

Madrid, 17 de noviembre de 2008

Jornada sobre Diseño y Construcción de Muros de Escollera



De izquierda a derecha, Sres. García-Arango, Pertierra de la Uz, Trevín, Elvira y Alberola que presidieron la inauguración de la jornada.

Acto de inauguración

Comenzó este acto con las palabras de **D. Roberto Alberola**, *Presidente de la ATC*, quien subrayó la labor y el papel dinamizador e impulsor de la ATC y de sus Comités Técnicos, destacando el carácter descentralizador en lo relativo a la celebración de sus jornadas, como era el caso, y deseando el éxito de ésta que estaba dedicada a un tema de gran importancia en el diseño y construcción de infraestructuras.

Más adelante, **D. Ignacio García-Arango Cienfuegos-Jovellanos**, *Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias*, y dado lo apretado de la jornada, tan sólo quiso subrayar la gran importancia que los muros de escollera tienen en tierras asturianas, y lo apropiado del tema elegido para esta jornada, que daría pie a analizar y divulgar experiencias de suma utilidad pa-

ra todos los ingenieros.

A continuación tomó la palabra **D. José Luis Elvira**, *Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento*, quien agradeció la asistencia de las personalidades y congresistas, y destacando la importancia que tiene la geotecnia para su departamento, así como lo necesario de su es-

tudio, de adecuar toda la reglamentación técnica y normativa a la situación actual, y el papel relevante de la ATC como vehículo divulgador de técnicas, tecnologías y experiencias.

También adelantó algunos temas para otras jornadas, fruto de la preocupación constante por la mejora de nuestras infraestructuras. Finalmente volvió



Vista parcial de la sala en la que se aprecia el éxito de la convocatoria.

a agradecer tanto a la ATC como a ponentes y asistentes su participación en esta jornada.

D. José María Pertierra de la Uz, *Director General de Carreteras del Gobierno de Cantabria*, subrayó la oportunidad de la celebración de estas jornadas, dada la gran complejidad de los estudios geotécnicos en terrenos, a veces muy difíciles, y cuya necesidad de estudio no sólo se circunscribe a obras singulares como túneles o viaductos, sino a la propia contención de terrenos. Tampoco quiso finalizar su intervención sin subrayar la necesidad de la reutilización de materiales, dentro del compromiso de sostenibilidad que nuestra sociedad demanda y asume.

Cerró el acto de inauguración, **D. Antonio Trevín Lombán**, *Delegado del Gobierno en Asturias*, quien, tras decir que esta jornada aparentemente estaba un tanto desligada de sus funciones, no lo era así, puesto que la construcción de obras, la formación técnica de este sector de la sociedad y la necesaria actualización normativa era de interés para la sociedad civil de la que él era parte integrante y representante. Tras ello, destacó la labor de la ATC como asociación independiente y transmisora de la técnica y de las tecnologías, y de su íntima y necesaria colaboración con los órganos del Estado, en concreto y especialmente, con la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Posteriormente, destacó a los muros de escollera como una de las soluciones más habituales en Asturias y lo importante de su estudio, análisis e intercambio de experiencias. Finalizó su



D. Álvaro Parrilla presentó los aspectos teóricos de la Guía para el Proyecto y ejecución de muros de escollera en obras de carretera.

intervención mostrando un gran orgullo por la labor del Ministerio de Fomento en Asturias y citando algunas obras de gran dificultad y en las que los muros de escollera han sido fundamentales.

Desarrollo de la jornada

Comenzó el turno de intervenciones con la presentación de **D. Álvaro Parrilla**, del *Ministerio de Fomento*, quien expuso la **“Presentación de la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera. Aspectos teóricos”**. En ella, efectuó una introducción al contenido de la nueva Guía, que sustituye a las Recomendaciones de 1998, y subrayando como cuestión fundamental que, para poder aplicarla, es preciso seguirla en todos sus aspectos, ya que los métodos de

cálculo propuestos están directamente relacionados con los procedimientos de ejecución y control que en ella se describen y con la calidad de los materiales empleados.

Las obras de escollera referidas en la Guía están constituidas por bloques pétreos obtenidos mediante voladura, con formas prismáticas e irregulares y superficies rugosas.

