

Simposio internacional sobre drenaje interno de firmes y explanadas

POR LA REDACCIÓN

Del 11 al 13 de noviembre de 1998 y en la ciudad de Granada, se ha celebrado este simposio, organizado por el Comité C12 de Obras de Tierra, Drenaje y Explanadas de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR).

Sesión de apertura

Presidida por **D. Juan Fco. Lazcano Acedo**, Director General de Carreteras del Ministerio de Fomento, comenzó con la intervención de **D. Ventura Escario**, Presidente del Comité C12, quien explicó el funcionamiento del simposio, así como el número de ponencias y comunicaciones presentadas.

Más adelante, intervino **M. Patrice Retour**, Secretario General Adjunto de la AIPCR, hablando de los orígenes de la Asociación y de quiénes la forman, así como de sus objetivos principales. Tras explicar la composición y fines del Comité C12, deseó lo mejor para este foro y encuentro consultivo y de conocimiento entre expertos de esta Asociación independiente y sin fines lucrativos.

A continuación, **D. Ángel Laclea**, Presidente de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC), Comité Español de la AIPCR, dio la bienvenida al C12 y a los presentes y agradeció la colaboración prestada por las autoridades locales, provinciales y autonómicas, deseando a todos el mejor de los éxitos.

Seguidamente, **D. Julián Lara** de la Junta de Andalucía, subrayó que el evento significaba una gran oportunidad para la puesta en común de experiencias y proyectos sobre el drenaje de firmes y explanadas. Tras ello, justificó la utilización de los firmes drenantes, subrayando su empleo en Andalucía Oriental. El análisis de la durabilidad y de la pérdida de su capacidad permeable sería, a su juicio, uno de los temas más importantes que debatir.

Por su parte, el **Sr. Pérez Or-**



En el centro, D. Ventura Escario, Presidente del Comité C12 de la AIPCR.

tiz, Teniente de Alcalde del Ayuntamiento de Granada, dio la bienvenida a los presentes y agradeció al Comité la elección de Granada, ciudad de encuentros de culturas a lo largo de los siglos, como sede del simposio.

Para finalizar la sesión, **D. Juan Fco. Lazcano Acedo**, subrayó el carácter de "enemigo" del agua para el transporte por carretera, por la erosión y el desgaste que ocasiona en ella. Por ello, no se debe descuidar el mantenimiento del drenaje.

Cerró su intervención, agradeciendo a la ATC, AIPCR, y, en particular al C12, la organización del simposio, que en ese momento daba por inaugurado.

Sesión I

El tema de esta sesión fue "**Fundamentos teóricos del drenaje interno de los firmes y explanadas**" y fue presidida por **D. Ventura Escario**.

Comenzó con la intervención de **D. Eduardo Alonso**, de la E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, quien presentó, a través de medidas efectuadas *in situ*, aspectos significativos de la evolución del contenido de hume-

dad en las capas del firme y su efecto sobre las características mecánicas de las capas de base y explanada. A continuación, describió un modelo general para el análisis conjunto de los fenómenos de transferencia de humedad, calor y tensión-deformación en terrenos compactados no saturados, revisando algunas propiedades especialmente relevantes de los suelos compactados desde la perspectiva de conceptos recientes de la mecánica de suelos no saturados. Además, presentó, como aplicación de los conceptos descritos, la simulación de la influencia de un clima de tipo mediterráneo sobre un firme modelo, y describió los fenómenos de colapso e hinchamiento de los terrenos de apoyo de la estructura del firme. El colapso, calificado como propio de algunos suelos naturales de estructura abierta y débilmente cementados, es más frecuente en terraplenes compactados por el lado seco. Tras describir un caso real de colapso severo y el papel de los modelos descritos para analizar el problema, informó que, en el caso de suelos expansivos, se ha efectuado una revisión de las técnicas disponibles para cuantificar y combatir su efecto.

Más adelante, **Mr. Koichi Akai**, del Osaka Soil Test Laboratory de Japón, presentó en esta ponencia,

en la hipótesis de que el nivel freático de una base drenante de firme pueda aproximarse mediante curvas parabólicas, unas soluciones analíticas para el procedimiento de drenaje de bases tanto planas como inclinadas. Utilizando el método de ajuste de curvas, las soluciones analíticas sirven para estimar los parámetros y predecir el drenaje necesario, explicando, a continuación, que se han llevado a cabo, en laboratorio, una serie de experimentos aplicando el modelo de capa de arena al procedimiento de drenaje de bases, a fin de demostrar la idoneidad del método propuesto. Los resultados de estos experimentos, así como el análisis de elementos finitos sobre base saturada no saturada, han demostrado que la solución analítica es fácilmente utilizable para la estimación de parámetros y la predicción de drenaje, consiguiendo suficiente precisión.

Mr. R.J. Freer-Hewish, de la *Universidad de Birmingham (Reino Unido)*, destacó que un gran número de carreteras rurales están provistas de arceles sin afirmar y, por ello, con mucha frecuencia, el agua queda estancada en el borde del firme afirmado. El agua, así estancada, puede infiltrarse horizontalmente debajo del mencionado firme debilitando su estructura. Movimientos similares del agua pueden tener lugar en las zanjas de drenaje sin revestir, colocadas de forma adyacente al arcén. Para determinar estos movimientos horizontales del agua, en materiales del firme parcialmente saturados, se ha desarrollado una solución de tipo general. Ello ha sido posible a través de la combinación de los resultados obtenidos en sencillos ensayos de laboratorio para movimientos horizontales del agua con el enfoque teórico de Zayani et al (1991) denominado "Método inverso".

