

II Jornada sobre Materiales Marginales en Obras Viarias



La Redacción

Promovida por el Ministerio de Fomento, la Consejería de O.P. y Transportes de la Junta de Andalucía, la Asociación Técnica de Carreteras y la Demarcación de Andalucía del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, el pasado 21 de marzo se celebró esta jornada organizada por el Comité de Geotecnia Vial de la ATC, con la colaboración especial del Gestor de Infraestructuras Andaluzas, y que obtuvo un gran éxito de participación, gracias a sus más de 350 asistentes.

Inauguración

En primer lugar tomó la palabra **D. Carlos Oteo**, Director Técnico de la Jornada y Presidente del Comité de



En la foto superior, mesa que presidió la inauguración de la jornada. En la foto inferior, una vista general de la sala.

Geotecnia Vial de la ATC, quien hizo una pequeña retrospectiva de los eventos convocados sobre el tema, agradeciendo a las instituciones presentes su colaboración y las ayudas recibidas, celebrando la acogida de la convocatoria, que superó todas las expectativas, y destacando, entre otras, la primera de las reuniones celebradas en Madrid.

Tras él, **D. Roberto Alberola**, Presidente de la ATC, hizo extensivo el agradecimiento de la Asociación a las instituciones allí representadas: al Ministerio de Fomento; a la Junta de Andalucía, y muy especialmente a su Consejera de O.P. y Transportes; al Colegio de Ingenieros y empresas, destacando el esfuerzo realizado por el Comité de Geotecnia Vial, todos

ellos comprometidos, como lo está la Asociación, con el estudio, trabajo e intercambio de experiencias en bien de la ingeniería y de las infraestructuras.

Dña. Virginia San Juan, Decana del Colegio de ICCP en Andalucía, destacó el compromiso del Colegio en colaborar en convocatorias de este tipo, destacando algunos problemas que crean los suelos complejos que tiene Andalucía, las restricciones y exigencias que imponen el ordenamiento ambiental, y la importancia de la formación continua de los ingenieros, alegrándose del éxito de la convocatoria y de las facilidades dadas por los organizadores para la asistencia de jóvenes compañeros de profesión interesados en aumentar sus conocimientos y experiencias.

Por su lado, **D. José Luis Elvira**, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, expresó su profunda satisfacción y orgullo por la celebración de esta jornada y la colaboración recibida, entre otras por una Administración amiga, cual es la Consejería de O.P. y Transportes de la Junta de Andalucía, que está muy comprometida con el desarrollo sostenible. Tras exponer algunas inquietudes sobre la problemática de los suelos y del aprovechamiento que se está produciendo de este tipo de materiales, que hay que usar y estudiar para beneficio del medio ambiente y de la economía, afirmó que, en su opinión, se debería cambiar su denominación por el de "materiales integrados".

Finalmente, **Dña. Concepción Gutiérrez del Castillo**, Consejera de O.P. y Transportes de la Junta de Andalucía, dio la bienvenida a los presentes y explicó las novedades y exigencias del nuevo Estatuto de Andalucía, aprobado el 19 de marzo, y las exigencias que contiene, entre otras, en relación con el medio ambiente. Tras mencionar una serie de retos, como la movilidad sostenible y la importancia que tienen las actuaciones en el territorio y cómo se



D. Carlos Oteo.

deben abordar, dio una serie de notas sobre emisiones contaminantes, problemática del clima y de los suelos en Andalucía y la necesidad de garantizar la accesibilidad a su población. También informó sobre otros tipos de actuaciones como el Plan MASCERCA y los esfuerzos que se están realizando para la que la infraestructura quede integrada correctamente en el territorio. Tras explicar de qué manera se está trabajando para solucionar el problema grave de la calidad de los suelos en Andalucía, finalizó afirmando que desde el esfuerzo y la reflexión se alcanza la solución, y todo ello debe fundamentarse en el estudio, el diálogo, el intercambio de experiencias y una adecuada puesta en obra respetuosa con el medio ambiente y en aras de una movilidad sostenible.

Desarrollo de la jornada

"**Materiales marginales en el PG-3**", de **D. Alvaro Parrilla***, del Ministerio de Fomento, abrió el turno de ponencias. En ella se resumen las principales prescripciones recogidas en dicho Pliego (año 2002) para estos materiales, así como la normativa elaborada con posterioridad por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, donde se han tenido en cuenta sus especiales y dispares características.