La publicación distingue entre escollera vertida, compactada y colocada, siendo los muros recogidos en la misma un caso particular de estas últimas. Asimismo, se señaló la existencia de una serie de tipologías excluidas del contenido de la Guía, tales como los muros de bloques paralelepípedicos, la escollera hormigonada, etc.

Las principales ventajas de los muros de escollera, frente a otros tipos de muro, radican en su facilidad de drenaje, integración ambiental y relativa adaptabilidad a movimientos diferenciales del terreno. En la presentación se estableció una clara división entre muros de escollera colocada de contención y de sostenimiento, y se abundó en sus particularidades y diferencias.

A continuación, se indicaron las partes que componen un muro de escollera: cimient, cuerpo, trasdós y elementos de drenaje; señalando sus características esenciales e incidiendo en la necesidad de hormigonar el cimient y definirlo con una profundidad



Otra perspectiva de la sala, en la que aparecen tanto autoridades como ponentes.



D. Francisco Ballester Muñoz expuso los aspectos constructivos de la Guía, objeto de las dos primeras intervenciones.

mínima, dotar al plano de cimentación e hiladas de bloques de una determinada contrainclinación (3H:1V), dar al muro una anchura mínima e inclinación máxima en cualquier punto del mismo, garantizar su drenaje y disponer materiales de una determinada calidad en el trasdós.

Por último, y en lo relativo a los bloques propiamente dichos, se pusieron de manifiesto los principales requisitos que deben cumplir, tomando como referencia los criterios reflejados en la norma europea UNE EN 13383 Escolleras, que las agrupa en geométricas, físicas, químicas y de durabilidad.

A continuación, **D. Francisco Ballester Muñoz**, de la *Universidad de Cantabria*, intervino con los **“Aspectos constructivos”** de la mencionada Guía. Tras referirse a sus orígenes (1975) y tras citar los primeros muros de escollera que se construyeron en España (N-611), justificó el desarrollo de la hidráulica y de la electrónica, lo que ha favorecido la manipulación de grandes muros de escollera. Posteriormente informó que, en 1985, la Dirección General de Carreteras encargó el primer estudio mundial sobre la ejecución de muros de escollera, en el que se realizaron una serie de ensayos, con el fin de valorar los parámetros que rigen el comportamiento de las piedras de escollera colocadas en muros. Con estos

ensayos, se conocieron no sólo el parámetro del rozamiento global, sino también las leyes de tensión-deformación, y los desplazamientos necesarios para movilizar la resistencia máxima de la escollera.



D. José Luis Carrera Rodríguez presentó algunas experiencias recientes de muros de escollera, ejecutados en la Cornisa Cantábrica.

Tras explicar las leyes *esfuerzo-desplazamiento* y cómo se obtuvieron los parámetros geomecánicos *escollera-escollera*, informó sobre los diez ensayos que se realizaron, deteniéndose en la valoración de los ángulos de rozamiento, y presentando, posteriormente, un breve resumen de las recomendaciones constructivas de los muros de piedras de escollera. Entre otras, que la máqui-

na más adecuada para la colocación de piedras de escollera en el muro será una excavadora con equipo retroexcavador o con cuchara de pinzas u otros artílu-gios similares, aconsejando el empleo de máquinas sobre orugas de potencia no inferior a 120 CV.

Posteriormente afirmó, entre otras cosas, que la producción en la construcción de muros de escollera depende de la potencia de la máquina y capacidad del cazo o pinza, del tamaño de las piedras de escollera y de la duración del ciclo básico y habilidad del maquinista, habló de las condiciones favorables, medias o desfavorables y en función de qué factores se pueden calificar de esta forma. Finalizó defendiendo que debe estudiarse la ubicación tanto de la máquina como del lugar donde se depositen las piedras de escollera.

A continuación, **D. José Luis Carrera**, del *Ministerio de Fomento*, presentó las **“Experiencias recientes en la Cornisa Cantábrica”**. La compleja orografía de la zona que nos ocupa, con presencia de cadenas montañosas re-

lativamente cercanas a la costa, que habitualmente se desarrollan en una disposición paralela a ésta, surcadas transversalmente, además, por numerosos valles fluviales, hace que la implantación de cualquier estructura lineal sea compleja y costosa.

