

Madrid, 7 de junio de 2005

Jornada sobre Experiencias en el uso de materiales marginales en las obras de carreteras



Mesa que presidió la inauguración de la jornada. De izquierda a derecha, Sres. Alberola, Elvira y Santamaría.

La Redacción

Inauguración

El acto de inauguración de esta jornada fue presidido por **D. José Luis Elvira**, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento y Vicepresidente de la Asociación Técnica de Carreteras, quien fue acompañado por **D. Roberto Alberola**, Presidente de la ATC, y por **D. Jesús Santamaría Arias**, de Corsan-Corviam.

El Sr. Santamaría hizo una breve exposición del estado del arte y de los congresos celebrados sobre este tema, así como unas referencias a la O.C.

326/2000 y al PG-3 (especialmente a su artículo 330), tras lo que justificó la celebración de esta jornada, así como su programa.

D. Roberto Alberola subrayó la confianza depositada en la Asociación para la celebración de esta jornada, resaltando las funciones de la ATC como impulsora de la transferencia tecnológica y agradeciendo a las instituciones, al Comité de Geotecnia y a los asistentes su interés por esta jornada.

Finalmente, D. José Luis Elvira, entre otras cosas, justificó una serie de cuestiones técnicas, subrayó la labor de los Sres. Hinojosa, Oteo, Santamaría y Parrilla e hizo una breve síntesis del procedimiento normativo que se ha

ido realizando desde los comienzos de la utilización de estos materiales: Pliegos de Prescripciones Técnicas, Catálogo de Explanaciones, Refuerzos de Firmes, Drenaje Subterráneo, etc., hasta la nueva norma de Drenaje Superficial en la que se está trabajando en la actualidad y que se espera quede finalizada durante este año.

I. Sesión: Normativa y Metodología

"Materiales marginales en el PG-3" fue el tema expuesto por **D. Álvaro Parrilla Alcaide**, del Ministerio de Fomento, afirmó que la Orden FOM/1382/2002 introdujo por primera vez los denominados

Simposios y Congresos

dos materiales marginales en el PG-3, con el propósito de obtener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales existentes en las obras y sus inmediaciones. El posible empleo de estos suelos y rocas, desechados en el PG-3/75, debía justificarse mediante un estudio especial y específico para cada caso concreto. En su exposición resumió las principales prescripciones recogidas para estos materiales en el mencionado Pliego, así como, de una forma más rápida, la normativa elaborada con posterioridad por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Tras una introducción, expuso el procedimiento general de actuación y los criterios de marginalidad en el PG-3, haciendo hincapié en cada uno de sus artículos relativos a terraplenes, pedraplén y rellenos todo-uno, analizando también el "estudio especial" sobre el posible empleo de los materiales marginales, todo ello a través de una densa como interesante exposición. Finalizó con los materiales marginales en otras normas de la DGC, precisando los materiales marginales en la norma 6.1 IC, Secciones de firme; en la norma 6.3 IC, Rehabilitación de firmes; y en la Orden Circular 17/2003, Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera.

A continuación intervino **D. Carlos Oteo**, de la Universidad da Coruña y Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC, con el tema "*Metodología para el tratamiento de los materiales marginales*". Entre sus conclusiones, consideró un acierto práctico que el nuevo PG-3 incluya los materiales definidos como marginales. Más adelante, afirmó que no debe pensarse, al tratar con materiales marginales, sólo en su plasticidad, sino que debe analizarse su granulometría y establecer la variación de su densidad seca óptima P.N., parámetro muy importante para distinguir su posible aprovechamiento y comportamiento.

Se analizaron las propiedades geotécnicas de estos materiales, sin incluir claramente los yesíferos, los restos de demolición ni otros materiales poco convencionales.

También se analizaron las propiedades geotécnicas de los materiales mar-

ginales más plásticos y menos densos, cuando se refuerzan con cal apagada, y sus métodos de control en esos casos, proponiendo un nuevo criterio de aceptación para el ensayo de placa de carga.



D. Carlos Oteo intervino con la ponencia "Metodología para el tratamiento de los materiales marginales".

Finalmente, se estableció una clasificación de estos materiales, según su densidad seca y su límite líquido, con el fin de establecer secciones tipo como solución al problema de deformabilidad que suelen presentar.

