

Jornada técnica sobre: Experiencias recientes en estructuras de tierra para infraestructuras viarias

El 10 de febrero de 2011 tuvo lugar en el *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* de Madrid esta jornada promovida por el *Ministerio de Fomento* y organizada por la *Asociación Técnica de Carreteras*, con la colaboración del citado Colegio.

El acto de inauguración fue presidido por **D. Fernando Pardo Santayana**, *Director del Laboratorio de Geotecnia del CEDEX*, acompañado por **D. Carlos Oteo Mazo**, *Director Técnico de la Jornada y Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC*, y **D. Roberto Alberola García**, *Presidente de la ATC*.

La jornada comenzó con la ponencia **“Las obras de tierra en el Comité Europeo de Normalización: primeros pasos en común”**, de **D. Álvaro Parrilla**, del *Ministerio de Fomento*. Para el ponente, las obras de tierra, entendiendo como tales rellenos y desmontes, se regulan en cada país a través de normas nacionales, por lo general, difícilmente extrapolables de unos Estados a otros.

Desde 2009 un nuevo comité, el CEN TC 396 *Earthworks*, se encarga de la normalización de las obras de tierra en Europa, en lo que constituye un esfuerzo pionero por intentar alcanzar un futuro texto común en el continente. El comité pretende la redacción de una serie de normas europeas EN sobre obras de tierra.

Está dividido en cinco grupos de trabajo: WG 1. Aspectos generales, WG 2. Clasificación de suelos y rocas para obras de tierra, WG 3. Procedimientos constructivos, WG 4. Control de calidad y WG 5. Rellenos hidráulicos, encargados monográficamente de las diferentes partes de la futura norma europea, trabajos que aún se encuentran en un estadio preliminar, pero que apuntan ya hacia un posible horizonte común.

Dña. Rebeca Carabot Moreno, del *Ministerio de Fomento*, intervino con la ponencia **“Aproximación a la campaña geotécnica en los proyectos de carretera”**. En ella afirmó que la geología y la geotecnia constituyen partes esenciales en la redacción de un proyecto, tanto por la influencia que ejercen como condicionantes de trazado, como por la repercusión económica que suponen las incertidumbres derivadas del terreno.

La Dirección General de Carreteras ha puesto en marcha una serie de trabajos con los que pretende optimizar la campaña geotécnica durante la fase de redacción de los proyectos. Por una parte, se está revisando el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para estandarizar la definición y el abono de la campaña; y, por otra, se están intentando establecer unos criterios que posibiliten el desarrollo de una aplicación informática que efectúe una estimación inicial de dicha campaña.

En definitiva, se trata de conocer, con la mayor exactitud posible, el terreno y los materiales que en él se encuentran, reconocerlo realmente, analizar los resultados de dicho reconocimiento e interpretar adecuadamente la realidad geológico-geotécnica que se mostrará en el momento de ejecutar una obra.

La ponencia **“Filosofía del diseño y ejecución y su patología”**, de **D. Carlos Oteo Mazo**, *Presidente del Comité Técnico de Geotecnia Vial de la ATC*, comenzó con una introducción histórica hablando de la relación firme – terraplén y del tema de la compactación, cuyo fin es colocar en un volumen aparente el máximo volumen de sólidos, teniendo en cuenta la presencia de agua, propugnando que se debía intentar ir a un firme que se adapte al terraplén y al terreno subyacente, aprovechando al máximo el material a emplear en el terraplén y no obsesionarse con el ensayo Proctor. Tras referirse, entre otras, a la influencia del agua, que lubrica, pero que en exceso aumenta la presión intersticial, calificó al PG-3 como una guía útil para la dirección de obra, pero que no era inamovible. Posteriormente fue desmenuzando diversas situaciones y ejemplos relativos, entre otros, a la utilización de materiales marginales, rellenos en el trasdós de estructuras, apoyos sobre suelos colapsables y sobre cavidades cársticas, etc; y subrayando la validez y necesidad de realizar una adecuada auscultación del terreno.

