

II Simposio Nacional de Geosintéticos

Madrid, 16 a 18 de abril de 2002



Mesa que presidió la inauguración del simposio.

POR LA REDACCIÓN.

Acto de inauguración

El acto comenzó con la intervención de **D. Vicente Cuéllar**, Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, Presidente de IGS España y Ponente General del Simposio, quien agradeció a instituciones, empresas y asistentes la colaboración prestada para la celebración de este simposio. A continuación intervino **D. Francisco Caffarena Laporta**, Director de la Asociación Técnica de Carreteras, explicando las labores de los comités técnicos, columna vertebral de la Asociación, y subrayando la gran actualidad del tema de los geosintéticos, así como la inquietud creciente entre los profesionales del sector por su desarrollo. Más adelante, y tras agradecer a todos cuantos han ayudado a la celebración del simposio, y especial-

mente al CEDEX por las facilidades y colaboración prestada, aprovechó la ocasión para poner a disposición de los asistentes esta Asociación, que es de todos cuantos la conforman.

Finalmente, intervino **D. Manuel L. Martín Antón**, Director General del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento, quien, tras exponer también sus agradecimientos, afirmó que este simposio serviría no sólo para analizar las propiedades de los geosintéticos sino también para su correcta utilización, abarcando otros campos como sus prestaciones, normativa, etc. Tras describir someramente el contenido del temario del simposio y subrayar su funcionalidad, defendió convocatorias como ésta para difundir una tecnología cada día más necesaria.

Como continuación a esta sesión de apertura, se procedió a la presentación de este II Simposio, que estuvo a cargo de **D. Vicente Cué-**

llar Mirasol, quien expuso la ponencia "**Geosintéticos: evolución histórica, líneas actuales de investigación y nuevas aplicaciones**", preparada junto con **D. Enrique Asanza Izquierdo**, también del mismo laboratorio.

Comenzó su intervención con una introducción en la que analizó el desarrollo a nivel internacional de los geosintéticos (desde la presa de Terzaghi y el Congreso de París de 1977), así como en nuestro país (como el I Simposio Nacional organizado por la ATC en 1995), pasando a analizar posteriormente los geosintéticos según su diseño por función. Tras ello expuso las líneas actuales de investigación, presentando las ecuaciones constitutivas de los geosintéticos, las investigaciones relativas a las funciones de separación y de refuerzo, así como las investigaciones relativas a filtración y drenaje. Posteriormente se detuvo en sus aplicaciones en obras hidráulicas (especialmente presas), ver-

tederos y obras lineales. Tras la amena y densa exposición, el Sr. Cuéllar dijo haber intentado un repaso sucinto de la evolución de los geosintéticos, presentando las líneas internacionales de investigación en curso y, especialmente, algunas de los existentes en el CEDEX y su Laboratorio de Geotecnia. Así mismo, destacó que los geosintéticos son considerados en la actualidad como un material más con el que cuenta el ingeniero proyectista y que en ocasiones suple perfectamente a los materiales clásicos. Ciertamente, el grado de conocimiento y experiencia actual no alcanza al de los materiales más tradicionales, lo que significa que ha de invertirse en proyectos de investigación y de seguimiento y auscultación de obras con geosintéticos, a efectos de poder seleccionar los más adecuados en cada caso.

1ª Sesión

Abrió el turno de intervenciones **D. Ángel Leiro**, del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, con la ponencia **"Propiedades más relevantes de los materiales. Los ensayos y la normativa técnica española e internacional"**. En ella, tras una introducción sobre las características generales del geotextil (recogidas en la UNE-EN ISO 10320), analizó la normativa correspondiente, comenzando con las normas de métodos de ensayo, y más concretamente por los mecánicos: para la determinación de la masa por unidad de superficie (UNE-EN 965:1995), espesor (UNE-EN 964-1:1995), resistencia a tracción y alargamiento (UNE-EN 10319:1999), tracción de uniones y costuras (UNE-EN 10321:1996), tracción GRAB, resistencia al punzonamiento estático (UNE-EN ISO 12236:1996), resistencia a la perforación con cono (UNE-EN 918:1996), comportamiento a la fluencia (UNE-EN ISO 13431 y UNE-ENV 1897:1996).

Respecto a los ensayos hidráulicos, la permeabilidad se determina



D. Ángel Leiro en un momento de su exposición.

por ensayos perpendiculares al plano del geotextil sin carga (UNE-EN 11058:1999), horizontales en el plano del geotextil (UNE ISO 12958:1999), diámetro eficaz de poros (con norma DIN, aún sin norma EN), método de tamizado en húmedo (UNE-EN ISO 12956:1999), y método de tamizado en seco de microesferas de vidrio. La durabilidad se determina con la norma UNE-EN 12226:2001, mientras que los ensayos para determinar la degradación química se describen en la UNE-ENV ISO 12960:1999. La degradación de hidrólisis, en la UNE-ENV 12447:1998, la determinación de la resistencia microbiológica en UNE-EN 12225:2001, resistencia a la oxidación en UNE-ENV ISO 13438:1999, al envejecimiento a la intemperie en UNE-EN 12224:2001, y se da una guía para la durabilidad de los geotextiles en UNE-CR ISO 13434:1999.

También hay requisitos para los distintos geotextiles según su uso, de la UNE-EN 13249:2001 hasta la UNE-EN 13257:2001, ambas inclusive, más la UNE-EN 13265:2001 para contenedores de residuos líquidos. Para terminar, analizó de forma exhaustiva el artículo 290 del Pliego del PG-3 para la certificación de conformidad con la Directiva de Productos de la Construcción 89/106/CE de geotextiles, con un repaso a las normas aplicables a cada caso.

D. Luis Sopena Mañas y D. José Fco. Gómez García, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, presentaron la ponencia **"Algunas reflexiones sobre la interacción suelo-refuerzo"**, explicando la forma de realizar su caracterización, sobre todo en aquellos aspectos relativos a cómo afecta y es afectado por el terreno.

La mayoría de las obras de tierra se construyen intentando que el terreno trabaje bajo tensiones de compresión, pero inevitablemente aparecen también tensiones de tracción y cortantes, que pueden dar problemas de estabilidad. En este sentido, el refuerzo con geosintéticos pretende que éste se haga cargo de dichos esfuerzos de tracción, incluyéndose en la masa del suelo. De esta forma, el geosintético interactúa con el terreno, tanto desde un punto de vista "macroscópico", como "armadura" del terreno, como desde una perspectiva "microscópica".

Siguieron unas ideas generales sobre esta interacción, con consideraciones sobre el geosintético como material, y la transferencia de tensiones entre éste y el terreno.

El comportamiento macroscópico se analiza desde el punto de vista de la resistencia triaxial de los suelos reforzados, el comportamiento del geotextil sobre una zona con corte, y el refuerzo en terraplén y cimentaciones. En cuanto a los ensayos,

sobre todo los de arrancamiento, se pone de manifiesto que la compatibilidad entre naturaleza y geosintético son las que determinan el resultado, como se ve en varios modelos propuestos por varios autores, como el arrancamiento con equipo de caja de 1 m x 1 m, o el análisis del arrancamiento en comportamiento microscópico, para estimar la capacidad de unión suelo-refuerzo basados en un análisis de equilibrio límite, como los analizados por Jewell, Abramento y Whittle, etc.

Finalmente, se mostraron los resultados de un modelo numérico tridimensional de elementos finitos, que se consideran ilustrativos del comportamiento de la interfase geosintético-terreno, cuyo desarrollo futuro parece muy prometedor.

"El análisis del comportamiento tenso-deformacional de geosintéticos en ensayos de arrancamiento" fue el tema elegido por **Dña. M^a Eugenia Díaz Espinosa y D. Luis Sopena Matas**, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, y **D. José Francisco Gómez García**, de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid. Con el objeto de conocer aquellos fenómenos que no son de percepción directa a través de la observación, como son la deformación interna y la transmisión de carga que ocurren en la zona de contacto suelo-refuerzo, durante el arrancamiento de un material geosintético extensible embebido en una masa de suelo, se desarrolló un modelo numérico a partir de la idealización en deformación plana. El procedimiento de modelización numérica inversa que se presentó permitió visualizar los fenómenos que se producían en el interior de la caja durante el ensayo de arrancamiento, y que tuvieron como resultado el campo de desplazamientos que se obtuvo en el ensayo físico. En definitiva, se pudo visualizar la evolución de las tensiones a lo largo del refuerzo y las zonas en las que se producían con mayor y menor intensidad. Se pu-

do ver las zonas en las que el suelo estaba "roto" o su interacción con el refuerzo era muy pequeña. Todo ello se obtuvo mediante el modelo numérico a partir del campo de desplazamientos experimental, del que, por otra parte, se obtuvieron una leyes de deformación en el refuerzo totalmente concordantes con las leyes de deformación obtenidas a partir del modelo numérico.

Los dos primeros autores enunciados anteriormente presentaron, a continuación, la ponencia titulada **"Resultados experimentales sobre el comportamiento tenso-deformacional en ensayos de arrancamiento en caja de 1 m x 1 m con distintos tipos de suelo, geomallas y condiciones de carga"**. Respecto a la selección del método para auscultar el material, en el caso de los geocompuestos, auscultar el geomaterial con bandas extensométricas resultó satisfactorio, de acuerdo a los resultados obtenidos, y a los fallos presentados; sin embargo, para el caso de la geomalla, la manera más efectiva de auscultar el material fue por medio de la lectura de desplazamiento, si bien con bandas extensométricas es posible y se consiguieron resultados óptimos. Respecto a la influencia del confinamiento en la extensión del material se com-

prueba que efectivamente para tensiones altas de confinamiento, la transmisión de las tensiones queda limitada a la zona más próxima al punto de aplicación de la fuerza de arrancamiento, consiguiéndose deformaciones prácticamente nulas en el extremo no activo del material ensayado, lo que lleva a una rotura en la zona comprendida entre la mordaza y el borde exterior de la zona de contacto suelo-refuerzo. En la medida que estas tensiones son menores, se alcanza el arrancamiento propiamente dicho de la muestra y se consiguen deformaciones a lo largo de todo el geosintético. Así mismo, se observó que el efecto del confinamiento sobre la resistencia al arrancamiento es más marcado para el caso de los geocompuestos, lo que hace que el confinamiento se haga importante porque las partículas del de suelo penetran dentro de los poros del textil, lo que trae consigo un incremento sustancial de su rigidez con la tensión de confinamiento, y, secundariamente, un incremento en la fuerza de tracción y una deformación del geotextil, efecto que no se observa para el caso de la geomalla.

A continuación fue presentada la ponencia **"Equipos de medida de la fricción entre un suelo y un geotextil con control de la succión"**, presentada por **D. En-**



Vista parcial de la sala.

rique Asanza Izquierdo y D. Jesús Sáez Auñón, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, quienes llegaron a las conclusiones de que es oportuno destacar que se ha visto que, si se adaptan las técnicas de laboratorio de suelos no saturados al ámbito de los geotextiles, es posible determinar, partiendo de la curva de retención, el ángulo de fricción en el contacto suelo-geosintético para diferentes condiciones de humedad.

Así mismo, estos equipos y técnicas pueden ser útiles cuando se empleen geosintéticos en vertederos, donde pueden desarrollarse succiones significativas, apuntándose también la posibilidad de adaptar estos equipos para ensayar geosintéticos bentoníticos.

Además, cuando se estudia la posibilidad de emplear suelos marginales en obras de tierra, el PG-3 estipula que el director de obra ha de aprobar el "estudio de usos de materiales marginales". En ese sentido, la inclusión de geosintéticos para reforzar estos suelos puede ser una alternativa. Tal es el caso de un terraplén construido con suelos marginales y reforzado con geotextiles; surge pues, la necesidad de determinar el ángulo de fricción suelo-geotextil y el ángulo de rozamiento del suelo, y su cociente, a efectos de incorporarlos en algún método de cálculo de estabilidad. Aún más, habría que tener en cuenta el ángulo de fricción más desfavorable, que depende de la humedad.

"El asesoramiento para el diseño de especificaciones sobre la durabilidad de los geosintéticos" fue el título de la ponencia presentada por **D. Carlos J. Sánchez Díaz**, de Polyfelt Geosynthetics Iberia, en la que comenzó recordando que un geotextil desempeña a lo largo de su vida útil una o varias funciones a la vez: separación, filtro, refuerzo, drenaje, protección... Para ello, el geosintético debe cumplir con ciertas características relevantes, tanto mecánicas como hidráulicas y de durabilidad. Por lo tanto es primordial poder darle al proyectista una orientación sobre los factores parciales de seguridad ne-

cesarios para corregir cada una de estas características funcionales, compensando el efecto del tiempo sobre la materia polimérica y el efecto de las condiciones de contorno que la solicitan, de forma que se pueda pronosticar la vida de diseño que pretende para el geosintético.

Las propiedades de durabilidad están muy condicionadas por la materia prima con la que se producen estos materiales, en su mayoría polímeros sintéticos derivados de la química del petróleo. En la mayoría de los casos, y para aplicaciones convencionales, basta con realizar unos pocos ensayos de caracterización bajo una norma específica para poder conocer su comportamiento. Sin embargo, para aplicaciones de alto nivel de riesgo es muy recomendable llevar a cabo ensayos de comportamiento "in situ", con parámetros específicos de la obra y lugar; por ejemplo estructuras de suelo reforzado, vertederos de residuos, depósitos de lixiviados de la industria minera o aplicaciones en contacto con cemento, cal, materia orgánica en putrefacción, etc.