II. Sesión: Presentación de comunicaciones sobre realizaciones prácticas

"Utilización de materiales graníticos fuera de especificaciones en terraplenes de la carretera Guijuelo-Béjar. N-630", fue el tema expuesto por **D. Germán Burbano**, de Dragados, S.A., quien informó que el material denominado de "transición" encontrado en los desmontes del tramo mencionado, no encuadrable ni como material de pedraplén ni como terraplén, según el PG-3 (1975), fue estudiado como material para núcleos de rellenos, dando unos resultados satisfactorios en lo que a su comportamiento geotécnico como obra

de tierras se refiere, por lo que pudo ser utilizado en las obras, una vez que fueron atendidas una serie de consideraciones. Entre ellas, que la humedad de compactación, que dio unos resultados satisfactorios, se encuentre entre el 6-8%, que corresponde a la humedad natural del terreno.

Así mismo que, aun cuando con un espesor de tongada de 60 cm y una energía de compactación de 6 pasadas de rodillo vibratorio se obtuvieron unos resultados en general adecuados, se vio que en algunos puntos no fue suficiente, por lo que se debieron utilizar sistemáticamente 8 pasadas del compactador, tanto en las tongadas de 80 cm como en las de 60 cm. El tamaño máximo de los bolos se limitó a 40 cm.

Además, se consideró muy conveniente aplicar la técnica del ensayo de la huella para el control de la calidad de la tongada compactada, según la norma suiza SNV 670.365, con una frecuencia de 500 m², considerándose deficientemente compactadas las tongadas que dieran un asiento medio superior a 5 mm.

D. Fernando Rodríguez Ballesteros, de FCC Construcción, expuso el "*Empleo de suelos marginales arcillosos en núcleos de terraplenes (Variantes de Aguilar y de Alcalá de los Gazules)*", dedicando la primera parte de su exposición a la caracterización geomecánica de tres suelos arcillosos mioceños andaluces de elevada plasticidad con relación a su empleo en el núcleo de terraplenes. Compactados en las condiciones óptimas del Proctor Normal, en los tres casos su capacidad de soporte (CBR) superaba el valor mínimo prescrito en el PG-3 para "Suelos Tolerables". La caracterización como "Suelos Marginales" se daba tras su saturación, por la reducción del CBR cuando el límite líquido superaba el 55-60%, y por la superación del 3% de algunos de los valores medidos del hinchamiento libre.

En la segunda parte, describió las condiciones de utilización de estos materiales en dos de los tres casos estudiados. En uno de ellos, concretamente en la variante de Aguilar, se colocaron encapsulados en el núcleo; y, en el segundo, variante de Alcalá de los Gazules, de la A-381 (Jerez-Los Barrios) con



D. Germán Burbano Juana.



D. Fernando Rodríguez Ballesteros.



D. Francisco J. Castanedo Navarro.

cal en todo el cuerpo del terraplén.

"Colocación de materiales marginales en el tramo II de la M-45, Ferrocarril de Pinto a San Martín de la Vega y Variante de Cuenca", fue el tema propuesto por D. Francisco J. Castanedo Navarro, de Equipo de Prospecciones, S.A. Entre sus conclusiones, destacó que el procedimiento para la colocación de las arcillas de alta plasticidad mediante el tratamiento con cal hidratada, en porcentajes reducidos, presenta una serie de ventajas respecto a otros medios; ya que, al actuar la cal hidratada como tamponador del exceso de humedad, se permite la colocación del material con un rango amplio de humedades, sin que se produzca pérdida de capacidad de soporte de la plataforma. Además, las peores condiciones de resistencia del material colocado por vía húmeda se producen durante su colocación, con lo que puede seguirse el endurecimiento por fraguado y maduración de las capas colocadas.

Por otro lado, el control del material colocado puede realizarse fácilmente a partir de penetrómetros, pero midiendo el número de golpes necesario para penetraciones de 5 cm.