Entre otras conclusiones, el profesor Oteo destacó la necesidad de aprovechar todo tipo de materiales, de aplicar unos adecuados criterios de control y atender especialmente a temas como terraplenes zonados o reforzados, la influencia de la



D. Illán Paniagua Serrano
D. Rafael Pérez Arenas
D. José A. Ramos
D. Enrique Gómez de Priego
D. Francisco J. Castanedo Navarro
D. José Luis García de la Oliva

precarga en un terraplén, la importancia de un refuerzo en la base, la irrenunciable realización de un profundo estudio sobre posibles patologías del terreno y, como ya dijo, la necesidad y conveniencia de auscultar el terreno en el que se va a realizar la obra.

D. José Luis García de la Oliva (ponente) y **D. Eduardo Santiago Recuerda**, del *CEDEX*, presentaron **“Comparación de diferentes métodos de control de compactación del subbalasto”** describiendo los trabajos llevados a cabo por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, destinados a estudiar métodos de control del grado de compactación y módulo de deformación del subbalasto alternativos al método de la placa de carga estática, contemplado actualmente en los pliegos de ADIF. En relación con la placa de carga estática, el criterio referido al módulo Ev_2 no parece proporcionar información sobre el grado de compactación del subbalasto alcanzado, ya que se cumple para tongadas de subbalasto muy deficientemente compactadas. Por otro lado, el criterio contemplado en el anterior Pliego PGP 2006, referente al parámetro EV_1 , es más adecuado que el definido en el pliego PGP-2008.

Así mismo, el criterio basado en la placa de carga estática debiera replantearse intentando encontrar métodos alternativos más adecuados, tanto por la relación de los parámetros medidos con el comportamiento de la capa como por su rendimiento. Así mismo, los ensayos de control de compactación deberían efectuarse bajo eje de vías y no sobre el eje o los bordes de la plataforma.

“Varias experiencias en tramos de ensayo en pedraplenes y rellenos todo-uno” fue el tema elegido por **D. Francisco Fernández de la Llave**, de *Tevaseñal*. Entre sus conclusiones, destacó que los



materiales utilizados en estos rellenos han cumplido en general con los requisitos de calidad de la “roca”, siendo la mayor dificultad el cumplimiento con las condiciones granulométricas.

El ensayo de carga con placa, en general arroja resultados dispersos y se percibe una tendencia a que aumente el valor de $-K$ - cuando lo hace el E_v y por tanto no sea un valor constante.

En los casos que se aplicó el Control de Producto Terminado, esto conllevaba en general disminuciones en la producción, por exigir la verificación de las tongadas ejecutadas mediante ensayos lentos, costosos y no siempre eficaces para la comprobación de la calidad conseguida. Por el contrario, en el caso de Control de Procedimiento, la gran ventaja es que permitió adaptarse a altos ritmos constructivos.

Para los autores, se echa en falta el apoyo de nuevas técnicas que registren, de forma real, los métodos y el tiempo empleado por la maquinaria en el extendido y compactación de las tongadas.

Posteriormente se procedió a la presentación de comunicaciones libres en una sesión que fue moderada por **D. Rafael Pérez Arenas**, de **ABERTIS - Autopistas de España**.

“Procedimiento y comportamiento de terraplenes realizados con materiales yesíferos”, de **Francisco J. Castanedo Navarro** (ponente), de la **UCM**; **D. Rafael Pérez Arenas**, de la **UPM**; y **D. Carlos Oteo Mazo**, incluyó una exposición de la experiencia actualmente existente sobre la colocación de materiales predominantemente yesíferos en terraplenes de carreteras, así como los procedimientos o normativas existentes en la normativa internacional para materiales similares y que pueden

adaptarse a terraplenes en que se incluyan materiales yesíferos.

Para cada una de las obras realizadas en España con estos materiales en que han intervenido algunos de estos autores, presentaron la sección tipo del terraplén zonado realizado, incluso elementos de encapsulado, así como el proceso constructivo para la ejecución del relleno y sus procedimientos de control, que, dada la singularidad de estos materiales, deberían basarse en criterios distintos a los tradicionales, que están basados en la obtención de la densidad y humedad in situ, conceptos que no serían representativos del comportamiento futuro de los yesos.