Respecto a los geosintéticos reciclados o regenerados, dada su pérdida de propiedades, no son nada recomendables para obras críticas.

D^a Ana Cristina C. F. Sieira, D. Alberto S. F. J. Sayao, de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro, y **D. Luis Sopena Mañas**, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, presentaron **"El estudio de los mecanismos de interacción suelo-geomalla en equipos de grandes dimensiones"**. En ella, la primera de los ponentes afirmó que el estudio experimental de los mecanismos de interacción en la interface suelo-geomalla exige de equipos de grandes dimensiones, debido a las grandes aberturas de las mallas. Un programa de ensayos de laboratorio se ejecutó con el objeto de investigar el comportamiento de las geomallas en ensayos de arrancamiento y de corte directo. Adicionalmente, se han realizado ensayos triaxiales para evaluar la resistencia y la deformabilidad del conjunto suelo-geomalla.

El comportamiento de la geomalla durante el arrancamiento es muy dependiente de la densidad relativa del suelo y de la presión de confinamiento aplicado a ella. El valor de la resistencia al arrancamiento es mayor a medida que se aumenta la presión de confinamiento y la densidad relativa.

En los ensayos de corte directo con refuerzo inclinado, se observó que la resistencia varía con la inclinación de la geomalla, alcanzándose el valor máximo de resistencia cuando la geomalla se encuentra con una inclinación de 60° respecto al plano de rotura.

En los ensayos triaxiales se ha observado que la resistencia y la rigidez de la probeta aumentan con la introducción de capas de geomalla.

Los resultados sugieren que el estudio experimental del comportamiento tensión-deformación de muestras reforzadas con geomallas debe estudiarse solamente con equipos de grandes dimensiones.

"El PG-3 y la normativa europea CEN para ensayos y productos. Marca CE" fue la ponencia expuesta por **D. Carlos J. Sánchez Díaz**, de Polyfelt Geosynthetics Iberia. Para el ponente, el PG-3 en sus especificaciones para el empleo de geosintéticos para filtro y separación se encuentra de manera general en línea con otras especificaciones europeas. Así mismo, el hecho de considerar la energía de deformación como un criterio de diseño, sitúa al PG-3 entre la vanguardia europea. El concepto para pliegos de especificaciones futuro para Europa trabaja ya orientado en la energía de deformación.

En cuanto a los valores numéricos de resistencia a la tracción, se demuestra que los valores de ninguna manera son altos y que los de la energía son relativamente bajos, comparados con los otros países, debido al bajo alargamiento a la rotura considerado en el PG-3: 40% para separación y 30% para el filtro.

Tras defender la necesidad de una mayor aplicación del PG-3, con el fin de incrementar la calidad de la obra sin costo extra, afirmó que un objetivo de este II Simposio sería for-

zar la implementación de este excelente documento.

D. Carles Cots, de *Bettor MBT*, S.A., presentó la ponencia **"Geotextiles tejidos con capacidad estructural"**, que comienza describiendo la naturaleza y propiedades de los geosintéticos estructurales, las consideraciones físicas de su diseño, y sus aplicaciones de refuerzo estructural. A continuación, menciona el esfuerzo de fabricantes, distribuidores, laboratorios y universidades para determinar modelos fiables que determinen el comportamiento de geotextiles en la mecánica de suelos, en especial de los geotextiles de elevadas prestaciones y capacidad estructural. Se puede modelizar el efecto de refuerzo que otorga un geotextil de conocidas características resistentes. En general, el empleo de geotextiles aplicados a caminos de acceso temporal, supone un incremento en su capacidad de soporte, reduciendo los espesores del material granular hasta el 30 %.

Del resultado de estas investigaciones aparecerán, con seguridad, modelos para su aplicación en carretera y ferrocarril.

Por su parte, **D. Dionisio Villalba**, de *Eurogrus*, expuso el **"Dimensionado y cálculos sobre geosintéticos"**, indicando unas teorías de comportamiento y cálculo de los geotextiles, derivados de la confrontación de las experiencias prácticas y ensayos de laboratorio.

Muchos países, ante la poca información técnica verdaderamente capaz de garantizar el cálculo del geotextil, han hecho recomendaciones; no obstante, deben conocerse los criterios más importantes para su dimensionado y, por tanto, para su elección.

Las misiones estudiadas para su dimensionamiento son la de separar, filtrar, drenar, y reforzar/armar. Para cada una de estas funciones se dan unos parámetros de prestaciones fundamentales (mecánicas e hidráulicas, a veces también a largo plazo), las condiciones del entorno en los límites (en suelo, agua, respecto a fuerzas exteriores) y las propiedades determinantes del geotex-



En la foto, D. Carlos J. Sánchez Díaz.

til respecto a sus funciones, propiedades y características. Con estos datos se puede determinar una forma de calcular el dimensionamiento del geotextil. Respecto a los valores que deberían tener los geotextiles para cada ensayo, éstos están sujetos a demasiadas variables (sobrecargas, terreno o suelo, agua, etc.) por lo que ya es más complejo poner los valores que deben tener.

"El desarrollo de un nuevo criterio de especificación para valorar los daños producidos durante la instalación en los geotextiles", fue presentado por **D. Miguel Ángel Pérez Sánchez y D. R. Diederich**, de *Fosroc Euco*, S.A. En la comunicación se afirmó que las investigaciones demuestran que la mayoría de las especificaciones y sistemas de clasificación de los geotextiles no tienen en cuenta su comportamiento bajo condiciones reales. Por ello, se realizaron unos ensayos cuyo objeto era comprobar si los parámetros que se utilizan normalmente para su correcta elección tienen en cuenta los daños que se producen durante la fase de instalación. Además, en España se está trabajando desde hace muchos años para evitar que se siga empleando su peso como único criterio de clasificación.

Así mismo, los parámetros más comunes empleados en todos los

países para la clasificación de los geotextiles son la resistencia a tracción, ensayo CBR de perforación por caída libre del cono y el peso, aunque en muchos países se considera también a la elongación como otro parámetro clave, como es el caso de la norma europea prEN 13249.

Tras los ensayos de campo realizados, se pudo comprobar que existía una buena correlación entre el deterioro y la fuerza a tracción aún existente, así como la absorción de energía. En contraposición a ello, la mayoría de las otras propiedades examinadas no reflejaban el comportamiento del geotextil durante la fase crítica de la instalación, por lo que parece conveniente incorporar el parámetro de la absorción de energía como uno de los claves en los diferentes sistemas de clasificación, y que facilitará el conocimiento sobre la resistencia al deterioro que presenta el geotextil a la hora de su elección.

2ª Sesión

Esta sesión comenzó con la intervención de **D. José Manuel Martínez Santamaría**, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, titulada **"Transposición de la Directiva 31/99 de la Unión Europea sobre vertido de residuos"**, en la que comenzó men-

cionando el factor más crítico de controlar la producción y captación de lixiviados, evitando la contaminación del agua y del terreno. Se plantea la necesidad de construir vertederos seguros, aspecto que recoge la Directiva 1999/31/CE para la armonización de la normativa dentro de los países de la CE. Su trasposición en España se ha desarrollado mediante el Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Sus artículos recogen las definiciones de los residuos, clases de vertederos, residuos y tratamientos admisibles (y no admisibles) en un vertedero, y su régimen jurídico.

En las disposiciones se recogen los requisitos generales para toda clase de vertederos, con el control de aguas, gestión de lixiviados, y protección del suelo y de las aguas, lo que supone que se necesita un revestimiento artificial impermeable con sistema de recogida de lixiviados bajo la masa de residuos, de diferente entidad según sean residuos peligrosos o no peligrosos; pero, de todas formas, siempre necesaria, a no ser que sean vertidos inertes.

Con la redacción del texto del Real Decreto no se admite el uso, como complemento de la barrera geológica, de elementos geosintéticos ni de barreras compuestas, aunque se especifica que puede completarse de manera artificial con otros medios equivalentes; de todas formas siempre se requiere una barrera geológica artificial no inferior a 0,5 m.

Respecto a la estabilidad de taludes, pueden emplearse materiales geosintéticos complementando a las capas minerales impermeables y a las capas de drenaje, para reducir la carga sobre los residuos, así como para conseguir taludes más verticales.

"Sistema de geoceldas para protección de taludes. Aspectos técnicos" fue el tema escogido por **D. Jesús Ramos Castro** y **D. Antonio Cros Reyes**, de Geofix, S.L., que identifica las causas más comunes de inestabilidad de taludes, así como los métodos de di-

seño recomendados y los detalles de construcción para estructuras y condiciones específicas.

La inestabilidad superficial normalmente está causada por la erosión (lluvias, escorrentías, hielo-deshielo) y es necesario el drenaje. La protección de geomembranas y geotextiles puede comprometer la estabilidad del talud y el revestimiento está saturado, o a fuerzas de levantamiento o sobrecarga con el peso de relleno adicional (demasiada tierra vegetal) o nieve. El mal anclaje en la parte superior del talud también puede ser causa de inestabilidad general. Para evitar estos problemas es necesario emplear materiales de relleno selectos que pueden combinarse para conseguir la estabilidad deseada. También hay diversos tipos de anclajes a tierra para las geoceldas, y el empleo de una subcapa de geotextil no tejido ayuda a drenar la subrasante del talud. Para soluciones puntuales de problemas específicos, también pueden emplearse toda una serie de tratamientos superficiales, como lechadas de mortero, ligantes naturales o poliméricos, u otros revestimientos.

A continuación se detallaron los distintos criterios para diseñar un sistema de geoceldas para la estabilización de los taludes, así como sus características, la ventaja de seleccionar un tamaño adecuado de celda, el anclaje... La instalación del sistema también es fundamental, y depende de las condiciones del diseño, así como del relleno elegido. Se terminó especificando los métodos especiales de anclaje y con un ejemplo real: la estabilización y revegetación de taludes en los años 70 de la autopista A-7, en Santa Sadurn d'Anoia (Barcelona).

D. José Luis Cuenca Lorenzo, de Polyfelt Geosynthetics Iberia, expuso **"Geosintéticos y vertederos: estado actual y tendencias en el diseño"**. En la comunicación hizo una breve revisión del diseño de los geosintéticos en proyectos de vertederos como en nuevos vasos, y presentó las tendencias en el diseño con geosintéticos para estas obras, teniendo en

cuenta las diferentes directivas y normativas elaboradas recientemente.

Tras una introducción en la que citó diversas leyes y normas relativas al tema, incluyendo la norma UNE 104.425 de puesta en obra de sistemas de impermeabilización de vertederos de residuos con geomembranas de polietileno de alta densidad, se detuvo en los vertederos de nueva construcción, respondiendo a preguntas clave dentro de este tema. Tras analizar las características mecánicas e hidráulicas principales en el diseño y especificación de geotextiles de protección y filtro en vertederos, e indicar lo referente a su sellado, pasó a exponer una serie de conclusiones.

Para el ponente, dados los riesgos medioambientales que supone la impermeabilización de un vertedero nuevo o el sellado de un vertedero antiguo, es imprescindible proyectar, ejecutar y controlar estas obras con gran seguridad y calidad, para lo que se deben definir las características mecánicas, hidráulicas y de durabilidad de los geotextiles que se van a emplear, puesto que no es suficiente con una buena elección de la geomembrana impermeabilizante y un control de calidad de sus soldaduras, sino que debemos asegurarnos de la efectividad del geotextil que cuida de la impermeabilización. Igualmente, se tienen que diseñar el resto de geocompuestos, ya sean drenantes o de refuerzo.

"Sistemas de impermeabilización de drenajes y balsas" fueron expuestos por **D. Javier Teso Hernández**, de Sika, S.A., concentrándose en las ventajas que ofrecen los revestimientos para resolver cualquier problema de diseño. Tras una introducción dedicada a los conceptos generales, comenzó a describir los distintos sistemas de membranas para la impermeabilización de balsas, según el tipo de terreno, la pendiente de los taludes, la longitud y altura de la balsa, la compactación del terreno y el espesor de la lámina de fondo. Las necesidades son diferentes si la balsa es de riego o si ésta contiene alpechines, purines o abono líquido. A continuación

detalló la puesta en obra, con el anclaje en zanja al pie del talud, las bombas-sumidero, la estructura de una pantalla de impermeabilización, y la colocación de protección en el perímetro del embalse entre otros muchos detalles.

Terminó definiendo los distintos controles y mantenimiento que precisan estas instalaciones, junto con las averías que pueden sufrir las balsas, por problemas tanto en el soporte como en la membrana.

D. José M^a García Torres, de Consultoría de Técnicas Ambientales S.A., expuso el tema **"Barreras impermeables en la clausura de vertederos de residuos sólidos urbanos"**. Tras plantear unas consideraciones previas sobre la clausura y desgasificación de vertederos no peligrosos de residuos sólidos urbanos, presentó las etapas básicas de I+D desarrolladas en el vertedero de Valdemingómez (Madrid), explicando el estudio geotécnico realizado, las reacciones químicas que se producen en su clausura y desgasificación, la restauración de taludes y el aprovechamiento y restauración de las superficies horizontales, así como las barreras impermeables utilizadas en la clausura.

