

# Los materiales innovadores, Composites y Reciclados. Una herramienta de futuro para el proyectista y el constructor

## Innovative Materials: Composite and Recycled Materials a future tool for the Designer and Builder

**Carlos Bosch Cantallops.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Departamento de Procesos de Construcción, Dirección Técnica de DRAGADOS S.A. BBOSCHC@dragados.com*

**Fernando Hué García.** Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

*Dirección Técnica de DRACE. fhg-peyma-madrid@dragados.com*

**Resumen:** La situación actual de la construcción, en la que es un problema muchas veces, la obtención de materiales adecuados hace que se mueva en dos direcciones complementarias, por un lado el uso de materiales de alta tecnología de propiedades avanzadas, como los composites que producen una desmaterialización física de las obras y por otro el reciclado de los productos obtenidos en la propia obra mediante demoliciones o reaprovechamiento de materiales marginales. La consolidación de las tecnologías de reciclado de los productos en la obra para obtener ahorros y áridos de excelente calidad para su uso en otras unidades de la misma obra supone un ahorro sensible en los costes medioambientales y económicos del proyecto haciendo de estas soluciones alternativas viables y probadas para resolver problemas que ayudan a la ejecución de obras más sostenibles.

**Palabras Clave:** Composite, Reciclados, Preimpregnados, Pultrusión, Mallas espaciales, Demolición

**Abstract:** The problem of obtaining suitable materials frequently arises in construction today and this has led to a new focus in two complementary directions. On one hand the employment of high-tech materials with advanced properties, such as composites, which produce a physical dematerialization of the work and, on the other, recycled products obtained from demolition works or by the reuse of other materials. The consolidation of recycling techniques of site products to produce excellent quality aggregates for use in other areas of the same work with notable savings in environmental and building costs, makes these viable and proven alternatives to solve problems and help form more sustainable construction.

**Keywords:** Composite, Recycled materials, Preimpregnated, Pultrusion, Space Frames, Demolition

### **La obtención de materiales para las nuevas obras de infraestructura**

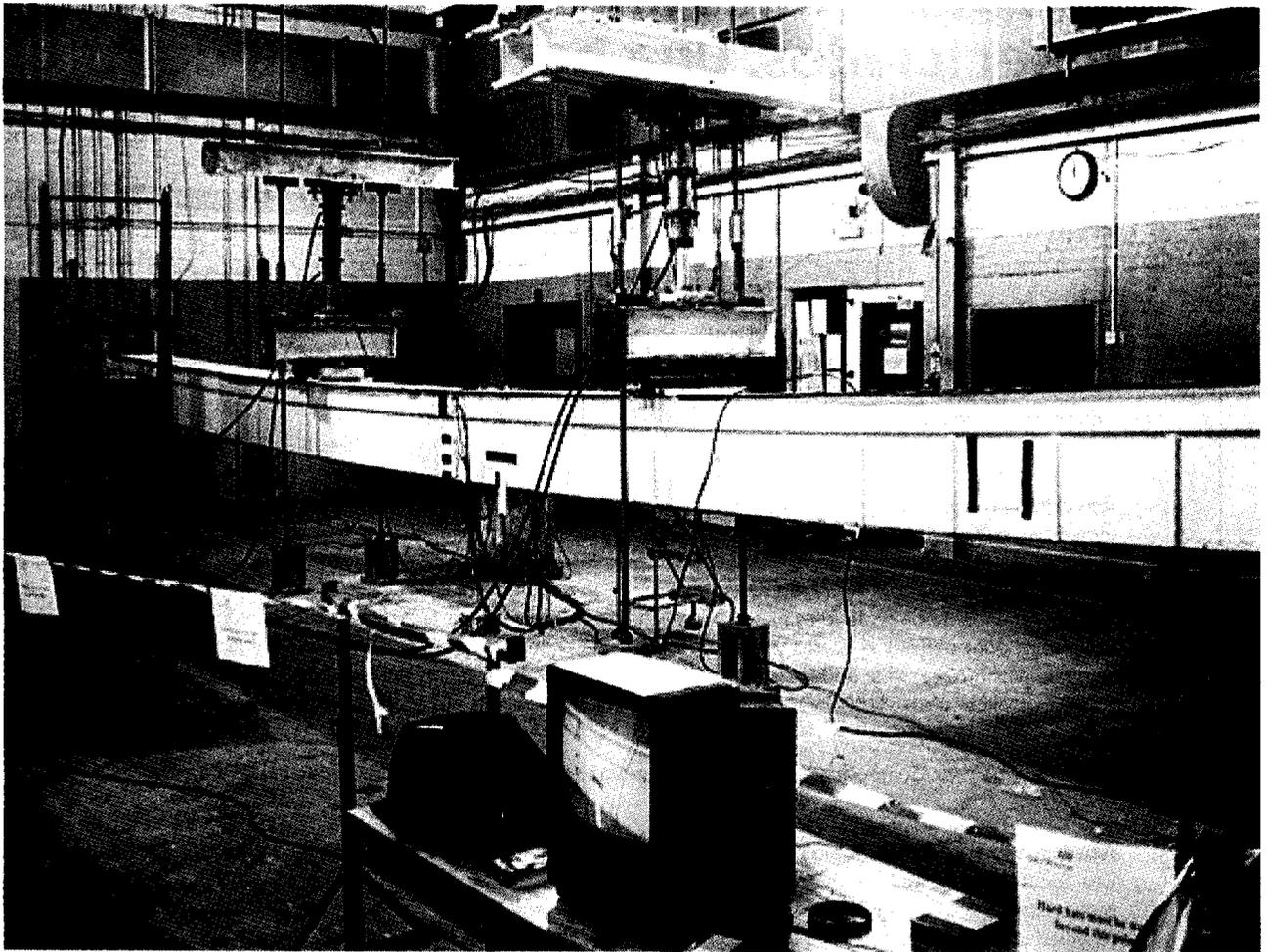
La situación actual de la construcción, en la que es un problema muchas veces, la obtención de materiales adecuados, está conduciendo a los proyectistas, promotores y empresas constructoras a buscar soluciones que van en dos direcciones complementarias, por un lado el uso de materiales de alta tecnología de propiedades avanzadas, permite disminuir los volúmenes físicos de los materiales a producir, transportar y colocar, a cambio de una sofisticación en los