La comunicación reflejó igualmente algunas experiencias internacionales y criterios de utilización de materiales solubles y que podían presentar fenómenos de colapso y reblandecimiento de los contactos entre partículas.

También se afirmó que las recomendaciones y normativas existentes en el Reino Unido y Francia, para la utilización de crestas, podrían ser extrapolables para la realización de terraplenes con yesos, siempre que no existiera otro material de mejores características que pudiera utilizarse.

Tras esta exposición, volvió a tomar la palabra el **Profesor Oteo** con la presentación de la comunicación **“Comportamiento de terraplenes mediante materiales arcillosos con cal hidratada”**, realizada también con los **Sres. Castanedo y Pérez Arenas**, en la que se resumió la experiencia obtenida, durante los últimos diez años, en el refuerzo de materiales marginales con cal para terraplenes viarios. Se presentaron unas recomendaciones para hacer este tipo de tratamientos, una relación de obras ejecutadas con esta técnica y los principales resultados obtenidos a través de esa experiencia.

Dña. Teresa Mateos García y **O. García Moreno**, de **Acciona Ingeniería**, presentaron los **“Resultados obtenidos de la construcción e instrumentación de un terraplén de carretera con neumáticos fuera de uso (NFU)”**, en la que se recogieron los principales resultados obtenidos, tras la construcción de un terraplén para un paso superior de carretera, empleando neumáticos fuera de uso (NFU), de unos 140 m de longitud y altura variable (entre

2 a 9 m), y ubicado sobre las terrazas del río Jarama. El terraplén, que fue construido de acuerdo a la norma ASTM D-6270, así como sus materiales, fue instrumentado con el propósito de estudiar la deformabilidad de las capas de NFU y la evolución de su temperatura. Los datos obtenidos mediante su instrumentación fueron analizados mediante un modelo de elementos finitos, con el fin de estimar un valor fiable del módulo de deformación de las capas de NFU; y se demostró que el asiento medido en las capas de NFU es semejante a los datos publicados en la literatura técnica sobre el tema, y que, además, está de acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX de forma simultánea a este proyecto. De hecho, el asiento máximo registrado por una línea continua de asientos situada sobre la capa inferior de los NFU fue del orden de 25 cm. A partir de este valor, se estimó que el valor del módulo de deformación para las capas de NFU es del orden de 350 kPa, valor semejante, como se ha dicho, a los obtenidos por otros autores mediante ensayos de laboratorio o a partir de resultados de otros terraplenes experimentales.

La **“Modernización del Eurocorredor V: Bratislava-Trnava. Utilización de un colchón de geoceldas Tensar como cimentación de terraplenes sobre suelos blandos”**, fue el tema propuesto por **D. Enrique Gómez de Priego** y **D. Daniel Santillán**, de **Teconma**, en la que afirmaron que la construcción de terraplenes de obras lineales sobre suelos blandos a menudo se enfrenta a problemas de asentamientos, tanto en términos de magnitud de los asientos como de tiempos de construcción y de consolidación, que requieren algún tipo de tratamiento en la base del terraplén. En la mayoría de los casos el asentamiento en sí mismo no es el principal problema, sino los asientos diferenciales no controlados y los largos períodos de consolidación. La tecnología para la cimentación con asientos controlados se basa en un colchón especial de celdas en la base, que proporciona una plataforma relativamente rígida, que permite la construcción rápida y eficiente del terraplén mientras se controla el asentamiento y se acelera el proceso de consolidación (permite controlar la magnitud de los asientos y

Simposios y Congresos

que sean uniformes y regulares; y, además, proporciona la ventaja adicional de que toda la maquinaria de construcción puede pasar por encima del colchón).

Esta tecnología fue la descrita en esta comunicación junto con el ejemplo de la construcción de un terraplén para una línea de ferrocarril con los resultados de la monitorización de asientos y desplazamientos horizontales. Los ponentes subrayaron que los beneficios tanto económicos como en la práctica son muy significativos en comparación con otros métodos o sistemas más convencionales.