Para ello, comenzó con una introducción, que dio paso al procedimiento general de actuación y a los criterios de marginalidad en el PG3. Posteriormente explicó el estudio especial sobre el posible empleo de los materiales marginales y cómo se contemplan en el artículo 330, Terraplenes, en el que se fijó en la plasticidad, contenido de material orgánico, colapsabilidad, contenido de yeso e Índice CBR. Luego, trató el mismo tema en relación al artículo 331, Pedraplenes, analizando la calidad de la roca y la inadecuación de forma; y, finalmente, en el artículo 333, Rellenos todo-uno, tanto con las rocas estables como evolutivas, con sulfuros oxidados, con residuos solubles y combustibles.

Más adelante, trató de los materiales marginales en otras normas de la DGC, como la 6.1 IC, Secciones del firme; 6.3 IC, Rehabilitación de firmes; y la Orden Circular 17/2003, Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carreteras.

Posteriormente, **D. Carlos Oteo Mazo**, de la Universidad de A Coruña y Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC, presentó la ponencia "**Estabilización y refuerzo de materiales marginales**", en la que

* Por motivos ajenos a la voluntad de la Redacción, no hemos podido reproducir la foto de la intervención de D. Alvaro Parrilla.



D. Manuel Atienza.



D. Davor Simic.

analizó las propiedades de los materiales marginales, describió y comentó los criterios que sirven para establecer su definición y analizó sus características geotécnicas, prestando atención especial al tratamiento de refuerzo con cal y a la metodología de su estudio y puesta en obra. También comentó los materiales de este tipo utilizados en diversas obras viarias, y propuso un sistema de clasificación, junto con solución tipo de terraplén, para emplear en las obras viarias. Entre otras conclusiones, destacó que no debe pensarse, al tratar con materiales marginales, sólo en su plasticidad (que puede ser muy elevada y que indica posibilidades de expansión), 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.

Por último, 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, y para garantizar que su aprovechamiento da resultado satisfactorio.

Posteriormente, **"Las estabilizaciones de materiales marginales con cal y el desarrollo sostenible"**, fue el tema presentado por **D. Manuel Atienza Díaz**, de GIASA, en la

que informó que, desde el comienzo de la construcción de la autovía Jerez-Los Barrios (Ruta del Toro) en el año 97, se han ido generalizando los tratamientos de materiales marginales mediante estabilización con cal en las obras ejecutadas por la Junta de Andalucía. Los tratamientos se aplican a materiales para la construcción de terraplenes y para el saneo de fondos de desmontes en terrenos naturales subyacentes de alta plasticidad y/o expansivos. La ponencia trató, en su apartado I, de las estabilizaciones de los terraplenes de la Ruta del Toro; y, en su apartado II, de los saneos de fondos de desmontes en diversas carreteras en la provincia de Jaén, finalizando con unas conclusiones sobre el estado de las estabilizaciones con cal.

En cuanto a la parte técnica de la obra, destacó que los índices CBR aumentan de forma importante, desde valores 1-3 antes de estabilizar, a 18-55 después de estabilizar a los siete días. Así mismo, que los estudios de homogeneidad de la tongada han puesto de manifiesto que, con la maquinaria empleada, se han conseguido resultados claramente satisfactorios, revelándose los ensayos propuestos, pH, y contenido de cal, como métodos de fácil y rápida realización para el control de la homogeneidad del tratamiento, tanto en superficie como en profundidad.

Así mismo, de valores medios del IP de los suelos antes de estabilizar, en torno a 20-23, se pasa a IP entre 5-10, anulándose incluso la plasticidad en muchos de los casos analizados.

La estabilidad volumétrica, determinada mediante el ensayo de hinchamiento libre, muestra una fuerte reducción, e incluso anulación de las expansividades. Finalmente, se produce una fuerte reducción de finos del orden del 50% tras la estabilización con cal.

Las **"Experiencias del tratamiento con cal en las autopistas M-50 y R-4"**, fueron presentadas por **D. Davor Simic**, de Ferrovial-Agromán, S.A., informando que, en cumplimiento de la entonces vigente O.C. 326/00 de febrero de 2000, que modificaba el artículo 330 (terraplenes) del PG-3, se identificaron ya en la fase de proyecto los posibles aprovechamientos de los materiales para terraplenes y explanadas en aquellas obras, apareciendo suelos de diversas características.