Asimismo, y como consecuencia del alto valor ambiental de toda el área cantábrica, se hace obligado un concien-

zudo análisis medioambiental de toda realización sobre este entorno, siendo siempre condición necesaria el análisis del “escenario cero” previo a la implantación de las infraestructuras para valorar, incluso, la conveniencia de su construcción.

El tan manido binomio progreso-respeto del medio, adquiere singular relevancia en áreas dónde las especiales características de este último le confieren un estatus de protección que sobrepasa el estándar habitual.

Todo ello ha de ser un factor más a tener en cuenta (por supuesto, no el único, ni siquiera, en ocasiones, el más relevante) por el técnico proyectista a la hora de concebir las infraestructuras que haya de diseñar; es en este punto cuando los distintos actores en el proceso que desemboca en la entrega a la colectividad de este tipo de bienes tan necesarios para el desarrollo, se han de plantear la inclusión de materiales y técnicas constructivas respetuosas con el entorno. Ese respeto al entorno se materializa, entre otras cuestiones, intentando lograr el máximo aprovechamiento, en cada situación, de los materiales alterados por la actuación. No se debe renunciar al logro del utópico escenario del “vertedero cero”.

Es en este contexto en el que adquieren especial relevancia las técnicas constructivas que se iban a analizar, dado que a sus notables ventajas formales y funcionales para el cometido que se les adjudica, unen otras ventajas tales como el factor económico (en determinadas circunstancias) y la capacidad de integración en el entorno, que son los aspectos que se comentaron en esta ponencia.

D. Luis Sopena Mañas, de la *Universidad Politécnica de Madrid*, intervino con los **“Comentarios generales sobre el Proyecto de muros de escollera”**. En su exposición comentó y desarrolló con detalle el contenido del Apartado nº 4 de la “Guía para el Proyecto y Ejecución de Muros de Escollera en Obras de Carretera” (Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento, 2007), que se refiere, en concreto, a los parámetros geomecánicos que hay que adoptar y al procedimien-



“Comentarios generales sobre el Proyecto de muros de escollera” fue el tema elegido por D. Luis Sopena Mañas para su intervención.

to de cálculo.

Para el ponente, es importante precisar de entrada, que, como se recoge en la Guía, el tipo de escollera particular que se contempla para la constitución de estos muros es la denominada “escollera colocada”, cuyas características y forma de ejecución son objeto de otros apartados.

En el marco general, que abarca el epígrafe dedicado a los cálculos y dimensionamiento de este tipo de muros, deben contemplarse dos grandes aspectos: uno se refiere a la determinación de los valores de los parámetros geomecánicos básicos que requieren los modelos utilizados, y conforman su comportamiento; y el otro lo constituyen, precisamente, los modelos de cálculo

que se consideran más oportunos, y los procedimientos y sistemática para su empleo.

A continuación intervino **D. Carlos Oteo Mazo**, de la *Universidad de Coruña*, con la ponencia **“Los muros ecológicos”**. Su intervención se dedicó, principalmente, a un tipo de “muros” que se viene utilizando habitualmente en obras lineales para arreglar problemas de inestabilidad de taludes, aunque, en ocasiones, ya se está usando como verdadera estructura de contención de terrenos: los muros de escollera. Esta “estructura” de “mampuestos” rocosos, sin apenas trabazón, con hormigón hidráulico en la base, es un verdadero “muro ecológico” en el sentido de que sólo se ven elementos “naturales” (las escolle-



D. Carlos Oteo Mazo en un momento de su intervención.



Dña. Oihane Ansa presentó la primera de las comunicaciones libres.

ras) y no aparecen elementos elaborados y transformados por la mano del hombre.