Más adelante, **D. José A. Ramos**, de *Euroconsult*, expuso la **“Utilización de equipos de alto rendimiento para la recepción de rellenos compactados”**. Para el ponente, las ventajas de los nuevos equipos de alto rendimiento son significativas porque mejoran el rendimiento, no producen interrupciones, reducen costes, son más accesibles y con resultados explotables “in situ”, que permiten tomar medidas correctoras a pie de obra. Además, la realidad actual exige un control exhaustivo de las obras de tierra, no existente con los equipos estáticos; y la utilización de ensayos rápidos, que no retrasen los trabajos de la obra, con un elevado rendimiento, y que garanticen la repetitividad y consistencia de los resultados. Para ello, y en cuanto a las diversas metodologías o líneas de actuación, procede el establecimiento de unos umbrales dinámicos (m+s) en los que habrán de tenerse en cuenta a las Administraciones y organismos competentes.

“Tratamiento y consolidación de terraplenes afectados por inclemencias meteorológicas”, de **Illán Paniagua Serrano**, de *Ines Ingenieros Consultores*, se centró en el caso particular del terraplén situado entre los pp.kk. 150/800-151/100 de la línea de Alcázar de San Juan a Sevilla, tras las inundaciones sufridas en la localidad de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) en mayo de 2007.

El proceso constructivo comenzó con la realización de las labores de adecuación del camino de acceso, seguido del replanteo de servicios, límites parcelarios y de las actuaciones contempladas en proyecto. Durante la implantación de obra se dejaron unas servidumbres adecuadas según la normativa ferroviaria. Seguidamente, comenzaron

las labores relativas al apeo de los postes de catenaria y al desbroce, saneo y retirada de material descohesionado de la superficie del talud. Más adelante se procedió a la hinca de los dos tubos de drenaje transversal para épocas de avenida y a la ejecución de las embocaduras y soleras, así como a la ampliación de la tajea y a la ejecución de aletas, solera y rastrillo. Luego se procedió a acometer los espaldones del terraplén, incluyendo la construcción de los tacones de escollera, y el recrecido simultáneo de ambas márgenes mediante el extendido, humectación y compactación de tongadas de 30 cm de material seleccionado. Estas labores se alternaron con las actuaciones de consolidación y regeneración de la tajea presente, así como la posterior inyección para recomprimir los rellenos trasdosados.

Alcanzada la coronación del terraplén en ambas márgenes, se realizó el corte de los servicios presentes en plataforma, desguarnecido, corte y levante por parejas según las indicaciones del D.O. Una vez levantada la vía se procedió a la excavación de la plataforma hasta alcanzar el perfil de recrecido, recebo y compactación del fondo de excavación, colocación de geotextil no tejido de alto módulo elástico, y disposición de las capas de forma y subbalasto, ejecución de la canaleta de comunicaciones y colocación de balasto. Por último, recolocación de vía y primera nivelación hasta el restablecimiento parcial del tráfico ferroviario.

Tras la comida, la jornada de tarde comenzó con la presentación de una primera tanda de comunicaciones libres, en una sesión que fue moderada por **D. Fernando Román Buj**, de la *Universidad Politécnica de Madrid*.

D. José Alberto Rivas Lozano (ponente), **D. Miguel Rodríguez Plaza** y **Dña. M^a Ángeles de la Mata Piñuela**, de *ADIF*, presentaron **“Análisis de soluciones constructivas para zonas de transición de la rigidez en líneas de ferrocarril”**. Aplicaciones innovadoras a la mejora de la rigi-

dez en la transición terraplén – estructura. Caso práctico: Tratamiento y consolidación de plataforma en el terraplén de Montagut, entre los pp.kk. 173+700 a 173+900 de la línea Zaragoza-Barcelona por Lérida”. Tras presentar el caso y exponer todas las medidas y acciones adoptadas hasta el momento, se presentaron los trabajos realizados para su resolución: un recrecido lateral del terraplén con material QS3, creación de un espaldón -con ejecución de escolleras de contención-, y, tras el recrecido, se procedió a la sustitución de la coronación del terraplén. En el recrecido de la coronación se dispuso horizontalmente una geomalla fabricada a partir de filamentos de polivinil alcohol de alto módulo elástico y baja fluencia en toda la superficie del terraplén, a una altura de 30 cm por encima de la coronación modificada del terraplén existente, y



cuya función es la de mejorar la capacidad de soporte de la plataforma.

