



Comienzo de una crecida

El Agua y el Terreno en las Infraestructuras Viarias

Por D. Olegario LLamazares
Presidente de la Asociación
Técnica de Carreteras

Las vías de comunicación por su objetivo y propósito deben cumplir unas condiciones de funcionalidad, continuidad y durabilidad que es preciso relacionar con las inclemencias atmosféricas que deben soportar, a través de previsiones prudentes y márgenes de seguridad. Concentrándonos a los efectos del agua sobre las infraestructuras viarias y su entorno hay que considerar diversos aspectos: el dimensionamiento y eficacia de los drenajes, el comportamiento de las obras de tierra frente a filtraciones y humedades persistentes, la protección a través de las aguas en escorrentía por la carretera.

Estos fueron los temas del Simposio a que se refiere este artículo. Todos ellos recibieron un amplio y actualizado tratamiento. La estimación de avenidas en períodos de retornos óptimos y secciones de desagüe; la construcción de terraplenes y pedraplenes y su comportamiento ante cambios de humedad; la influencia del agua en los desmontes, inestabilidad de terrenos y procedimientos de estabilización de taludes; control de la erosión fluvial en puentes y precauciones contra la contaminación de origen vial (sales fundentes para la nieve, productos tóxicos o inflamables, etc.).

Experiencia general y casos singulares se sumaron en el cúmulo de información que se aportó a este foro dedicado a temas de gran importancia en la fase de ampliación y mejora de nuestras redes viaria y ferroviarias.

La importancia de las obras de infraestructura viaria que exige la creciente demanda de transporte, tanto por la construcción de nuevas vías como por mejora y ampliación de las existentes, requiere una actualización de la

tecnología que se beneficie de la experiencia acumulada en los últimos años. Se trata de ofrecer soluciones ajustadas a las condiciones de cada caso y múltiples son éstos en el momento de España, sobre el que, sin ánimo de hipérbole, pode-

mos decir que corresponde a un auge de su historia en el esfuerzo inversor y constructor en carreteras y ferrocarriles.

No es preciso resaltar los diversos efectos del agua en las infraestructuras que nos ocupan: desde la ave-

nida fluvial que destruye un puente a la humedad en el "blandón" que deforma y degrada la calzada. La previsión de caudales, la consideración prudente de los períodos de retorno de riadas, el dimensionamiento de secciones de desagüe y el establecimiento de sistemas de drenaje eficaces, constituyen preocupaciones dominantes del proyectista que asimismo tienen que estar presentes en los ingenieros de construcción y conservación por lo que suponen para la economía, la funcionalidad y la durabilidad de las obras.

Para tratar de un amplio temario que incluye todos los aspectos de interés se convocó el *Simposio sobre el agua y el terreno en las infraestructuras viarias*, que organizado por la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cementaciones y la Asociación Técnica de Carreteras (Comité Español de la AIPCR) (1) tuvo lugar en Torremolinos (Málaga).

Se dividió el Simposio en seis sesiones de trabajo basadas en nueve ponencias generales a las que se presentaron 34 comunicaciones. La información aportada cubrió todos los aspectos implicados en el binomio agua-infraestructura viaria: drenaje superficial y profundo, efecto del agua en terraplenes, pedraplenes, rellenos y desmontes, influencia de la humedad de la capacidad portante de suelos y firmes, fenómenos de hinchamiento, colapso y disolución, erosión fluvial y contaminación de aguas con origen en la carretera. En lo que sigue

ofrecemos una breve referencia a los puntos tratados que estimamos constituyen un exponente de la amplitud e interés del Simposio.

Estimación de caudales para el dimensionamiento de las obras de desagüe

Un dato básico, en el proyecto de obras de fábrica destinadas al paso de cursos de agua transversales al trazado, es la capacidad de evacuación o desagüe superficial; se adaptará éste a los caudales de avenida que puedan producirse en períodos de retorno razonables en el aspecto económico-funcional. En las cuencas de reducida superficie los caudales no están aforados y para su estimación se acude a métodos hidrometeorológicos que parten de las precipitaciones pluviométricas máximas diarias en la cuenca que afluye al punto de emplazamiento de la obra.

