

Consideraciones sobre el proyecto y construcción de carreteras en Andalucía*

POR D. ÁNGEL TAVIRA HERRERO, INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Y

D. CARLOS RECCHI VAN DEN BORN, INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

1. Introducción

Hemos de destacar que los dos últimos inviernos han supuesto tanto para el conjunto nacional como para la Comunidad de Andalucía unos de los periodos más lluviosos de los últimos años, alcanzándose unas precipitaciones muy superiores a las medias, y, además, muy concentradas en el tiempo, por lo que prácticamente se han alcanzado pluviometrías mensuales iguales a las medias anuales (alrededor de 600 l/m²). Esta circunstancia se ha dado con intensidades diarias de lluvias particularmente altas, es decir, superiores a 50 l/día, lo que ha provocado, como de todos es conocido, el rápido agotamiento de la capacidad de los embalses, situándose estos en su conjunto con una cobertura superior al 70%, cuando hace apenas 2 años se situaba escasamente por encima del 10%. Estas circunstancias han hecho que los terrenos de Andalucía se vieran saturados de agua ante las fuertes y continuas lluvias y, habiendo perdido gran parte de la capacidad de regulación de los embalses, se ha

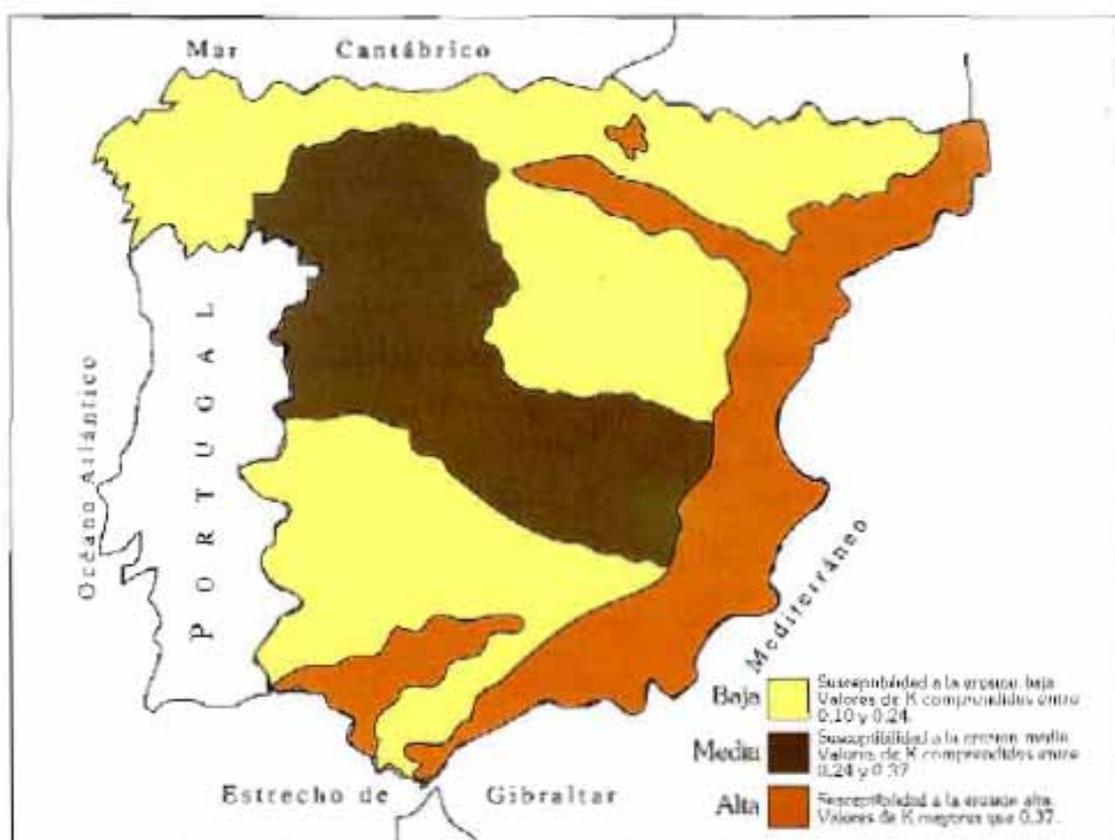


Fig. 1: Carta de isoerosionabilidad específica

hecho preciso que aliviaran el agua que llegaba a ellos, por lo que no ha sido posible en muchos casos laminar la avenida; y, por lo tanto, se han puesto los cauces a plena capacidad, llegando a producirse desbordamientos en numerosos lugares de la región.

Ante este análisis de los meteoros producidos, conviene analizar el suelo y los terrenos, dentro de los que se dispone en la región, pudiendo caracterizarlos fundamentalmente de la siguiente forma:

La geología de la superficie de Andalucía se puede dividir en 4

grupos bien diferenciados, que prácticamente constituyen 4 franjas de orientación aproximada E-NE.

Cada una de éstas ocupa una extensión del orden de la cuarta parte total de la superficie de la comunidad autónoma.

A continuación, se comentan en particular:

1.- Meseta: se sitúa hacia el norte y está constituida en gran medida por la formación de Sierra Morena, de la era Paleozoica, donde destacan rocas metamórficas y volcánicas, predominando las pizarras en la región.

(*) Artículo remitido para su publicación por el Comité Técnico de Genética Vial de la Asociación Técnica de Carreteras.