Las pruebas realizadas en los taludes se realizaron con tres paños, empleando geotextiles de distintos gramajes como elementos de protección del elemento principal de impermeabilización, que fue una lámina de polietileno de alta densidad. En la primera capa se emplearon paños de FPP (fibra de polipropileno de 500 g/m²), paño de S (fibra de poliéster de 500 g/m²) y paño de SPPC (fibra de poliéster y polipropileno de 500 g/m²); la segunda capa se formó a base de una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) de 1,5 mm de espesor; la tercera capa se formó con paños de los mismos materiales que la primera, pero un gramaje de 300 g/m². En la cuarta capa se emplearon como elementos de sujeción de los materiales de aportación las geomallas Enkamat 70.10 W/H 39, malla tridimensional; Tensamat, tam-



D. José Luis Cuenca Lorenzo intervino, entre otras, con la ponencia "Geosintéticos y vertederos: estado actual y tendencias en el diseño".

bién malla tridimensional; y una geomalla plana SS LA 20, siendo anclados los materiales instalados en la zona baja del talud mediante gaviones contruidos *in situ*. La quinta capa consistió en una cubrición con tierra de cobertura mezclada con compost.

La prueba en la superficie horizontal consistieron en impermeabilizar el terreno para posteriormente instalar encima diferentes ensayos, comprobándose la impermeabilización de la superficie del asentamiento. Entre sus resultados, en cuanto a los materiales geosintéticos, entre otros y en los taludes, no asentaron perfectamente sobre la subbase al ser desigual; los materiales de control de erosión (geomallas) aceptan mayor cantidad de tierra en su interior; y la excesiva altura de los taludes impidió el empleo de maquinaria, por lo que se debía de haber construido bermas para facilitar el acceso a todos los puntos. En cuanto a la superficie horizontal, la geomembrana de polietileno de alta densidad, de espesor 1,5 mm, no ha sufrido alteraciones; el geotextil utilizado en la superficie vista del invernadero no ha impedido el crecimiento de vegetación arvense, recomendándose emplear tipos de geotextil que no permitan dicho crecimiento. Finalizó afirmando que técnicamente no es recomendable instalar sobre superficies clausuradas

de vertedero de residuos sólidos urbanos (RSU) ninguna infraestructura de ocio y frecuentada por personas.

Dña. Raquel Ribera Esparbe, de Naue Fasertechnik, expuso el **"Proyecto, comportamiento, experiencia y diferencias de los GCL"**, afirmando que se ha demostrado que los recubrimientos de arcilla geosintética (Geosynthetic Clay Liners, GCL) son una alternativa equivalente a los recubrimientos de arcilla compactada y que pueden usarse como recubrimientos por sí mismos si se diseñan adecuadamente. Con un mínimo espesor del suelo a cubrir, pobre en calcio de 0,6 m o una capa de 0,75 m, el GCL bentonita sódica natural actuará como una barrera a largo plazo, si se cumplen los mínimos requisitos de la bentonita (masa por unidad de superficie: >3 500 g/m²; índice de expansión > 24 ml; pérdida de fluido: < 18 ml; Enslin Neff: > 600%; y contenido de azul de metileno: > 300 mg/g; todo ellos según los métodos de ensayo ASTM D 5993, D5890 y D5891, los tres primeros; y DIN y CUR los dos últimos).

Así mismo, en los casos en los que se utilizan bentonitas de sodio activado es recomendable incrementar la masa de bentonita mínima por unidad de superficie a 4 500 g/m², o, como mínimo, 1,3 veces la cantidad de bentonita sódica natu-

ral. Adicionalmente, debería incrementarse el programa de control de la calidad de la fabricación si se utilizan bentonitas activadas.

"Experiencias de sellado de vertederos con geocompuestos impermeabilizantes y drenantes en España y Portugal" fue el tema elegido por **D. Pedro Abad**, de *Lintec Iberia*, para este simposio, en el que comenzó hablando de la influencia que ha tenido la Directiva europea 1999/31/CE en materia de almacenaje de residuos, que ha obligado en la mayoría de los países miembros a sellar antiguos depósitos de residuos y a construir los nuevos cumpliendo la normativa. La ponencia se centra en los vertederos de RSU, encuadrados como "vertidos no peligrosos", que requieren cuatro capas: de drenaje de gases, mineral impermeable, capa de drenaje, y capa de cobertura. La recién publicada norma UNE 104-425 también recoge las características mínimas exigibles a los materiales empleados.

Otras soluciones de sellado sustituyen la capa impermeable por geomembranas sintéticas, aunque su empleo no es necesario según la directiva. En este caso hay que utilizar geomembranas texturizadas en los taludes para conseguir el ángulo de rozamiento apropiado que soporte la capa de cobertura, lo que supone materiales e instalación cualificados, factores que influyen en el coste de la obra.

Por su lado, **D. Javier Santalla Prieto**, de *Huesker, S.A.*, presentó la comunicación **"Celda de seguridad de residuo pirítico en Lodosa (Navarra)"**, explicando una experiencia realizada por medio de un depósito de seguridad en un terreno de una empresa navarra en cuyo proceso de fabricación se utilizaban como materias primas básicas fosfatos, óxidos de magnesio y ácidos sulfúrico y fosfórico. El volumen total destinado a la celda era de 134 000 m³, la cual presentaba unas dimensiones de 120 x 140 m, con una superficie de 17 000 m². Tras explicar el proceso de construcción y las características de la cel-

da, explicó que la impermeabilización de la base y de los taludes consistió en crear una sucesión de capas tanto minerales como de geosintéticos: regularización del terreno con 20 cm de arcilla compactada al 95% del proctor normal; GCL de bentonita sódica, lámina de polietileno de alta densidad, geotextil antipunzonamiento y 7 capas más de diferentes materiales hasta llegar al geotextil anticontaminante de polipropileno. Para el sellado superficial, otras 7 capas de materiales parecidos.

A continuación, definió y describió los materiales geosintéticos utilizados, aclarando que en las zonas de unión se emplea polvo de bentonita que produce el sellado.

Finalmente, y entre otras, la masa unitaria debe ser superior a 4 200 g/m² de acuerdo con la DIN 53854. La bentonita, con un contenido en montmorillonita superior al 70%, según el ensayo azul de metileno, y la absorción de agua superior o igual al 600%, según el ensayo Neff/24 h.

La resistencia a tracción característica, de acuerdo a la norma ISO 10319, en sentido longitudinal muestra un valor mínimo de 18 kN/m, mientras que en sentido transversal 35 kN/m, y, de acuerdo a la misma norma, una deformación característica para la tensión nominal de un mínimo de 25% en dirección longitudinal y un 30% en la transversal.

"La experiencia en el empleo de geotextil en jardinería y paisajismo", fue el título de la ponencia presentada por **D. Miguel Ángel Pérez** y **D. Tomás Fernández Leganés**, de *Fosroc Euco, S.A.*, informando que la utilización de un geotextil —que, por sus especiales características en cuanto a resistencia a punzonamiento, imputrescible y de alta resistencia química— podría ser una alternativa perfectamente válida para impedir el crecimiento de malas hierbas sin emplear pesticidas o cualquier otro producto químico. Así mismo que, aunque la aplicación más común de los geotextiles en el campo de la jardinería es ese control, no podemos

olvidar otras importantes aplicaciones como el crecimiento de raíces de árboles, separación entre la tierra vegetal del suelo, etc.

En conclusión, el uso de los geotextiles se ha extendido en todos los campos de la construcción y ha llegado a un campo que quizás sea de los más exigentes: el de la jardinería. La entrada en este sector ha sido muy costosa, pero muy eficaz, ya que ha sido muy importante eliminar en gran medida el uso de productos químicos y sustituirlos por un producto completamente inerte y de gran resistencia química.

La mayor ventaja de estos geotextiles radica en el aumento de la calidad del trabajo final, una menor inversión en mantenimiento y unos trabajos más rápidos.

D. Manuel Romana Ruiz, de la *Universidad Politécnica de Valencia*, y **D^a Emilia Lastra de la Rubia**, de *Ingeotec, S.A.*, presentaron su experiencia sobre la **"Construcción de un muro ecológico para el parque de Santa Margarita de Montbui (Barcelona)"**. Allí se decidió la transformación de un área abandonada utilizada como vertedero en un parque urbano. Uno de los límites del parque era un talud de unos 10 m de alto, con una inclinación de 43-45°, con varios edificios construidos cerca del borde superior, que presentaba síntomas de inestabilidad parcial debido a excavaciones antrópicas. Además los vertidos incontrolados en la coronación habían originado cárcavas y algunas de las construcciones cerca de la coronación presentaban grietas. El material del talud eran margas azules eocenas.

La estabilidad y no erosionabilidad del talud, que debía ser estable e integrado ambientalmente, se verificaron mediante cálculos convencionales de estabilidad y mediante un inventario del estado de los taludes próximos en la misma unidad geológica.

El muro ecológico resultó una estructura de muy buena integración paisajística, por no tener elementos de construcción visibles, razón por la que se proyectó la colocación en

el talud de un muro "verde", con una inclinación que permitiera su vegetalización (60°), solución óptima para integrar ambientalmente los taludes, siempre que no se sobrepase la mencionada inclinación para permitir que el agua quede retenida el tiempo suficiente para que puedan agarrar y crecer las raíces.

D^a Marta Muro Carvajal, de Terratest Medio Ambiente, presentó **"El refuerzo de terraplén mediante mallas geosintéticas. Muros ecológicos. Caso de obra: sector W en urbanización de Rubí (Barcelona)"**.

La exposición del tema, que fue realizada por **D. César Piquero García**, comenzó con una descripción del sistema de muro ecológico y los materiales que lo constituyen: Luego, se detuvo en los materiales de relleno del muro ecológico (con un contenido en finos > 74), menor del 15% y un ángulo de rozamiento interno superior a 25°. Posteriormente describió la ejecución del muro, que se realiza por tongadas de 50 cm de espesor, pasando a exponer a continuación las ventajas del sistema de muro ecológico, que no requiere zapatas y no añade cargas adicionales al terreno; sistema de contención flexible que se adapta a las deficiencias propias del terreno, no requiere tipos de relleno diferentes a los que necesita cualquier terraplén, reducción del impacto ambiental, mínimo mantenimiento de la estructura, etc.). Más adelante describió el caso práctico enunciado en el título de la ponencia. Se trata de un muro ecológico que a lo largo de 280 m tiene diferentes alturas, alcanzando una máxima del 15,5 m en su zona central, pendiente variable desde 70° a 85°, con un área total de 2 700 m². Para su realización se utilizan mallas a base de filamentos de poliéster de alto módulo elástico, recubiertos por una capa de PVC con una apertura de 20x20 mm, dispuestos según sus valores de resistencia a tracción en rotura, utilizándose mallas de 150 kN/m de resistencia a tracción hasta mallas de 30 kN/m. El método de control de la erosión fue una manta orgánica (100% de paja con un



El Sr. Santalla en una de sus intervenciones.

peso de 350 g/m²) y el material de relleno, de baja plasticidad y con una densidad de alrededor de 1,9 g/cm³. En el frente de cada tongada se echó una cantidad de tierra vegetal de alrededor de 0,3 m³ por cada m² de muro.

"El control de la erosión del suelo con mantas orgánicas: Experiencia y aplicaciones prácticas" fue el tema propuesto por **D. Valentín Contreras**, de Bonterra Ibérica, S.L. En su intervención y tras hacer una breve introducción, definió el concepto de manta orgánica, sus tipos y aplicaciones, pasando a exponer algunas de las experiencias habidas desde 1996, como los taludes en terraplén de la variante de Molina (Murcia), o en desmonte, como es el caso de la N-323 (Granada). Además, presentó algunos ejemplos de la utilización del mulch sobre el suelo en diferentes partes de nuestra geografía.

Finalizó su intervención afirmando que, con la protección del suelo de los taludes y márgenes de cunetas con manta orgánica, se disminuyen las pérdidas de suelo por erosión hasta un 99% para el caso de utilización de mantas con fibra de esparto (100%), aumenta la cantidad de agua retenida e infiltrada, aumenta el desarrollo general de la plantación y el nivel de implantación o arraigo, y se consigue un mayor nivel de fijación y retención de semillas, así como de desarrollo de las

plántulas. Para el ponente este empleo demuestra la gran versatilidad y utilidad económica de estas instalaciones que redundan en un mejor acabado y una mayor garantía de la obra, junto a una economía en su conservación.

La exposición **"I+D en reverdimiento de muros y taludes: Teoría y práctica del control de la erosión interna"**, estuvo a cargo de **D. Carlos Sánchez**, de Polyfelt, S.A. El trabajo se originó en la necesidad de poder cuantificar el efecto antierosión externa de soluciones, empleando diferentes sistemas convencionales conocidos en la práctica para fomentar el crecimiento de la vegetación, y compararlos en este caso con un innovador sistema, al incluir en él a un geotextil no tejido, 100% agujado, de filamento continuo de polipropileno, con el objeto de incrementar el mencionado efecto y acelerar el proceso de crecimiento del verde.

El geotextil evita que la lluvia, el viento o una combinación de ambos ocasione el arrastre de esas partículas, sean de suelo, semillas o una combinación de ellas. Además, ese tejido protege contra la acción directa erosionante del agua de lluvia y/o del viento sobre la hidrosiembra.

Al promover y procrear la formación de un microclima entre la superficie del suelo que se va a revegetar y el geotextil, la superficie

mantiene las condiciones de temperatura y humedad ideales para acelerar el crecimiento de la vegetación, eliminando o minimizando los efectos e inconvenientes que ocasionan los cambios en las condiciones climatológicas y los cambios bruscos e inesperados. El sistema Envirofelt presenta, además y según el ponente, un menor costo que otras tecnologías y es de muy fácil instalación. Finalmente, para el éxito del crecimiento de la vegetación, se recomienda trabajar con biólogos o especialistas en las materias que conocen bien su cometido.

