

Madrid, 16 de noviembre de 2007

Jornada sobre diseño y construcción de muros de escollera



De izquierda a derecha, D. Francisco Ballester (ponente), D. Carlos Oteo (Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC), D. José Luis Elvira, que presidió el acto de inauguración, y D. Álvaro Parrilla (ponente).

A continuación publicamos un breve resumen de las intervenciones que tuvieron lugar en la jornada, para cuya realización, de forma excepcional, solicitamos ayuda a los ponentes, algunos de los cuales y por causas ajenas a su voluntad no pudieron enviar un amplio resumen de su intervención. Por ello, pedimos disculpas por la falta de homogeneidad de los citados resúmenes e invitamos a la completa lectura de sus ponencias, en el CD que ha sido editado por la Asociación Técnica de Carreteras.

Desarrollo de la jornada

El día 16 de noviembre y en el salón de actos Agustín de Betancourt

del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, tuvo lugar esta jornada, cuya inauguración estuvo a cargo de **D. José Luis Elvira**, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Tras justificar sobradamente la ausencia del Presidente de la Asociación, D. Roberto Alberola, comenzó su intervención recordando la gestación de la "Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera", desde el primer documento técnico específico en castellano de 1998, hasta la actualidad. Tras ello agradeció a los ponentes y empresas constructoras los esfuerzos realizados, y la necesidad de conjuntar las sinergias, fruto de los conocimientos, para potenciar el desarrollo de las infraes-

tructuras viales, subrayando lo fructífero y eficaz que resultan este tipo de jornadas, destacando las recientes de Sevilla y de Madrid. Posteriormente fue presentando a los ponentes, destacando la labor de todos ellos y agradeciendo que una nueva generación de técnicos comiencen a recoger el testigo de comparecer y colaborar en este tipo de jornadas. Igualmente, alabó la labor de los miembros del Comité de Geotecnia Vial, quienes, a su parecer, siguen una política de celebraciones y convocatorias que cree deberían seguir otros comités. Por ello, justificó la necesidad de realizar al menos dos convocatorias como la presente por cada Comité, lo que daría lugar a un intercambio constante de experiencias, innovaciones, ideas, estudios, etc., de lo que se beneficiarían



El Sr. Parrilla en un momento de su intervención

todos los ingenieros. Finalmente, destacó una reflexión sobre la sostenibilidad y la ayuda al desarrollo, haciendo referencia, entre otras cosas, a la jornada que Ingeniería sin Fronteras había realizado el día anterior, y subrayando que la Guía, objeto de la presente jornada, es muy conveniente para los países en desarrollo.

A continuación, se procedió a dar paso a los ponentes de la jornada.

D. Álvaro Parrilla Alcaide, del Ministerio de Fomento, expuso la “Presentación de la Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera. Aspectos teóricos”. Comenzó efectuando una breve introducción al contenido global de la Guía, que sustituye a las Recomendaciones de 1998, y que está dividida en cinco capítulos y cuatro apéndices, cada uno de los cuales fue desarrollado con mayor detalle por alguno de los ponentes.

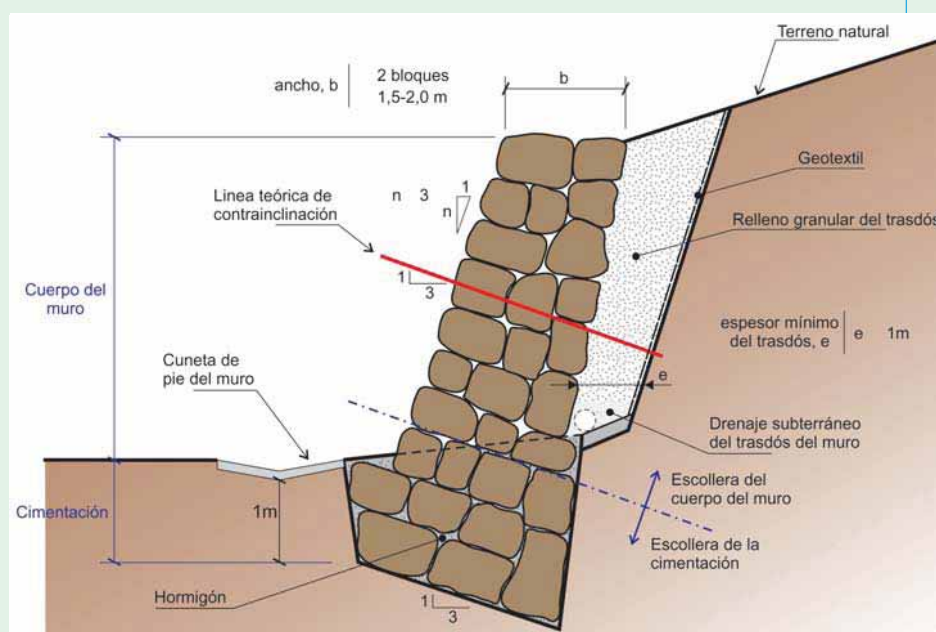
Se subrayó expresamente, y con carácter previo, que el texto pretende servir de orientación en el proyecto, ejecución y control de este tipo de muros, basándose en la experiencia acumulada en la Dirección General de Carreteras en la última década. Para poder aplicar la Guía es preciso seguirla en todos sus aspectos, ya que