Tras la identificación geotécnica, contemplando la plasticidad y el estado geotécnico, sobre la expansividad o colapso potencial, informó que las unidades de arcillas yesíferas y peñuela presentaron un potencial de expansividad o colapso muy bajo, mientras que en la unidad de arcillas esmectíticas se midieron valores de



D. José María Riera.

hinchamiento apreciable en algunas de las muestras. Tras analizar el contenido de yeso y los riesgos potenciales de hinchamiento inducido por los sulfatos en suelos estabilizados con cal, se detuvo en la caracterización de los materiales para su utilización en terraplenes y en la ejecución de los terraplenes con peñuelas. En ella, y con el fin de reducir la sensibilidad al agua de estos materiales, informó que se adicionó cal, consiguiéndose una reducción de la cantidad de agua absorbida por las arcillas y disminuyendo la humedad del suelo, se modificó la granulometría por floculación de las partículas de arcilla, se redujo el índice de plasticidad, se aumentó la consistencia (mayor CBR), una mayor resistencia a medio y largo plazo y la reducción del potencial de cambios volumétricos. Tras explicar cómo se realizó la experiencia, finalizó explicando cómo se ejecutaron las explanadas e informando que los rendimientos medios obtenidos se sitúan entre los 5500 y 6000 m²/día para espesores entre 25 y 30 cm de estabilización.

A continuación, se presentó la **"Experiencia en estabilización con cal y cemento. Problemática, rendimiento e interferencias"**, de D. José M^a Riera y D. Luis de la Torre, de Corsan-Corvian Construcción S.A. Entre sus conclusiones, destacaron

que es fundamental lograr una buena organización de obra que consiga buenos rendimientos y calidades de ejecución. Para ello es prioritario definir el tipo de tratamiento que realizar (vía seca o húmeda), la intensidad de dicho tratamiento (estabilización, modificación), las interacciones e interferencias con otras unidades de obra (excavación, extensión), así como los elementos particulares del proceso productivo (tipo de maquinaria, clima, topografía, etc.).

Para adecuar el tipo de procedimiento constructivo a seguir en la estabilización es importante conocer que, con la vía húmeda, se alcanza



Dña. Pilar Segura.

un rendimiento diario que puede ser del orden de la mitad que en vía seca.

En el caso de explanadas (vía húmeda) hay que tener en cuenta que los periodos de curado de las capas pueden ser importantes (del orden de 3 a 7 días), lo que condiciona mucho su uso en el cuerpo del terraplén. En el caso de tratamientos o modificaciones de propiedades (vía seca), los periodos se acortan bastante (unas 24-72 horas), y, en la práctica, se trabaja encima de estas capas, pasando de 6 a 8 horas de su tratamiento.

Con la vía húmeda se garantiza en teoría un mejor control en la dosificación de conglomerante; pero



D. José L. García de la Oliva.

presenta problemas de mantenimiento (dosificadores) y de rigidez en los tajos (maquinaria específica no siempre disponible, necesidades de elementos adicionales de transporte). Por tanto, parece más adecuado restringir el uso de vía húmeda a estabilizaciones en explanadas y utilizar vía seca para el resto (terraplenes).

"Estabilización con cal y cemento para el empleo de materiales granulares con expansividad en capas de coronación", de Dña. Pilar Segura, de Dragados, informó que, en la ejecución de la autovía de La Plata, tramo: Mérida - Almendralejo, el material indicado en el proyecto para ejecutar la coronación de la explanada era una zahorra natural situada en las cercanías de Mérida (p.k. 3,000 de la autovía). Las características de este material eran tales que, aun tratándose de materiales que poseían una estructura granular, los datos de hinchamiento libre hacían temer problemas con el potencial expansivo de dichos suelos. Después de ejecutar dicha unidad de obra, y antes de extender el suelo-cemento, las lluvias provocaron la aparición de problemas de expansividad. Para solucionar el problema, se realizó una estabilización con cal y cemento posterior, que permitió anular el potencial expansivo del material y obtener



D. Antonio Soriano Peña.



D. Luis M. Sopena.

una explanada de categoría E3. También se ha empleado una estabilización previa con cal, seguida de un tratamiento posterior con cemento en un tramo de explanada de la M-50 Oeste.

Las principales conclusiones que pueden extraerse son que un primer tratamiento con cal permite reducir las condiciones de plasticidad de los suelos, de forma que se mejora su comportamiento a medio y largo plazo.

La posterior estabilización con cemento de un suelo previamente tratado con cal permite obtener una explanada que cumpla los requisitos de un suelo estabilizado de tipo 3.

En el caso de que las condiciones de humedad natural de los suelos no permitan emplear sistemas de estabilización con cemento por vía húmeda o por vía seca, un tratamiento inicial con cal (en las dotaciones estudiadas previamente) permite modificar la humedad óptima de compactación de dichos suelos, haciendo viable la posterior estabilización con cemento.