Para la colocación de yesos pueden seguirse las normativas inglesa y francesa sobre el empleo de cretas, que presentan características similares respecto a la variación de la resistencia y

a la colapsabilidad. Los sistemas de control de la tongada colocada deben hacerse en la determinación, por métodos eléctricos, de las humedades y densidades obtenidas, subrayando que es preciso proteger el material colocado mediante una lámina impermeable que evite la entrada de agua.

Los materiales existentes en los vertederos no orgánicos pueden ser reprovechables mediante un cribado que elimine los elementos gruesos, palos, etc.

D. Davor Simic, de Ferrovial Agromán, presentó **"Terraplenes de la circunvalación de Madrid M-50"**. Según los ensayos realizados en los terraplenes ejecutados con arcillas yesíferas, las densidades alcanzadas son iguales o superiores al 97% del PN, superior al umbral mínimo exigido por el PG-3 para el núcleo (95%), con una humedad de compactación que difiere un punto de la óptima, todo ello para 6 pasadas dobles de rodillo tipo "pata de cabra". Además, se observó un crecimiento en el tiempo de los módulos de deformación del segundo ciclo de carga E_2 , que han pasado de 42 MPa, al cabo de 48 horas y 7 días desde la finalización del terraplén, igual que la relación entre los módulos del segundo y primer ciclos de carga E_2/E_1 , que ha bajado del 4,9 a 2,2. Igualmente, los ensayos de huella han sido satisfactorios, siendo el rango y valor medio obtenido en la 6 tongadas ensayadas de 3,2 mm.

Por lo que se refiere al terraplén ejecutado con peñuela, a pesar de que el valor de la densidad que se alcanza, tanto en el ensayo Proctor Normal como en el material compactado, es bajo, los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de control de compactación, de carga con placa y de la huella, son satisfactorios. Su comportamiento mecánico (CBR del orden de 8-10 e IP de 10-15) y en deformación (módulos de deformación en el segundo ciclo de carga E_2 , del orden de 150-200 MPa, y huellas muy reducidas, del orden de 2,5 m), ha sido muy bueno. Como es de esperar, la relación entre los módulos de deformación del segundo y primer ciclo de los ensayos de carga con placa (E_2/E_1) aumenta en el caso del terraplén inundado, pasando del orden de 3-5 a valores de 5,4 y 7,6.

D. Félix Lorenzo Martín, de Ferrovial-Agromán, presentó la **"Utilización de yesos en pedraplenes de la R-4"**. En el tramo comprendido entre Ciempozuelos y la subida a la mesa de Ocaña, el trazado de la R-4 discurre sobre formaciones terciarias constituidas por yesos masivos con intercalaciones de arcillas y margas, en las que se excavan los desmontes proyectados, con excepción de una banda de unos 8 km de anchura, en ambas márgenes del río Tajo. El ponente describió los ensayos realizados, la sección tipo proyectada y los protocolos de puesta en obra y

Simposios y Congresos

control de compactación, que han permitido el aprovechamiento de 1,8 Mm³ de yesos masivos y con intercalaciones de arcilla. Los peligros inherentes a la utilización de materiales yesíferos en rellenos (deformaciones diferidas por fluencia y el deterioro por efecto del agua) se han resuelto mediante la colocación de los yesos en el núcleo de rellenos, encapsulados por una coronación y espaldones (y un cimiento en zonas inundables) de materiales impermeables. Además, la puesta en obra con medios y condiciones que permiten la disagregación de los bloques de yeso hasta dar lugar a un "todo uno", con una matriz que reduce al mínimo la condición de grano soportado, y proporciona un conjunto continuo y de baja permeabilidad. Finalmente, la implementación en la sección tipo de una serie de detalles tendentes a evitar la no intrusión de agua al núcleo yesífero: continuidad de la capa de suelo tratado con cal en coronación, cunetas al pie de terraplén, ladera arriba, en el caso de pendiente transversal en el apoyo del relleno, y protección con material impermeable en el entorno de las obras de drenaje transversal.