procesos de elaboración, y un alto precio que se compensa, al emplear cantidades pequeñas del material, para cumplir la función proyectada.

Por otro lado, el mismo problema de obtención de materias primas para las obras hace que se reutilicen los materiales disponibles procedentes de una demolición, o bien materiales marginales que después de sufrir un tratamiento adecuado se transforman en aceptables para su uso.

En este artículo trataremos los dos extremos de este abanico, por un lado los materiales compuestos como elementos de estructuras de nueva generación, ligeras y de alta tecno-

Foto 1. Ensayo de flexión de la viga de composite y hormigón hasta rotura en las instalaciones de TNC en Londres.



logía, con un contrapunto de los materiales reciclados obtenidos en varias ocasiones durante las obras del Aeropuerto de Barajas en Madrid, que permitieron aprovechar en los pavimentos de los nuevos viales, los productos machacados y clasificados, procedentes de carreteras y pistas antiguas que iban a quedar en desuso con el nuevo plan de inversiones en infraestructuras del aeropuerto.

### **Los materiales compuestos o "composites"**

Existe desde hace tiempo un gran interés por el uso en la construcción de materiales compuestos o "composites". Pero, debido a su alto precio, su empleo sólo es económico si se utilizan estos materiales aprovechando al máximo sus cualidades, especialmente sus elevadas propiedades mecánicas, su baja densidad, su facilidad de construcción y montaje, la sencillez de su reparación y/o refuerzo en caso de accidente o de necesidad de incremento de resistencia por aumento de solicitaciones y su posibilidad de reciclado. Para muchas de las tipologías estructurales que utilizan grandes luces, es-

te uso económico requiere el empleo conjunto de composites con otros materiales de construcción.

En el Proyecto Europeo de I+D COMPCON, realizado en parte con financiación europea, se estudiaron durante 3,5 años las aplicaciones económicas en estructuras de composites con hormigón. Los composites ofrecen varias ventajas, poco peso y larga durabilidad, pero debemos conocer mejor su aplicación para construir edificios y obras públicas. Se desarrolló una viga de gran luz (15 m) formada por una cabeza superior de hormigón (compresión) colocada dentro de un encofrado permanente de GFRP y debajo una sección hueca de composite CFRP+GFRP (cortante y tracción). Se estudió la viabilidad de esa solución estructural y de otras combinaciones hormigón+composites para una construcción eficiente, durable y económica. Se demostró que estas vigas pueden ser fabricadas de forma simple y efectiva utilizando composites "preimpregnados" en fábrica con resina fresca que se suministran en láminas delgadas enrolladas, luego sobre un molde de forma libre se aplican en capas sucesivas, curándolas después sobre él bajo presión de vacío y a temperatura moderada (65°C), adecuada para condiciones de obra.