Tras él, **D. Fernando Muzás**, de la E.T.S. de la *Universidad Autónoma de Madrid*, analizó el funcionamiento de una capa drenante, suponiendo que, a través del pavimento o desde el terreno, le llega un caudal uniforme de agua. En régimen de flujo permanente, diferenció dos zonas: una de saturación, donde el calado crece hasta alcanzar el espesor de la capa; y, otra, de evacuación, en la que el calado decrece hasta el punto final donde se produce la descarga. La longitud de estas dos zo-



Vista general de la sala.

nas depende del caudal que se infiltra y de las características de la capa drenante, tales como la permeabilidad, espesor y pendiente. Se determina la abscisa del punto de saturación y el calado de agua en ambas zonas, mediante integración numérica por el método de Runge-Kuta. Además, se comprueba que, para pequeñas pendientes, la longitud eficaz de un dren resulta bastante reducida, y que en el diseño de una capa drenante debería hacerse considerando los parámetros de funcionamiento, situando el punto de descarga a una distancia que garantice su eficacia.

Posteriormente, **M. M. Lebeau**, de la *Escuela Politécnica de Montreal (Canadá)*, afirmó que el diseño e instalación adecuados de los sistemas de drenaje resultan esenciales para mejorar la durabilidad de los firmes. En esta ponencia, se compararon los tres sistemas más utilizados: extensión de la subbase, diafragma lateral de geocompuesto y tubos de drenaje a nivel de la explanada, informando sobre el análisis de una sección transversal típica de una vía rural en condiciones estivales, situando los elementos de drenaje en diferentes posiciones y teniendo en cuenta la existencia de arceles, afirmados o no. Esta comparación se basó en simulaciones por elementos finitos de movimientos transitorios isotermos y bidimensionales, en los que se tienen en cuenta las propiedades hidráulicas en condiciones no saturadas. Los resultados demuestran que los diafragmas laterales de geocompuesto, colocados en el borde del firme, proporcionan un excelente con-

finamiento del agua infiltrada debajo del arcén en los casos en que la superficie de rodadura se encuentra exenta de fisuras. No obstante, cuando éstas existen, todos los tipos de drenaje se reducen a desagües en el punto de contacto subbase/explanada y su efectividad es proporcional a la profundidad de dichos desagües.

En la ponencia de **D. Vicente Navarro** y **D. Ignacio Pérez**, de la E.T.S. de *Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de La Coruña*, se presentó la aplicación de un nuevo programa de cálculo para estudiar el drenaje de un firme y de la explanada que lo sustenta. Tras examinar las principales características del código utilizado, se describió su aplicación

en la simulación del comportamiento hidrodinámico de los firmes. Como ejemplo de aplicación, se analizó el drenaje de una base drenante en función de su permeabilidad.

Mr. A.R. Dawson y **Mr. A.R. Hill**, de la *Universidad de Nottingham (Reino Unido)*, afirmaron en su ponencia que muchos firmes llevan incorporadas capas de drenaje de granulometría abierta en sus capas inferiores, mientras que otros llevan capas de base o subbase diseñadas para permitir que el agua salga de la estructura del firme. En esta presentación, se revisó la capacidad drenante de los firmes que llevan incorporadas esta clase de capas mediante el uso de modelos de drenaje, y se llevaron a cabo comparaciones con las evidencias obtenidas en estudios de campo. A continuación, se comentó la implicación del régimen hidráulico que se deduzca sobre el comportamiento (tanto mecánico como medioambiental) de los firmes.

Para la evaluación mecánica, se utilizan métodos analíticos de mecánica de firmes, en donde se permite que la rigidez de los áridos y de la explanada responda al régimen hidráulico previsto obtenido en el estudio de drenaje. Para la evaluación medioambiental, se recurre a estudios de lixiviación sobre materiales secundarios (reciclados y desechos).

M. Alain Quibel, del *Centre d'Expérimentation Routière, CETE Normandie Centre, Francia*, expuso un modelo de simulación de drenaje elaborado con vistas a determinar la influencia de los prin-

cipales parámetros geotécnicos y meteorológicos sobre los movimientos del agua en un firme de grava no tratada, en su explanada y arcones. El objetivo final era establecer qué situaciones necesitan la instalación de dispositivos de drenaje. Para ello, se llevaron a cabo simulaciones bajo cinco condiciones meteorológicas representativas del clima en Francia, poniéndose de manifiesto que el parámetro más decisivo es la calidad de impermeabilización de la superficie de rodadura, que permite que la tasa anual de infiltración descienda del 30% al 5%, si se reduce la velocidad de 10^{-7} m/s a 10^{-8} m/s. Si se considera que la impermeabilidad no siempre puede garantizarse, la ins-

nales y federales, así como sobre informes existentes en la literatura. También se examinó el estado actual del establecimiento de indicadores sobre el comportamiento, así como los resultados de una serie de estudios realizados a largo plazo. La información presentada aportó pruebas sobre la relación directa existente entre el drenaje de firmes y su mejora de comportamiento.