Tabla nº 1. (Fuente: GIASA y Estudios Geotécnicos)

PATOLOGÍA	% FRECUENCIA
Inestabilidades de taludes en terraplén o desmonte con afección a calzada	44
Erosiones en taludes y cunetas	20
Deslizamientos de ladera (flujo de arcilla)	14
Desbordamientos de obras de fábrica	12
Deterioro del firme	5
Estructuras de contención	5

2.- Depresión del Guadalquivir: el cauce de este río constituye el límite sur de la formación de Sierra Morena. Es una zona deprimida, conformada por el valle de inundación del Guadalquivir, donde destacan las arcillas y arcillitas calcáreas (margas) neógenas (Mioceno) y las terrazas cuaternarias. Existen también, de menor extensión, las cuencas del Guadiana Menor, Almanzora y Andarax, y la Vega de Granada.

3.- Subbética: entre la depresión del Guadalquivir y las Béticas existe una franja de transición (formaciones externas), en la que se han involucrado los terrenos prebéticos y subbéticos propiamente dichos, siendo el límite entre ambas de difícil determinación. Destacan las margas (arcillas de alta plasticidad) y las calizas, con un relieve suave y alomado.

4.- Bética: al sur y hasta la costa, las Cordilleras Béticas destacan las calizas y dolomías (Malaguides), las filitas, mármoles y micasquistos (Alpujarrides) y los esquistos y micasquistos (Nevado Filabride).

Así, nos situamos en un marco en el que, por una parte, hay terrenos muy jóvenes; y en los valles, en general, estratos arcillosos y muy susceptibles al agua en los siguientes aspectos:

- Capacidad portante.
- Erosionabilidad.
- Expansividad.
- Meteorización.

En las figuras nº 1 y 2, se pueden ver los mapas en los que se muestran zonas con diferentes grados

de expansividad y erosionabilidad.

Como se aprecia, la región andaluza es la que, en proporción, está más afectada por ambos fenómenos. Se encuentran amplias zonas con una alta susceptibilidad a la erosión, así como con riesgos de expansividad alto o muy alto.

Bajo este punto de vista, por parte de la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Obras Públicas y Transportes, se decidió, ante esta situación extrema de pasar de suelos secos a saturados, proceder al estudio de los daños producidos por el agua, y, para ello, se encargaron 79 estudios geotécnicos en los puntos donde la red de carreteras había presentado fuertes problemas geotécnicos. También se inició una campaña de auscultación dinámica, para poder cuantificar (aun cuando la carretera aparentemente no presentaba ningún daño), cómo había evolucionado su regularidad superficial y su capacidad de soporte al

pasar de explanadas secas a saturadas.

2. Daños observados

Dentro de estos estudios, realizados en combinación por los Servicios de Explotación y Construcción, podemos analizar las consecuencias que, a nuestro entender, se derivan de la interrelación agua-suelo.

Por ello, y basándonos en el informe estadístico emitido por GIASA y en los 79 estudios geotécnicos sobre los puntos que presentaron daños, se puede concluir que los problemas se distribuyeron tal y como se presenta en la tabla 1.

A la vista de los porcentajes anteriormente reseñados, se deduce que el daño más frecuente es la inestabilidad de taludes; y, en general, es el que ocasiona un corte de la carretera. Esta la entendemos como una conexión fija, y este tipo de problemas la rompe con la grave perturbación de la incomunicación que produce.

En particular, se ha establecido la frecuencia de diferentes patologías, en función exclusivamente de los estudios geotécnicos llevados a cabo (79 estudios) sobre las incidencias por lluvias.

En función de la tipología establecida, se ha configurado la tabla 2.

Así, a la vista de los informes emitidos, se puede indicar que, a nuestro entender, los factores

Tabla nº 2. (Fuente: Estudios Geotécnicos)

PATOLOGÍA	% FRECUENCIA
Erosión	12
Flujo de arcilla	15
Relleno con escasa capacidad de soporte en terraplenes	6
Cimiento con escasa capacidad de soporte en terraplenes	17
Estructura de contención	6
Talud de desmonte	21
Drenaje deficiente	14
Media ladera con pendientes fuertes	9

preponderantes en los fallos se pueden imputar a las siguientes causas:

- Escasa capacidad de soporte de la cimentación.
- Uso de materiales no tolerables o marginales y deficiente puesta en obra.
- Drenaje insuficiente.
- Necesidad de un estudio geotécnico de mayor profundidad en las obras de tierras.

3. Cimentación de terraplenes

En este punto nos hemos de detener para efectuar una reflexión sobre cuál puede ser la barrera entre proyecto y construcción. Entendemos que el proyecto debe definir la obra, pero siempre en función de sus posibilidades; y con ello se quiere significar que el proyecto de construcción es una pieza vital, pero que su desarrollo puede llevar aparejada una serie de limitaciones, que hacen que éste no puede verificar todos los supuestos planteados, por varios motivos: el primero y muy importante es su **limitación económica**, lo que produce que la inversión en investigación geotécnica, e, incluso cartográfica y de replanteo esté en niveles reducidos y basados, muchas veces, en un informe geológico en el que se estiman los terrenos, lo que indudablemente no quiere decir que se acierte en el 100% de los casos, dada la propia heterogeneidad de la naturaleza. Otra circunstancia es el **corto plazo de redacción**, que hace que no se pueda disponer del tiempo necesario para realizar un estudio más profundo, ya que en muchos casos la inversión pública depende de la disposición de estos proyectos: además, se reúne otra circunstancia adicional y es que las verificaciones geotécnicas pueden requerir el emplazamiento de los equipos en terrenos particulares, a los que no se tiene acceso. Así, en estas circunstancias y con antelación a las lluvias acaer-