El ponente se refirió a la nueva versión de la Instrucción que aparecerá en breve (2). Supone este documento un salto cualitativo en cuanto a consideraciones de base y criterios de evaluación. No se habla en él de caudales de proyecto sino de *caudales de referencia*; asimismo se advierte un marcado interés por establecer, a escala nacional, guías y métodos para la estimación de valores máximos de caudal cuya autoridad sea reconocida por facultativos y jueces.

Se ha comprobado que los métodos tradicionales dan lugar a errores importantes —con tendencia a la

“Se ha comprobado que los métodos tradicionales dan lugar a errores importantes —con tendencia a la sobrevaloración— en el paso de lluvias a caudales a través de coeficientes de escorrentía que no se determinan con amplia consideración de los factores que en ellos pueden incidir.”

sobrevaloración— en el paso de lluvias a caudales a través de coeficientes de escorrentía que no se determinan con amplia consideración de los factores que en ellos pueden incidir; v.g. en la hasta ahora vigente Instrucción de Carreteras se fijan los precitados coeficientes en función exclusiva de las características físicas de la cuenca (vegetación, pendiente, etc.), haciendo caso omiso de la influencia de la propia precipitación, cuando está claro que no puede adoptarse un solo valor de escorrentía para diversos períodos de retorno; el coeficiente a aplicar para las avenidas extraordinarias será lógicamente muy superior al de las avenidas ordinarias.

El método de cálculo de caudales de crecida que se propone en la nueva Instrucción es eminentemente práctico y en él se evitan las disquisiciones hidráulicas y otros escrúpulos inoperantes. Es un método racional que se ha contrastado en estaciones de aforos (3) y el contraste ha permitido establecer un sencillo mecanismo de paso del



Tras la crecida, agua calma...

(1) Fueron patrocinadoras del Simposio la Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes; la Dirección General de Carreteras del MOPU; la Dirección General de Infraestructuras del Transporte del MTTC y el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) y asimismo colaboraron 19 empresas y entidades.

(2) Instrucción de Carreteras, 5.1.IC Drenaje Superficial, MOPU, 1989.

(3) Existen en España 80 estaciones de aforos con más de 100 años de antigüedad.

coeficiente de escorrentía, en su sentido tradicional de carácter determinista, a su debida interpretación estadística como relación entre la intensidad de la precipitación y el caudal lo que supone una reducción de éste respecto a los que antes se obtenían.

En cuanto a la elección del período de retorno se señala la necesidad de considerar no sólo el tipo de estructura que va a proyectarse sino también los daños que por la insuficiencia de desagüe se pueden producir en las zonas contiguas. Por ejemplo, si la vía en cuestión cruza el río agua arriba de un núcleo urbano puede admitirse —o es incluso beneficioso— un remanso que de-

nación (ascensión de los finos de la explanada e incrustación en ésta del árido grueso de la sub-base) y los fenómenos de *pumping* (surgencia) con el movimiento de losas contiguas de los firmes rígidos.

En los últimos años se ha tomado conciencia de la importancia del drenaje subterráneo o subdrenaje en las vías de nueva construcción y, en lo posible, en las carreteras antiguas deficientes en el aspecto que nos ocupa a efectos de corrección. El ponente puso énfasis en la necesidad de un buen subdrenaje para prolongar la vida de la calzada y por ende en lo rentable que resulta una inversión adicional en esta parte de la obra por lo que evita el gas-

“Una de las novedades en la técnica del subdrenaje fue el empleo de geotextiles como elemento filtrante que evita la colmatación con lo que se pueden sustituir los áridos de granulometría densa estricta por gravas de gradación abierta.”



Empleo de lámina de geotextiles

fienda la población, mientras que si está agua abajo sería inadmisibles; en el segundo caso, habrá que adoptar períodos de retorno más largos que en el primero.