Mr. Yoshio Ohne, del *Instituto de Tecnología de Aichi (Japón)*, explicó que en los últimos tiempos, se ha generalizado el uso de firmes permeables, que están reemplazando a los tradicionales firmes de tipo impermeable. Los firmes permeables presentan una serie de ventajas: reducen el ruido cau-

sado por los neumáticos y, al mismo tiempo, favorecen la alimentación de la capa freática con agua de lluvia. Sin embargo, una de sus posibles desventajas es que una subbase saturada de agua puede ver disminuir su resistencia a la carga dinámica de los vehículos. Por ello, el ponente propuso el uso de un material para la realización de firmes permeables que,

además de ser realmente permeable, evite el mencionado problema de la formación de una subbase blanda, incluso cuando ésta se encuentre saturada. Este material está formado por una escoria de alto horno, mezclada con una pequeña cantidad de aditivos. Finalmente, informó que se procedió al análisis de una subbase construida con este material y que los resultados obtenidos resultaron satisfactorios.

M. Nadir Laradi, del *Instituto de Ingeniería Civil USTHB de Argel (Argelia)*, afirmó que el conocimiento del contenido de humedad de la explanada es necesario para prever el comportamiento mecánico de los firmes. A pesar de los estudios realizados para impermeabilizar el pavimento y evitar la infiltración del agua a través de él, los estudios realizados han puesto de manifiesto la existencia de variaciones de humedad en las capas del fir-

me. En esta ponencia se presentaron las condiciones de humedad del firme y de la explanada con objeto de adaptar la estructura para mantener las características mecánicas del suelo. También trató sobre un estudio experimental, en realización desde hace varios años, que analiza la influencia de la humedad y sus posteriores variaciones en los diferentes materiales (caliza, arcilla, suelos expansivos, etc.), que se han encontrado en la construcción de algunos tramos de la autopista Este-Oeste de Argelia (1 200 km).

M. Pierre Hornych, del *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Nantes - Francia)*, presentó los resultados de una investigación llevada a cabo en Francia a lo largo de los últimos años en los Laboratorios de *Ponts et Chaussées*, referente a las relaciones existentes entre la humedad en gravas no tratadas y su comportamiento mecánico, y que han sido determinadas a través de la realización de ensayos triaxiales de cargas repetidas. En primer lugar, describió los procedimientos de ensayo utilizados y los modelos adoptados para definir el comportamiento de las gravas. A continuación, se presentaron los resultados que demuestran la influencia de la humedad sobre el comportamiento mecánico de gravas no tratadas con distintas composiciones mineralógicas, así como sobre determinadas explanadas.

Mr. M. Schreck, de la *Universidad de Okayama (Japón)*, presentó, en la primera parte de su ponencia, un método para evaluar el funcionamiento de los sistemas de drenaje en el que, para observar la variación de los caudales de agua en el dren horizontal de un talud, se registran los valores de la temperatura que se obtienen a lo largo del dren al inyectar agua caliente. Esta distribución de temperaturas, en los ciclos alternativos de infiltración de agua caliente-igualación de temperatura, permite determinar las variaciones de caudal de agua. Las mediciones *in situ* se efectúan mediante la técnica denominada Distribución de Sensores de Temperatura de fibra óptica (DTS).

En la segunda parte, incluyó una nota técnica sobre la diferenciación cualitativa de la distribución de humedad, informando que los cambios del contenido de humedad de una capa no saturada originan modificaciones de su conductividad y difusividad térmicas, lo que permite monitorizar las variaciones de humedad



El diseño e instalación adecuados de los sistemas de drenaje resultan esenciales para mejorar la durabilidad de los firmes.

talación de un dispositivo del tipo pantalla de drenaje en los bordes del firme resulta útil en determinadas condiciones, incluso en un clima mediterráneo, cuando la explanada es muy poco permeable.

Sesión II

Esta sesión se dedicó a los "**Estudios experimentales e instrumentación**", y fue presidida por **D. P. J. Lara**, de la *Junta de Andalucía*. Comenzó con la exposición del **Dr. Barry R. Christopher**, *Consultor de Geoingeniería Roswell, GA. (EE.UU.)*, que hizo una revisión sobre el estado actual de la práctica de evaluación del comportamiento de los sistemas de firmes drenantes en los Estados Unidos, basada en una encuesta llevada a cabo sobre las Administraciones de Transporte regio-

en función de la temperatura, mediante la técnica de los sensores de fibra óptica citada, como se ha efectuado en escombreras de minas.

M. M. Komatsu, de la Universidad de Okayama (Japón), expuso que, al proceder a instalar en un suelo un transductor de presión, aparece un problema como consecuencia directa del reducido tiempo de que se dispone para medir la presión negativa en el agua desaireada, y de la necesidad de seleccionar un material de relleno que permita sellar el vacío producido entre el suelo y el transductor. Por ello, para tratar de mejorar el tiempo de medida de la presión negativa del agua antes citada, se procedió a diseñar un sistema de suministro del agua desaireada, a fin de conseguir que el tiempo de medición de la presión negativa aumentase. Por otra parte, como sistema de medición de la presión del agua intersticial en zonas de vado, se utilizó el denominado transductor de presión fija con yeso, el cual se introdujo en un sondeo para proceder a la medición de la presión del agua intersticial. De este estudio, se ha podido obtener la siguiente conclusión: la combinación del yeso como material de relleno y el suministro de agua desaireada permite la medición de la presión negativa a largo plazo.