cidas, desde la Dirección General de Carreteras se vio la necesidad de efectuar unos estudios complementarios previos al inicio de las obras, deducidos ya de los informes contenidos en el proyecto, para en algunos casos completar, y en otros verificar, las hipótesis del proyecto en cuestión. Para ello es preciso destinar una inversión, que, si bien no va a garantizar que nunca ocurrirá nada (no olvidemos que nos movemos dentro del régimen probabilístico, y por tanto hay que elegir los coeficientes de seguridad dentro de un coste óptimo), sí se van a minimizar los posibles problemas que se planteen en la construcción y vida útil de la carretera. Así, se puede indicar sobre los terraplenes que, dado que es un elemento que se apoya sobre el terreno, se debe garantizar la adecuada capacidad de soporte de la cimentación con el grado de saturación del suelo que se determine a la vista de su situación y de la magnitud del daño que pueda provocar, debiendo verificar que la tensión admisible del terreno no sea superada por el peso del terraplén y el paquete de firme que se construya. Entendemos que, en la verificación, se debe proceder al cálculo, tanto de la estabilidad de los terraplenes como de los asentamientos remanentes previstos que puedan afectar al confort del usuario, al degradar la calidad de la rasante. Así, en este sentido, un terraplén debe calcularse de forma semejante a una estructura: es decir, la capacidad de soporte requerida a la cimentación, la estabilidad de las tierras mediante el cálculo de los taludes que se van a ejecutar en función de los materiales utilizados y con una previsión de humectación y compactación, así como de la posible saturación tanto del propio cuerpo del terraplén como de los terrenos de apoyo; y, por último, se deben determinar los asentamientos remanentes en el tiempo, al objeto de evaluar su influencia en la estructura del firme. Si no se cuenta con estudios previos en esos puntos, no resulta costoso llevar a cabo una rápida verificación de la capacidad de soporte del terreno afectado (penetraciones, calicatas y, en casos especiales, sondeos), pero debiéndose tener la casi seguridad de que el saneo que se haga sea sin duda superior al desbroce clásico de 30 a 50 cm. En este sentido, se debe recalcar que, en algunos casos, luego de producida la rotura, se ha

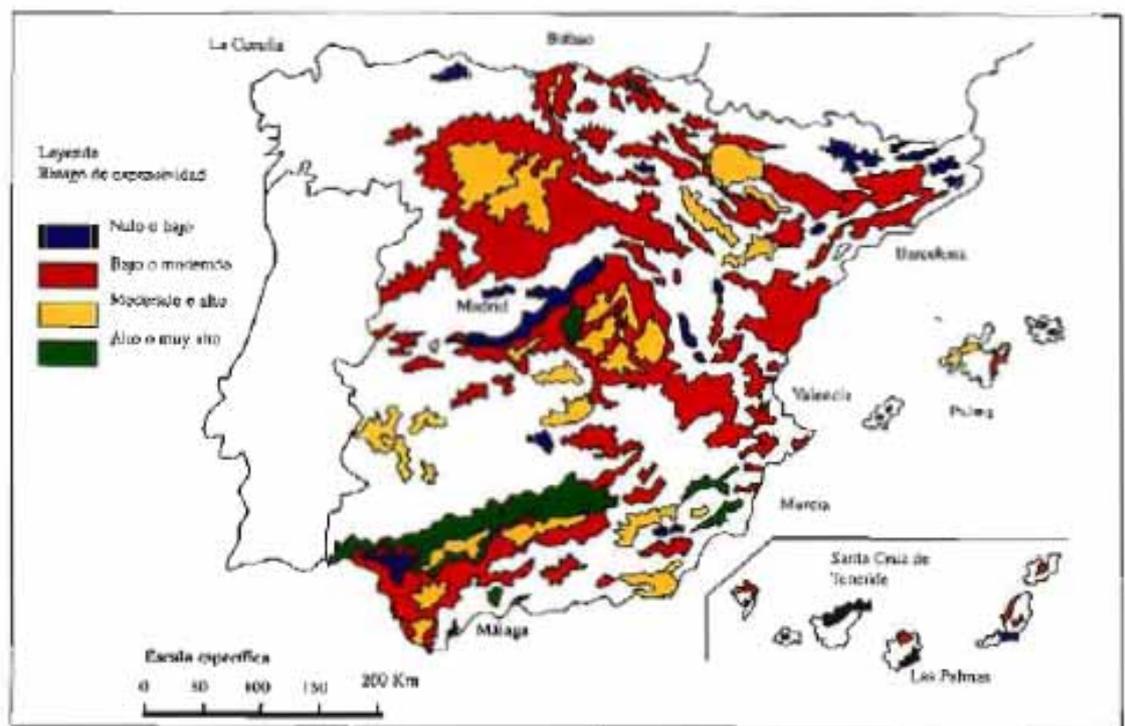


Fig. 2: Mapa de riesgos de expansividad. Oteo et al. (1987).