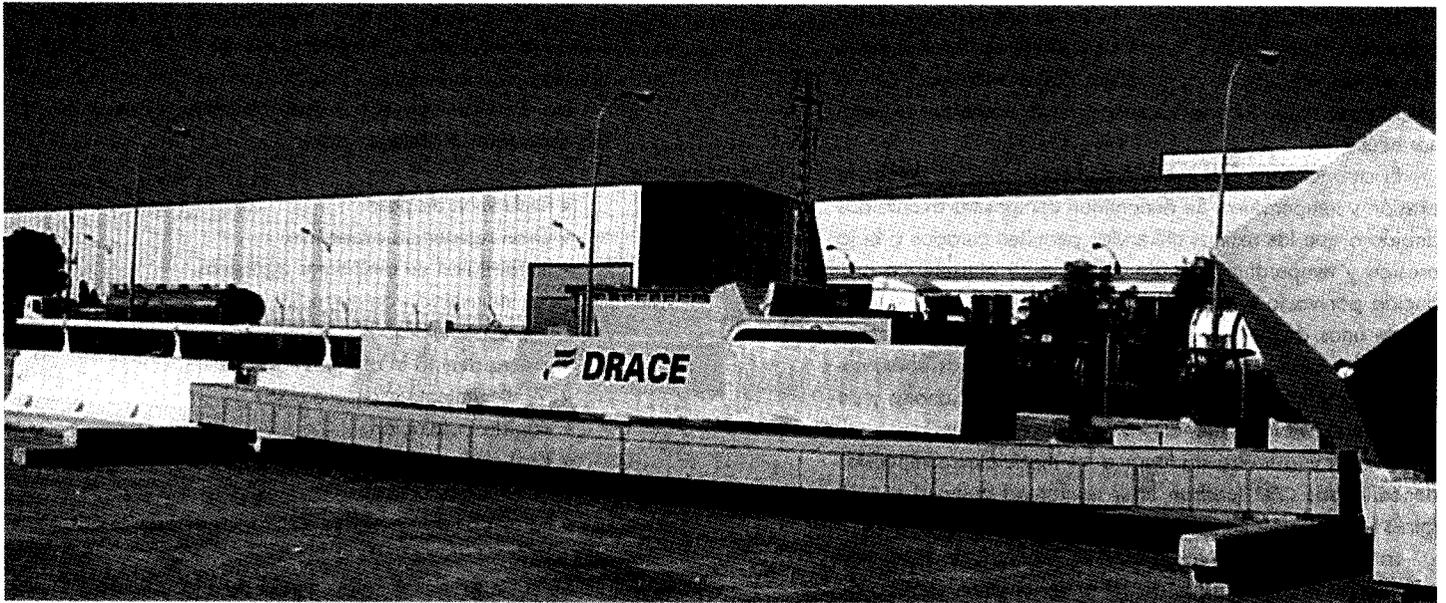


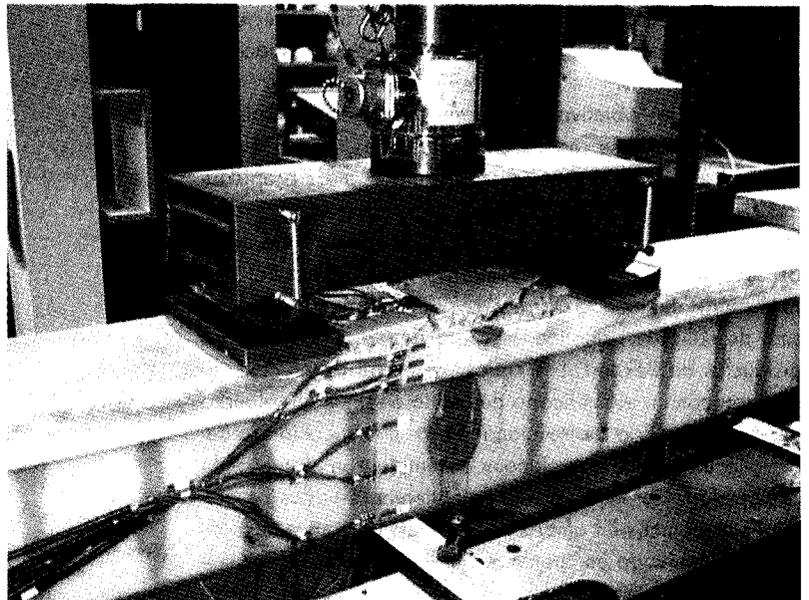
Foto 2. Ensayo de larga duración de una viga a escala real en la factoría de Sagunto de DRACE.