3ª Sesión

Comenzó la sesión con la ponencia **"Refuerzo del terreno con geosintéticos"**, expuesta por **D. Luis del Cañizo Perate**, de la *Universidad Politécnica de Madrid*, quien presentó las ventajas del refuerzo de un suelo mediante relleno con geosintéticos resistentes a la tracción. Añadiendo a un suelo granular una serie de capas paralelas de refuerzo, se obtiene un material compuesto ortótropo con mejor ángulo de rozamiento y cohesión.

Las aplicaciones principales de refuerzo del suelo mediante geosintéticos son los terraplenes con refuerzo de base, los muros de paramento inclinado o vertical con suelo reforzado, los terraplenes de materiales sueltos zonados con refuerzo en los paramentos, el refuerzo de las capas de pavimento, la defensa contra la erosión en taludes y orillas de ríos y, fuera del sector viario, el refuerzo de núcleos de arcilla en presas de materiales sueltos para limitar su fisuración.

Cada vez es más frecuente la mejora del terreno *in situ*, así como la mejora de los rellenos del suelo. La idea de añadirle un refuerzo al suelo para que trabaje a tracción es muy antigua, y de hecho es lo que hace la naturaleza con las raíces de las plantas que refuerzan los taludes.

A continuación, definió los factores que afectan al comportamiento del terreno armado, y métodos de

diseño y cálculo. Por último, y pese a que el autor esperaba que este tema fuera más desarrollado por otros ponentes, dio una serie de recomendaciones sobre la protección de taludes mediante la aplicación de una envoltura de geomalla, así como su protección a la luz ultravioleta, ocultándola del sol mediante plantaciones.

D. Aurelio Ruiz Rubio, del *Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX*, intervino con el tema **"Aplicaciones en capas de firmes"**, comenzando por una introducción en la que informó sobre el comienzo de la utilización de los geotextiles a finales de los años 60 y de las geomallas para carreteras en 1982, así como el desarrollo habido en los años 90 de los geocompuestos que combinan el comportamiento de la geomalla con la facilidad de aplicación del geotextil. Tras ello, se refirió a la técnica de los geotextiles impregnados para la rehabilitación de firmes agrietados, su concepto, sus tipos y especificaciones y su utilización en otros países, así como su definición como elementos de refuerzo estructural y también sus tipos y especificaciones. Posteriormente describió la colocación de los geosintéticos en capas de firme, refiriéndose especialmente a los geotextiles impregnados y a la colocación de geomallas entre capas de firme y las aplicaciones y consideraciones de proyecto, deteniéndose en las capas de antirreflexión de fisuras, el refuerzo entre capas granulares o entre éstas y las explanadas, así como la impermeabilización y su destino para pequeñas reparaciones.

El ponente, tras su interesante y completa exposición, concluyó en que los geosintéticos pueden utilizarse en la construcción y conservación de carreteras en diversas aplicaciones como se ha visto. La aplicación más desarrollada, aparte de en explanadas, es la de geotextiles impregnados que, aparte de retrasar la aparición de fisuras en firmes agrietados, impermeabilizan el firme; y las grietas, cuando aparecen, presentan unas características más favorables.

El empleo de geomallas entre capas de mezcla bituminosa parece prometedor en función de las últimas aplicaciones en España, pero necesita de más experiencia y especialmente de estudios detallados de coste/beneficio frente a otras posibles soluciones.

Finalmente, hay aplicaciones que parecen de gran interés como su utilización en las capas granulares para firmes de bajo tráfico, impermeabilización, ensanches o asientos, que habría que desarrollar y normalizar.

"El control de la erosión con geosintéticos. Talud de Murguía" fue presentado por **D. Juan Carlos Latorre**, del *Grupo Comercial Samen, S.L.* En su exposición presentó un ejemplo actual del control de la erosión en un talud por medio de geosintéticos y su contribución a la estabilidad del suelo vegetal de aporte. En concreto, el caso se refiere a un deslizamiento superficial de tierras de aportación para revegetación de un talud de unos 5 m de altura, de materiales arcillosos muy plásticos en Murguía, cuyas condiciones geotécnicas impedían la estabilidad de la capa de tierra más superficial donde debería desarrollarse la vegetación.

La conclusión, según el ponente, que se deriva de los resultados obtenidos con la aplicación de este tipo de geosintéticos de control de la erosión superficial "Envirofelt", es que proporcionan una inmejorable integración paisajística, evitando pérdidas de hidrosiembra y de suelo, lo que se transforma también en un factor de seguridad añadido para la estabilidad superficial de este talud.

D. José Luis Cuenca Lorenzo, de *Polyfelt Geosynthetics Iberia*, expuso la **"Construcción de muros y taludes con geosintéticos multifuncionales"**. En la intervención llegó a las conclusiones de que los muros y taludes construidos con geocompuestos multifuncionales, que combinan las elevadas resistencias con bajas deformaciones proporcionadas por el entramado de filamentos ensamblados al geotextil, y las altas capa-

ciudades de drenaje en el plano de dicho geotextil no tejido, de filamentos continuos de polipropileno como los geocompuestos Bidim Rock PEC, ofrecen una alternativa económica, técnicamente probada y respetuosa con el medio natural.

Además, este tipo de rellenos proporcionan un mayor aprovechamiento de suelos con bajos valores resistentes, presentes frecuentemente en las diferentes obras de carretera, lo que supone una gran ventaja económica y, además, son compatibles con diferentes procedimientos técnicos de integración paisajística. Finalmente, aunque los principios de diseño permanecen básicamente iguales a otras estructuras de contención, dada las especiales condiciones de este tipo de geocompuestos de refuerzo, se aconseja al ingeniero proyectista que consulte con un ingeniero geotécnico experimentado en el dimensionamiento de geosintéticos para construcciones de suelo reforzado.

"El empleo de geotextiles y geocompuestos antirremonte de fisuras en capas de firme asfáltico para carreteras y vías transitables" fue expuesto por **D. Carlos J. Sánchez Díaz**, de Polyfelt Geosynthetics Iberia. En su intervención, se señaló la importancia de mantener en buenas condiciones para los usuarios las capas de rodadura de las carreteras asfaltadas en general, considerando el fuerte incremento actual del tránsito, tanto en frecuencia como en carga coaxial. En la búsqueda de soluciones a este problema, técnicamente factibles y económicamente viables, se han desarrollado tecnologías que emplean una combinación de asfaltos modernos (emulsiones catiónicas, asfaltos modificados, etc.) con el uso de geotextiles y geosintéticos especialmente concebidos para aplicaciones con mezclas bituminosas, llamados PGM (del inglés *Paving Grade Material*), con características particulares que los hacen completamente diferentes de los demás compuestos que se emplean en multitud de obras y carreteras para funciones de filtro, separación o refuerzo.



D. Aurelio Ruiz intervino con la ponencia "Aplicaciones en capas de firme".

Los geotextiles de filamento continuo y geocompuestos para capas bituminosas son materiales producidos a base de polímeros sintéticos derivados del petróleo, cuya definición se ha desarrollado en la normativa CEN TC 1989. Se emplean principalmente para retardar la propagación de la fisuración en capas bituminosas, siendo su aporte estructural casi nulo. Entre sus ventajas, están la mayor absorción de cargas dinámicas de tráfico, la reducción de tensiones entre la capa antigua y la nueva, mayor vida útil con menores espesores de capa, rápida instalación, posibilidad de reciclado, y resistencias a temperaturas hasta 160 °C y química contra sales, entre otras muchas. Las geomallas de poliéster o fibra de vidrio impregnadas con PVC o betún son adecuadas para el refuerzo, el geotextil PGM no tejido 100% agujado polipropileno es adecuado para relajamiento de tensiones, impermeabilización y adhesión de capas, y el geocompuesto PGM-G, formado por el geotextil PGM con filamentos ensamblados, añade a estas funciones la de refuerzo. También detalló diversos ensayos a los que se pueden someter estos materiales, así como ejemplos de instalación y mantenimiento.

D. Dionisio Villalba Vila, de Eurogrus, presentó el tema **"Fibras de armadura para mezclas bi-**

bituminosas" en la que, entre otras cosas, afirmó que de entre las fibras sintéticas, las más experimentadas y con buenos resultados son las derivadas del acrilonitrilo (termoestables) y, en especial, dentro de esta familia las que tienen una superficie rugosa o estriada, que les da una capacidad de retención de betún superior, proveyéndole de flexibilidad, resistencia a la tracción, y, en definitiva, durabilidad. En la práctica se ha demostrado que necesitan un 15% menos de betún que las fibras celulósicas y que una parte de fibras acrílicas representa tres de celulosa. Además, también afirmó que una fibra adecuada en los aglomerados asfálticos permite enriquecer las mezclas clásicas de betún, por lo que se aumenta la resistencia a la fatiga y retarda la aparición de fisuras, resistiendo mejor el envejecimiento y consiguiendo una mejor impermeabilización de las mezclas, mejorando consecuentemente las resistencias a tracción, cizalladura, impacto, etc.

Así mismo, las fibras acrílicas más adecuadas para su mezcla con betunes son las fabricadas con un homopolímero de acrilonitrilo del alto peso molecular para mejorar la resistencia a los álcalis y para aumentar sus propiedades mecánicas.

Dentro de las capas delgadas antifatigas, al trabajar con altos contenidos de filler y/o ligante, se hace

imprescindible el uso de ligantes modificados (con polímeros) o de fibras, a fin de no estropear la estabilidad de la mezcla o aumentar las deformaciones plásticas. Las fibras se utilizan por su elevada superficie específica y, en este caso, de larga longitud, con lo que se obtiene una mayor durabilidad, un comportamiento flexoelástico excelente del firme y mejores características antideslizantes.

Dentro de las capas intermedias antifisuras, aclaró que cuando el firme se encuentre muy degradado, habrá que fresar hasta la capa de soporte para aplicar una capa antirreflexión de fisuras y luego colocar la capa de regularización y rodadura. Para formar la capa antirreflexión puede utilizarse un geotextil o una mezcla muy rica en betún y áridos finos para formar un mástico altamente flexible. En este último grupo, existe la alternativa de usar betunes poliméricos altamente modificados o betunes normales modificados con la adición de fibras acrílicas.

Para finalizar, hizo un resumen de las recomendaciones para uso de fibras acrílicas de alta resistencia: A) Hormigón asfáltico caliente (arenas-betún antirreflexión, fibras finas 15 m, *1,9 den; drenajes, fibras gruesas 30/40 m, *12 den); B) Emulsiones frías catiónicas o aniónicas, "slurries" y lechadas, fibras gruesas 50 m, *20 den, siendo optativo el uso de fibras de 6, 12 ó 24 mm de longitud o mezcla de ellas, recomendándose la proporción de 0,1 a 0,3 de fibras acrílicas de alta tenacidad sobre el aglomerado; C) Aglomerados asfálticos, capas delgadas antifisuras (fibras gruesas, 80 m *53 den), capas intermedias antifisuras (longitud 24 mm), etc.

"Muro ecológico de 20 m de altura con refuerzo geosintético. Diseño basado en análisis numérico avanzado" de D. Julio García-Mina, de Terratest Técnicas Especiales, S.A. y Mr. Arnstein Watn y Even Oiseth, de Sintef (Noruega), fue la siguiente propuesta del programa. En ella se afirmó que el proyecto de ampliar una carretera con terraplenes

de hasta 20 m de altura y taludes de 80°, es un reto geotécnico. Para ello, se ha propuesto utilizar la técnica de suelos reforzados mediante geosintéticos para la construcción de terraplenes, lo que permite revegetar los paramentos externos. La solución es viable técnicamente y ha demostrado ser beneficiosa económicamente. A pesar de ello, la existencia de roca significa que se tenga que excavar y volar para conseguir estructuras lo suficientemente estables si nos basamos en métodos de diseño convencionales. Esta solución es desfavorable desde el punto de vista económico y constructivo.

El diseño de estructuras se ha optimizado con el uso de análisis numéricos avanzados mediante el empleo de elementos finitos con el código Plaxis. El análisis indica que el problema más importante es el de la estabilidad global de la estructura y la posibilidad de que se produzca el deslizamiento del suelo reforzado sobre la base de apoyo. Sobre estos análisis se propone un diseño con una geomalla de refuerzo geosintética con una separación entre capas de entre 0,3 y 0,6 m y unas resistencias características nominales que varía entre 60 y 150 kN/m. La longitud de refuerzo requerida es función de la formación rocosa y de las tierras de recubrimiento. Para un terraplén de 20 m de altura, la longitud mínima de refuerzo en las condiciones citadas va desde los 5,5 m, si existe roca en el trasdós, hasta los 10 m, si lo que hay es un suelo detrás en la zona reforzada.

El análisis también proporciona deformaciones estimadas de la estructura tanto durante las fases de construcción como durante la vida de la estructura, lo que permite que se hagan los ajustes necesarios durante la ejecución de las tongadas para obtener el ángulo final aproximado al del proyecto.