Sin embargo, el Comité de Geotecnia Vial de la ATC ha querido ampliar el contenido de esta Jornada a otras soluciones de contención de tierras: las denominadas comúnmente como "ecológicas", las cuales derivan del intento de disimular el paramento de los antiguos y clásicos muros de hormigón armado, cuyo paramento gris (la mayor parte de las veces, sin ninguna "gracia") quedaban, poco a poco, oscurecidos y

omallas" en la que la Sra. Ansa, tras hacer una introducción, se detuvo en los parámetros geotécnicos del diseño, las geomallas de refuerzo de un muro vegetalizado y los modos de rotura de un muro, haciendo también una comparativa de un mismo diseño teniendo en cuenta todos los modos de rotura. Para la ponente, se pudo comprobar que es de vital importancia el estudio conjunto del muro-ladera, ya que si sólo se estudia la estabilidad interna, el factor de seguridad puede ser inferior al que la normativa y el estado del arte actual



Dña. Marta Muro

manchados (ennegrecidos) por la acción del agua y arrastres que tierra vegetal.

A continuación, y para finalizar la jornada de mañana, tuvo lugar la presentación de comunicaciones libres. **Dña. Oihane Ansa** y **D. Iñaki Amigot**, de *Huésker*, presentaron la comunicación **"Diseño de muros reforzados con ge-**

establece.

Para aumentar el factor de seguridad global, defendió que se puede recurrir a aumentar la longitud y/o la resistencia de las geomallas, y esto se refleja en un aumento del coste del 40-50%, respecto a la situación de rotura interna del macizo reforzado. Esta es la ra-

zón de que sea muy habitual encontrar en el mercado diseños que no son correctos y que no consideran más que a la estabilidad interna, con el fin de abaratar este tipo de estructuras.

Su última reflexión fue para explicar que con un ejemplo sencillo, como el presentado, se expone una realidad que jamás los técnicos deberían aceptar como válida: estamos diseñando estructuras cuyo fracaso puede acarrear la pérdida de vidas humanas.

"Muros ecológicos. La importancia de la base de apoyo de la estructura", fue presentada por **Dña. Marta Muro**, de *Terratest Medioambiente, S.L.*, en la que, tras hacer una breve introducción y exponer los posibles fallos por la base del muro, explicó el caso práctico de la ejecución de un muro ecológico en Madrid, con el que llegó a unas conclusiones. Entre ellas que, al igual que con cualquier otro tipo de estructuras, el muro ecológico debe estar correctamente apoyado sobre un terreno firme, y capaz de soportar el peso de tierras que el propio muro ejerce sobre el terreno.

Una de las posibilidades de mejora del terreno base de un muro consiste en utilizar la técnica de columnas de grava. Este tipo de trabajos hace que el terreno se comporte como un elemento flexible, permitiendo deformaciones controladas que son más acentuadas durante la ejecución de los trabajos.

El muro ecológico también es un elemento flexible que se adaptará a las deformaciones del terreno.

D. Miguel Peláez Ruiz, de *Tierra Armada* intervino con **"Muros de tierra armada con paramento de mallazo: muros en la IP3 (Portugal) y otras realizaciones"**. Tras aclarar que los muros de tierra armada son aquellos en los que el paramento tradicional compuesto por paneles de hormigón es sustituido por una malla de acero corrugado, permitiendo tanto un acabado vegetal como mineral, diferenció, dentro del acabado de mallazo en paramento, entre rellenos de piedras y los de paramento inclinado que, a su vez, pueden acabarse tanto en roca como con una primera capa de relleno vegetal que permite el crecimiento de hierba u otras plantas. Des-



D. Miguel Peláez.



D. José Luis Cuenca.

pués presentó tres muros de suelo reforzado en el tramo Vila Real-Regua, de la autopista IP3 Norte-Interior en Portugal, que son ejemplos de acabado con paramento vertical de tipo mineral: dos de ellos muros de gran altura ejecutados en dos escalones, y, un tercero, sin escalonar. De ellos presentó el sistema de montaje y su posterior acabado para, posteriormente, presentar otros ejemplos de muros inclinados o verticales con terminación mineral o vegetal como el muro en la N2, entre Umtata y Port-Elizabeth (Sudáfrica), los realizados en Seydisfjörður (Islandia), y finalizando con los ejemplos llevados a cabo en Can San Joan, en San Cugat, o los muros

puso la comunicación **“Estructuras de suelo reforzado con geosintéticos: Aplicaciones singulares”**, en la que describió dos aplicaciones singulares de estructuras de suelo reforzado con geosintéticos llevadas a cabo recientemente en España. La singularidad del primer caso consistió en la utilización de suelos finos de la traza, reforzados por medio de geocompuestos de refuerzo, en un relleno de 16 m de altura, en una obra de alta velocidad ferroviaria. En concreto, en el proyecto constructivo “Variante Ferroviaria de la línea Madrid-Hendaya. Infraestructura, tramo 1”, en Burgos. De esta ejecución expuso la descripción del relleno y del