La importancia del drenaje subterráneo

El agua, como agente destructivo de la explanación y la superestructura que sobre ella se apoya, está ligada en sus efectos a la saturación de las capas y a la magnitud de las cargas que sobre ellas gravitan mientras ésta se produce. No hay pavimentos impermeables y el agua de lluvia que a través de ellos penetra ha solido subestimarse y con frecuencia no se establecen los drenes necesarios para su recogida y evacuación. Por tal efecto se mantiene la humedad en el sólido firme-explanada lo que reduce la capacidad portante y favorece la contami-

to continuo en conservación o reparaciones por asentamientos, agrietados u otras afecciones que pueden conducir a la degradación y ruina del pavimento bajo el acelerado efecto destructivo del tráfico pesado.

Un índice de la disminución de la resistencia del firme en función del agua infiltrada lo proporciona la variación de las deflexiones cuya magnitud crece con el contenido de humedad de las capas. En consecuencia, y por el efecto-fatiga de la deflexión, debe establecerse un buen subdrenaje cuyo elemento fundamental es una capa horizontal drenante. Dentro del sistema de subdrenaje se incluyen las pantallas interceptoras y el rebajamiento del nivel freático cuando éste esté próximo a la rasante de la vía.

El problema del subdrenaje debe estudiarse en un conjunto en el proyecto a partir de cálculos racionales (estimación de caudales infil-

trados y drenados y dimensionamiento adecuado de los distintos elementos) siguiendo normas y recomendaciones oficiales (4).

Una de las novedades en la técnica del subdrenaje fue el empleo de geotextiles como elemento filtrante que evita la colmatación con lo que se pueden sustituir los áridos de granulometría densa estricta por gravas de gradación abierta; se señaló el ahorro con la solución de zanjas drenantes revestidas con láminas geotextiles respecto a los drenes convencionales con tubería porosa.

Además de la función filtrante los geotextiles se emplean como anticontaminantes (láminas separadoras en la interfaz explanada/subbase). Estas láminas deben soportar las tensiones producidas por las cargas rodantes que generalmente serán superiores a las que se derivan de las funciones de drenaje.

Se refirió el ponente a la necesidad de un mejor conocimiento de los materiales —singularmente los geotextiles y las tuberías de plástico— por identificación de sus características a través de ensayos normalizados de resistencia mecánica, filtración y durabilidad. También deben conocerse los equipos específicos de puesta en obra: máquinas zanjadoras-colocadoras de drenaje en continuo (distribución de material granular, bobina de tubo flexible, bobina de geotextil, sistema láser de nivelación automática y otros elementos).

Entre las comunicaciones a la primera Sesión figuró una de destacado valor histórico relativa al dre-

(4) Se espera la publicación en breve del *Manual de drenaje para carreteras* del MOPU.

naje de las calzadas romanas. Se informó sobre la diversa tipología del drenaje adaptada a la topografía del terreno, con soluciones derivadas de la experiencia en una red del orden de 20.000 kilómetros, longitud que sumaron las calzadas y vías urbanas del Imperio.

El resto de las comunicaciones se refirieron al seguimiento de firmas en cuanto a relación humedad/capacidad portante, empleo de hormigón poroso en las distintas partes de la plataforma de una carretera, función múltiple de los geotextiles, ejemplo de investigación del estado de un firme en relación con el drenaje existente, probabilística de seguridad y optimización económica de las obras de fábrica en relación con los periodos de retorno que se elijan para el dimensionamiento de desagües y otros temas de interés.

Efectos del agua en terraplenes y pedraplenes

El buen comportamiento de un terraplén, pedraplén o cualquier tipo de relleno, en cuanto a estabilidad y durabilidad, depende de la idoneidad de los materiales empleados y del proceso constructivo (puesta en obra, humectación y compactación). Los pliegos de prescripciones técnicas generales y particulares definen minuciosamente las características exigidas a los suelos y materiales pétreos, en su caso, así como las distintas operaciones de obra. Se conocen los equipos de maquinaria adecuado y señalaremos en este aspecto la amplia gama disponible en compactadores en función de los espesores de las capas y los materiales que las integran.

La inspección y vigilancia de

“El buen comportamiento de un terraplén, pedraplén o cualquier tipo de relleno, en cuanto a estabilidad y durabilidad, depende de la idoneidad de los materiales empleados y del proceso constructivo.”

obra velan por el cumplimiento de normas y recomendaciones decidiendo, si procede, correcciones o modificaciones a la vista del resultado de los ensayos de laboratorio o de pruebas en obra para reducir al mínimo los asentamientos durante el período de servicio de la vía.