Más adelante, Mr. Morten Sorensen, de Fibertex A/S, presentó la comunicación **"Encofrados con permeabilidad controlada (CPF) para un hormigón duradero"**, que fue expuesta por D. Antonio Cros. El encofrado de

permeabilidad controlada (*Controlled Permeability Formwork*) es un sistema patentado que se instala sobre el encofrado antes del vertido del hormigón, formado por un tejido no tejido fabricado a partir de fibras de polipropileno de estructura aleatoria y punzonadas. El geotextil posee una cara con acabado termosoldado que actúa como filtro y otra cara no termosoldada que funciona como capa drenante. El filtro, con un diámetro de poro de aproximadamente 30 mm, está diseñado para retener las partículas de cemento mientras permite la libre circulación del agua. Una vez instalado el recubrimiento geotextil sobre el encofrado, se procede a la colocación y vertido del hormigón según los procedimientos convencionales empleados en los encofrados sin revestimiento. Al vibrar el hormigón adquiere una consistencia plástica que permite el drenaje del agua desde una profundidad de 15-20 mm. El agua se evacúa del encofrado y fuera del sistema dejando un hormigón denso y duradero.

Para los autores, es un hecho reconocido internacionalmente que la relación agua/cemento baja proporciona hormigones más densos y resistentes a la penetración. Cuando se emplea CPF como recubrimiento del encofrado, el exceso de agua es drenado desde el hormigón, mejorando la resistencia de la cobertura exterior del hormigón y por tanto la durabilidad de la estructura.

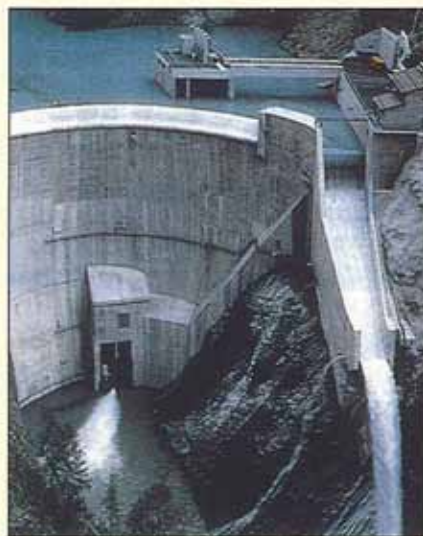
El concepto de recubrimiento CPF es relativamente nuevo, pero su empleo crece constantemente. La documentación disponible acredita el empleo de este sistema como una alternativa a los tratamientos superficiales.

Por su lado, D. Mario García Gironés, de Atarfill, presentó el tema **"Tratamiento de impermeabilización con polietileno de alta densidad (PEAD) de las margas azules en un tramo de la autovía de la Plata"**, explicando la solución constructiva desarrollada en el tramo Gerena-Venta del Alto de la citada autovía, para evitar los cambios volumétri-

cos de los materiales expansivos presentes en el final del corredor, sistema que logra implantar tres barreras que limitan el fenómeno de hinchamiento y retracción. Tras presentar el perfil geotécnico, pasó a detallar la solución adoptada que combina la sustitución y la doble impermeabilización vertical (arcilla y geosintético), a la vez que se controlan mediante drenes las aportaciones laterales y horizontales. En la sección tipo se denota una sobreexcavación de 1,5 m de espesor destinada a mejorar la capacidad de soporte del cimiento y a minorar los movimientos diferenciales que sufrirá el firme, realizando la sustitución con dos tipos diferenciados de materiales, así como la formación de una barrera impermeable a base de una geomembrana de polietileno de alta densidad PEAD, de 1 mm de espesor, para aislar la capa de arcilla de las variaciones estacionales de humedad, además de las filtraciones de agua. Finalmente, la realización de una red de drenaje en la superficie superior de la lámina que recoja posibles filtraciones sin afectar a la cimentación, y que constituye el tercer nivel de resguardo.

Posteriormente, presentó las ventajas de la solución con la geomembrana PEAD, finalizando su exposición con la explicación de su instalación. Finalmente, informó que con el fin de comprobar la idoneidad de la solución se implantó un proceso de medida de deformaciones, en base a la colocación de 8 extensómetros, siendo adecuados los resultados hasta la fecha.

"Mantenimiento de carreteras. Factores que hay que tener en cuenta a la hora de escoger un geotextil" fue el tema propuesto por **Mr. Erik Ramberg Steen** y expuesto por **D. Jesús Ramos**, de **Fibertex A/S**, en el que se concluyó en que la reflexión de grietas inducida térmicamente frecuentemente está basada en la colocación de capas demasiado rígidas debajo del pavimento asfáltico. Para retrasar la reflexión recomendó la utilización de un textil



Las fotos muestran dos ejemplos presentados por el Sr. Sorensen. A la izquierda, una presa en Suiza construida con CPF, y, a la derecha, un depósito de aguas residuales en Grossglatbach (Alemania).

de pavimentación absorbe-tensiones. Sin embargo, si esa reflexión de grietas está basada en movimientos severos en el subsuelo, resultado de heladas de una capa no resistente a las heladas y capas sumergidas de suelo, las grietas pueden ser bastante grandes. En estos casos, las mallas de refuerzo representan una solución más económica que la sustitución de todo el suelo en malas condiciones.

Como la mayoría de las grietas de reflexión están causadas por la presencia de agua, la solución más sencilla es drenar el agua mediante buenos sistemas de drenaje y siempre buscando la solución más óptima y económica.

Sin embargo, si el agua no puede ser drenada, se han de evaluar dos alternativas: o bien reemplazar el suelo pobre o reforzar la subbase con una malla de refuerzo combinada con un textil no tejido, o bien proteger la carretera existente de la intrusión de agua adicional, utilizando un textil de pavimentación absorbe-tensiones e impermeable, que a menudo será la solución más económica. El contenido de agua en el subsuelo se estabilizará, y las tensiones de las grietas existentes serán absorbidas en el textil de pavimentación, lo que retrasará la reflexión de las grietas. El uso de mallas de refuerzo por separado no solucionará el problema de la intrusión del agua,

y, por lo tanto, no deberá ser nunca una opción en tales casos.

D. Iñaki Amigot, de **Huesker, S.A.** presentó **"Diferentes sistemas de muros de contención y taludes reforzados mediante el empleo de geosintéticos de refuerzo"**. El Sr. Amigot en su ponencia explica el concepto de muro reforzado y los distintos tipos que se pueden conseguir, con bloques de hormigón, jardineras, o directamente geosintéticos que permitan que la vegetación crezca a su través y con tierra vegetal en su cara externa.

El sistema de ejecución de un muro vegetalizado es más complejo, pues las tongadas hay que realizarlas de forma más cuidadosa, y, aparte de los geosintéticos de refuerzo, hay que situar otro de protección contra la erosión en el frente de la tongada, para impedir el escape de finos de la tierra vegetal. De acuerdo con su ejecución, hay varios tipos de muro vegetalizado: con encofrado interno, que puede ser temporal o permanente, y con encofrado externo.

A continuación presenta la naturaleza de los distintos materiales que componen un muro vegetalizado: suelos, hidrosiembra, y geosintéticos de refuerzo, deteniéndose especialmente en estos últimos, así como los factores que constituyen su

resistencia a la tracción, y la interacción entre suelo y geosintético.

Más adelante, **D. Javier Aguilar Alfaro**, de Uralita, S.A. expuso la **"Utilización de geotextiles en la obra de la tercera pista en el aeropuerto de Barajas"**, ubicada en una de las terrazas del río Jarama, con un nivel freático muy elevado lo que conlleva la necesidad de estabilizar la base donde se sitúa la tercera pista, así como la obligatoriedad de encauzamiento de aguas en cabeceras y otros lugares de la pista, para evitar la filtración de aguas por debajo de su plataforma. Tras la introducción, se detuvo en las características que debía de cumplir el geotextil de la tercera pista y las recomendaciones de su instalación, razonamiento que amplió a los geotextiles que se iban a colocar en los arroyos, ambos fabricados con filamentos continuos 100% de polipropileno y punzonado mediante agujas formando un fieltro homogéneo. Tras explicar también sus exigencias mecánicas e hidráulicas, subrayó las especificaciones técnicas para ambas obras. Para la tercera pista, y de acuerdo con la EN ISO 10319, resistencia a la tracción de 9,5 kN/m y elongación a carga máxima de 75/35%; resistencia al punzonamiento de 1 500 N, de acuerdo a la norma EN ISO 12236; resistencia a la radiación UV del 10% y resistencia química contra ácidos y bases (pH 2 a 13) según la norma EN 640550; resistencia a la penetración por caída de cono de 30 mm según la EN 918; apertura eficaz de poros de 0,12 micras, según la E DIN 60500/6; y permeabilidad perpendicular a la superficie del geotextil por debajo de 2 kN/m² a 100 mm de pérdida de carga de 250 l/s.m², según la norma 60500/4.

Para la protección de los arroyos, y de acuerdo con la EN ISO 10319, resistencia a la tracción de 15 kN/m y elongación a carga máxima de 75/35%; resistencia al punzonamiento de 2 350 N, de acuerdo a la norma EN ISO 12236; resistencia a la radiación UV del 10% y resis-

tencia química contra ácidos y bases (pH 2 a 13) según la norma EN 640550; resistencia a la penetración por caída de cono de 23 mm según la EN 918; apertura eficaz de poros de 0,11 micras, según la E DIN 60500/6; y permeabilidad perpendicular a la superficie del geotextil por debajo de 2 kN/m² a 100 mm de pérdida de carga de 158 l/s.m², según la norma 60500/4.

D^a Marta Alonso Anchuelo, del Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX, hizo la **"Presentación de la acción Cost 348: refuerzo de firmes con mallas de acero y geosintéticos (Reipas)"**. La ponente describió los objetivos de la Acción COST 348, junto con las tareas en las que se ha dividido el proyecto, que realizarán sus cinco grupos de trabajo a lo largo de 3 años, y el calendario previsto para su ejecución. Los cinco grupos de trabajo tendrán como misión fundamental: *Grupo 1*: recopilar la información sobre los casos en que se considera necesaria la utilización de estos materiales como refuerzo y sobre la evaluación de su comportamiento una vez puesto en obra; *Grupo 2*: centrarse en la recopilación y la revisión de los métodos de dimensionamiento existentes; *Grupo 3*: analizar los ensayos de laboratorio a los que se someten los materiales; *Grupo 4*: seleccionar los modelos de dimensionamiento que tengan en cuenta el comportamiento estructural de los firmes reforzados con estos productos según los tipos de daño y las condiciones de carga; y *Grupo 5*: difundir los resultados de la Acción Cost 348.

El objetivo general de este proyecto sobre el refuerzo de firmes con mallas de acero y geosintéticos es recopilar los procedimientos de cálculo y dimensionamiento existentes, elegir los métodos de diseño apropiados y evolucionar hacia unas técnicas de construcción y puesta en obra que puedan ser aceptadas, como norma general, en los diferentes países.

Desde el punto de vista técnico, el cumplimiento de los objetivos marcados en esta Acción tiene una utili-

dad indudable en el campo del desarrollo de la tecnología adecuada para el refuerzo de los firmes: Beneficios que no sólo serán de tipo técnico sino también desde el punto de vista medioambiental, económico y de transferencia de tecnología.

D. Manuel Romana Ruiz, de la Universidad Politécnica de Valencia, presentó la ponencia **"Aplicaciones en túneles"**, en la que comenzó hablando de la evolución que ha habido en la técnica de construcción de túneles, y en especial de la novedad que supone la norma UNE 104424, de reciente aparición, así como la introducción, en la práctica, del concepto de que el agua es un elemento más del terreno, al que ha de ajustarse el túnel mediante el drenaje y/o la impermeabilización.

Tras un recorrido por los conceptos básicos de los daños que puede ocasionar el agua en distintos tipos de túneles, pasó a definir las necesidades de estanqueidad para el diseño de túneles y galerías, según la citada norma UNE 104424. Para túneles bajo el nivel freático, la impermeabilización consiste en introducir bandas de neopreno en los contactos de las dovelas, a veces combinadas con una resina hidrofílica, pero no se ha comprobado su comportamiento a largo plazo.

En los túneles drenados, a veces se aprovecha el caudal resultante para abastecimiento de poblaciones (como Soto del Barco, Asturias) o incluso en una minicentral hidroeléctrica (Túnel del Cadí). En todo caso, los túneles drenados originan cambios permanentes en la circulación del agua subterránea.

Los túneles parcialmente impermeabilizados son muy comunes en España, al estar colocados sobre el nivel freático general, aunque puedan existir sobre su clave acuíferos colegados o circulaciones temporales. La práctica española se decanta mayoritariamente por el uso de láminas de PVC protegidas por una capa de drenaje de geotextil no tejido, si bien son posibles otros métodos.

En cuanto a los túneles hidráulicos, sus necesidades son muy variables, pudiéndose emplear un reves-



En la foto, D. Juan Carlos Latorre.

timiento con mallazo ligero, o añadir al hormigón fibras de polipropileno. En tramos en que la sobre-presión hidráulica interior del túnel es superior a la presión total, se emplea un revestimiento suplementario de chapa de acero. Para terminar, habló de los daños por rebajamiento del nivel freático que pueden darse al incrementarse las tensiones efectivas en el terreno, lo que produce una subsidencia generalizada, exponiendo casos de todo el mundo, incluyendo alguno del autor de próxima publicación.

D. Juan Carlos Latorre, del Grupo Comercial Samen, S.L., presentó la comunicación **"Protección de geomembranas en túneles. Túnel de Piedrafita"**, que, tras recordar la norma de puesta en obra de sistemas de impermeabilización de túneles con láminas de PVC-P, describe la experiencia realizada en ese túnel.