culo, tanto de la estabilidad de los terraplenes como de los asentamientos remanentes previstos que puedan afectar al confort del usuario, al degradar la calidad de la rasante. Así, en este sentido, un terraplén debe calcularse de forma semejante a una estructura: es decir, la capacidad de soporte requerida a la cimentación, la estabilidad de las tierras mediante el cálculo de los taludes que se van a ejecutar en función de los materiales utilizados y con una previsión de humectación y compactación, así como de la posible saturación tanto del propio cuerpo del terraplén como de los terrenos de apoyo; y, por último, se deben determinar los asentamientos remanentes en el tiempo, al objeto de evaluar su influencia en la estructura del firme. Si no se cuenta con estudios previos en esos puntos, no resulta costoso llevar a cabo una rápida verificación de la capacidad de soporte del terreno afectado (penetraciones, calicatas y, en casos especiales, sondeos), pero debiéndose tener la casi seguridad de que el saneo que se haga sea sin duda superior al desbroce clásico de 30 a 50 cm. En este sentido, se debe recalcar que, en algunos casos, luego de producida la rotura, se ha

culdo, tanto de la estabilidad de los terraplenes como de los asentamientos remanentes previstos que puedan afectar al confort del usuario, al degradar la calidad de la rasante. Así, en este sentido, un terraplén debe calcularse de forma semejante a una estructura: es decir, la capacidad de soporte requerida a la cimentación, la estabilidad de las tierras mediante el cálculo de los taludes que se van a ejecutar en función de los materiales utilizados y con una previsión de humectación y compactación, así como de la posible saturación tanto del propio cuerpo del terraplén como de los terrenos de apoyo; y, por último, se deben determinar los asentamientos remanentes en el tiempo, al objeto de evaluar su influencia en la estructura del firme. Si no se cuenta con estudios previos en esos puntos, no resulta costoso llevar a cabo una rápida verificación de la capacidad de soporte del terreno afectado (penetraciones, calicatas y, en casos especiales, sondeos), pero debiéndose tener la casi seguridad de que el saneo que se haga sea sin duda superior al desbroce clásico de 30 a 50 cm. En este sentido, se debe recalcar que, en algunos casos, luego de producida la rotura, se ha

culdo, tanto de la estabilidad de los terraplenes como de los asentamientos remanentes previstos que puedan afectar al confort del usuario, al degradar la calidad de la rasante. Así, en este sentido, un terraplén debe calcularse de forma semejante a una estructura: es decir, la capacidad de soporte requerida a la cimentación, la estabilidad de las tierras mediante el cálculo de los taludes que se van a ejecutar en función de los materiales utilizados y con una previsión de humectación y compactación, así como de la posible saturación tanto del propio cuerpo del terraplén como de los terrenos de apoyo; y, por último, se deben determinar los asentamientos remanentes en el tiempo, al objeto de evaluar su influencia en la estructura del firme. Si no se cuenta con estudios previos en esos puntos, no resulta costoso llevar a cabo una rápida verificación de la capacidad de soporte del terreno afectado (penetraciones, calicatas y, en casos especiales, sondeos), pero debiéndose tener la casi seguridad de que el saneo que se haga sea sin duda superior al desbroce clásico de 30 a 50 cm. En este sentido, se debe recalcar que, en algunos casos, luego de producida la rotura, se ha

culdo, tanto de la estabilidad de los terraplenes como de los asentamientos remanentes previstos que puedan afectar al confort del usuario, al degradar la calidad de la rasante. Así, en este sentido, un terraplén debe calcularse de forma semejante a una estructura: es decir, la capacidad de soporte requerida a la cimentación, la estabilidad de las tierras mediante el cálculo de los taludes que se van a ejecutar en función de los materiales utilizados y con una previsión de humectación y compactación, así como de la posible saturación tanto del propio cuerpo del terraplén como de los terrenos de apoyo; y, por último, se deben determinar los asentamientos remanentes en el tiempo, al objeto de evaluar su influencia en la estructura del firme. Si no se cuenta con estudios previos en esos puntos, no resulta costoso llevar a cabo una rápida verificación de la capacidad de soporte del terreno afectado (penetraciones, calicatas y, en casos especiales, sondeos), pero debiéndose tener la casi seguridad de que el saneo que se haga sea sin duda superior al desbroce clásico de 30 a 50 cm. En este sentido, se debe recalcar que, en algunos casos, luego de producida la rotura, se ha

comprobado que tan sólo se había efectuado el desbroce, tal y como se recogía en el proyecto aprobado, con un espesor que resultaba muy escaso frecuentemente, si lo que se pretende es llegar a un nivel competente (salvo, claro está, si el terreno estuviera compuesto por roca dura).

Es evidente que se debe entender el desbroce como la tarea por la cual se retiran árboles, arbustos, hierba en general y las raíces de mayor tamaño, generalmente con vistas a explotar material de yacimiento, o para poder proceder a posteriori a la excavación hasta el nivel adecuado de cimiento. No debe entenderse desbroce como acceso a cimiento apto, pues en este caso el espesor de aquella unidad podría resultar variable desde medidas centimétricas hasta de varios metros.

En definitiva, siempre se deberá efectuar el desbroce de los habituales 30 a 50 cm de terreno, junto con la maleza, y a continuación deberá procederse a excavar hasta la profundidad de apoyo que indiquen los estudios realizados previamente.