Mr. P. R. Fleming, de la Universidad de Loughborough (Reino Unido), afirmó que hace ya bastante tiempo que el drenaje interno de las capas inferiores del firme mediante diafragmas laterales ha sido incluido en las Instrucciones británicas. No obstante, el hecho de que las recomendaciones de diseño hayan sido limitadas en el campo, junto con las exigencias en cuanto a protección durante la construcción de los firmes y la falta de conocimiento de su comportamiento a largo plazo, han restringido la utilización de estos sistemas hasta la fecha. Las actuales exigencias de producción se basan en la realización de ensayos de laboratorio que miden el índice de compresibilidad y la capacidad total de caudal del diafragma de geocompuesto (es decir, sin el tubo portador) con extrapolación a largo plazo de los

La humedad presente en el material de la base de un firme constituye uno de los principales factores responsables de su rotura

datos de ensayo a corto plazo. En la ponencia, se comentó el papel del drenaje interno a la luz de las exigencias de proyecto, incluyendo datos de las investigaciones llevadas a cabo sobre una serie de sistemas industriales, específicamente basadas en ensayos de campo a escala natural. Estos datos ponen de manifiesto un importante contraste en cuanto a caudales, entre las mediciones hechas en laboratorio y las realizadas en el campo. A continuación, se dieron una serie de recomendaciones relativas a una especificación más efectiva de los sistemas de diafragmas laterales para el drenaje interno, con el fin de utilizar mejor sus potenciales ventajas.

Miss Ruth Robertson, del Research Soil Scientist, de Minnesota (EE.UU.), afirmó que la humedad presente en el material de la base de un firme constituye uno de los principales factores responsables de su rotura, y que la caracterización de las propiedades hidráulicas del material, seguida por la modelación de las pautas del flujo, tienen unas profundas implicaciones en cuanto al proyecto viario y a su drenaje. Por otro lado, el Proyecto de Investigación Viaria de Minnesota ofrece la oportunidad de estudiar los firmes y su drenaje. En la ponencia se presentó un enfoque para conseguir la automatización del sistema de control de los instrumentos y la sistemática de recogida de datos, necesarios para la medición de los movimientos del agua en la base y explanada. Este enfoque facilita un método para captar los cambios a corto plazo que se presentan en el contenido de humedad, después de una sola precipitación. El objetivo de la exposición fue evaluar

la efectividad de una configuración típica de dren lateral del firme, así como describir el método operativo y el plan de seguimiento para caracterizar la infiltración en la estructura del firme.

Seguidamente, intervino de nuevo **M. Pierre Hornych**, presentando un estudio realizado para seleccionar un suelo para la explanada de la pista de ensayo de fatiga de firmes del LCPC. El objetivo perseguido era elegir un suelo sensible al agua y, al mismo tiempo, suficientemente permeable para poder hacer variar su grado de humedad (y, por consiguiente, su capacidad de soporte) *in situ*. Se ensayaron dos suelos: una arena limosa y otra arcillosa. Estos suelos se caracterizaron desde el punto de vista mecánico e hidráulico (curva de succión, permeabilidad saturada y no saturada), y, seguidamente, se realizaron ensayos de drenaje en una columna de 2,2 m de altura. Los resultados de estos ensayos se utilizaron para simular el comportamiento hidráulico del suelo *in situ* en condiciones no saturadas, lo que se



Condiciones climatológicas y drenaje de firmes están íntimamente ligados.

verificó mediante el programa de elementos finitos CESAR-LCPC. Se analizaron varios casos: humectación del suelo (subida de nivel freático), drenaje y efectos de la infiltración del agua de lluvia en la superficie.

Por su parte, **M. Jean-Marie Konrad**, del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Laval (Canadá), presentó los resultados de observaciones de campo llevadas a cabo en tramos instrumentados de carretera relativas a la humedad en diferentes épocas del año, entre el deshielo primaveral y el comienzo de la época de heladas

en una región fría. La humedad ha sido determinada mediante la utilización de sondas TDR (*Time Domain Reflectometry*) instaladas a distintas profundidades debajo del firme y en arcnos sin afirmar. En primavera, los materiales granulares se encuentran cerca del límite de saturación a causa de la infiltración de agua a través de los arcnos, mientras que la distribución de la humedad debajo del firme no fisurado se ve controlada por la evaporación. Un modelo unidimensional de transferencia de masa sugiere que el índice de evaporación, de acuerdo con las observaciones hechas en el campo, es alrededor de 0,01 cm/h. No obstante, la distribución de la humedad debajo de los arcnos está controlada por la evaporación y por las precipitaciones.

Sesión III

Esta sesión tuvo como tema central "**El proyecto y la construcción**" y fue presidida por **D. Antonio Alcaide**, Presidente del Comité de Geotecnia Vial de la ATC.