Tras realizar una nueva medida de la rigidez de la vía para comprobar la bondad del procedimiento empleado, se destacó que se trata de un método que puede emplearse en problemas similares. De hecho, la rigidez de la vía, tras las mediciones realizadas, aumentó del orden de 2,5 a 4 veces en las zonas adyacentes del paso inferior; y en la zona, donde sólo se había levantado la coronación del terraplén (sección S3) y colocado una geomalla de refuerzo, la rigidez es de 2 a 3 veces superior que la inicialmente medida.

D. Javier Moreno Robles (ponente) y **D. Antonio Santos Moreno**, del *CEDEX*, en su comunicación **“Tratamiento de cuña de transición con inyecciones en**

Amposta", se refirieron al tratamiento, definido por el Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, de una cuña de transición (terraplén de acceso al estribo sur del viaducto ferroviario de Amposta) mediante inyecciones armadas ejecutadas simultáneamente con el paso del tráfico ferroviario, y que se incluyó en el Proyecto europeo Supertrack.

La técnica empleada para conseguirlo es la inyección de mezclas estables de cemento por fracturación hidráulica del relleno, a través de tubos de manguitos que se instalan y tratan desde plataformas de trabajo adyacentes a las cuñas de transición que hay que mejorar. Así mismo, en la prueba efectuada se comprobó la posibilidad de mejorar el módulo de deformación del relleno, incrementándolo en un factor del orden de 2,5, sin rebasar el límite tolerable de deformación de la vía para cir-

Linares – Albacete (A-32), en el marco del proyecto de I+D mencionado.

Entre sus conclusiones, se destacó que la maquinaria más adecuada para realizar la compactación de tiras de NFU no mezclados y de mezclas con suelos es el rodillo liso vibratorio, y que no se ha podido determinar con absoluta claridad el número mínimo de pasadas de compactador necesarios para la compactación de terraplenes ejecutados con NFU y mezclas de NFU con suelo. Además, el relleno con NFU compactado presenta una densidad muy ligera que puede ser ventajosa para determinadas aplicaciones. Finalmente, la mezcla de NFU con suelo produce un material más denso, menos deformable y más fácilmente compactable.

D. Manuel Bermejo Martínez (ponente) y **D. J. A. Rodríguez Franco**, de *Prospección y Geotecnia, S.L.*; y **D. L. E.**

Suárez Ordóñez, de *ADIF*, presentaron **"El comportamiento de terraplenes sobre terrenos de turbas en la línea ferroviaria Silla - Gandía. Estudio geotécnico de la plataforma entre los pp.kk. 45+200 a 47+200"**.

En ella se destacó que los elementos de drenaje existentes pueden no ser capaces de desalojar el agua de escorrentía, y que la

escasa capacidad de soporte de las turbas origina un gran número de daños en la infraestructura y superestructura ferroviaria.

En cuanto a las actuaciones para el tratamiento del sustrato donde se apoya el terraplén, se subrayó la necesidad de eliminar y sustituir el material más blando, que incluye el espesor de tierra vegetal, los rellenos antrópicos y los depósitos orgánicos (turberas, fangos y cienos), así como la conveniencia de dar rigidez a los niveles inferiores blandos mediante inyecciones de otras técnicas de mejora del terreno, para que el material de sustitución descansa sobre una base rígida. Además, entre ambos niveles, se destacó la necesidad de que exista algún elemento que ayude al reparto de las tensiones del material sustituido sobre el terreno mejorado, como puede ser

una lámina geotextil de alto gramaje. Entre el material sustituido y el terraplén puede instalarse una segunda lámina geotextil.