Se deben estudiar especialmente las zonas de vaguada y arroyo, en donde suelen coincidir la obra de fábrica con la máxima altura de terraplén; y, en esta situación, no cabe olvidar que su saturación es previsible al ser una zona natural de circulación de agua; y, por lo tanto, suele ser frecuente que en esta zona aparezcan rellenos compresibles, que pueden hacer peligrar la estabilidad del terraplén. Este fenómeno se ha producido en algunos casos, inducido en gran medida por la técnica constructiva de tuberías prefabricadas como elemento drenante, que, al no necesitar una cimentación, hace que en algunos casos su colocación se efectúe sobre suelos colapsables, sin que se haya procedido a más tratamiento de su base de apoyo que el desbroce efectuado y una cama de arena sobre la que se apoya.

Retirando el espesor alterado se mejora notablemente la tensión admisible; pero, además, se pretende garantizar así que, en

los casos de cimentación sobre una ladera, se interrumpa el deslizamiento paralelo al talud, tipo colada de barro.

De esta manera, se movilizarán de forma independiente el talud de la ladera superior e inferior, pudiendo ocasionar aquél a lo sumo la invasión de la calzada si el terraplén fuera de altura reducida. Este fenómeno puede controlarse con alguna obra de contención; pero, casi con seguridad, que no se vería arrastrado el terraplén de la carretera.

4. Construcción de terraplenes

Preparada la superficie de apoyo del terraplén, se procede a su construcción, para lo cual se ha determinado previamente la calidad de los materiales que se colocarán en el cimiento, núcleo y coronación.

Por lo general, el material de núcleo es el que presenta más problemas, pues se trata de volúmenes importantes, que se suelen conseguir de la excavación de los desmontes, al intentar abaratar el coste de la obra y conseguir el menor impacto ambiental posible.

En algunos de los terraplenes afectados, se ha podido comprobar que el núcleo presentaba, al menos en ciertos niveles (2 m a 3 m, en algunos casos), una consistencia muy baja, además de un elevado grado de saturación. Esto se puso de manifiesto mediante golpes muy bajos obtenidos en ensayos de penetración dinámica ($N < 10$ golpes).

Los materiales aptos, según el PG-3, son los clasificados como tolerables, adecuados y seleccionados.

Debemos añadir, como reflexión, que ya lleva un tiempo en elaboración la versión corregida del PG-3, en la que se contempla (entre otras muchas modificaciones) que se puedan utilizar para el núcleo de terraplén, suelos clasificados como marginales. Así, se podrán colocar suelos con un $LL < 90$, frente a la exigencia actual, por la que no puede ser este límite superior a 40.

La decisión final que adopte el Director de obra deberá tender a la mejor solución técnica y económica

Es evidente que las condiciones de preparación y colocación de las arcillas (muy frecuentes en nuestros suelos) de tales características deberá contar con un celoso control en todos los pasos que se vayan dando, lo que redundará en complejidad.

Este factor de dificultad queda superado en los casos en que no queda otra alternativa que recurrir a estos suelos.

Siempre, la decisión final que adopte el Director de obra deberá tender a la mejor solución técnica y económica.

La experiencia que hemos tenido en nuestra región nos lleva a tomar con suma precaución esta nueva permisividad, pues puede llevar a apartarla de su carácter de "caso de extrema necesidad" y transformarse en alternativa habitual.

Debemos ser conscientes de que terraplenes ejecutados con suelos tolerables, y que cumplen con la exigencia del PG-3, han presentado problemas; y que, en líneas generales, podemos achacárselos a defectos de colocación, por la dificultad propia que tiene la manipulación de suelos arcillosos con límites líquidos superiores a 30, sobre todo, en una época de sequía. No olvidemos que hace 2 años, Andalucía sufría unas fuertes restricciones de agua potable; los niveles freáticos bajaron hasta cotas no recordadas desde hacía mucho tiempo, y eso obligó a una disposición de los terraplenes con suelos secos, ya que las escasas disponibilidades de agua originaron prohibiciones de su uso para la compactación y la utilización de aguas no potables, y además escasas. Esto llevó a compactar del lado seco, sin conseguir la humedad óptima; y, en

las obras, pensando que las posibles alteraciones posteriores serían de fácil reparación, en muchos casos, al proyectar firmes provisionales que requerirían un refuerzo posterior; en general, se optó por la continuidad de unas obras que, en otro caso, no hubieran sido factibles de ejecutar, con el consiguiente perjuicio para el usuario.

La conclusión inmediata a la que se llega, es que cuanto mejores son los suelos, es decir, adecuados o seleccionados, menores son los riesgos que se corren con la propia estabilidad de los terraplenes. Pero estos tipos de suelo suelen ser escasos, en general, en nuestra región y de mayor coste; por lo que, basándose en criterios medioambientales de no formación de vertederos, se vienen utilizando suelos tolerables y, en algunos casos, marginales. En estos supuestos, es evidente que se debe efectuar el estudio y diseño de la obra de tierras contando con un riguroso plan de control sobre la puesta en obra de este tipo de suelos; es decir: preparación, transporte, colocación, humectación y compactación.

Con lo antedicho, no se pretende ser más riguroso que la Normativa existente, y en este punto debemos recordar que el PG-3 (330.3.2 "Empleo") expresa que "cuando el núcleo del terraplén pueda estar sujeto a inundación, sólo se utilizarán suelos adecuados o seleccionados".

Igualmente, es aceptado por todos que los daños producidos en los últimos años se han debido al excesivo aporte de agua, tanto al núcleo como al cimiento de los terraplenes, razón por la cual podemos asumir que han sufrido "inundación", o, en definitiva, saturación, independientemente de la definición del fenómeno climático.