"Terraplenes con yesos. Autovía Mudéjar, A-23, tramo Villanueva de Gálligo-Zuera y Cuarto Cinturón de Zaragoza (Z-40), tramo Ronda Sur", fue el tema expuesto por D. Ignacio Rivera Blasco, del Ministerio de Fomento. Entre otras cosas y en lo referente a la primera de las obras citadas, tras explicar su situación geográfica y su mapa geotécnico, expuso las características de los materiales yesíferos, marginales según el PG-3 (mioceno y cuaternario yesífero), y las condiciones de utilización de los yesos, blancos y grises en el núcleo del terraplén, y los limos yesíferos de fondos de val para la recompra: evitando el colapso de los limos, aumentando la capacidad de soporte como asiento del terraplén, evitando asentamientos diferidos e impidiendo la circulación del agua. Tras subrayar las condiciones de utilización de los yesos y que no debe llegar agua al núcleo del terraplén, explicó el proceso de impermeabilización desde la solución inicial (coronación con arcillas de la traza estabilizada



Composición de la mesa redonda moderada por D. José A. Hinojosa.

con cal, explicando los problemas surgidos con la expansividad debida a las arcillas con sulfatos y cal) hasta la solución adoptada con geomembrana impermeable (geotextil termosoldado tratado con película de polipropileno, solape de 30 cm con cinta adhesiva de doble cara, etc.) alcanzándose más de 295 000 m² impermeabilizados y empleándose más de 1,5 millones de metros cúbicos de yesos en terraplenes que llegaron a 14 m de altura. Posteriormente explicó el proceso para la reducción de huecos en el núcleo del terraplén.

En la ponencia "**Uso de materiales marginales en la Ronda Oeste de Córdoba y en la GC-170, Taiche-Guatiza. Isla de Lanzarote**", de D. Miguel Alonso Berrio-Atergotúa, D. Luis de la Torre Abietar y D. Jesús Santa-maría Arias, de Corsán-Corviam, se expusieron dos casos prácticos de utilización de materiales marginales en obras de carreteras.

En el primer caso, la solución propuesta consistió en un firme con un espesor que permite transmitir las cargas de tráfico a un terreno subyacente con muy baja capacidad portante con una geomembrana superior que impide la entrada del agua de escorrentía superficial en el terreno y un geotextil inferior que evita la contaminación de las capas nobles de firme por los del terreno subyacente, proyectándose además un sistema de drenaje superficial y profundo que rebaja el nivel freático.

En cuanto al segundo, y entre otras conclusiones, se obtuvo que los sue-

los marginales en estudio no son expansibles ni colapsables, salvo una muestra que presenta un asiento en el ensayo de colapso mayor que el 4%; por ser los suelos de origen volcánico, presentan un componente puzolánico que favorece la cementación y el consiguiente aumento de la cohesión del suelo, siendo este proceso permanente e irreversible. Además, que por su límite líquido e índice de plasticidad, aparecen en la zona de los limos colapsables y arcillas expansibles normales en la península ibérica; pero al ser suelos de origen volcánico no presentan los problemas indicados para dichos suelos, siendo asimilables a suelos tolerables o adecuados en función del contenido de materia orgánica y sulfatos solubles. Finalizó la exposición afirmando que comprobada la ausencia de las características propias de expansibilidad o colapso de los suelos ensayados, que por su origen volcánico presentan más bien un muy favorable carácter puzolánico, no han de calificarse como suelos marginales, sino como tolerables, y, consecuentemente, pueden usarse con las mismas condiciones y limitaciones establecidas para el uso de los suelos tolerables.

III. Sesión: Mesa redonda

La mesa redonda comenzó con una exposición amplia por parte de D. José A. Hinojosa, Subdirector Adjunto de

de Proyectos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, quien hizo un poco de historia de todo lo referente a los suelos marginales, de algunas de las personas que la desarrollaron y de la actualidad normativa, así de todo lo concerniente al futuro inmediato tanto en los aspectos normativos como de su puesta en obra.