"Estabilizaciones con cal en terraplenes con materiales marginales y en zonas especiales de alta velocidad", cuyos autores son **D. Ángel Sampedro Rodríguez** (ponente), de la *Universidad Alfonso X El Sabio (UAX)*; **D. Luis M. Sopena Mañas**, de la *U.P. de Madrid*; y **D. Miguel Rodríguez Plaza**, **D. Francisco Cabrera Jerónimo**, **D. Raimundo Angosto Pérez** y **D. José J. Navarro Ugena**, de *ADIF*, expresó que las líneas de alta velocidad ferroviaria son infraestructuras susceptibles de aplicación de las técnicas de estabilización de suelos con cal. La rigidez de su trazado impone un gran movimiento de tierras que es necesario optimizar, y se hace imprescindible garantizar un comportamiento estable de la plataforma durante el período de explotación. Para ello, es fundamental construir unos rellenos durables, lo que implica aplicar tratamientos de mejora del terreno en la base y estabilizaciones de suelos que permitan el empleo de los materiales de la traza, sean cuales fueren sus propiedades. Aunque la mayoría de los estudios y las especificaciones técnicas las plantean sólo para suelos arcillosos, cualquier suelo, con la presencia de minerales puzolánicos, mejora sus características geotécnicas cuando es tratado con cal.

A continuación, comenzó la última de las sesiones que fue moderada por **Dña. Belén Monercillo**, de la *ATC*, con la presentación de la comunicación **"La estabilización con cal en el tramo Tocón - Valderrubio (L.A.V. Antequera-Granada)"**, de **D. Luis Julián Quero Ruiz** (ponente), **D. Aitor Fajardo Ballesteros** y **D. Luis Serrano Martín**, de *ADIF*. Para los autores, la estabilización con cal es una herramienta que se encuentra a disposición del ingeniero en la construcción de plataformas, y que se ha empleado en múltiples ocasiones en obras de carretera, pero de la que existe poca experiencia en obras ferroviarias en España. Sin embargo, no puede ser considerada una solución estándar, sino que debe ser estudiada en profundidad previamente a su adopción, evaluando la idoneidad de los materiales para este tratamiento (mejoras obtenidas con el tratamiento, ausencia de yesos en el material a estabilizar, etc.) y el



culación confortable (máximo movimiento vertical en carril de 3 mm entre secciones separadas 5 m en horizontal).

Dña. Herminia Cano (ponente), **D. José Estaire** y **D. Rafael Rodríguez**, del *CEDEX*, presentaron **"Terraplén experimental construido con neumáticos troceados"**. El Laboratorio de Geotecnia del CEDEX ha promovido, en colaboración con la iniciativa privada, un proyecto de I+D financiado por el CDTI, para llevar a cabo una experiencia piloto de ejecución de varias secciones de terraplén construidas con NFU troceado y con mezclas de NFU y suelo.

La comunicación presentó los aspectos más relevantes de la ejecución de las bandas de prueba, llevadas a cabo en un emplazamiento próximo al tramo de Villacarri- llo a Villanueva del Arzobispo de la Autovía

Simposios y Congresos

coste final de la operación (en el que tiene un gran peso el tanto por ciento de cal que hay que utilizar).

En el caso particular de la obra Tocón – Valderrubio, objeto de la presentación, se pudo concluir que la estabilización con cal ha sido una solución técnica muy adecuada, que ha aportado una gran calidad final a la obra, y permitido minimizar los problemas ambientales y sociales, reduciendo los costes.

“Patología de terraplenes por combustión de préstamos de escorias de carbón”, tema centrado en el pp.kk. 414/850 al 415/130, de la línea Madrid-Barcelona por Caspe, fue la comunicación presentada por **D. Antonio Madrigal Fernández** (ponente), de ADIF, y **D. Nazaret Sevillano Arribas**, de Ineco. El proceso de combustión afectaba a un tramo de 45 m de vía, con un espesor de relleno de hasta 8 m, y la capacidad de soporte del sustrato era media-baja, con contenidos en sulfatos agresivos al hormigón.

Las actuaciones o medidas correctoras propuestas fueron: la realización de un desvío provisional y la sustitución del terraplén, construyendo uno nuevo con materiales adecuados. Se calcula que había en el terraplén 7 000 m³ de material potencialmente afectado por la combustión, que obligatoriamente debía ser removido y sustituido por material adecuado, y que fue transportado a un vertedero y depositado siguiendo un sistema que evitase que se reprodujera la combustión, en capas de reducido espesor, alternando con otras capas de arcillas impermeables compactadas.