A principios de 2001, se impermeabilizó este túnel por medio de lámina de PVC y geotextil no tejido de protección, empleándose 55 000 m² de geotextil Bidim S 82, en rollos de 3 y 6 m de ancho, fabricado a partir de filamentos continuos de 100% materia prima virgen de polipropileno agujado mecánicamente y que cumplieran sobradamente las exigencias más rigurosas de la norma UNE 104424. En concreto presentó un valor > 7 kN/m de resis-

tencia a tracción, según la norma EN ISO 10319; un valor $>40\%$ de elongación a rotura, según la misma norma anterior; una resistencia a compresión >500 N, según la norma EN ISO 604; etc.

Al ser un geotextil no tejido agujado de filamentos continuos, presenta unas características mecánicas e hidráulicas excelentes, demostrándose que el gramaje de un geotextil no es representativo a la hora de definir un geotextil que cumpla correctamente su función.

"Contención de tierra mediante geosintéticos de alto módulo elástico. Un sistema integral de control de calidad para su diseño y construcción" fue presentado por **D. César Piquero García** y **D^a Marta Muro Carvajal**, de Terratest Medio Ambiente, en el que describen un sistema de contención de tierras mediante geosintéticos de alto módulo elástico, al que denominan muro ecológico, de construcción sencilla, y que se realizará en tongadas de espesor constante (normalmente de 50 cm) de manera análoga a como se construye un terraplén. Tras aconsejar que la inclinación no sea superior a 80° con respecto a la horizontal, definieron sus ventajas.

Dentro del apartado de toma de datos, defienden que para hacer un dimensionamiento correcto de la estructura necesitamos tener una defi-

nición geométrica exacta del muro con sus planos de planta, alzado y secciones generales, así como el espesor de tongada con el que se va a construir. También es necesario saber la inclinación del muro y la sobrecarga que va a soportar. Cuando ya está definido geométricamente, se deben conocer las características geotécnicas de sus materiales; de no haber ese informe, se deben conocer la altura del nivel freático, ángulo de rozamiento interno, cohesión, densidad y granulometría tanto del material de relleno como del que compone la base y del existente en el trasdós del muro. Además, se necesita saber la capacidad de soporte de la base y, posteriormente, realizar una visita previa al cálculo de la estructura y de su estabilidad interna, destacando los autores el método revisado de los gráficos de diseño de R. A. Jewell para el cálculo de estructuras de tierras reforzadas con materiales poliméricos. Tras ello, la ponencia define la serie de controles.

Dentro de los controles previos se debe hacer una inspección de todos los materiales, la tensión de trabajo será el producto del coeficiente de fluencia (0,6-0,8) por la tensión nominal, disposición de zonas de drenaje y de tuberías con una ligera inclinación (2-4%), realización de pruebas de drenaje, granulometría y humedad adecuada de la tierra vegetal, etc. Durante la ejecución, el relleno debe quedar compactado por encima del 95% del Próctor Normal; se comprueba la alineación correcta del muro con control topográfico cada 2 ó 3 tongadas, que la geomalla esté perfectamente anclada al terreno y con solapes de 20 cm como mínimo, etc. Finalmente, control de la terminación de la obra teniendo en cuenta que la superficie reforzada no puede ser perforada, del acabado vegetal del muro, etc.

D. Daniel Ruiz Bouché, de Bettor MBT, S.A., presentó el **"Sistema de impermeabilidad de túneles mediante geosintéticos"**, explicando las ventajas que otorgan los sistemas de impermeabilización y drenajes basados

en geomembranas de PVC-P, geotextiles y geocompuestos drenantes, para obras subterráneas.

La impermeabilización de toda obra subterránea consta de varias fases, en función del grado de estanqueidad requerido, el tipo de terreno, el sistema de construcción previsto y la cantidad de agua presente. En una primera fase, hay que taponar las vías de agua, con recogida de drenes longitudinales. Esta fase implica la realización de un drenaje en forma de espina de pez, denominado sistema Oberhasli, de forma que controle el agua del macizo rocoso a drenes longitudinales, para después realizar una impermeabilización mayor. Puede realizarse mediante sistemas tradicionales, o bien con geocompuestos drenantes a base de láminas nodulares o de botones de polietileno de alta densidad.

Para la fase intermedia, se emplea gunitado o proyección de hormigón o mortero sobre el soporte como elemento de protección de la impermeabilización. Por último, en la impermeabilización principal se puede emplear un geotextil sobre el soporte, que garantice una total estanqueidad, envolviendo toda la superficie de la obra. También puede haber una cuarta fase de impermeabilización posterior, complementaria o reparadora de la principal.

A continuación describe los tipos de geocompuestos que pueden emplearse, tanto para el Método Oberhasli de lámina drenante, como para los drenes longitudinales, incluyendo características técnicas, métodos de anclaje y colocación. Sigue una descripción de los geotextiles empleados en la impermeabilización principal (cumpliendo normas UNE EN ISO 10319 de resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura, resistencia al punzonamiento UNE EN ISO 12236, y UNE EN ISO 12958 de permeabilidad en el plano), sistemas de fijación y de colocación, y membranas de PVC-P especiales para sistemas de drenaje, con normas EN 965, EN 964-1, ASTM D 1621, EN ISO 10319, y ASTM D 471687.

D. Javier Santalla Prieto, de Huesker, S.A., presentó la comu-

nicación **"Empleo de geomalla de refuerzo de asfalto en el circuito de Jerez"**, en la que subrayó que, tras haberse aplicado ya en tres ocasiones la extensión de una nueva capa asfáltica para corregir las patologías del firme, se ha procedido en el año 2001 a la instalación de una geomalla de refuerzo tipo H-Telit C 40/17 para evitar la reflexión de las fisuras en la nueva capa de rodadura, que proporciona al firme una mayor resistencia a tracción, absorbiendo los esfuerzos de larga duración y distribuyéndolos en un área mayor de superficie, evitando la mencionada reflexión. La geomalla instalada es de poliéster y se combina con un geotextil no tejido, cuya finalidad es lograr una instalación más sencilla y una mejor adherencia con la capa inferior del firme. Para mejorar la adherencia, todo el conjunto se encuentra recubierto de una emulsión bituminosa. La abertura de malla es de 40 mm y la resistencia a tracción tanto en sentido longitudinal como transversal es superior a 50 kN/m, mientras que la deformación sufrida por la geomalla en el momento de su rotura no supera el 12%. La resistencia de la geomalla con un 3% de deformación es superior a 12 kN/m.

Tras explicar que la instalación se realizó una vez que la emulsión rompiera, para asegurar una perfecta adherencia de la geomalla con el firme, subrayó que la capa de rodadura final, que se extiende sobre la geomalla, debe que tener un espesor superior a 5 cm para asegurar el correcto funcionamiento del refuerzo.

"Posibilidades de empleo de las geomallas como membrana de un sistema flexible de sostenimiento del terreno" fue el tema propuesto por **D. Daniel Castro** y **D. F. Ballester**, de la Universidad de Cantabria. Se comienza por definir qué es este sistema, formado por una membrana flexible de materia de elevada resistencia a tracción, capaz de recibir y aplicar empujes al terreno de forma continua y transmitir estos esfuerzos a la cabeza del conjunto de bulones y de aquí a la parte estable del maci-

zo. Sobre la base de experiencias previas en la Universidad de Cantabria sobre mallas de alambre, se plantea un estudio de un sistema de sostenimiento empleando las geomallas, no sólo para el control de la erosión, sino como membrana resistente. Hay en el mercado multitud de membranas susceptibles de ser empleadas como elemento de soporte, si bien no todas tienen propiedades óptimas para esta función. Dada su tipología, pueden definirse como tipos de sistemas, de sostenimiento puntual y longitudinal, mediante un sistema de soporte continuo, perpendicular a la dirección de máxima rigidez, al cual se transfieren las tensiones de tracción generadas en la geomalla. A continuación, se dan una serie de características para el diseño de los sistemas, dispositivos de ensayo para ambos tipos de sostenimiento, y ensayos con carga distribuida. Los componentes utilizados deben ser geomallas isotropas o anisotropas, geosteras para garantizar la revegetación del talud, bulones UNE 36088, sujetacables (DIN 1142), cables de acero (DIN 3057) y cables de anclaje flexible, de cable helicoidal doble o simple.

3ª Sesión (Continuación)

"Uso de productos geosintéticos en el ferrocarril" fue presentada por **D. Ernesto Pérez Sánchez**, de RENFE. En la construcción los ferrocarriles lo emplean abundantemente para separar distintas clases de suelos, y fijar terraplenes y trincheras inestables. En el campo del mantenimiento, las soluciones suelen ser muy complejas, ya que las líneas actuales de ferrocarril fueron construidas en gran parte en el siglo XIX, con un trazado muy ajustado al terreno, y con materiales de la zona, que no son los más adecuados. Los terraplenes presentan taludes muy estrictos, con drenes cuyo mortero ha perdido la cal con el paso del tiempo, y con accesos casi nulos.

En los drenajes se suele emplear un geotextil de 90 g/cm² recu-

biendo el paquete formado por la grava y el tubo dren. De esta forma, la grava no se contamina y su permeabilidad se mantiene. En el caso de que haya escasez de material drenante en la zona, existen diversos geosintéticos que pueden ser empleados como sustitutos, como el Delt Grain, o el sandwich formado por dos teotextiles y en el medio pelo de PVC. Otra solución, más cara pero más efectiva, es la geocelda de drenaje, que se monta con lámina puesta en vertical o con cuatro placas formando un cajón. Su precio es más elevado que las soluciones anteriores, y necesita más espacio, pero la relación volumen/capacidad drenante es más elevada y su instalación es sencilla.

Para el refuerzo de suelos, en el caso de que el problema sea la humedad, se pueden emplear geomallas o geotextiles de alto gramaje, dependiendo de las características del terreno, siendo habitual la combinación de ambos componentes.

Si el problema es la escasa resistencia del terreno por la variación de la humedad, la solución pasa por impermeabilizar todo el terraplén. Las geomembranas de alto contenido en polietileno (HDPE) o de polietileno muy flexible o de baja densidad lineal (VFPE o LLDPE) son una solución. Otra, las geoceldas drenantes por encima de una membrana impermeable, para conseguir que el agua en lugar de filtrarse al terraplén discurra por sus taludes, fáciles y rápidas de montar, pero necesitan una cuidadísima nivelación, y el precio se dispara. Una tercera solución pasa por crear un *sandwich* con dos geotextiles y en medio bentonita, ya sea en polvo o semihidratada. Actualmente es de las más utilizadas, por su economía y sencillez de colocación. Sus inconvenientes, el peso del rollo, y los recortes para dejar huecos a las columnas de electrificación. Si no se consigue un buen corte de vía, hay demasiados "recortes".

La última aplicación de los geotextiles al mantenimiento de taludes en los ferrocarriles es la corrección de blandones.



En la foto, los Sres. Santos y Pérez Sánchez.

"Geocompuestos de drenaje. Una apuesta moderna frente a los sistemas tradicionales", de D. Miguel A. Pérez Sánchez, de Fosroc Euco, S.A., subraya que en los años 90 nace una nueva familia de productos, intimamente ligada a los geotextiles, como son los geocompuestos de drenaje, cuyo consumo ha ido creciendo con el paso de los años y que revolucionan el propio diseño del drenaje, reduciendo sus dimensionamientos y simplificando, acelerando y abaratando el proceso constructivo; y que tiene una calidad constante y constatada. Tras explicar su composición, expuso sus ventajas con respecto a los sistemas tradicionales, pues incorporan productos listos para su empleo, por lo que se sabe de partida la calidad del sistema que se va a implantar. Entre sus ventajas se pueden destacar los mayores rendimientos obtenidos, calidad constante, productos de fácil y rápida instalación, ahorro de material granular, dimensionamiento adecuado a cada situación y sistemas duraderos. Entre sus aplicaciones destacó no sólo los muros enterrados, estribos de puentes, sótanos y aparcamientos, sino también para drenaje de terraplenes, longitudinal, de taludes, etc. Son sistemas más eficaces y que aportan mejoras medioambientales evidentes.

Tras destacar la gran variedad de geocompuestos y su función básica

de filtro, en sustitución del material granular, la ponencia aclara que, de acuerdo con la función que vaya a desempeñar el geocompuesto, éste será de un tipo u otro, cambiando generalmente de núcleo ya sea más o menos resistente, tenga mayor o menor capacidad de descarga de agua, más o menos flexible y tenga unas determinadas dimensiones. Finalizó afirmando que es muy importante qué función va a desempeñar para realizar una elección correcta del geocompuesto.

D. José Luis Cuenca Lorenzo, de Polyfelt Geosynthetics Iberia, expuso los **"Refuerzos de rellenos sobre cavidades con el empleo de geocompuestos de refuerzo"**, donde explicó y analizó el programa de investigación denominado "R.A.F.A.E.L. (Renforcement des Assises Ferroviaires et Autoroutières contre les Effondrements Localisés)". Entre sus conclusiones podemos destacar que el refuerzo con geosintéticos reduce considerablemente el riesgo de accidentes graves que podrían ocurrir por la aparición de cavidades bajo carreteras y vías férreas, y que la relación entre el espesor del relleno y el diámetro de la cavidad es de la máxima importancia para el comportamiento de la estructura.