D. José Antonio Gómez Casado, de Gestión de Infraestructuras de Andalucía (GIASA), intervino con los "*Condicionantes ambientales en obras de infraestructura en Andalucía. Aprovechamiento de suelos marginales*", en la que puso de manifiesto que en los espacios protegidos no está permitido el depósito de material sobrante de excavación, y la obtención de materiales de préstamo y canteras. Esto supone un incremento económico importante por la distancia de transporte. Cuando la actuación se desarrolla en un territorio con suelos marginales o inadecuados para el proceso constructivo, los movimientos de tierras pueden equilibrarse aplicando técnicas de reutilización. Fundamentalmente, la que se está aplicando es la estabilización con cal, que ha sido un éxito, habiéndose estabilizado más de 5 millones de metros cúbicos en los últimos 5 años.

Entre las obras recientes citó la autovía A-381, Jerez-Los Barrios, en Andalucía, en la que se ha utilizado este procedimiento en los tramos que atraviesan el Parque Natural de los Alcornocales, en cuyo tramo V, por ejemplo, se han ahorrado casi 3 millones de euros, a los que se sumaría el ahorro de más de otro millón por la utilización de suelo marginal como material para cubrir las estructuras del falso túnel.

A continuación, intervino **D. Antonio Domingo Ayuso**, de la Comunidad de Madrid, cuya exposición no hemos podido resumir por causas ajenas a nuestra voluntad.

D. Fernando Román y Dña. Ana Oteo, de Intecsia-Inarsa, presentaron "*CBR bajo distintas sobrecargas*" en la que se afirma que el índice CBR, que se maneja para calificar la aptitud de un suelo como integrante de un terraplén, es el que usualmente determina el Laboratorio, empleando una sobre-



D. Fernando Román Buj.



D. Luis del Cañizo Perate.

carga que corresponde a unos 25 cm de "tierras". Cuando se determina el CBR para mayores sobrecargas, tal y como está previsto en la norma UNE, los índices son notablemente mayores y los hinchamientos menores, lo cual permitiría usar en capas alejadas del firme muchos suelos marginales satisfaciendo los Pliegos de Condiciones.

Las conclusiones, sencillas y evidentes para el ponente, fueron fundamentalmente encaminadas a que los pliegos de condiciones tuvieran en cuenta esta posibilidad de aceptación de estos CBR e hinchamientos realizados cumpliendo la norma UNE. Es decir, que un material puesto en obra bajo la carga de "tierras" de 1-2 m, usual en las obras viarias, puede tener un CBR bastante mayor -y un hinchamiento menor- que los que resultan en el ensayo realizado de forma habitual.

Por lo tanto, cumpliendo con la Norma UNE, hay muchos suelos marginales que dejarían de serlo por este concepto. Finalmente, a efectos prácticos, los pliegos deberían reflejar las condiciones de sobrecarga con que se debe llevar a cabo el ensayo para obtener los valores del índice CBR que limitan el uso de algunos suelos.

D. Luis del Cañizo Perate, de Esteyco, afirmó, entre otras cosas, que la necesidad de optimizar la compensa-

ción de tierras de la obra viaria para minimizar los préstamos y los vertederos es cada vez más acuciante, e incide en el aprovechamiento de los materiales marginales, aunque ello implique un mayor coste. Así mismo, llamó la atención sobre el hecho de que la normativa relativa a presas de materiales sueltos es, en cierto modo, menos exigente y más flexible respecto a los materiales de un terraplén de carreteras, aunque debiera ser más exigente por el riesgo que conlleva. Así mismo, continuó afirmando que está claro que el cambio que se realizó el 11 de junio de 2003, con la actualización del PG-3 y la aparición de los suelos marginales, esencialmente extraídos de los suelos inadecuados de calidad menos mala, y que llegó a pergeñarse tras años de esfuerzos, largas reuniones, coloquios y el Simposio de Vigo de 1994, respondía a una necesidad evidente; y, desde entonces, la necesidad de utilizar los suelos marginales no ha dejado de aumentar.

Igualmente, prosiguió afirmando que la futura etapa de evolución, probablemente, va a venir más marcada por la nueva exigencia relativa al cimiento de los firmes que por el aprovechamiento de los suelos marginales.

Así mismo, afirmó que una interpretación flexible y lógica de la normativa es rebajar algo la exigencia cuando los

terraplenes tienen una altura pequeña, menor que 5 m por ejemplo, cuando el cimiento sea bastante rígido, o cuando el tráfico sea menos importante y con menor proporción de vehículos pesados.