5. Taludes de terraplenes

Mención especial debe hacerse sobre la pendiente recomendable para los taludes.

Resulta normal encontrarse con que se proyecta, de forma generalizada, con inclinaciones de 1V:1,5H, diseño que es válido si

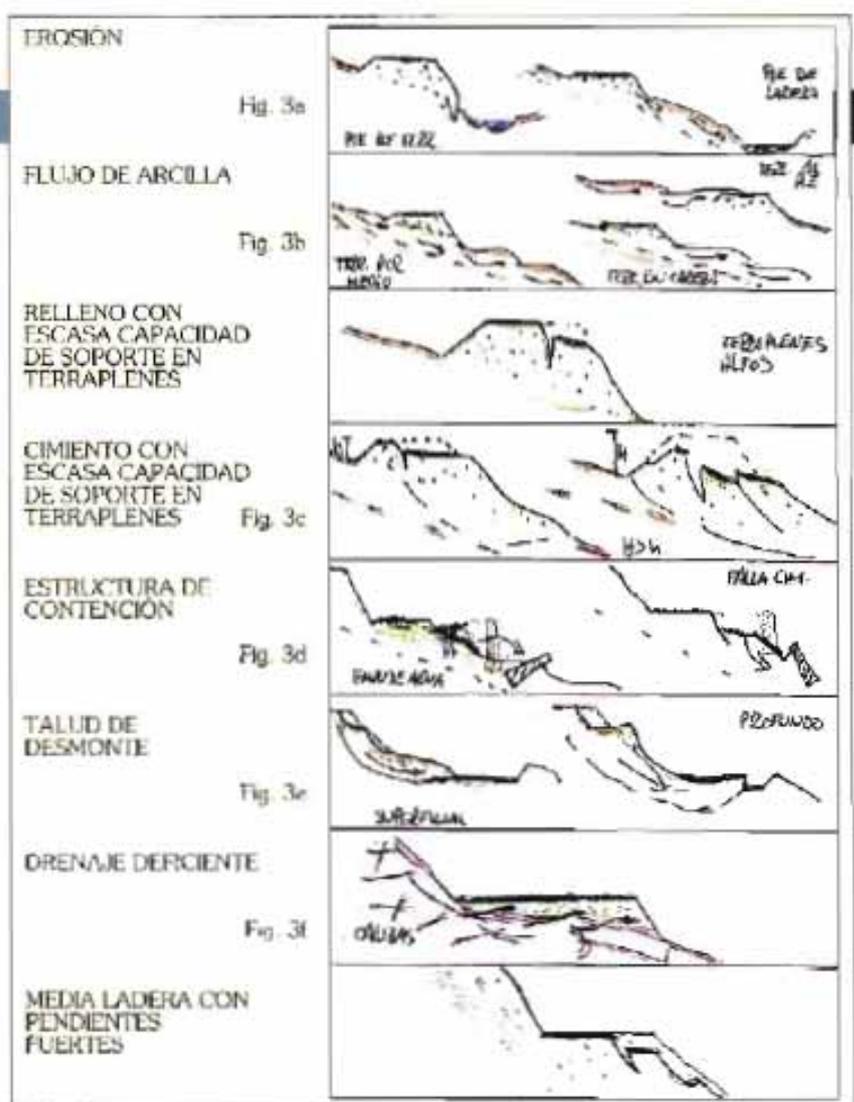


Fig. 3: Representación esquemática de daños en taludes

la construcción es correcta, si los terraplenes no son excesivamente altos y, principalmente, si el talud final respeta como mínimo la inclinación prevista. Entendemos este criterio como economicista y que acepta el riesgo de arreglar algunos debido al ahorro que se produciría al ir a taludes más tendidos.

Desgraciadamente, la práctica ha llevado a generalizar aquel valor a terraplenes de alturas de cierta consideración, lo que en general no ha resultado económico, ya que ha generado bastantes problemas.

Entendemos que, salvo en aquellos casos en que los rellenos sean de poca importancia y ejecutados con buenos materiales, los demás terraplenes deberán diseñarse con taludes que deberán responder a su altura y material con el que se confeccionan.

Si observamos la tabla 2 con los porcentajes de las frecuencias de las diferentes patologías, podemos apreciar la gran incidencia que han tenido los daños en las

estructuras de terraplén. En la representación esquemática de la figura 3, se puede apreciar esto con más claridad.

Podemos considerar que estos se han visto afectados por las primeras cuatro patologías (erosión, flujo de arcilla, rellenos, cimiento poco consistente y drenaje deficiente), con lo que obtenemos que en el 64% de los casos se han visto afectados terraplenes directamente.

6. Taludes de desmonte

Los taludes en desmonte se han visto afectados en un porcentaje menor al 30% (considerando también los casos de media ladera con fuerte pendiente), correspondiendo el 15% a los demás casos particulares.

Inclusive, se ha apreciado que en el caso de afección de desmontes, han sido en la gran mayoría de las de tipo superficial (figura 3), con lo que la carretera



2.- ESQUEMA PATOLOGÍA

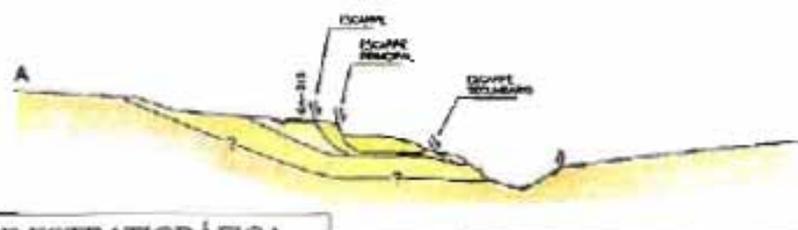


Fig. 3.a): Erosión.