Comenzó con la conferencia especial que, sobre "**El drenaje de carreteras, realización de proyectos y avances tecnológicos**", presentó **M. Jean Louis Paut**, del *Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées*, de Saint Brieuc (Francia), quien explicó que la degradación que aparece y se desarrolla en los firmes, a menudo, puede ser debida a la infiltración a través de las capas superficiales permeables, a que los pavimentos se encuentren fisurados, o al entorno próximo de las carreteras. Las obras de drenaje realizadas para limitar los efectos de la degradación resultan con mucha frecuencia defectuosas, y, generalmente, su mantenimiento brilla por su ausencia. Por esta razón, y tras una serie de estudios e investigaciones llevados a cabo a lo largo de 30 años, el SETRA y los Laboratorios des Ponts et Chaussées en Francia han preparado una guía técnica para su utilización por proyectistas, empresas y jefes de obra que les permita incluir en los proyectos viarios el tipo de drenaje que resulte coherente y adaptado a cada contexto. Este nuevo documento, todavía sin publicar, sirvió de base al contenido de su ponencia.

Mr. P. R. Fleming, de la *Loughborough University* (Reino Unido), afirmó que la función principal de la explanada es soportar las deformaciones de las fases de construcción y de servicio, y que la deformación se controla asegurando un módulo resiliente adecuado de la explanada.



D. Antonio Alcaide, en el centro, presidió la Sesión III.

En el Reino Unido, el diseño de los firmes se basa en la determinación del CBR de la explanada a largo plazo, lo que da lugar a soluciones conservadoras de los firmes. Para posibilitar un diseño más realista, es preciso un enfoque analítico, a base de considerar los valores del módulo resiliente para la situación de equilibrio de humedad, simulados a corto y a largo plazo. Tras indicar que el módulo de resiliencia se determina con ensayos triaxiales repetidos, midiendo las deformaciones de la probeta, presentó los resultados de estos ensayos efectuados sobre muestras, simulando el comportamiento de la explanada en las distintas condiciones de proyecto. Además, se comentaron estos resultados, resaltando los problemas que plantea la medición de las pequeñas deformaciones en los suelos no alterados, así como los relativos a predicción y modelización del comportamiento del suelo a largo plazo.

A continuación, intervino **Mr. Carl Birck**, de la firma *Nellemann, Nielsen & Rauschenberger*, quien afirmó que el llamado pavimento "ecológico" a base de bloques filtrantes, está ganando terreno en Europa. El empleo de estos pavimentos en vías de tráfico intenso significa

una ruptura total con la tradicional concepción de los firmes, y pone de manifiesto una cierta ignorancia en los problemas que plantea el flujo no saturado del agua, así como en los problemas de la mecánica del suelo en el estudio del firme saturado.

A modo de resumen de los costosos problemas relacionados con la presencia de agua en el interior del firme, se presentó, en primer lugar, la simple barrera que constituye la existencia de distintas capas permeables con capilaridades diferentes. Seguidamente, explicitó tanto la bajísima permeabilidad de las capas, como los considerables periodos de tiempo requeridos para su drenaje. Tras analizar los efectos negativos que un alto grado de humedad tiene en la capacidad de soporte, calculó el movimiento del agua en un adoquinado normal. Finalmente, se examinaron los pavimentos de bloques filtrantes, haciéndose notar los errores que se presentan en la documentación suministrada por los fabricantes.

Mr. Jun Shoenberger, de la *US Army Engineer Waterways Experiment Station* (EE.UU.), que sustituyó al anunciado Mr. Grogan, informó que en 1992, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos publicó una nota técnica que especifica el empleo de bases drenantes formando parte de la sección estructural de los firmes. En esta nota, se prescribe que toda obra nueva de firmes de hormigón o de mezclas bituminosas asfalto, con espesores mayores de 200 mm, ha de estar dotada de una base drenante. La nota contiene una guía de proyecto y construcción de las capas de drenaje estabilizadas y no estabilizadas, así como del sistema de recogida y evacuación de las aguas.

En su intervención, Mr. Shoenberger presentó las especificaciones de los materiales, del proyecto y de construcción de la nota técnica citada. Además, incluyó un caso concreto referente al comportamiento de un firme con base drenante, exponiendo los caudales obtenidos en su sistema de drenaje. Finalmente, recogió ciertos comentarios y conclusiones sobre los requisitos que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU. establece para las bases drenantes.

Henry C. Berkhout, de la *Azko Nobel Geosynthetics* (Países Bajos), explicó que las obras de man-



Mesa que presidió la Sesión IV.

tenimiento llevadas a cabo en las carreteras, con frecuencia, perturban la circulación durante periodos inaceptables, y que un mal drenaje de la explanada puede contribuir a la aparición de tales problemas causando daños al firme. En esta ponencia, se explicó cómo la sustitución de drenes minerales clásicos por pantallas de drenaje con geotextiles, instaladas lateralmente, puede resolver los problemas creados por la saturación del agua en la subbase. Por otra parte, que este tipo de pantalla puede igualmente resolver otros problemas encontrados en la construcción viaria, tales como la inestabilidad de las zanjas de drenaje y de los terraplenes. A fin de comprobar las Directivas oficiales sobre reutilización de minerales ligeramente contaminados, como por ejemplo el asfalto reciclado con un cierto porcentaje de alquitrán, en bases de nueva construcción, el gobierno neerlandés ha mandado construir varios tramos-piloto, incorporándoles pantallas verticales de drenaje. Dichas pantallas sirven para interceptar y desviar el caudal de agua presente en los suelos, con el fin de evitar que se lixivien productos contaminantes de los contenidos en los materiales reciclados utilizados en la construcción.