Actualmente se están construyendo terraplenes con cotas superiores a 50 metros (5) en los que se trata de utilizar al máximo los productos del desmonte o tierras de préstamos próximos. En la primera ponencia de la Sección 2.^a se aportó una interesante experiencia en tres casos singulares: compactación de arenas arcillosas, compactación de

palmente en las debidas a la succión, fenómenos de colapso y deformación diferida, asociados a la humedad producida por lluvias e inundaciones. En el caso de los pedraplenes, el colapso responde a mecanismos de rotura de contactos y fragmentación de elementos pétreos favorecidos por la acción del agua infiltrada. Respecto a los asentamientos postconstructivos, se cita la gran dispersión en pedraplenes. Con una buena granulometría (macrogranulométrica aplicada desde los bloques) y una buena compactación con rodillos vibratorios pesados (10 t) lo normal serán asentamientos del orden del 0,5%; en rellenos



Excavación realizada para dos túneles de paso

un préstamo arcilloso heterogéneo y puesta en obra y compactación de un gran pedraplén con rocas blandas. Corresponde este último caso al ferrocarril de alta velocidad Madrid-Sevilla, tramo Adamuz-Alcolea (Provincia de Córdoba).

Se refirió el ponente a la predicción de asentamientos: asentamientos durante la construcción y asentamientos diferidos, estos últimos parece son proporcionales a la cota y del orden del 0,1 al 0,3% si se ha compactado bien. La estimación de movimientos diferidos puede aplicarse a terraplenes y con reservas a pedraplenes con rocas sanas. La deformabilidad durante la construcción y durante la posible humectación posterior puede estudiarse con modelos sencillos.

En la segunda ponencia se analizaron los efectos del cambio de humedad en las obras de tierra, princi-

poco compactados se ha llegado al 5%.

Las comunicaciones se refieren al colapso de un suelo calificado como “tolerable” en el Pliego de Prescripciones Técnicas de la Dirección General de Carreteras; efectos de congelación de terreno; estabilización con columnas de suelo-cemento de un terreno arcilloso; empleo de columnas de grava para mejorar un relleno de vertido incontrolado y ejemplos de asentamientos y fenómenos de colapso debidos a precipitaciones o ascensión capilar de la capa freática.

(5) Destacamos el terraplén de 90 metros construido en la Autopista A-66 Campomanes-León al que se refirió una de las aportaciones del Informe Español (Cuestión I, Movimiento de tierras, drenaje y explanada, presentado al Congreso Mundial de la AIPCR. Bruselas, Septbre. de 1987).

“Se puso énfasis en la necesidad de conocer las condiciones hidrogeológicas de la zona de emplazamiento y las medidas correctoras para evitar cualquier perturbación.”

El agua en los desmontes y otras excavaciones a cielo abierto

En la 3.^a Sesión se trataron los problemas más importantes que tienen lugar en los desmontes en cuanto a la inestabilidad debida a la acción del agua, casos de taludes en tierra o en roca considerando la estructura geológica, las formas de rotura y los procedimientos de estabilización. Se señaló el interés de los procesos de estabilización que actúan sobre la presión intersticial y las medidas de protección y drenaje que pueden aplicarse: cunetas de guarda, drenes, galerías, pozos y pantallas drenantes.

Se refirió el ponente a los desmontes en suelos colapsables (tobas volcánicas, oess, granitos alterados, limos yesíferos, etc.) y en suelos expansivos (arcillas margosas, alternancias de arcilla y yeso, etc.) con sus problemas de inestabilidad por inundaciones o variaciones estacionales de humedad.

Una de las ponencias versó sobre la construcción de obras lineales soterradas, cada vez más frecuentes en intersecciones o itinerarios alternativos de las redes viarias urbanas. Se trata de túneles artificiales cuya excavación se hace al abrigo de muros-pantalla que se construyen de arriba a abajo; estos muros serán los hastiales de la sección que se unen con una losa de cubierta y por abajo con una solera, o contrabóveda en caso de que haya subpresiones. Se puso énfasis en la necesidad de conocer las condiciones hidrogeológicas de la zona de emplazamiento y las medidas correctoras para evitar cualquier perturbación.