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

Las obras de escollera están constituidas por bloques pétreos, obtenidos generalmente mediante voladura, con formas más o menos prismáticas y superficies rugosas. La Guía distingue entre escollera vertida, compactada y colocada, siendo los muros en obras de carretera un caso particular de esta última tipología. Sus principales ventajas, frente a otros tipos de muro, radican en su facilidad de drenaje, integración am-

ra colocada de contención y de sostenimiento y se abundó en sus particularidades y diferencias. Asimismo, se señaló la existencia de una serie de tipos expresamente excluidos del contenido de la Guía, tales como los muros de bloques paralelepípedicos, la escollera hormigonada, etc.

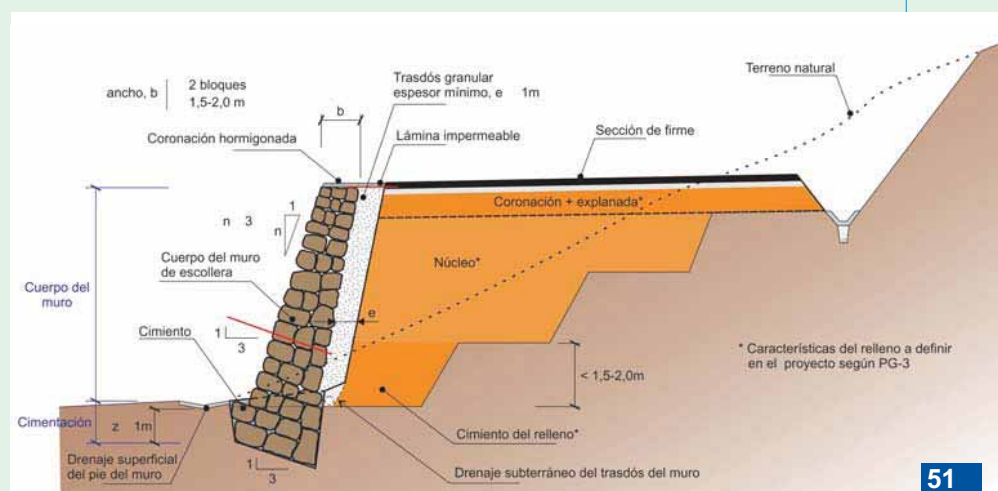
A continuación, se indicaron las partes que componen un muro de escollera colocada (cimiento, cuerpo, trasdós y elementos de drenaje), señalando sus características esenciales e incidiendo particularmente en la necesidad de hormigonar el cimiento y definirlo con una profundidad mínima, dotar al plano de cimentación e



biental y adaptabilidad a los movimientos diferenciales del terreno.

Posteriormente, se estableció una clara división entre muros de escole-

hiladas de bloques de una determinada contrainclinación (al menos, el 3H:1V), dotar al muro de una anchura mínima e inclinación máxima en





Portada de la Guía publicada por el Ministerio de Fomento.

cualquier punto del mismo, garantizar su drenaje y disponer materiales de una determinada calidad en el trasdós.

Por último, y en lo tocante a los bloques de escollera, puso de manifiesto los principales requisitos que deben cumplir los mismos, tomando como referencia los criterios reflejados en la norma europea UNE EN 13383 Escolleras. Se consideran relevantes las siguientes características, para las que la Guía indica los valores que, en cada caso, se consideran más adecuados:

- Geométricas: granulometría, forma y proporción de superficies trituradas o rotas.
- Físicas: densidad seca, integridad de los bloques y resistencia a la fragmentación y a compresión simple.
- Químicas y de durabilidad: estabilidad química, frente a la inmersión en agua y a ciclos humedad-sequedad, absorción de agua, resistencia a la cristalización de las sales, a congelación y deshielo; y, en las rocas basálticas, la consideración del denominado efecto Sonnenbrand.