La ponencia de **Mr. S. M. Sarin** y **Mr. Jai Bhagwan**, del *Central Road Research Institute de Nueva Delhi (India)*, subrayó que en la planificación, proyecto y conservación de carreteras, el drenaje constituye un aspecto importante. Un drenaje inadecuado afecta al comportamiento de las carreteras de diferentes maneras: reducción de la resistencia del firme y de la explanada,

inundación de la superficie de calzada, pérdida de control sobre los vehículos, erosión de terraplenes, pérdida de estabilidad en taludes, deterioro a causa de la acción hielodeshielo en las regiones frías, etc. Mientras que las temperaturas bajo cero y los problemas asociados están relacionados topográficamente con altitudes elevadas y resultan ser variables es-

pecíficas de las carreteras de montaña, otra serie de problemas son comunes a todas las carreteras, tanto a las de montaña como a las de llanura. Además, existe una serie de requerimientos que aumentan de forma significativa la importancia del drenaje en el caso de carreteras de montaña, tales como: drenes laterales, cunetas, dispositivos de drenaje transversal, medidas para mejorar la estabilidad de los taludes, etc.

D. Francisco Sinis, del *Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX*, comenzó su exposición informando que en 1965 se aprobó la Instrucción de Carreteras 5.1-IC, que se refería tanto al drenaje superficial como al subterráneo de la carretera. Esta instrucción ha estado totalmente en vigor hasta el mes de mayo de 1990, en que fue aprobada la nueva Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial". La parte de la Instrucción 5.1-IC que hace referencia al drenaje subterráneo, todavía en vigor, ha sido objeto de estudio con la finalidad de revisar y actualizar su contenido.

En la ponencia, también se presentó una breve discusión sobre los aspectos más relevantes de la propuesta de una nueva Instrucción de Drenaje Subterráneo, así como un resumen de las novedades introducidas en relación con la norma actual.

A continuación, **M. Paute** presentó la ponencia de **Mr. Ivan Eshwendt**, de la *Civil Engineering Faculty TU Bratislava (Eslovaquia)*, que no se encontraba presente, en la que se informaba de la realización de una serie de ensayos, de campo y laboratorio, realizados con el fin de definir la influencia que la humedad

del suelo ejerce sobre los cambios en la capacidad de soporte de la explanada, así como de la importancia de la densidad volumétrica del suelo. En la comunicación, también se incluyó una breve descripción de las repetidas mediciones llevadas a cabo sobre las características físicas de la explanada a largo plazo. Los resultados sirvieron de base para la evaluación y clasificación del régimen hidráulico de la explanada. Además, la ponencia presentaba tres clases de regímenes que dependen del nivel de la capa freática y de la profundidad de la helada. Los parámetros geotécnicos considerados para deducir la capacidad de soporte de la explanada son la humedad y la densidad proyectadas; y los resultados de los ensayos de laboratorio, que incluían mediciones de los cambios de humedad en el suelo durante una evolución positiva del gradiente de la temperatura demostraron ser de una gran utilidad práctica.

M. Paute también presentó las ponencias de **Mr. Thomas Joseph Waters**, de la *Main Roads, Queensland (Australia)*. En la primera de ellas, se señaló que las condiciones de equilibrio a largo plazo en el centro de un firme dependerán de una serie de parámetros tales como: profundidad del nivel freático, pluviometría de la zona y propiedades del material, que, si está situado en la zona exterior del firme, estará sometido a ciclos de humectación y secado en función de la meteorología (estaciones climáticas). En cuanto a la humedad predominante en la estación húmeda, ésta es la que se toma como la de proyecto.

Por otro lado, el desarrollo del modelo de predicción de humedad ha surgido como consecuencia de la realización de intensos estudios, tanto de campo como de laboratorio. El modelo desarrollado puede aplicarse tanto a materiales de granulometría fina como gruesa; y, por consiguiente, resulta adecuado para predecir la humedad en los materiales de base, subbase y explanada. No obstante, esta ponencia se centró en la aplicación del modelo a las explanadas.

En la segunda de las presentaciones, el autor exponía que el comportamiento de los materiales aglomerados de un firme depende en gran medida de la humedad existente *in situ*; a menor humedad, mejor comportamiento. La humedad de un firme puede controlarse a través

del drenaje, tanto en estado saturado como en el no saturado. Para que el drenaje saturado sea efectivo, el tiempo de drenaje ha de ser relativamente corto, y el índice de agua retenida tras aquél debe ser bajo. En la ponencia se comentaron las condiciones propicias para ello. En el caso de drenaje de un firme no saturado, el modelo de predicción de humedad permite determinar valores de CBR en el campo, así como la necesidad de revestimiento de asfalto, en función de: la profundidad del nivel freático, la anchura del arcén sellado y las propiedades del material usado.