SERIE ESTRATIGRÁFICA

CUATERNARIO		
5	6	RELLENOS
3	4	COLUMIALES
2		FLUVIALES
TERCIARIO COMPLEJO TECTOSEDIMENTARIO		
1		MIOCENO

CUATERNARIO

- 6- Rellenos aluviales, riego, terracedos, etc. de Júcar
- 5- Rellenos, aluviales
- 4- Coladas (Pinturas)
- 3- Destricciones recientes
- 2- Depósitos fluviales de arroyada

TERCIARIO COMPLEJO TECTOSEDIMENTARIO

- 1- Arcillas margosas con lignitas con gresos.

pudo ponerse en servicio procediendo a la retirada de la tierra caída. Los casos en que han sido profundos son minoritarios y quizás tengan mayor incidencia sobre el usuario, aquellos daños en laderas con fuertes pendientes.

En cambio, los daños sobre los terraplenes generan, por lo menos, importantes deformaciones en la calzada, cuando no su rotura, lo que crea serios problemas de circulación. La situación ex-

trema, y que no se da en la práctica con frecuencia, es el colapso general de terraplén, obligando al desvío del tráfico.

En realidad, la cantidad de daños que afectan a los terraplenes y a los desmontes quizás no resulten tal vez tan dispares, pero, al no requerirse estudios geotécnicos para los últimos y al resolverse con tareas de limpieza la operatividad de la carretera, resulta que la necesidad de los estudios se ha orientado en mayor proporción hacia los daños en estructuras de terraplenes.

En el único caso en que podemos considerar una mayor incidencia del daño en desmontes sobre la circulación, como ya se ha comentado antes, es en las regiones donde la carretera discurre por zonas montañosas. Es la situación típica de la Alpujarra en la provincia de Granada.

La propia topografía ocasiona que los daños a la carretera afectan por los menos a una de las calzadas, con el agravante de quedar un escaso margen para desvíos.



2.- ESQUEMA PATOLOGÍA



Fig. 3.b): Flujo de arcilla.

SERIE ESTRATIGRÁFICA

1	2
3	4
5	

RELLENOS

- 1- Terracedos antiguos
- 2- Rellenos de espaldas

COLUMIALES

- 3- Coladas
- 4- Terracedos actuales

MIOCENO

- 5- Abrazos de margas y arcillas

En esta región es donde las soluciones resultan finalmente más espectaculares, y por consiguiente costosas.

7. El drenaje

El otro factor que ha influido en los problemas ha sido la falta del suficiente drenaje para defender las obras de los importantes aportes de agua, tanto superficiales como subterráneos.

En líneas generales, los drenes que suelen ejecutarse bajo las cunetas revestidas tienden a mantener el nivel freático por debajo del paquete granular del firme, pero en los terraplenes a media ladera sería necesario que las zanjas drenantes tuvieran la suficiente profundidad (3 a 4 m) como para defender también al material del núcleo de una inevitable saturación (o de la "inundación" a la que antes se ha hecho referencia), que es la que en definitiva altera la estabilidad del terraplén.

Es evidente que en los casos en que los rellenos sean de alturas importantes, incluso aquellas zanjas "profundas" pueden ser insuficientes, en cuyo caso habrá que recurrir a otros diseños (pozos, pantallas drenantes, drenes horizontales, etc.).

Se ha podido observar que en la mayoría de los terraplenes afectados se da la circunstancia adicional de encontrarse en plena pendiente, a lo que se suele agregar la existencia de un desmonte hacia los puntos kilométricos de mayor cota. Se produce así un flujo de agua que, desde el desmonte, llega hasta el terraplén, y

Uno de los aspectos fundamentales que hay que tener en cuenta es garantizar la evacuación del agua que capte el sistema de drenaje