Se desestimó la inyección de lechada de cemento porque el agua de inyección podría haber producido llamaradas al entrar en contacto con los gases calientes, por lo que hubiera sido necesario aumentar la viscosidad de la mezcla.

D. J. L. García de la Oliva (ponente) y **D. J. Valerio Conde**, del CEDEX, en su ponencia **“Caracterización geotécnica en fase de construcción de un relleno todo-uno de 40 m de altura”**, describieron las técnicas empleadas para estimar el comportamiento geotécnico de un relleno todo-uno de 40 m de altura, que formó parte de las obras de construcción de una autovía en el Noroeste de España.

Para caracterizar los parámetros de de-

formabilidad del relleno, se utilizó el análisis espectral de ondas superficiales (AEOS) y así obtener las curvas de dispersión a partir de las que se definiría la variación del módulo de rigidez transversal, G , del medio. Sus resultados se compararon con los procedentes de un ensayo estático efectuado, utilizando como sobrecarga los metros finales del relleno y controlando las deformaciones con un micrómetro deslizante (R02).

Como conclusiones, se subrayó que se obtuvo un módulo de deformación global de 40 MPa en el estudio de sus datos estáticos, y, a la vista de la experiencia en otros rellenos realizados en España, el valor citado se consideró admisible.

Además, si se comparan los perfiles de los módulos de elasticidad obtenidos con el ensayo estático con los procedentes del dinámico AEOS, en la parte superior del relleno, en la que los resultados presentan una dispersión baja, se obtiene una relación $E_p/E_s = 7$ para niveles de deformación del orden de 10^{-3} . Sin embargo, bajo esa zona, donde las deformaciones medidas presentan dispersiones elevadas, con deformaciones del orden de 10^{-2} , se midieron relaciones E_p/E_s notablemente superiores a las previsibles para dichos niveles de deformación, y cuyas posibles justificaciones fueron expuestas a lo largo de la intervención.

Finalmente y previo al coloquio final, intervino **D. Fernando Román**, de la UPM, quien presentó dos comunicaciones. En cuanto a la **“Rotura de un terraplén sobre limos arenosos de residuos mineros”**, el Sr. Román explicó que se trata de un terraplén de la Autovía Ronda de la Bahía de Santander construido sobre una antigua balsa de residuos procedentes de las explo-

taciones de mineral de hierro de la primera mitad del siglo XX. Los residuos, de naturaleza y características limosas, se presentaban con una consolidación por debajo de la “normal” y, por tanto, con unas resistencias muy bajas. Los terraplenes proyectados en este tramo tuvieron en cuenta la existencia de estos residuos y se diseñaron con tratamientos del terreno que permitían su construcción por fases. La realidad, tras la rotura para una altura estimada todavía como estable, ha mostrado una resistencia mucho menor que la razonablemente estimada. Los datos expuestos por ponente fueron una contribución al mejor conocimiento de estos suelos.

Por lo que se refiere a las **“Determinaciones de la densidad y humedad de compactación en un terraplén”**, el Sr. Román presentó los resultados de un gran número de determinaciones *in situ* de la densidad y de la humedad de un terraplén en dos casos de rellenos compactados formados, en un caso, por una zahorra artificial y, en otro, una zahorra natural con finos. Se expusieron las diferencias que se dan entre los resultados de usar el método “del cono de arena” o del método “nuclear” concluyendo con la necesidad de, además de una calibración periódica de los equipos en el laboratorio, contrastar ambos métodos en el propio material que hay que ensayar.

La jornada finalizó con unas palabras de su Director Técnico, **D. Carlos Oteo Mazo**, quien mostró su agradecimiento tanto a los asistentes como a la ATC, como organizadora de la jornada, y destacando algunas conclusiones sobre los temas tratados a lo largo del día, subrayando la importancia de la geotecnia en todo el proceso constructivo. ♦



D. Enrique Gómez de Priego



Dña. Teresa Mateos García



D. Carlos Oteo Mazo