La solución técnica parece ser conveniente para cavidades de diá-

metro menor (< 2 m) en las cuales el desplazamiento de la superficie que ha sido registrado no es significativo, tanto después de vaciar cavidades como después del paso del tráfico, lo que es debido a la formación de un arco de suelo estable puentando la cavidad.

Para cavidades de mayor tamaño (4 m), la solución propuesta es de interés, puesto que se trata de evitar la formación de cavidades grandes y repentinas que pudieran causar graves accidentes. Así mismo, afirmó que no fueron observadas roturas en los geosintéticos en ningún caso, con valores de deformación por debajo del 5,5%, estando lejos de la deformación en rotura de los geosintéticos de alta resistencia utilizados en los ensayos.

Finalmente, que la modelización tridimensional del efecto tensión de membrana proporciona una buena correlación entre los ensayos a gran escala y los cálculos, permitiendo el cálculo de la rigidez requerida al geosintético para esta aplicación.

Igualmente, **D. José Luis Cuenca Lorenzo**, de *Polyfelt Geosynthetics Iberia*, presentó el **"Comportamiento de geotextiles y geocompuestos de refuerzo en obras ferroviarias"**, explicando que, tras un proceso de estabilización, todos los geotextiles utilizados mejoran la plataforma y que el incremento relativo de la capacidad de carga de los geotextiles ensayados difiere mucho antes y después de los ciclos de carga. Así mismo, que los geotextiles no tejidos de fibra corta mostraron peor comportamiento antes de la carga cíclica que el caso de referencia sin geotextil, y que los geotextiles no tejidos de filamento continuo están al mismo nivel que los tejidos y las geomallas, lo que los diferencia claramente de los no tejidos de fibra corta.

Además, los geocompuestos a base de geotextil no tejido agujado de filamento continuo, reforzado con filamentos de alta tenacidad ensamblados, ofrecen resultados sustancialmente mejores que el resto de materiales ensayados. Obviamente, estos extraordinarios resultados —según el

ponente— se deben a la suma de las cuatro funciones (separación, filtración, drenaje y refuerzo) que presentan estos geocompuestos.

Finalmente, el grado de humedad del subsuelo decrece con el uso de geotextiles no tejidos (con y sin refuerzo), en comparación con el uso de geotextiles tejidos y geomallas.

D. Iñaki Amigot, de *Huesker, S.A.*, presentó la comunicación **"Casos reales de soluciones técnicas con geomallas de refuerzo, fabricados a partir de polímeros "no usuales" hasta la fecha"**, y que fue expuesta por **D. Javier Santalla**. En ella se presentan dos obras realizadas en Alemania con geomallas de aramida y PVA (polivinil alcohol): la utilización de la aramida en el refuerzo de bases granulares para puenteo de cavidades kársticas en obras lineales y el empleo de PVA en la ejecución de un muro reforzado con geomallas en un suelo cohesivo estabilizado con cal. En el primer caso (carretera federal B180, Eisleben) se emplearon geomallas de 1 200 kN/m de resistencia a tracción, y una deformación inferior al 3 % en rotura. La carretera se había hundido en 1987 debido a la presencia de un sumidero, siendo imposible determinar la posición exacta de las cavernas subterráneas existentes. La solución consistió en colocar una geomalla de refuerzo en dos capas, ejecutando una tongada intermedia de 60 cm de espesor y 60 m de longitud. La capa inferior consistía en una geomalla extendida de modo longitudinal y una en modo transversal. La segunda capa, tras compactar la tongada, se completaba con la continuación de la geomalla transversal. En el segundo caso (en Unterkaka, cerca de Leipzig), se buscaba una muy baja fluencia y una muy alta resistencia química a ambientes muy básicos, con un pH mayor a 11, ya que el material de relleno había sido estabilizado con cal. Debido al carácter permanente de la estructura, se decidió emplear una geomalla de Polivinil alcohol (PVA) tipo Tortrac de 110 kN/m de resistencia nominal, con la carga vista del muro con gaviones vegetalizables *GeoGreen*.

Posteriormente, **D. Wolfram Gödde**, de *Naue Fasertechnik*, expuso **"Efectos que los procesos de fabricación de las geomembranas de Pead tienen sobre su rendimiento"**, presentando las ventajas técnicas en la utilización de geomembranas extrusionadas mediante el proceso *"flat sheet"*. Entre ellas, que cuando se fabrican con valores MFI de hasta 3 g/10 min./190°/5 kg son más flexibles, y, por lo tanto, más fáciles de manejar y solapar. Así mismo que las variaciones en el nivel de espesor son más bajas y, por ello, las soldaduras son mejores, y que, debido a unos valores del índice de fundición (MFI) más altos, es más fácil conseguir una soldadura de calidad y que, en las mismas condiciones, se puede realizar también más rápidamente.

Además, y debido a que las geomembranas de extrusión enunciadas poseen una estabilidad dimensional más alta, existe menos desplazamiento de los paneles cuando cambia la temperatura de las láminas. Así mismo, el acabado de la superficie en las geomembranas puede ser brillante como un espejo, lo que hace más fácil identificar cualquier tipo de desperfecto, y que en los materiales *blown sheet* existen pliegues en los que la resistencia varía hasta en un 20% en comparación con otras láminas, con lo que los valores de resistencia más altos que se asocian a este tipo de láminas se ven claramente reducidos en sus pliegues.

Igualmente, **D. Iñaki Amigot**, de *Huesker, S.A.*, presentó el tema **"Muros vegetalizados reforzados con geomallas de poliéster de gran altura. Autovía Madrid-La Coruña en Lugo"**, que narra la experiencia sobre los muros situados en el llamado cañón del río Neira, con una altura de entre 10 y 25 m, y una pendiente de 83°.

En el diseño se tuvo en cuenta una vida de 120 años, y se aplicaron unos coeficientes de minoración de 2,82. El proceso de ejecución consistió en extender una capa de material de relleno y una capa de tie-

ra vegetal en la zona del paramento final del muro. Tras compactarlos se extendió en geosintético envolviendo cada tongada, con una encofrado externo tipo Orleki. En total se emplearon 300 000 m² de geomalla de refuerzo Fortrac. El drenaje fue especialmente cuidadoso para captar tanto las aguas subterráneas como las superficiales. Por último, se realizó una hidrosiembra que germinó en 15 días, dando un aspecto inicial de cobertura completa. Para conseguir una cobertura a largo plazo, se recomienda plantar especies arbustivas y trepadoras en la base y en la coronación del muro.

"Sistema de impermeabilización de tableros de puente mediante geosintéticos" fue el título de la comunicación presentada por **D. Daniel Ruiz Bouché**, de **Bettor MBT, S.A.**, que tenía por objeto destacar la utilización de geosintéticos diseñados especialmente para garantizar un sistema de impermeabilización, tanto en el campo de la ingeniería civil como en la edificación. Tras hacer unas consideraciones previas, en las que analizó la impermeabilidad del hormigón (dosificación, ejecución, factores ambientales, ataques sobre el hormigón tanto por carbonatación como por cloruros, sulfatos y aguas puras, y las consecuencias del hielo y del deshielo), se detuvo en los sistemas de impermeabilización clasificándolos en membranas de impermeabilización líquida y prefabricadas, y analizando la problemática de las utilidades de las breas epoxi y otros productos alternativos como las membranas autoadhesivas de betún modificado con SBS. Posteriormente describió el sistema de impermeabilización y las propiedades de este tipo de geosintéticos, como el Masterpren 1001 TP, sus características técnicas, campos de aplicación y puesta en obra.

La ponencia finalizó con una serie de consideraciones generales como que, cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5°C, se tomará la precaución de calentar la superficie de apoyo, así como la



Vista parcial de la exposición.

membrana mediante aire caliente. Así mismo, que el soporte debe estar limpio y seco y que la superficie, imprescindiblemente, debe estar perfectamente acabada, consolidada y seca. Los soportes porosos hay que tratarlos con una imprimación bituminosa no iónica. La instalación sobre restos de humedad, rocío o disolventes provocará el desprendimiento de la membrana.

D. Xavier Marín Cubells, de la empresa **Bettor MBT, S.A.**, intervino con la comunicación titulada **"Impermeabilización de cimentaciones y estructuras enterradas mediante geocompuestos bentoníticos"**. En ella y entre otras cosas, describió la composición de estos geocompuestos: bentonita sódica natural, que representa la materia impermeabilizante, y los geotextiles, que representan el elemento de contención de la bentonita, la cual es una roca cuyo principal componente es la montmorillonita: arcilla del grupo de la esmectita que, al estar su estructura saturada de iones de sodio, tiene la propiedad de expansión en contacto con el agua.

El geocompuesto -en palabras del ponente- tiene una estabilidad e inalterabilidad en el tiempo que lo convierten en el material idóneo para realizar impermeabilizaciones seguras de estructuras enterradas en el hormigón, destacando la capacidad

de hidratación de la bentonita sódica, que la hace transformarse en un gel impermeable en contacto con el agua.

El sistema supone una nueva y moderna concepción de impermeabilización de estructuras, cuyo estrato central está formado por esta bentonita sódica natural micronizada, encapsulada entre dos textiles unidos entre sí por un sistema de agujeteado; y cuya principal ventaja radica en la doble capa de bentonita y, por lo tanto, de material impermeabilizante.

Entre sus campos de aplicación está la impermeabilización de cimentaciones y estructuras enterradas, afectadas por el agua, y que están inmersas bajo niveles freáticos, donde se necesita un sistema de impermeabilización fiable, con unas prestaciones mecánicas y de estanqueidad importantes, combinadas con una puesta en obra rápida, fácil y con un coste económico racional.

Entre sus propiedades destacan su expansión controlada, el control de la erosión y el carácter pulverulento de la bentonita frente a otros de bentonita granular, que la hace ofrecer una mayor superficie impermeabilizante. El producto tiene unas elevadas características mecánicas, tanto a resistencia a la tracción como al alargamiento a la rotura y elevadas resistencias a la per-

foración; y, en casos de asentamientos estructurales, el geosintético permite su movimiento hasta su máxima resistencia a la tracción sin llegar a la rotura. Además posee un alto factor de impermeabilización con un coeficiente de permeabilidad de 5×10^{-11} m/s en cumplimiento con la DIN 18130 y la DIN 53936-E.

4ª Sesión

Comenzó la sesión con la intervención de **D. Manuel Blanco Fernández**, del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, con el tema **"La impermeabilización de balsas y de embalses mediante geosintéticos"** en el que dio a conocer datos del control periódico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de 60 embalses españoles, señalando los ensayos que se deben realizar según la naturaleza del material y presentando la evolución de los resultados experimentales obtenidos a lo largo del tiempo, a través de la explicación de todos y cada uno de los resultados a través de tablas, y justificando cada una de las pruebas realizadas. Tras más de una década de seguimiento de todos los materiales investigados, no se puede decir cuál es el más idóneo, ya que todos bien formulados y mejor aplicados deben conducir al éxito de la obra. Tras subrayar la necesidad de aplicar la normativa y de realizar pruebas periódicas y en sus periodos determinados, a la hora de tomar muestras se deberá tener en cuenta que la zona con más probabilidades de degradación es la referida al talud norte, por estar más afectada por las radiaciones del sol. En general, si se tuviese que seleccionar un ensayo para evaluar el estado de una geomembrana de cualquier material sintético, habría que recurrir a las características de tracción, seguidas de todas las pruebas relacionadas con el impacto dinámico o estático y el doblado a bajas temperaturas. En el caso particular del policloruro de vinilo plastificado es fundamental determinar su contenido de plastificantes.

Así mismo, subrayó que en un control periódico no se olvidará comprobar el estado de las uniones entre paños y las pruebas que hay que realizar de la resistencia de la soldadura se llevarán a cabo tanto por los procedimientos de tracción como de pelado. Además, los estudios microscópicos, bien por reflexión o bien por escáner son bastante concluyentes para conocer el estado del geosintético y seguir su evolución.

"Aplicaciones de geosintéticos en obras portuarias" fue el tema expuesto por **D. Claudio Olalla Marañón** y **D. Enrique Asanza Izquierdo**, del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, quienes afirmaron que el empleo de geosintéticos en obras portuarias todavía es limitado en España.

Los sistemas flexibles de revestimiento tienen como objeto evitar la degradación de una estructura de material erosionable. En general, lo forman, de fuera hacia dentro: una capa de cobertura, una de transición, una de filtro y una base de regularización. Son adecuados para diques de abrigo construidos con materiales finos, o como protección costera. Tras una explicación de los diversos tipos que se dan, así como de sus particularidades, se analiza el uso de geotextiles como elemento de filtro, con las ventajas e inconvenientes que tiene el emplearlos en forma de filtros granulares, así como su desempeño en las funciones de filtración, drenaje y separación. Se termina con unas referencias a experiencias reales, concretamente las realizadas en un trabajo de Mannsbart y Christopher, en el que se hizo un seguimiento a largo plazo de geotextiles no tejidos agujados, empleados en cinco emplazamientos diferentes de Austria, Alemania, Francia y Malasia, protegiendo suelos de arenas o de arcillas marinas, extrayendo muestras de geotextil que llevaban en funcionamiento de 6 a 14 años, señalando que el comportamiento del material era satisfactorio.