"Caracterización del comportamiento geotécnico de un relleno todo-uno de difícil puesta en obra", de D. José Luis García de la Oliva y D. Julián Valerio, del CEDEX, describió las técnicas empleadas para estimar los parámetros geotécnicos que controlan 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. El relleno se efectuó con esquistos precámbricos y ordovícicos con partículas de hasta 600 mm de diámetro, compactadas en tongadas de 0,8 m con compactadores vibratorios pesados.

Entre sus conclusiones, destacó que se ha obtenido un módulo de deformación global de 40 MPa en el estudio de los datos estáticos procedentes de un relleno todo-uno realizado con esquistos y pizarras compactados en tongadas de 0,8 m de espesor. A la vista de la experiencia en otros rellenos realizados en España, el valor citado se considera admisible. Si se comparan los perfiles de los módulos de elasticidad obtenidos con el ensayo estático con los procedentes del ensayo dinámico AEOS, en la parte superior del relleno, en la que los resultados presentan una dispersión baja, se obtiene una relación ED/ES = 0,7 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 miden relaciones ED/ES notablemente superiores a las previsibles para dichos niveles de deformación.

La **"Utilización de yesos en terraplenes de carretera"**, de D. An-

tonio Soriano Peña, de Ingeniería del Suelo, S.A., describe algunos resultados del uso de materiales yesíferos en la ejecución de rellenos para obras de diferentes autovías que hoy están operativas, y de alguna que está en fase de construcción. La conclusión que parece deducirse de las experiencias previas es que el uso de materiales yesíferos, con las debidas precauciones, es posible sin que ello merme la calidad del servicio posterior. Pero el largo plazo que se requiere para confirmar esa idea hace que el tema sea objeto de mayor consideración.

En la ponencia describió algunas experiencias previas conocidas por el autor, e incluyó datos conocidos de otras experiencias más recientes.

Las obras de donde obtuvo la información son la Ronda Sur de Zaragoza, la Radial 4 de Madrid y la nueva autovía de Burgo de Ebro.

A continuación, intervino D. Luis M. Sopena, de la U.P. de Madrid, con su ponencia **"Control de compactación y ensayos in situ"**, quien, entre otras cosas, afirmó que quizás la mayor innovación de los que se han venido denominando clásicamente como terraplenes es el cambio radical en su idea conceptual originaria, en el sentido de reorientarlas hacia su fin último, cual es obtener una plataforma en cota, ejecutable, estable, con deformaciones admisibles, y durable, dejando de contem-



D. José M. Castellanos.



D. Francisco J. Castanedo.



Sr. López Jiménez.

plar los materiales que la constituyen como casi el objeto primordial de la cuestión hacia sus resultados.

Tras defender la necesidad de su empleo y la de otros materiales no naturales y productos de desecho industrial, subrayó que, quizás, uno de los resultados prácticos de mayor trascendencia fue la redacción del artículo 330, Terraplenes, para las obras de carreteras del Ministerio de Fomento. Después, y tras enunciar las técnicas de control propiamente dichas, destacó la aplicación de lo que podría denominarse "Índice de humedad" como nuevo parámetro para la evaluación y control del estado del suelo, y la inevitable ascensión del "control por procedimiento", y el empleo, cada vez más frecuente, de las cuñas de transición. Igualmente, explicó cómo se ha establecido el cambio de la humedad del suelo por su grado de saturación como variable que controlar y exigir.

La ponencia del Sr. Sopena analizó el control normal de la compactación, desde sus generalidades hasta los ensayos de referencia, pasando a analizar la evaluación de la tongada compactada (control por densidad, por ensayos de carga con placa, ensayo de huella y parámetros básicos por controlar), el control de relleno finalizado, así como el empleo

de la placa dinámica en el control de obras de tierra y el control por procedimiento: bandas de ensayo (secciones de ensayo para pedraplenes, material todo-uno y para suelos especiales y marginales).