Las comunicaciones presentadas se refirieron a obras subterráneas, congelación de terrenos, drenajes y defensas para la estabilización de

taludes.

Erosión y contaminación

Las explanaciones de las infraestructuras viarias dan lugar a la exposición a los agentes atmosféricos de superficies muy grandes (6) en las que los procesos de alteración y erosión pueden producirse a gran ritmo y exigen, en consecuencia no demorar la protección.

En la primera ponencia se analizó minuciosamente las causas y mecanismos de degradación: procesos físicos, procesos químicos de alteración y evaluación de riesgos de erosión por aguas meteóricas y subterráneas. Asimismo, se definieron las medidas de protección clasificadas en estructurales y biológicas que con frecuencia, se usan conjuntamente para buscar una mayor defensa.

Entre las medidas estructurales empleadas principalmente en taludes rocosos se mencionaron las siguientes: gunitado de mortero sobre malla metálica, enrejados de hormigón *in situ* o prefabricados, gaviones o corozas y enfajinado.

Las medidas biológicas se basan en el tratamiento por vegetación de los taludes con especies herbáceas, arbustivas y arbóreas que además del objetivo protector, cumplen el ecológico de insertar la vía en el paisaje.

En la ponencia sobre erosión fluvial y socavaciones en puentes, pontones y alcantarillas, se pasó a los principales aspectos de las estimación de erosiones y se aludió a los dispositivos de protección de pilas y estribos con escollera o gaviones; como novedad se citó el empleo de bloques de hormigón cementados con telas plásticas buscando, como es ineludible, la flexibilidad del revestimiento. El ponente señaló el vacío aún existente entre teoría y práctica en materia de erosión y medidas para su control, y la necesidad de llevar a cabo trabajos de contraste empírico e investigación que permitan mejorar las soluciones de defensa de los apoyos —que hasta ahora no es frecuente en España— lo que, como también se dijo, no se ha echado mucho de menos en parte por la duración limitada de las crecidas.

(6) Nuestra red de carreteras lleva aneja una superficie del orden de 100.000 hectáreas y el plan de autovías exigirá la creación de otras 50.000 hectáreas de nuevos taludes.



La última ponencia se refirió al efecto del agua como vehículo transportador de elementos nocivos que proceden de la carretera a la que llegan con carácter estacional, episódico o crónico. Se citaron como ejemplo del primer caso: las sales fundentes de nieve y hielo utilizadas en las operaciones de vialidad invernal (7) y los abonos o herbicidas para limpieza de cunetas que se usan en primavera. Corresponde al segundo caso, los vuelcos o derrames de camiones-cisternas con productos tóxicos o inflamables, —cada vez es mayor el tráfico de mercancías peligrosas— que exige la evacuación por canalizaciones que no puedan contaminar embalses, ríos o canales. La contaminación crónica es la causada a diario por los vehículos de los que se desprenden partículas potencialmente nocivas como por ejemplo el plomo de la gasolina.

Las comunicaciones se refirieron a determinación de la erosionabilidad de suelos en laboratorio e *in situ*; protección de taludes contra la erosión o alteraciones superficiales, evolución de la vegetación e idoneidad de las especies autóctonas para las plantaciones; estudios de soca-

(7) Se estima que estas sales pueden afectar a la flora y fauna hasta cien metros del borde de la explanación.



Tráfico pesado

vación y protección de los cimientos de obras de fábrica y consideración del riesgo de vertido de mercancías peligrosas, por accidente de tráfico.

Visita de obras

Se dedicó la visita principalmente a la CN-323 de Bailén a Motril en su tramo final, desde el Puerto del Suspiro del Moro hasta la Costa. En el itinerario está incluida la variante de Beznar a Vélez de Benaudalla. El trazado se desarrolla por un terreno de topografía muy accidentada y con características geológicas singulares. Corresponde a las estribaciones Sur de Sierra Ne-



Embotellamiento en autopista urbana

vada donde se sitúan los mantos de corrimiento alpujárridos (calizas, dolomías y mármoles sobre macizos de exquisitos); a efectos de proyecto es preciso considerar la alta actividad sísmica de la zona.