agresivos, que incrementa su durabilidad y su vida útil sin necesidad de reparación o mantenimiento.

### Desarrollos prácticos realizados

DRAGADOS, como líder del proyecto, ha desarrollado los procedimientos constructivos y ha realizado la primera viga en la Factoría que DRACE tiene en Sagunto. La técnica para operar con estos productos fue primeramente ensayada en un curso de aprendizaje, realizado en la fábrica de ACG en Inglaterra, en donde se preparó una viga similar de 4,50 m de longitud.

Foto 3. Ensayo de una viga en modelo reducido en la Universidad de Surrey.



El objetivo de este proyecto era la demostración de la aplicación práctica y económica de la utilización de composites de polímeros avanzados (APC) con hormigón en estructuras. Se pretendía con esta investigación superar las dificultades existentes para transferir esta tecnología de la industria, en especial la aeronáutica y la del automóvil, a la construcción. Los medios empleados para ello fueron la redacción de especificaciones de los composites, el desarrollo de los APC y el ensayo de sus características, la investigación y el ensayo de la interfase hormigón-composite, el desarrollo de una metodología para el diseño y cálculo de estas estructuras compuestas o dúplex, el desarrollo de una metodología de construcción, el ensayo estructural de vigas dúplex a escala reducida y a escala real para confirmar las metodologías de diseño, cálculo y construcción, la evaluación teórica y la confirmación mediante ensayos de la resistencia al fuego de estas estructuras sin proteger y protegidas con la elección de los materiales adecuados, el aseguramiento de la calidad y la evaluación económica. Se denominaron estructuras dúplex para diferenciarlas de las estructuras compuestas de hormigón y acero, llamadas habitualmente estructuras mixtas.

Las dos innovaciones principales de este proyecto han sido el desarrollo de un proceso de fabricación de estructuras dúplex de materiales compuestos avanzados y hormigón en condiciones habituales de obras y con medios fácilmente obtenibles y un sistema fácil de interconexión entre hormigón y los materiales compuestos avanzados.

Las principales ventajas de estas estructuras dúplex son: su peso reducido, que facilita el montaje en condiciones difíciles y reduce las cimentaciones, la libertad de formas, que permite diseños arquitectónicos muy variados y la gran resistencia de los materiales compuestos frente a los ambientes

Los materiales compuestos utilizados son del tipo preimpregnado, formados por laminas delgadas de fibras embebidas en resinas, que se aplican por capas sucesivas, con la orientación requerida por aquéllas, hasta conseguir el espesor necesario.

El curado para endurecimiento final se realiza mediante presión y temperatura. Se denominan composites avanzados debido a que las resinas utilizadas permiten curados a baja presión y temperatura, siendo suficiente la atmosférica producida por vacío y 65°C. Los componentes tienen una vida útil de unas dos semanas a 20°C, con una polimerización retardada. En nuestro proyecto se utilizan resinas epoxi como matriz y fibras de carbono en hilos unidireccionales y de vidrio en telas bidireccionales a  $\pm 45^\circ$  como refuerzo. La utilización de una u otra da lugar a los materiales compuestos denominados CFRP (carbon fiber reinforced polymer) y GFRP (glass fiber reinforced polymer).

La viga construida en la factoría de Sagunto tiene una sección en forma de cajón de 1,5 m de longitud, 0,50 m de canto, con 0,50 m de anchura máxima en la cabeza superior de hormigón y 0,46 m en la cabeza inferior, de CFRP. Las almas laterales son de GFRP.