La **"Utilización de materiales procedentes de rellenos antrópicos inorgánicos"**, fue presentada por **D. José M. Castellanos Bautista**, de la Comunidad de Madrid; **D. Francisco Javier Castanedo Navarro**, de Equipo de Prospecciones, S.A.; **D. Alejandro Soler Crespo** y **D. Luis de la Torre Abietar**, de Corsán Corviam Construcciones. El tramo de carretera proyectado, y objeto del estudio, está situado en el límite sureste del área metropolitana de Madrid, discurriendo entre los términos municipales de Madrid y Getafe. De entre sus conclusiones, se destaca que los materiales procedentes del Vertedero de Inertes de San Martín de la Vega tienen unas características adecuadas para su reaprovechamiento en obras de tierra, con un tratamiento previo de retirada de gruesos, en secciones tipo sándwich. Así mismo, que la presencia de cascotes y restos de demolición no orgánicos de pequeño tamaño envueltos en el cuerpo arenoso-arcilloso del terraplén no ha presentado mayor problema en cuanto

a sus características resistentes y deformacionales. Finalmente, que el vertedero de inertes estudiado presenta unas buenas características para su tratamiento por medio de compactación dinámica, obteniéndose unos resultados idóneos en cuanto a densidad y grado de compactación finales, que evitan la ejecución de otros tratamientos o retiradas de volúmenes importantes de material.

"Metodología para el encapsulado y estabilización de yesos", de **D. Francisco Javier Castanedo**, de E.P.S.A. Consejería de Obras Públicas y Transportes, presentó un análisis de la metodología y condicionantes para la reutilización de formaciones yesíferas en terraplenes de infraestructuras de transporte, incluyendo una relación de experiencias españolas y extranjeras sobre esta reutilización. Basándose en esta experiencia, realizó una serie de recomendaciones para la adaptación, a la naturaleza de los materiales que se encuentran en España, de metodologías internacionalmente publicadas y elaboradas para materiales similares. Para el autor, las principales características que presentan los yesos para su reutilización son su solubilidad y su colapsabilidad, debido a la formación de estructuras flojas inestables con las partículas unidas por cementación mediante sulfatos.



Sres. Santamaría y Oteo.

Para la colocación de estos materiales pueden aplicarse normativas y recomendaciones existentes en otros países, como Inglaterra y Francia, basadas en la reutilización de otros materiales como las cretas, cuyo comportamiento sería similar al de los materiales yesíferos existentes en la Península. Basándose en estas normativas, pueden establecerse las condiciones de colocación en lo referente al espesor de tongada, humedad de colocación, método de extensión, etc.

En cualquier caso, la mayor solubilidad que puedan presentar los yesos respecto a las cretas hace obligado su encapsulado y que su colocación se limite, por tanto, al núcleo de los terraplenes.

En su exposición incluyó una serie de obras realizada en España con este tipo de materiales.

Finalmente, intervino **D. Rafael López Jiménez**, de *Befesa Escorias Salinas*, con la ponencia **"Suelos mejorados o estabilizados con filler aluminico. Proyecto previo"**. Comenzó diciendo que en el reciclado de chatarra de aluminio para la obtención del llamado aluminio secundario, se obtiene inevitablemente una escoria, denominada salina, por su contenido en sales procedentes de la sal fundente, necesariamente utilizada en el horno de fundición, y que consiste,

fundamentalmente, en una mezcla de dichas sales y alúmina (Al_2O_3). Mediante un proceso industrial, es tratada para obtener por un lado las sales y por otro un filler aluminico,



Coloquio celebrado entre los ponentes de la jornada y el público asistente.

material al que el proyecto previo pretende encontrar aplicación provechosa en la mejora o estabilización de suelos, una vez separada la sal de la escoria de la cual procede; además, no resulta un residuo tóxico ni peligroso, sino que su denominación más adecuada es la de materia prima secundaria, consistente en óxidos metálicos procedentes de procesos inorgánicos. Dicho filler se obtiene con un

contenido de cloruros (sal) del orden del 0,3-0,8%, valor suficientemente bajo para la mayoría de las aplicaciones buscadas.

El filler aluminico es de textura muy rugosa y de naturaleza altamente no plástica, por lo que se intuye que va a mostrar un muy buen comportamiento como reductor de la plasticidad de los suelos. Al igual que la cal, aunque posiblemente en menor intensidad, es de prever que corte los enlaces intermoleculares de los finos arcillosos, reduciendo drásticamente su plasticidad.

En su ponencia quedó contrastado que se logran la reducción de la plasticidad y el incremento significativo del C.B.R.

El objetivo del proyecto a realizar, cuyo germen es el estudio previo que presentó, es desarrollar y diseñar con precisión, todos los pasos que hay que seguir para el estable-

cimiento de la fórmula de trabajo específica, función de las características previas del suelo antes de su fillerización, para conseguir, entre otras cosas, que suelos tolerables de C.B.R. inferior a 3 puedan ser utilizados para terraplenar, tanto en núcleo como en coronación (C.B.R. > 5); además, la optimización del proceso de preparación y fabricación de la mezcla, así como la realización de tramos de prueba. ■