Posteriormente, **D. Francisco Ballester Muñoz**, de la *Universidad de Cantabria*, intervino con los **“Aspectos constructivos”** del mismo tema de su anterior ponente. Afirmó que los orígenes de este libro deberíamos



D. Francisco Ballester.

buscarlos en los últimos años setenta, del siglo pasado, cuando en 1975, “dirigimos la construcción del primer muro de escollera con el tipo y forma constructiva desarrollada en este trabajo”.

Tras justificar que el desarrollo de la hidráulica en las excavadoras, y posteriormente la electrónica, permitió a las excavadoras hidráulicas coger y manipular grandes bloques de escollera, informó que el primer muro de escollera construido en una obra del Ministerio de Fomento en España fue en la N-611, en la supresión de “Las trece curvas de Oruña” (1979); y que en 1985, por encargo de los Servicios Técnicos de

la Dirección General de Carreteras del entonces Ministerio de Obras Públicas, se realizó el primer estudio mundial sobre la ejecución de muros de escollera con el título de “Estudio de la caracterización geomecánica de muros de escollera en obras de carretera”, en el que se realizaron una serie de ensayos, con el fin de estimar los parámetros que rigen el comportamiento de las piedras de escollera colocadas en muros.

Tras exponer cómo era la instalación diseñada para realizar estos ensayos y explicar cómo se realizaron, afirmó que, con estos ensayos, se conocieron no sólo el parámetro del rozamiento global, sino también las le-



Vista general de la sala principal.

yes de tensión-deformación, y los desplazamientos necesarios para movilizar la resistencia máxima de la escollera.

A partir de las leyes *esfuerzo-desplazamiento* que se generaron en los ensayos, se obtuvieron los parámetros geomecánicos *escollera-escollera*.

Se realizaron diez ensayos, en los cuales se variaba el tamaño de la escollera y su forma de colocación y la sobrecarga.

Representando la ley s_0-t_r , es decir, tensión normal aplicada-tensión tangencial en rotura, y ajustando estas leyes por mínimos cuadrados.

De esta manera se dedujo que el ángulo de rozamiento residual, o sea, el ángulo de rozamiento en deslizamiento de corte podía estar en torno a los 43° , valor que debería ser ligeramente superior al ángulo básico de rozamiento en las condiciones del ensayo.

Ya entonces se comprobó que los resultados eran concordantes con los obtenidos por otros autores como



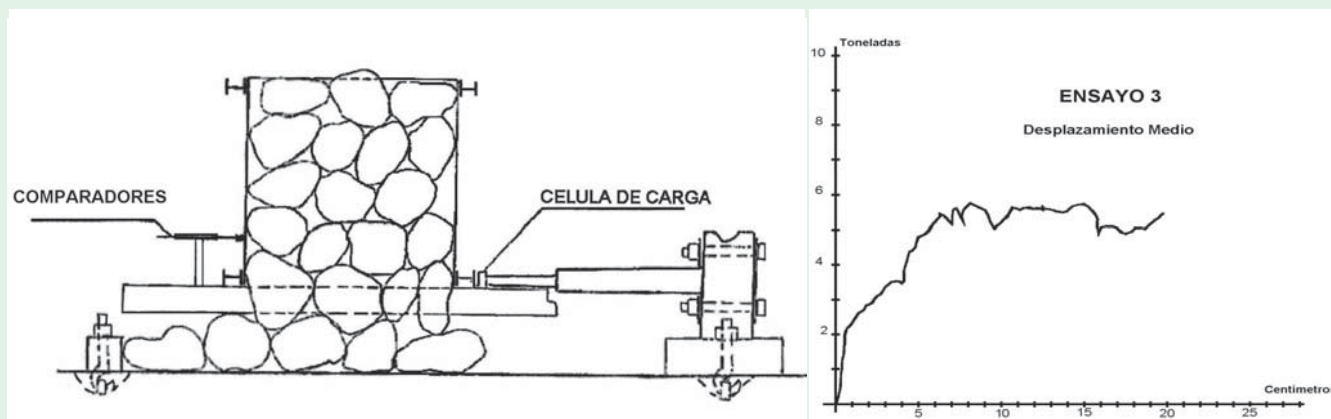
D. Fernando Pedraza en un momento de su intervención.

la resistencia a compresión de las piedras ($s_c/100$).