Esta viga junto a otra construida por otros socios del proyecto se han calculado y ensayado por DRACE y GEOCISA en España y por TWC, con la ayuda del fabricante ACG y la Universidad de Surrey en el Reino Unido.

### Una aplicación de los materiales compuestos, las estructuras espaciales

DRAGADOS, dentro del programa de investigación de aplicaciones para los materiales compuestos, ha desarrollado un nuevo sistema de malla espacial, en colaboración con las empresas Inasmet y Bekaert. Se trata de un proyecto de investigación para la optimización de estructuras espaciales de nudos y barras.

Uno de los objetivos del proyecto es que la totalidad de los elementos se realice con composites, por lo que el diseño de Inasmet está muy condicionado a las propiedades de estos materiales. Después de estudiar varios modelos, la solución finalmente adoptada se compone de tubos de sección cuadrada de 75 mm de lado, fabricados por pultrusión, empleando fibras de vidrio impregnadas en resina de poliéster isoftálica, elegidos dentro de la gama de productos de Bekaert. Los nudos, en forma de cruceta, se realizan con un estratificado de resina epoxy y un refuerzo de tejido de vidrio bidireccional. Para su fabricación se desarrolló un molde específico y se emplearon técnicas de compresión. Con este sistema se obtienen elevadas propiedades mecánicas en ambas direcciones, lo cual es muy importante, teniendo en cuenta que debe de soportar las tensiones de las uniones.

El prototipo ocupa una superficie de 150 x 150 cm, siendo totalmente desmontable y muy fácil de transportar, lo que deja abiertas muchas posibilidades constructivas.

Las ventajas que ofrece este desarrollo frente a las mallas espaciales metálicas son:

- Reducción de peso
- Gran resistencia específica
- Durabilidad en ambientes agresivos:
  - inexistencia de corrosión
  - resistencia al ataque químico
  - resistencia al ataque hielo-deshielo
- Mantenimiento escaso o nulo
- Rápida instalación
- Reducción de costes de montaje y de transporte debido a su escaso peso
- Permeabilidad a ondas electromagnéticas

Su coste es más elevado que el de una estructura similar en acero, sobre todo para la construcción de los nudos. Esta diferencia se compensa, si se considera la ausencia, casi total, de mantenimiento a lo largo de la vida útil.

Atendiendo a las ventajas anteriormente citadas, esta solución abre un gran abanico de posibilidades:

- Al tratarse de una estructura modulable y ligera puede emplearse en cubiertas de edificios y otras construcciones
- Por su buena resistencia a la corrosión es aplicable en edificaciones, puentes peatonales y barandillas que es-

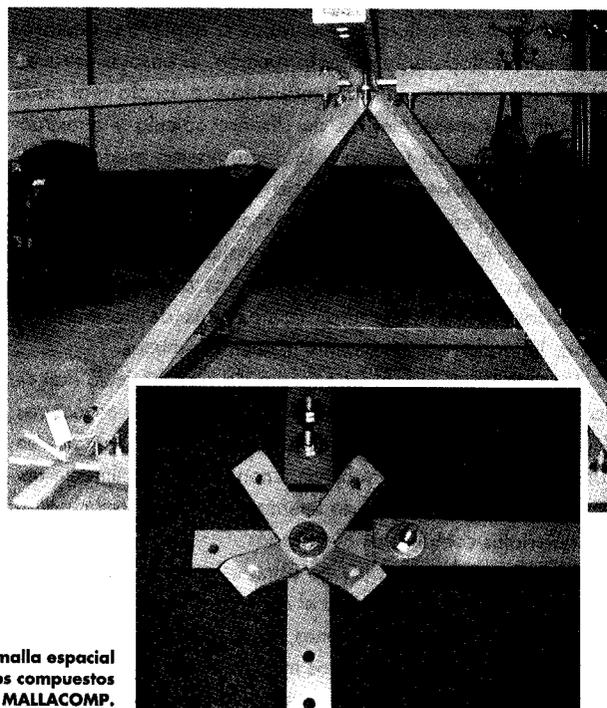


Foto 4. Prototipo de malla espacial en materiales compuestos MALLACOMP.

tén cercanos a ambientes marinos. Por la misma razón, también se podría emplear en cubiertas de plantas químicas

- Es idónea para ambientes muy húmedos y calientes con vapor, por ejemplo, para una cubierta de piscina.
- Grandes posibilidades para rehabilitación de edificios antiguos por su poco peso y compatibilidad con los materiales existentes; también para realizar cualquier estructura suplementaria o de ampliación en construcciones no diseñadas en un principio para ello.
- Debido tanto a su rápido montaje como a su facilidad de transporte, en cajones, dentro de un camión pequeño, es muy útil para construcciones de emergencia.