Mr. Wynn, que sustituyó a **Mr. Austin**, de la *Services Synthetic Industries, Inc. Chattanooga, Tennessee (EE.UU.)*, expuso que, debido a que muchos países occidentales han experimentado resultados muy positivos al usar geotextiles no tejidos en sus proyectos de revestimientos asfálticos, varios contratistas innovadores de Lituania decidieron experimentar con estos tejidos para firmes. Como resultado de la instalación de 200 m de ensayo en la carretera Vilnius - Kaunas, en octubre de 1996, varios proyectos orientados a la rehabilitación de firmes han especificado la tela asfáltica ensayada. Este estudio presenta los resultados del proyecto inicial de ensayo y pasa revista a la instalación de la tela asfáltica en las carreteras de Vilnius - Kaunas y Vilnius - Kaunas - Klaipėda, así como en la autopista Vilnius - Ukmerge - Panevezys. Esta comunicación y presentaciones posteriores incluyeron muchas fotografías documentando técnicas de instalación y observaciones sobre el funcionamiento de los revestimientos asfálticos. Adicionalmente, se presentó una recopilación de los informes existentes relacionados con este tema, usando referencias mencionadas a continuación para evaluar su funcionamiento de una forma comparativa.

Sesión IV

Esta sesión fue presidida por **D. José A. Hinojosa Cabrera**, Subdirector General Adjunto de Tecnología y Proyectos de la Dirección

General de Carreteras del Ministerio de Fomento. El tema fue la **"Conservación del drenaje interno. Control de la contaminación."**

El presidente intervino en primer lugar aclarando que se dice que el drenaje interno mejora la vida de los pavimentos, pero esto es cierto si está bien colocado y se realiza una correcta conservación, animando a su correcto estudio y utilización, sin condenar los principios tradicionales, pero pidiendo un estudio que abra un abanico de posibilidades antes de adoptar una decisión por un sistema



D. Blas González, Director General de Carreteras de la Junta de Andalucía, presidió la sesión de clausura.

concreto de drenaje.

Intervino posteriormente, **D. Rafael Álvarez Loranca**, de *Geocisa*, exponiendo que, para medir la capacidad portante de un firme, se recurre a la medida de las deflexiones. Una toma de deflexiones es, al fin y al cabo, un ensayo que se realiza sobre la carretera y que, como los ensayos de laboratorio, debe hacerse en condiciones estándar, si se quieren obtener valores comparables. Es evidente que, en la práctica, es imposible conseguir unas condiciones estándar en cada uno de los ensayos de deflexión. Por tanto, junto con los valores de la deflexión, hay que indicar las condiciones en las que ha sido tomada y, en función de éstas, aplicar los oportunos coeficientes de corrección.

En la ponencia, se analizó la influencia de la pluviometría en el grado de humedad de la explanada y de las capas granulares, y se propuso

una metodología para la corrección de las deflexiones, teniendo en cuenta la influencia de la climatología en el comportamiento futuro del firme.

Mr. Steven Sawyer, del *Oklahoma Department of Transportation (EE.UU.)*, manifestó que la evacuación del agua de las bases y explanadas de pavimentos resulta esencial para conseguir un comportamiento óptimo del firme, así como para permitirle alcanzar su vida útil de proyecto. La actual estrategia estadounidense se centra en dos sistemas de drenaje: drenes laterales proyectados para evacuar la escorrentía,

conjuntamente con una capa de base drenante y drenes internos, proyectados para evacuar las infiltraciones subterráneas. Tras una encuesta llevada a cabo en 1998, en los 50 Estados de la Unión, además de Washington y Puerto Rico, se ha confirmado la gran preocupación que en toda la nación existe con lo relacionado con el proyecto, construcción y conservación de los sistemas de drenaje interno. Cinco Estados del Medio Oeste van en cabeza en temas de investigación sobre el drenaje interno. En Oklahoma, se ha llevado a cabo un proyecto extensivo para investigar su comportamiento; mientras que en Indiana, Michigan, Kansas y Kentucky

están en marcha investigaciones sobre el funcionamiento de los drenes laterales, y, en el último Estado, el proyecto se está realizando de forma extensiva. En esta ponencia, se informó sobre los resultados de dicha investigación, y se dieron recomendaciones sobre un enfoque estratégico para el proyecto, construcción y conservación tanto de los drenes laterales como de los internos, lo que permitirá comportamientos óptimos y necesidades mínimas de conservación.

M. Roger Pfister, de la *Office Fédéral des Routes de Berna, (Suiza)*, informó que la ley federal suiza sobre protección de las aguas del año 1991, exige la infiltración en el terreno de las aguas de escorrentía no contaminadas. El actual sistema de gestión de las aguas superficiales, consistente en la captación, tratamiento y evacuación a un cauce natural, debe complementarse con la técnica de la infiltración difusa o cen-

tralizada. El conocimiento más avanzado de la difusión de los agentes contaminantes y una nueva evaluación del acondicionamiento de los márgenes de la carretera nos permite concebir una infiltración descentralizada de las aguas de escorrentía, que depende de las condiciones hidrogeológicas locales. Finalmente, también se tiene en cuenta la protección contra los vertidos accidentales de líquidos potencialmente contaminantes de las aguas.