La **"Utilización de barreras impermeables sintéticas en la fabricación y rehabilitación de canales"** fue expuesta por **D. Car-**

los Romero Batallán, de Consultoría de Técnicas Ambientales, quien comenzó presentando algunos ejemplos de revestimiento de canales en distintas partes del mundo, a partir de distintos materiales sintéticos de impermeabilización, y, tras introducir los principales factores que influyen en las infiltraciones de los canales y los problemas más importantes que pueden acarrear los canales no revestidos ni impermeabilizados, subrayó la importancia de no impermeabilizar los canales con geomembranas (láminas) impermeables vistas, lo que justificó sobradamente. Posteriormente, definió los geotextiles como protectores de las geomembranas impermeables y poniendo como ejemplo lo realizado en un canal de Nebraska (EE.UU.) con la utilización de geomembranas de PVC, polietileno de media y alta densidad (PEMD, PEAD), polietilenos de alta densidad (PEAD) de espesores superiores o iguales a 0,5 m. Más adelante, habló de los factores de los que depende la elección del revestimiento, aconsejando que en climas adversos se tomen precauciones como la de realizar todas las uniones en puntos singulares y entre paños cuando estos están contraidos.

Continuó el ponente analizando de qué depende la duración de los revestimientos y los controles de calidad, así como las características de los materiales sintéticos empleados en la construcción de la barrera impermeable de los canales como la impermeabilidad, la flexibilidad (deformación a la rotura superior al 200% y resistencia a la fragilidad térmica a temperaturas inferiores a -30°), la resistencia (membrana de 0,5 m de espesor mínimo), adhesión a la fundación, así como otro tipo de recomendaciones como los ensayos de envejecimiento y de resistencia a animales y los controles de calidad necesarios.

Finalizó afirmando que si se construyen y conservan adecuadamente los revestimientos sintéticos de barreras impermeables, estos pueden superar los 60 años, por encima de la vida útil que tienen los revestimientos de hormigón.

D. Joaquín Morera, de Pansa, intervino con la comunicación **"Protección de geobarreras impermeabilizantes en la construcción de embalses para reserva de agua"**. En ella comenzó hablando de los tipos de geotextiles utilizados (no tejidos ligados mecánicamente por punzonado, ligados térmicamente y ligados químicamente) para pasar a su composición. Los geotextiles para esta aplicación proporcionan impermeabilidad, estabilidad y economía. Tienen funciones de protección, drenaje y filtración, y dado lo que se requiere de él, el autor recomienda una serie de parámetros mínimos, así como las exigencias y normas de ensayo según la norma UNE EN 13254:2001, proponiendo como ejemplos los geotextiles de fibra de poliéster o de polipropileno fabricados por su empresa.

Para la colocación del geotextil se recomienda un despiece sobre el plano, a fin de prevenir las líneas de corte y unión. La instalación debe comenzar por los taludes, de arriba hacia abajo, lastrando el conjunto para evitar posibles levantamientos por acción del viento.

El embalse en su coronación puede tener varias soluciones, las más utilizadas son: o bien la zanja periférica de anclaje, o bien con varillas y el lastre de un muro de hormigón, que también sirve de rompeaguas.

Para la reimpermeabilización de un embalse que ha perdido su estanqueidad se recomienda en muchas ocasiones dejar la vieja capa impermeabilizadora como base de la nueva, siendo conveniente colocar un geotextil de grosor suficiente como elemento separador entre las dos láminas. Terminó recomendando diversos tipos de geotextiles adecuados para esta tarea, y repasando la normativa existente para la aplicación de geotextiles en embalses para reserva de agua.

La **"Reparación de canales con láminas impermeabilizantes de PVC-P"** fue presentada por **D. Juan Carlos Giralt Palacín**, de Alkor Draka Ibérica, S.A. (Solvay), quien, tras destacar



D. Juan Carlos Giralt en un momento de su exposición.

que la edad media en la que se manifiestan los daños en canales se presentan en los primeros 10 años de vida de la estructura, pasó a exponer las técnicas de reparación, y, especialmente, la de canales con láminas flexibles de PVC-P. Posteriormente destacó su resistencia al punzonamiento y al desgarró, afirmando que las membranas de PVC-P presentan un conjunto de características que las hacen uno de los elementos más adecuados para revestimiento de canales, puesto que impermeabiliza en grado máximo el soporte, le protege contra la erosión y dota al canal de una superficie de baja rugosidad, además de ser un material relativamente barato y sencillo de colocación.

Tras ello presentó los tipos de láminas y de soldaduras, explicando que en los solapes, que deberán disponerse siguiendo la pendiente del talud, deberán ser igual o mayores a 50 mm, y la anchura mínima de las soldaduras mayores de 40 mm.

A continuación y tras explicar la puesta en obra, en cuanto al diseño del revestimiento, contempló factores fundamentales como el substrato, la influencia del nivel freático, así como la disposición de las láminas, analizando a continuación las juntas (unión por fusión y con disolventes) y finalizando con los anclajes, que, junto con las juntas, se eje-

cutarán en el sentido que presenten menor resistencia a la corriente, siendo siempre compatibles con el sistema de drenaje, de forma que no formen una barrera a la evacuación del agua intersticial.

En cuanto a las banquetas, donde se realizan los anclajes de coronación, deben tener una ligera pendiente ($< 1\%$) que evite que el agua y los materiales sólidos entren en el canal.

D. Javier Santalla Prieto, de Huesker, S.A., presentó la **"Protección de ribera del río Karoon en Irán"**, explicando que tiene un comportamiento irregular con cambios bruscos de caudal, que daba origen a una alta erosión en los márgenes del cauce, motivando que en las áreas erosionables próximas a zonas habitadas se hiciera necesaria una actuación. Entre las posibles soluciones se barajaron la de un muro de retención a base de gaviones, un rompeolas de tierra o la mejora de las condiciones de canalización. Finalmente, se decidió por un sistema de encofrado mediante material geosintéticos como solución al problema de estabilización, de gran rapidez de ejecución y mayor integración paisajística, ahorro en los costes de materiales y de mano de obra. La solución precisaba del empleo conjunto de un sistema de encofrados.

El talud fue dividido en tres partes mediante bermas de 4 m, la sección inferior que se encontraba en constante contacto con el agua fue cubierta con 30 000 m² de Incomat Flex. El hormigón tenía las siguientes características: arena (grano < 5 mm), 60% de volumen; grava (5<grano<19 mm), 40% de volumen; 350 kg/m³ de cemento; y 210 l/m³ de agua. Los paños de cubrición se unieron por cosido mediante dos máquinas de coser manuales y portátiles dando lugar a un conjunto unitario partiendo de paños de 500 m². La parte media del margen fue cubierta con 15 000 m² de cemento, mientras que la superior fue revegetalizada. El trabajo se desarrolló durante dos meses, con un rendimiento de cerca de 2 000 m² cada día trabajado.

Posteriormente, **D. Joaquín Morera**, de *Punsa*, presentó la **"Protección de orillas y bermas de ríos, lagos y embalses de agua sin geobarreras impermeabilizantes"**, en la que los geotextiles asumen como tarea principal la resistencia a la erosión. Este empleo es especialmente adecuado para suelos de fina granulometría que presentan riesgos de erosión de clases USCS, ML, ML-CL, SC y SM.

A continuación pasó a realizar una serie de análisis e indicaciones generales para un buen dimensionado de los geotextiles, según los condicionantes (suelo, agua, recubrimiento del geotextil, filtrado, fuerzas exteriores), sus propiedades (hidráulicas y mecánicas), así como ejemplos de aplicación, para el saneamiento de orillas con baja velocidad de corriente (>1m/s), con gran velocidad (≥2m/s), consolidación de bergas de orillas con corrientes >2m/s, cada uno de ellos con ejemplos y problemas prácticos.

Sesión de clausura y conclusiones

La sesión de clausura comenzó con la exposición de una serie de conclusiones a cargo de **D. José Martínez Santamaría**, Director técnico del simposio, quien co-

menzó por subrayar la necesidad de realizar este simposio, habida cuenta del desarrollo de este sector en estos últimos años y destacando la plausible recopilación de ponencias y comunicaciones en un libro que, en esos momentos, ya obraba en manos de los asistentes. Posteriormente hizo un resumen de las aplicaciones de los geosintéticos realizadas en los distintos campos de la obra civil, y que se ha visto en el simposio, subrayando la atención prestada al análisis realizado sobre la caracterización de los geosintéticos y su normativa, la influencia del marcado CE del 1 de octubre de 2001, que es el registro para productos en Europa, la intranquilidad del sector para poder competir en Europa, y, lógicamente, la importancia y necesidad del PG-3. En cuanto al medio ambiente, subrayó ese "despertar" hacia estos temas y la importancia que tienen los geosintéticos en el futuro, la necesidad de su adecuada normativa y la importancia, en especial, que tiene el desarrollo de todo lo concerniente a los vertederos.

Dentro del tema de carreteras y ferrocarriles, y, entre otros aspectos, subrayó la importancia del suelo pa-

ra estos sectores y la necesidad de no "particularizar" la normativa en el tema de los túneles. Igualmente afirmó que dentro de sus aplicaciones en las obras hidráulicas y portuarias, hay que avanzar en su utilización aunque aún existan dudas y miedos. Posteriormente, que debemos seguir investigando en la aplicación y creación de productos nuevos creándose una necesidad, casi obligatoriedad, de fomentar la I+D en este campo. También hay que realizar un seguimiento de todas las aplicaciones de los geosintéticos a corto, medio y largo plazo, y que la importancia de los procedimientos constructivos es algo básico para el éxito de nuestros objetivos, debiéndose generar también unos manuales apropiados de construcción.

Finalmente, que el próximo simposio no debe celebrarse tras un plazo tan largo de tiempo, conveniendo que éste se celebre transcurridos 3 años, en lugar de los 5 desde la última convocatoria, y así empezar a trabajar inmediatamente incrementando el componente técnico, porque los geosintéticos son imprescindibles y su coste económico no debe ser ningún obstáculo.

Más adelante hizo uso de la palabra **D. Francisco Criado**, Presidente de la ATC, dando las gracias a todos los que han hecho posible la realización de este simposio, no sólo a los Ministerios de Medio Ambiente y Fomento, sino muy especialmente al CEDEX, que sigue siendo una referencia básica en cuanto al desarrollo de tecnología. Tras ello, afirmó que la Asociación está al servicio del desarrollo y transferencia de tecnología, siendo un foco de intercambio y de encuentro de todo lo relativo a la carretera, siendo correa de transmisión y conexión con la AIPCR de la que formamos parte, solicitando una mayor frecuencia en la celebración de estos congresos. Finalmente, no quiso terminar su intervención sin subrayar el papel de IGS España que realiza un papel muy especial en estos temas, como así lo ha demostrado en este simposio, y agradecer los esfuerzos de las empresas patrocina-



D. Manuel Blanco contestando a unas preguntas durante el coloquio celebrado antes de la clausura del simposio.

doras y la colaboración de comités, ponentes y asistentes que han hecho posible el éxito de esta convocatoria.

A continuación intervino **D. Vicente Cuéllar**, *Presidente de IGS España y del Comité Organizador*, mostrando su gran satisfacción por el gran entendimiento habido entre IGS y la ATC, explicando la vocación y el trabajo que quiere realizar IGS España e invitando a incrementar el número de socios de esta Asociación como comité nacional de geosintéticos dentro de IGS.

Finalmente, **D. Manuel L. Martín Antón**, *Director General del CEDEX*, subrayó que este simposio ha servido para destacar lo fundamental del conocimiento técnico y de los productos para trasladarlos a la comunidad científica, y de clara utilidad para su divulgación, dentro de una gran perspectiva de incrementar el conocimiento de este sector, que redundará en una mayor



La mesa de clausura estuvo compuesta por los Sres. Cuéllar, Yagüe Córdova, Antón, Criado y Martínez Santamaría.

y mejor aplicación de los geosintéticos para solucionar problemas diarios en el diseño y la construcción de infraestructuras.

Tras dar la enhorabuena a los

presentes y felicitar a los ministerios, instituciones y empresas por este simposio, dio por clausurado este II Simposio Nacional de Geosintéticos. ■

Jornadas Técnicas organizadas por AETOS/AFTES "LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS: OBRAS VIVAS"

Toulouse, 21-23 octubre 2002

Los próximos 21 a 23 de octubre de 2002 se celebrarán en Toulouse unas Jornadas técnicas sobre "Túneles y obras subterráneas: obras vivas". Estas Jornadas se van a desarrollar por primera vez bajo el patrocinio conjunto de AETOS (Asociación Española de Túneles y Obras Subterráneas) y AFTES (Asociación Francesa de Túneles), lo que sin duda incrementa el interés que habitualmente tienen este tipo de Jornadas en nuestros respectivos países.

Por parte española estaremos representados por los responsables de las obras de más interés que se están realizando en la actualidad en nuestro país, entre las que cabe señalar los metros de Madrid, Barcelona y Bilbao, los túneles incluidos en los nuevos trazados de alta velocidad y obras tan emblemáticas como los túneles de Somport y Viella.

Las Jornadas cuentan además con el aliciente añadido de solaparse un día con el Simposio Internacional organizado por el TC28 "Obras subterráneas en suelos blandos".

Está previsto así mismo un viaje postcongreso en el que se podrán visitar las obras del túnel de Viella, metro de Barcelona y túneles de la línea de alta velocidad de Madrid-Barcelona, en los alrededores de esta última capital.

Más información en:

AETOS. C/ Almagro, 42

Tfno/Fax: 915233683

28010-MADRID

e-mail: aetos@caminos.recol.es