En estos momentos se están analizando diversas opciones de construcción de estructuras a escala real para pasarelas peatonales, cubiertas para grandes espacios públicos y edificios asistenciales de emergencia como albergues y hospitales que permiten la rápida movilización de los edificios por su poco peso que permite ser transportados en aviones y helicópteros plegados y listos para su uso.

### Uso de materiales reciclados obtenidos dentro de la propia obra

DRAGADOS junto con la Universidad de Cantabria, ha realizado un proyecto de I+D para el reciclado en obra de escombros y productos de demolición, transformándolos en áridos reutilizables para su posterior empleo.

El proyecto, ha sido financiado en parte por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) del Ministerio de Ciencia y Tecnología y por el IMADE (Instituto Madrileño para el Desarrollo) de la Consejería de Economía y Empleo de la Comunidad de Madrid.

Las últimas directrices de la Unión Europea en materia de protección al medio ambiente están obligando a adoptar este tipo de soluciones, razón por la que se desarrolló este proyecto, cuyo objetivo principal es la reducción de las actividades que originan un impacto en el entorno natural. En este caso la explotación de canteras y/o graveras, así como la creación de nuevos vertederos.

En la obra de demolición y reposición de pavimentos del Aeropuerto de Barajas, el firme existente, unos 15.000 m<sup>2</sup>, estaba formado por 15 cm de mezcla asfáltica y 25 cm de losa de hormigón (sobre otra de 40 cm del mismo material). Por otro lado existían 8.000 m<sup>2</sup> de aglomerado hidráulico de 40 cm de espesor, sobre una base de hormigón magro de 20 cm.

El Proyecto preveía la demolición y transporte a vertedero de todos estos materiales, por lo que se presentó una ocasión excelente para estudiar su reutilización. Aunque el objetivo inicial era machacar, ensayar y, si fuera posible, emplear

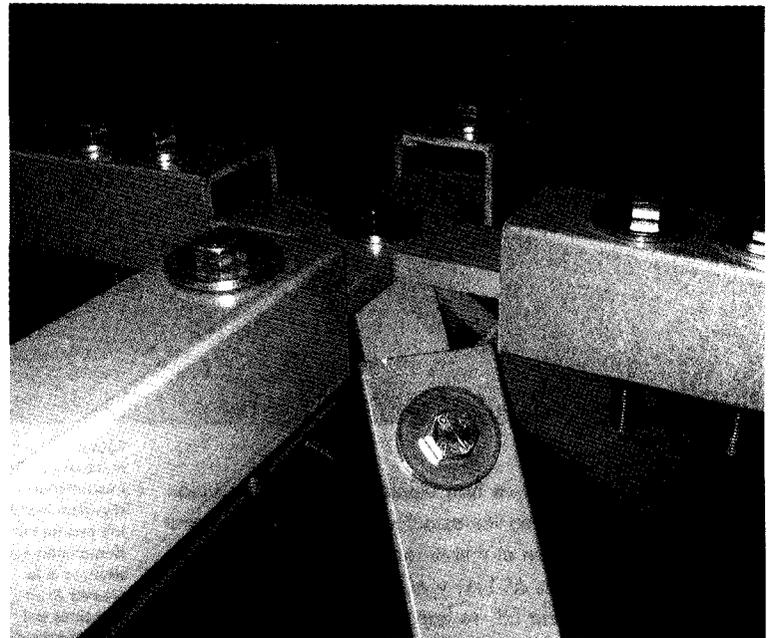


Foto 5. Detalle del nudo de la Malla espacial MALLACOMP.

ar exclusivamente el hormigón de losas, finalmente se decidió tratar análogamente el conjunto de ambos aglomerados.

Para la demolición del pavimento, se empleó una retroexcavadora con martillo picador, troceando el producto hasta que sus dimensiones fueran inferiores a 50 cm.