D. Ángel Luis Sánchez, de Ferrovial Agromán, intervino explicando que su primera experiencia en el tratamiento de grandes volúmenes de suelos marginales lo tuvo en la M-45, tramo 2, donde el 100% de los desmontes (3 millones de metros cúbicos) eran inadecuados o marginales. De estos últimos, se aprovecharon 1 millón de ellos de arcillas sepiolíticas con densidades comprendidas entre 0,9 y 1,1 t/m³. Con posterioridad, en la Radial 4/M-50, de un desmonte total de 24 millones de metros cúbicos, con más del 90% de suelos inadecuados y marginales, se emplearon del orden de 10 millones de marginales para terraplén, de los que 500 000 m³ lo han sido en explanadas.

En ambos casos fue su empresa la proyectista y constructora, y tuvo que conjugar coste, plazo e impacto ambiental. Finalmente, añadió que la garantía del éxito en el empleo de estos materiales está en gastar en investigación, clasificando los materiales en origen y en función de su destino (en la R-4/M-50, más de 20 procedimientos para 100 km de autopista). Así mismo, subrayó que el mejor procedimiento no siempre es el más caro y que es necesario un control de calidad riguroso por procedimiento de ejecución y chequeo del producto terminado.

D. José Manuel del Río Martínez, de Corsan-Corviam (Grupo ICC), disertó sobre **"Suelos marginales. Autopista Madrid-Toledo"**. Comenzó presentando unos antecedentes, citando la A-42, la autovía N-III (zona de Vicálvaro), el tramo III de la M-45 y la M-50, pasando a exponer la clasificación que contempla el PG-3, especialmente el artículo 330, en lo que se refiere a terraplenes, y describiendo las diferencias entre suelos tolerables y marginales; y también lo relativo al núcleo (art. 330. 4.1.3). Tras ello expuso la campaña y caracterización de materiales de la obra de la autopista AP-41



El acto fue clausurado por D. Carlos Oteo Mazo, Catedrático de Geotecnia de la Universidad de La Coruña y Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC.

(de 59 km de longitud), y explicando: que la tramificación se realiza según las alturas de relleno y material de cimiento; las características de los materiales; los cálculos de los tiempos de consolidación, con y sin tratamiento; el cálculo de asientos elásticos y diferidos; y la dosificación del tratamiento con cal del material. Posteriormente presentó los resultados de la campaña nº 1: tramificación con catas cada 50 m, materiales (arcillas grises y marrones con niveles intercalados de arenas micáceas y fuerte cementación carbonatada: Proctor Normal de referencia pN; Densidades de 1,58 a 1,45; Humedades 18,5-26; Hinchamiento 0,2-1,9; LL de 68,3 a 44,9; e IP de 31,6 a 21,7). Más adelante presentó los resultados de la campaña nº 2: cálculo de tiempos de consolidación de 15-65 meses sin tratamiento y de 4-6 meses con tratamiento; asientos elásticos y diferidos de 5-6 cm y dosificación de

tratamiento con cal, de los que se esperan sus resultados. Tras ello expuso el tratamiento del cimiento y materiales marginales en el núcleo de terraplén: el primero de mechas drenantes y geocompuesto con una pendiente del 3% para evitar la aparición de asientos diferenciales, reducir los asientos durante la fase de servicio y disipar las sobrepresiones intersticiales, así como para acelerar el proceso de consolidación del cimiento; y en cuanto al uso de suelos marginales en núcleo, encapsular mediante el tratamiento con cal el fondo y espaldones del terraplén.

Finalmente, el acto de clausura fue presidido por D. Carlos Oteo Mazo, quien animó a todos a seguir trabajando y progresar tanto en el estudio como en la utilización de estos materiales, presentando algunas conclusiones sobre lo presentado y debatido en la jornada. ■

Nota de la Redacción

Dirección de la Redacción de la Revista Rutas: D. Ramón de la Cruz, 71, bajo dcha. 28001 Madrid. Tel.: 91 309 24 71*. Fax: 91 309 11 40. Correo electrónico: rutas@vbarberasl.e.telefonica.net