El segundo caso consistió en una construcción temporal: una precarga sobre cajones en el muelle del puerto de Barcelona que fue reforzada con geotextiles tejidos, para optimizar la consolidación de la banqueta de apoyo de los cajones. De esta obra expuso la descripción del relleno, los condicionantes del contorno de la estructura, la descripción del geosintético utilizado, así como la tipología del muro y el procedimiento constructivo final, que se resolvió por el sistema denominado de tongada envuelta con encofrado removable.

D. Francisco Peral y D. José Ramos Gómez, de *Iberinsa*, presentaron el tema **“Escolleras para estabilizar vertederos de obras lineales. Un ejemplo práctico”**, exponiendo los estudios realizados a nivel de diseño geotécnico para asegurar la estabilidad de la solución propuesta para un vertedero en Asturias. En paralelo al diseño geotécnico, el Sr. Peral informó que se realizó un proyecto de drenaje del vertedero para encauzar un arroyo existente, y, de esta forma, asegurar el correcto drenaje de las aguas de escorrentía y de los suelos superficiales.

La vaguada donde se ubica el vertedero tiene un afloramiento de roca en su pie, que únicamente se ve interrumpido unos 50 m por el paso de un arroyo. La solución planteada consistió en la construcción de un dique de escollera, en forma de presa, en este punto con el fin de dar continuidad al aflora-



D. Francisco Peral.

de la carretera que conduce túnel del monte Blanco, en Italia.

D. José Luis Cuenca Lorenzo, de *TenCate Geosynthetics Iberia, S.L.*, ex-

puso la comunicación **“Estructuras de suelo reforzado con geosintéticos: Aplicaciones singulares”**, en la que describió dos aplicaciones singulares de estructuras de suelo reforzado con geosintéticos llevadas a cabo recientemente en España. La singularidad del primer caso consistió en la utilización de suelos finos de la traza, reforzados por medio de geocompuestos de refuerzo, en un relleno de 16 m de altura, en una obra de alta velocidad ferroviaria. En concreto, en el proyecto constructivo “Variante Ferroviaria de la línea Madrid-Hendaya. Infraestructura, tramo 1”, en Burgos. De esta ejecución expuso la descripción del relleno y del



D. Pedro Ramírez.

miento en roca. El dique tiene un ancho de 4 m en coronación, 15 m de altura y unos taludes con pendientes 1H:2V. Por lo tanto, la anchura de la base es de 19 m. El dique se apoyará siempre en roca, haciéndose las excavaciones necesarias para cumplir esta condición. La base del dique se hormigona (hasta 1 m de altura) para asegurar el mejor contacto entre dique y sustrato rocoso. A continuación, y por encima del dique, se ejecuta una primera berma con material de vertedero compactado en tongadas de 0,5 m de espesor. La pendiente del tramo es de 4H:3V y berma de 6 m de ancho situada en la cota +525. Para asegurar que el agua no afecte a esta primera zona, se coloca un material drenante entre coluvión y el relleno, así como en el trasdós de esta primera zona de relleno. A partir del relleno, se hace una pendiente contante de 1V:2H con bermas de 6 m de ancho cada 12 m. El material de relleno será compactado en tongadas de 1 m. Para su ejecución se aplican las recomendaciones constructivas presentadas en la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escolleras en obras de carreteras.