Desde el primer momento se tuvo en cuenta que para realizar reciclados competitivos, desde el punto de vista de una empresa constructora con obras en todo el ámbito nacional, se debía usar exclusivamente maquinaria que pudiera desplazarse e implantarse rápidamente con un costo reducido.

Como consecuencia de ello, el machaqueo se realizó con un equipo móvil secundario con trituradora de impacto Hazemag APK-50, sencillo y fácilmente transportable. Al tratarse de aglomerado y hormigón, con un contenido de acero en pasadores y barras de atado muy bajo, no hubo ningún problema para alimentar directamente una machacadora primaria de impacto. Se complementó la instalación con una cinta criba para limitar el tamaño máximo, aun cuando el rechazo era muy reducido.

Antes de proceder a la trituración del escombros, fue necesario efectuar un troceado del mismo con martillo hidráulico montado sobre retroexcavadora, para permitir el paso del material por la boca de entrada del equipo de machaqueo, que en este caso era de 200/250 mm.

Se obtuvo un todo-uno, con una granulometría que encajaba perfectamente dentro del huso ZA (40) de zahorra artificial, con un equivalente de arena superior a 50, produciéndose una disminución de la densidad máxima (1,90 t/m) con un aumento de la humedad óptima (12%), al igual que la absorción, debido al diferente comportamiento del mortero de cemento, respecto al árido virgen.



**Foto 6.** Instalación de machaqueo y clasificación de los productos de demolición en los accesos a la Nueva Área Terminal del Aeropuerto de Barajas.

Los áridos obtenidos se han utilizado para la ejecución de las vías de servicio en los estacionamientos de la nueva terminal de Barajas y en el nuevo ramal de acceso a la glorieta de las Carreteras M-110 y M-111, donde sobre una explanada de categoría E3, se han colocado 25 cm de esta zahorra artificial reciclada, y 20 cm de mezclas bituminosas en caliente.

En ambos casos el tráfico está constituido, fundamentalmente, por vehículos pesados, a pesar de lo cual el comportamiento de los firmes en dichos accesos ha sido excelente. También se ha analizado el posible uso de estos materiales para la fabricación de grava cemento y hormigón magro seco, con resultados muy interesantes.

Utilizando la experiencia anterior, en las obras de acceso a la nueva terminal y aparcamientos del aeropuerto de Barajas, hubo que demoler un tramo de firme de la autopista

de Barajas a Alcobendas, circunvalación de la pista nº 3, M-110, para poder ejecutar la excavación de los accesos, al estar situada la rasante a un nivel inferior al original. El material obtenido se recicló, para utilizarlo como zahorra artificial en el nuevo firme.

En total se demolieron 21.000 m<sup>2</sup> de pavimento, compuesto por 25 cm de mezclas asfálticas y 25 cm de zahorras artificiales. También se retiraron 2.000 m lineales de barrera de seguridad, *New Jersey*.

Como resultado de dicho proceso de demolición se obtuvieron 18.000 t, cuyo desglose fue el siguiente:

- Aglomerado asfáltico: 9.000 t
- Zahorras artificiales: 6.000 t
- Hormigones: 3.000 t

Todos estos productos se trituraron en plantas móviles especialmente diseñadas y los productos obtenidos se emplearon para la fabricación de la zahorra artificial donde se ensayaron tres fórmulas granulométricas, con distintos porcentajes, llegándose a la conclusión de que la óptima estaba constituida por las siguientes proporciones del producto extraído: 50 % del procedente de aglomerado y el resto (50 %) formado por un 33 % de hormigón y un 67 % de zahorras artificiales.

Estas experiencias han supuesto la consolidación de las tecnologías de reciclado de los productos demolidos en la obra para obtener zahorras y áridos de excelente calidad, para su uso en otras unidades de la misma obra con un ahorro sensible en los costes medioambientales y económicos del proyecto, haciendo de estas soluciones alternativas viables y probadas para resolver problemas que ayudan a la ejecución de obras más sostenibles. ■

#### Referencias:

—FERNANDO HUÉ GARCIA. Ing. de C.C.y P. (DRACE). Revista "Hormigón y Acero", nº 234. *Uso económico de composiciones de polímeros avanzados con hormigón en estructuras.* (Proyecto I+D: Brite Comcon).



**Foto 7.** Carretera construida con materiales reciclados procedentes de las losas de las zonas de aparcamiento de aeronaves demolidas en el aeropuerto de Barajas.