Posteriormente, presentó un breve resumen de las recomendaciones constructivas de los muros de piedras de escollera:

La máquina más adecuada para la colocación de piedras de escollera en el muro será una excavadora con

za; tamaño de las piedras de escollera; duración del ciclo básico y habilidad del maquinista. Así mismo, con el empleo de excavadoras con pinzas para la manipulación y colocación de las escolleras se consiguen mejores rendimientos; además de que, una vez situada y cogida la piedra de escollera en una posición ade-



El imagen de la izquierda, esquema del aparato de ensayo citado por el profesor Ballester. A la derecha, ejemplo de resultado gráfico de ensayo.

Matsumoto y Watanabe, dos años después, en el año 1987. El principal interés del trabajo de estos autores está en la cantidad de ensayos triaxiales que realizaron. Determinando con estos ensayos, al igual que con los que se han realizado en este trabajo, la existencia de una cohesión aparente, que se hace más evidente cuando se trabaja con bajos niveles de esfuerzos como los existentes en los muros de escollera de altura no superior a 15 m, equivalente a 1% de

equipo retroexcavador o con cuchara de pinzas u otros artilugios similares. Las características del trabajo a realizar aconsejan el empleo de máquinas sobre orugas de potencia no inferior a 120 CV.

La producción en la construcción de muros de escollera depende de tres factores fundamentales que se deben tener en cuenta, tanto en la elección de la máquina, como en su aspecto operativo: potencia de la máquina y capacidad del cazo o pin-

cuada, la máquina debe generar la potencia necesaria para elevarla y transportarla, con unas mínimas condiciones de estabilidad y seguridad.

Más adelante, expuso que las condiciones "favorables", "medias" o "desfavorables" serán función, entre otros, de los siguientes factores: forma y tamaño de la piedra de escollera, forma y tamaño del muro, potencia de la excavadora, útiles de trabajo (capacidad de la pinza o del cazo), colocación de la máquina respecto el

muro, habilidad del maquinista, elementos auxiliares, topografía, etc.

Así mismo, prosiguió, debe estudiarse la ubicación tanto de la máquina como del lugar donde se depositen las piedras de escollera, para adoptar la solución en que el operador tenga una buena visibilidad de ambas áreas y la máquina garantice un número mínimo de movimientos para realizar su trabajo.

Tras un pequeño descanso, **D. Fernando Pedraza Majárrez**, del *Ministerio de Fomento*, intervino con su ponencia titulada "Experiencias recientes: La ejecución de muros de escollera en el tramo Puerto Béjar-Aldeanueva del Camino de la autovía de la Plata". En ella expuso que, dentro de la construcción de la Autovía de la Plata, en el tramo comprendido entre Puerto de Béjar y Aldeanueva del Camino, hubo la necesidad de encajar la plataforma de la autovía en un terreno muy accidentado, y con un valor ambiental apreciable. Tal situación obligó a optar por proyectar las secciones a media ladera desplazadas hacia el relleno, reduciendo el impacto de los taludes de desmonte. Este objetivo implicó la necesidad adicional de recortar la ocupación de los rellenos mediante muros. Buscando la integración de la obra, la tipología finalmente adoptada ha sido la de muros de escollera. Se construyeron 135 000 m³ de muros de esta tipología, con un total de 2200 m de longitud, y una altura máxima total de 22 m (incluida la cimentación). La solución elegida proporcionaba también la ventaja adicional de poder ser ejecutados, previa selección, con el propio material procedente de la excavación.

En la construcción de un muro de escollera no se recurre a la compactación de los bloques de roca constituyentes, pudiendo hablarse de una estructura de mampostería caracterizada por ser:

- Careada, ya que buscamos presentar al exterior las superficies menos irregulares.
- Aparejada en seco, puesto que realmente colocamos la escollera en



D. Luis Sopeña en un momento de su intervención.

hiladas sin ningún tipo de ligante envolviendo los mampuestos.

- Ripiada, ya que recibamos la escollera para mejorar el reparto de las cargas de contacto.

El ciclo de trabajo comienza en el frente de voladura, donde ya se requiere una primera selección de material y debe preverse un acopio intermedio para los bloques, de tal forma que no se interfiera con la maquinaria de excavación. También deben preverse los caminos de acceso al frente de construcción del muro, que irán variando con su progreso.