D. Pedro Ramírez Rodríguez, de *Typsa*, intervino con la comunicación **"Muros de escollera en el nuevo túnel cremallera del Roc del Nui, Ribes-Núria. FGC"**, de la que es autor junto a **D. Xavier Gost Mayans**. Tras expli-

car, entre otras, la ubicación, los procedimientos, cómo se realizó el diseño y las precauciones constructivas observadas con el muro (disposición de sistemas de drenaje, adecuada contrapendiente en el apoyo, la preparación rugosa de la superficie de apoyo en el arranque del cimiento, la "rotura" de los



D. Jesús Moreno Galdó.

planos de contacto entre hiladas sucesivas y la adaptación escalonada del arranque del cimiento) y los coeficientes de seguridad comprobados, llegó a una serie de conclusiones.

Para el ponente, el muro de escollera hormigonada ha permitido una mínima necesidad de excavación para el encaje del emboquille, un mínimo descalce

del coluvial por medio de excavación localizada, así como una rápida ejecución: inferior a 4 semanas. Además, tuvo un bajo coste relativo, y se ha caracterizado por un diseño flexible, fácilmente adaptable a las características del entorno, permitiendo la incorporación de elementos que han favorecido su estabilidad, como drenes, cunetas, bulones y barreras dinámicas. Finalmente subrayó el mínimo mantenimiento que requerirá durante su vida útil y la muy adecuada integración paisajística con el entorno.

D. Jesús Moreno Galdó y **Dña. Marta Martín Martín**, de *Idom*, presentaron la comunicación **"Casos prácticos de aplicación de muros de escollera"**, exponiendo algunas situaciones en las que resulta especialmente conveniente la ejecución de una solución basada en la escollera, describiendo la problemática de cada caso y exponiendo los motivos por los que se escoge este tipo de solución.

El Sr. Moreno resumió las ventajas de este tipo de muro, defendiendo que reduce la ocupación en planta respec-

to a taludes de desmonte o relleno, ya que se puede adoptar una pendiente superior del paramento exterior. Además, reduce el coste de ejecución frente a otro tipo de muros, cuando existe excedente de material apropiado en la obra.

Así mismo, mejora el aspecto estético del muro que se integra mejor en el



D. Fernando Pedraza hizo una presentación centrada en las experiencias recientes.

entorno, posibilita la ejecución en zonas potencialmente inundables o con problemas de afluencia de agua. Finalmente, destacó su resistencia a la erosión y a las socavaciones en cauces.

Tras el almuerzo de trabajo, **D. Fernando Pedraza Majarrez**, del *Ministerio de Fomento*, expuso **“La ejecución de muros de escollera en el tramo Puerto de Béjar-Aldeanueva del Camino de la Autovía de la Plata”**, afirmando que la construcción de este tramo de autovía constituye una variante del difícil trazado que presentaba la N-630 a su paso por el puerto de montaña existente entre las provincias de Cáceres y Salamanca.



En la foto, Dña. Belén Monercillo, Asesora Técnica de la ATC, quien presidió la última de las mesas.



Debate final.

La necesidad de encajar la plataforma de una autovía en un terreno tan accidentado, y con un valor ambiental

apreciable, obligó a optar por proyectar las secciones a media ladera desplazadas hacia el relleno, reduciendo el im-

pacto de los taludes de desmonte. Este objetivo implicó la necesidad adicional de recortar la ocupación de los rellenos mediante muros.

Buscando la integración ambiental de la obra, la tipología finalmente adoptada fue la de muros de escollera. Por ello, se construyeron 135 000 m³ de muros de este tipo, con un total de 2200 m de longitud, y una altura máxima total de 22 m.

La solución elegida proporciona también la ventaja de poder ser ejecutados, previa selección, con el material procedente de la excavación (granitos en este caso).

Los muros de escollera son una solución plenamente integrada en el pro-

pio relleno de sostenimiento de la vía, y quizás constituye su elemento más importante dada su marcada función estructural; pero, el resto de zonas también tienen un papel que debe ser tenido en cuenta para alcanzar un diseño eficiente.

Como conclusión se pudo afirmar que se trata de una solución especialmente adecuada para resolver trazados en entornos de alto valor ambiental, y que, estructuralmente, se puede alcanzar una rigidez semejante a la proporcionada por otros tipos de muro.

La jornada finalizó con un interesante debate a cargo de ponentes y asistentes en el que se analizaron diversas cuestiones relativas tanto a casos puntuales como a intercambios de experiencias. ■