Por su parte, **Mr. Georg Topinke**, de la *Straßenbauamt Mitte*, de Neumünster (Alemania), afirmó que, en los últimos años, las nuevas carreteras se proyectan con pendientes más bajas con el propósi-

Mr. Edward J. Hoppe, de la *Virginia Transportation Research Council (EE.UU.)* y miembro del C12 de la AIPCR, presentó los resultados de una encuesta realizada con la finalidad de determinar los métodos que se utilizan en la práctica en el campo del drenaje de firmes. A esta encuesta han contestado varias Administraciones de carreteras de todo el mundo. En la ponencia se resumieron los procedimientos de control, de ensayos y de mantenimiento. También se puso de manifiesto los problemas generales observados y se presentaron algunos ejemplos de ciertos detalles constructivos.

Mr. Byron E. Ruth, del *Department of Civil Engineering* de la *Universidad de Florida (EE.UU.)*,

explicó que diversas circunstancias pueden afectar drásticamente al comportamiento de un firme: un alto nivel freático, zonas de filtraciones o infiltraciones de agua procedentes de escorrentía, etc., y derivarse de ello elevados costes de mantenimiento. Siempre que resulte posible, y ya en la fase de proyecto de una carretera, debe identificarse la necesidad de proceder a la instalación

de drenajes internos. En la ponencia se comentaron una serie de casos que ilustran las condiciones topográficas donde los sistemas de drenaje interno fueron efectivos; y, algunos otros, donde no lo fueron a causa de deficiencias en el proyecto y construcción de la carretera.

Sesión de clausura

Esta sesión estuvo presidida por **D. Blas González González**, *Director General de Carreteras* de la *Junta de Andalucía*. En ella y en primer lugar, intervino **D. Antonio Alcaide** quien mostró su agradecimiento a organizadores, ponentes, asistentes, empresas y entes por la colaboración prestada y sin cuya ayuda no hubiera sido posible la celebración de este simposio. Tras ello, y después de decir que no había tiempo ni parecía preciso exponer unas conclusiones, no quiso sustraerse a hacer unas pequeñas reflexiones. Entre ellas, que no se era consciente del

papel del drenaje y de su importancia y que no se trata de una solución mágica, sino de un eslabón que forma parte de todo un proceso. Además, si no se va a mantener, más vale que no se instale; y, aunque su coste en principio parezca caro, su importancia en la vida útil de una carretera era importantísimo, aunque subrayó lo difícil de su mantenimiento, más aún, si no ha sido ejecutado correctamente y no se destina dinero para su realización. Ahondando en el tema, recordó a los presentes que, salvo Suiza, ningún país conserva los drenajes de una forma sistemática.

Finalizó su intervención, subrayando algunos de los aspectos técnicos tratados y los conocimientos básicos que a él le habían parecido más interesantes a lo largo de todo el proceso, e invitando a las Administraciones a dedicar una mayor atención a estos temas relacionados con el drenaje interno de una carretera, que, por primera vez, había sido objeto de un simposio internacional especializado.

A continuación, **D. Ángel Laclea** se congratuló de la asistencia, de los debates y de la calidad de todo lo acontecido, así como del fruto de las reuniones, deseando un feliz regreso a todos los asistentes.

Finalmente, **D. Blas González** excusó la presencia de su Consejero, del que transmitió su felicitación personal y de toda la Junta de Andalucía por la celebración de este congreso, que ha estudiado uno de los aspectos de la técnica vial que más necesita de su revisión, subrayando la paradoja andaluza de que, aunque tiene un tiempo y un terreno generalmente seco, sin embargo posee una gran cantidad de kilómetros con pavimentos drenantes. Tras ello, explicó algunas de las actuaciones y proyectos llevados a cabo en Andalucía, desde su propia Administración, incluidas nuevas instrucciones y normas, así como algunas de las experiencias realizadas relacionadas con el tema objeto de las jornadas.

Visita técnica

Durante la mañana del viernes 13 se realizaron las visitas técnicas a las obras del tramo Alhendín-Durcal de la autovía de Granada, al tramo Izbó - Vélez de Benaudalla de la N-323 y a la Presa de Rules, donde los congresistas pudieron apreciar *in situ* muchas de las experiencias y circunstancias tratadas en el simposio, antes de volver a sus puntos de origen. ■



La foto recoge un momento de la visita técnica.

to de proporcionar mayor protección contra el ruido y de atender a la conservación del paisaje. Este criterio de diseño origina una serie de problemas de drenaje: por ejemplo, es necesario bajar el nivel freático. En Alemania, el sistema de drenaje suele consistir en un sistema tipo horcaxada en el que el tubo de transporte se coloca debajo con el dren-filtro instalado encima. En algunos puntos, los tubos de drenaje dejaron de funcionar poco después de su construcción y las ranuras se rellenaron de cristales. Esta reacción química tiene lugar principalmente con cristales de calcita en el punto de contacto aire/agua. El siguiente sistema ayuda a evitarlo: se coloca el tubo de drenaje debajo y el tubo de transporte encima (-un sistema a horcaxada, pero al revés-). La cristalización no se presenta, porque las ranuras de drenaje están muy por encima del nivel freático y la sedimentación acumulada en el tubo de transporte se elimina fácilmente mediante limpieza con agua a alta presión.