Se mostraron a los visitantes los parajes más destacados por las características geotécnicas o las dificultades constructivas. Entre ellas el emplazamiento del cruce del arroyo Tablate. La rasante del nuevo tramo pasa a 90 metros sobre el fondo del barranco. Se han estudiado dos alternativas: puente o terraplén. Las laderas presentan fracturas que han dado origen a deslizamientos y esta precaria estabilidad es grave sobre todo por la actividad sísmica. La solución de puente exigiría grandes inversiones en la consolidación de laderas. Con el terraplén se lograría un efecto de apuntalamiento de éstas pero exigiría un drenaje transversal de 400 metros de longitud; la cota máxima llegaría a los 90 metros antes citados.

Otro punto singular corresponde al desmonte y deslizamiento de Izbor en un macizo esquistoso muy fragmentado. Se estudia la corrección del deslizamiento a base de tendido del talud, disposición de bernas intermedias y mejora del sistema de drenaje.

Se han proyectado cinco puentes, cuatro de ellos han exigido una elevación de rasante por el futuro embalse de Guadalfeo. En los casos en que el agua de éste pudiera afectar a la estabilidad de las laderas bajo las futuras cimentaciones se están proyectando con pilotes.

Consideración final

Concluimos este guión-resumen del Simposio de Torremolinos que estimamos puede dar una idea de lo completo que ha sido su programa y del interés y calidad de las aportaciones de ponentes y comunicantes.

Las grandes obras de infraestructura viaria realizadas en los últimos 30 años además de por su volumen, se caracterizan por la introducción de una tecnología diferente, muy compleja y perfeccionada que, por otra parte, es necesaria por el gran crecimiento del tráfico en intensidad y cargas.

En el período citado se ha ido decantando una experiencia acumulativa que es preciso difundir y contrastar, y a tal efecto, se celebran reuniones para el intercambio de experiencia en los distintos temas. En este Simposio se convocó a distinguidos especialistas de los campos de la hidrología, la geotecnia y la protección ambiental que ante un auditorio de más de 200 inscritos hablaron de la relación entre el agua y el terreno mientras, por ironía del destino, la lluvia en el exterior alcanzaba marcas seculares con sus secuelas de desbordamiento de ríos y arroyos, inundaciones, afecciones a obras y corte de vías de comunicación, como poniendo de relieve la importancia de los temas que se trataban en cuanto a previsiones, prevenciones, estudios de soluciones idóneas, etc. que si por razones obvias no pueden responder a circunstancias de *fuerza mayor*, minimizarán en lo posible los daños y perjuicios a la propia infraestructura y a su entorno.

El *Simposio sobre el agua y el terreno en las infraestructuras viarias* es un buen ejemplo de las reuniones de información que la Asociación Técnica de Carreteras viene organizando en colaboración con otras entidades, en este caso, con la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, cuyo 40.º Aniversario celebramos en un acto conmemorativo y me cumple recordar aquí a su presidente, el profesor Jiménez Salas, alma en España de una ciencia joven en la que ha creado escuela.

En el capítulo de agradecimientos a los participantes haremos especial mención de los autores de 6 comunicaciones extranjeras (3 francesas, 2 italianas y 1 suiza). Todas las ponencias y comunicaciones han sido recogidas en un libro de casi 500 páginas, que gracias al gran esfuerzo del Comité de Gestión, pudo entregarse a los asistentes con la documentación del Simposio. Señalemos el interés de este libro como fuente de consulta para ingenieros y colaboradores que se ocupen de proyectos, construcción o conservación de infraestructuras viarias.

FE DE ERRATAS: En nuestro número anterior (pág. 134) donde decíamos "que alcanzan cada año, en la actualidad, las estremecedoras cifras de 5.000 muertos y 15.000 heridos" debe decir: de 500.000 muertos y 15.000.000 de heridos. Rogamos disculpen estas inintencionadas erratas.