Los bloques de escollera se colocaron en hileras mediante retroexcavadora de cadenas con cazo de gran tamaño, evitando la continuidad de las juntas verticales. Es conveniente evitar que el muro quede constituido transversalmente por un bloque grande en la cara vista y otros de menor tamaño hacia el trasdós. La ejecución de las distintas hileras ha ido acompañada con el recrecido del relleno del trasdós con material de transición. La colocación de este material cumple varias funciones: reparte y reduce los empujes del terreno, evita la pérdida de material más fino del relleno y proporciona una plataforma de trabajo a la maquinaria.

En todas estas operaciones se considera fundamental el buen hacer del operario de la máquina, ya que son básicas la elección de las piedras más adecuadas en cada hilada, la correc-

ta posición de las mismas, la elección de la cara de apoyo ó de la cara exterior de cada bloque, la trabazón, etc.

Una vez terminado el paramento del muro, se ha regularizado la coronación con piedra de menor tamaño y hormigón en masa. Esto ha permitido conseguir un correcto acabado para la ejecución del sistema de contención de vehículos y la colocación de señalización.

Los detalles del diseño técnicos y de la propia ejecución de los muros de escollera están suficientemente recogidos en las vigentes recomendaciones de la DGC sobre la materia. No obstante, es importante señalar que a pesar de las dificultades de modelización que puede presentar esta tipología, la conjunción de un proyecto elaborado y una esmerada construcción pueden compensar sobradamente esta incertidumbre, permitiendo disfrutar de la gran integración con el terreno que alcanza esta tipología.

Más adelante, **D. Luis M. Sopeña Mañas**, de la *Universidad Politécnica de Madrid*, presentó "**Parámetros geomecánicos y métodos de cálculo de los muros de escollera colocada**", cuyo objetivo básico fue desarrollar y explicar el contenido de la Guía que se refiere concretamente a los parámetros geomecánicos que hay que adoptar y al procedimiento de cálculo que seguir.

En ese contexto, relativo a los cálculos y dimensionamiento de este ti-

po específico de muros de escollera colocada, el ponente contempló los dos grandes aspectos esenciales: la determinación de los valores de los parámetros geomecánicos básicos que requieren los modelos utilizados (densidad, resistencia al corte, etc); y los modelos y sistemática de cálculo (estabilidad, equilibrio límite, etc.).

Así pues, en primer lugar, se desarrolló el aspecto referente a la determinación de los valores de los parámetros geomecánicos que se deberán utilizar para los posteriores cálculos, el control de calidad, etc. Y, en segundo lugar, se abordaron los temas relativos a la metodología para efectuar el dimensionamiento propiamente dicho del muro, tipos de comprobaciones que realizar, etc.

Finalmente, se expuso un caso práctico concreto para ilustrar la exposición, mediante el cual se puso de manifiesto la sustancial diferencia entre los resultados obtenidos (estabilidad interna, etc.) según las hipótesis efectuadas y la metodología seguida.

Finalmente, cerró el turno de intervenciones **D. Carlos Oteo Mazo**, de la *Universidad da Coruña* y *Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC*, que expuso la ponencia **"La resistencia al corte de escolleras"**. En ella afirmó que, para el diseño de los muros de escollera es necesario determinar el ángulo de rozamiento interno de la propia escollera. En la guía, ese aspecto se trata en 3 páginas, más un apéndice de otras tres, dada la importancia del tema.

En la exposición realizada en la Jornada sobre la resistencia al corte de la escollera se expusieron una serie de resultados de ensayos de laboratorio y de campo realizados en el CEDEX durante la etapa de permanencia del autor en dicho organismo. Estos resultados y los de otros investigadores permiten determinar el rozamiento interno de una escollera a partir de un valor mínimo o rozamiento básico, corregido en función del tipo de roca originaria, de la tensión normal aplicada y del tipo de ejecu-



D. Carlos Oteo, Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC, expuso la ponencia "La resistencia al corte de escolleras".



Quizá, uno de los momentos más interesante de la jornada, fue el tiempo dedicado al debate que fue muy dinámico y especializado.



Todas las intervenciones fueron seguidas con gran interés.

ción, lo que conduce a una tabla dada en la Guía para estimar estos valores para cada tipo de roca y otras

condiciones de contorno. En la conferencia se justificaron los valores adoptados en la Guía. ■