos realizados apuntan a que este material marginal que es en principio rechazable para ciertas unidades de obra y que se puede asimilar a residuo de construcción, puede ser reutilizado o reciclado como un producto de valor añadido en la obra.

VENTAJAS DE LOS TRATAMIENTOS

Las razones fundamentales que aconsejan su aplicación son las siguientes:

- La capacidad de soporte de un firme guarda una relación directa con la de su explanada. Las explanadas tratadas llevan a mayores vidas de servicio y menores costes de conservación.
- Se debe intentar aprovechar los suelos de la traza al máximo. Las enormes limitaciones que tienen actualmente los vertidos y préstamos y el coste del transporte de suelos exige que se trate en lo posible de utilizar los suelos inadecuados o marginales, e incluso residuos.

Los tratamientos de suelos permiten actuar en ambos campos. Son una alternativa al aporte de suelos en el caso de que los suelos de calidad se encuentren a largas distancias de transporte ya que hace posible aprovechar los suelos de la traza que no cumplan las especificaciones requeridas de plasticidad o hinchamiento. También puede emplearse para aumentar la capacidad de soporte de las capas superiores del terraplén o desmonte, incrementando la categoría de explanada y disminuyendo en consecuencia los espesores necesarios de firme.

Además, son una herramienta para optimizar procesos constructivos, mejorar el funcionamiento del firme o reducir costes globales. En unos casos puede ser la única solución cuando no hay

disponibles suelos de calidad, en otros puede ser la solución más económica y/o la más adecuada.

Las razones anteriores han hecho que las administraciones de carreteras tengan actualmente una actitud muy favorable a la utilización de estas técnicas. Pero el argumento decisivo para su utilización generalizada en estos últimos años ha sido la disponibilidad de maquinaria potente y de gran rendimiento, las denominadas recicladoras-estabilizadoras, que ha reducido los costes y los plazos de ejecución y han mejorado la calidad de este tipo de obras.



Figura 7. Recicladoras - Estabilizadoras

ACTUACIONES DE INNOVACIÓN

A fin de favorecer el empleo de este tipo de tratamientos la empresa SERVIA CANTO ha puesto en marcha un conjunto de actuaciones de I+D+i con los siguientes objetivos específicos:

- Generalizar las posibles combinaciones de materiales y conglomerantes para todo tipo de actuaciones.
- Desarrollar las dosificaciones de las combinaciones de cal, cemento, escorias, cenizas, residuos y aditivos químicos para obtener un tratamiento de suelos in situ que permita mejorar la resistencia habitual del suelocemento fabricado en plantas.
- Establecer un proceso de fabricación que combinado con el desarrollo de la mezcla controle la fisuración evitando la habitual fisuración inducida (cortes en el firme cada aproximadamente 5 m de distancia)
- Incorporar a las capas de base o subbase materiales reciclados de construcción y demolición (RCD) y otros tipos de residuos que permitan reducir el impacto ambiental.
- Cuantificar el efecto de la incorporación de nuevos aditivos
- Validar los resultados del proyecto mediante la realización de experiencias piloto a escala real de tramos de subcapas para una superficie representativa en un tramo de carretera.

Para lograrlo se acometen los siguientes objetivos operativos:

- Definir los tipos de conglomerante tales como cemento, cal, puzolanas a emplear en el material estabilizado, así como los aditivos químicos como lignosulfatos, encimas o polímeros.
- Estudiar la combinación de los conglomerantes y aditivos para diferentes tipos de suelos a tratar: arenoso, arcilloso, limoso, roca, carretera existente y RCDs. entre otros.
- Analizar el contenido óptimo de agua para cada tipo de mezcla estudiada.
- Parametrizar la maquinaria de estabilización, compactación y tratamiento superficial involucrada en el procesado del suelo optimizando velocidades de avance, espesor de tratamiento y número de pasadas.
- Incorporar materiales procedentes de residuos garantizando la calidad del firme para contribuir a una minimización del impacto ambiental.

CONCLUSIONES

A partir de los tratamientos existentes hoy en día para obras de carreteras como estabilizaciones con cal o cemento, o reciclados en frío con cemento o emulsión, es posible aplicarlos satisfactoriamente a las redes locales de carreteras tanto si son vías locales pavimentadas como si se trata de caminos que no poseen capa de rodadura.

Incorporando diversos aditivos y estudiando la influencia de los parámetros de funcionamiento (espesor de tratamiento, velocidades de operación y otros) es posible obtener un material prácticamente a medida en función de los requerimientos solicitados. La aportación medioambiental de los tratamientos de suelos in situ es claramente favorable frente a otro tipo de soluciones convencionales.

Si bien el elenco de aplicaciones posibles de los residuos es extenso y lo seguirá siendo en el futuro como consecuencia de la apuesta decidida de nuestra sociedad por la sostenibilidad, es preciso profundizar en la investigación aplicada en la medida de lo posible, incorporar el empleo de dichos materiales.