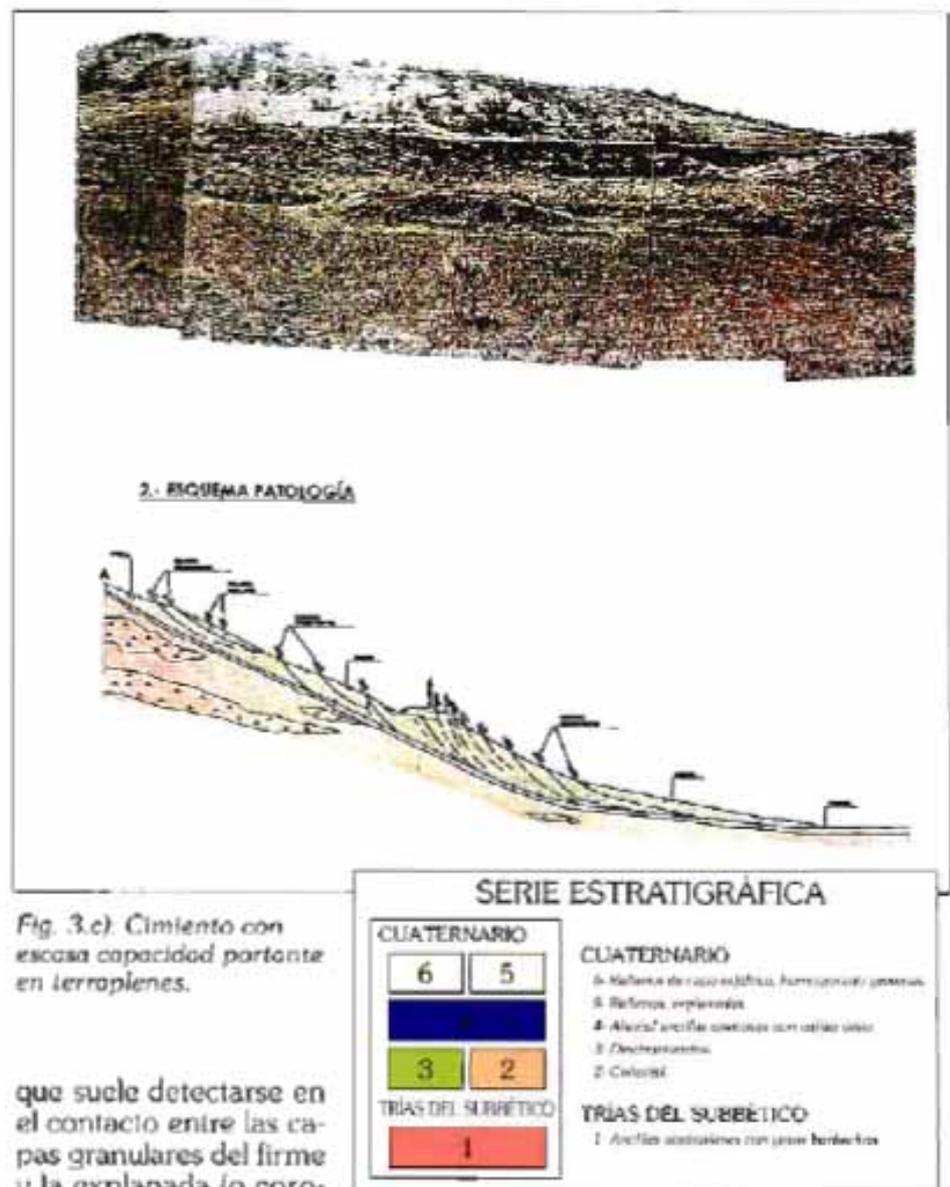


Fig. 3.c) Cimiento con escasa capacidad portante en terraplenes.

que suele detectarse en el contacto entre las capas granulares del firme y la explanada (o coronación), o entre ésta y el núcleo del terraplén.

Una forma de poder controlar estos aportes de agua sería construir una zanja o pantalla drenante transversal al eje de la carretera, y que se situaría próxima al perfil de transición de desmonte a terraplén.

Otro aspecto fundamental que tener en cuenta es garantizar la evacuación del agua que capte el sistema de drenaje, pues de nada sirve recogerla si luego se queda en el sitio, con lo que se agrava el problema en vez de solventarlo.

Debe hacerse hincapié, no sólo en la necesidad de ejecutar aquellas obras de evacuación, sino en garantizar su operatividad. O sea, que es importante que la durabilidad del sistema de drenaje sea llevada a la práctica con diseños conservadores, pues qué

duda cabe que de éste depende la vida de la obra.

Por este motivo tienen una gran relevancia las tareas de control y mantenimiento durante la utilización de la carretera.

De todo lo expuesto, se puede concluir que, para garantizar lo mejor posible la estabilidad de las obras de carreteras, y principalmente en lo que se refiere a los tramos con importantes rellenos o terraplenes, se debe lograr, como es obvio, un nivel de cimentación klóneo y una buena ejecución bajo un control estricto de los parámetros de colocación de los materiales de construcción.

El diseño de las obras de drenaje, tanto las subterráneas como superficiales, debe ser serio y conservador; pero sobre todo se debe desarrollar una permanente tarea de control y mantenimiento



Cabe resaltar la importancia que adquiere un buen estudio de la pendiente de la obra de fábrica y del cauce, así como una buena ejecución de las boquillas de entrada y salida

que permitan que aquéllas funcionen de acuerdo a las previsiones, durante toda la vida útil de la carretera.

Se ha comprobado en más de una oportunidad que la incorrecta evacuación del agua superficial, que origina zonas con encharcamientos, ha sido una de las causas de los daños producidos.

Hemos de indicar que, en cuanto a la respuesta del sistema de drenaje transversal de la carretera, no ha sido igual en toda la red. Esto ha sido, a nuestro juicio, debido a varias causas: porque en primer lugar, la normativa referente a drenaje se modificó en el año 1990, dando lugar a la Instrucción 5.2.1.C., que contempla un nuevo dimensionamiento de las obras de fábrica, y en la que se incluyen diámetros mínimos, fijando ésta, para longitudes inferiores a 10 m, en 1 m.

Así, ante esta panorámica en la que se ha introducido una nueva normativa técnica, cabe preguntarse cuál ha sido la respuesta; y hemos de concluir que el desbordamiento de obras de fábrica, en general, se ha producido en la parte de red de mayor antigüedad, sin haberse observado grandes problemas en las obras que han tenido en cuenta la actual Instrucción en su construcción. No obstante, cabe reflexionar en este punto que siempre nos movemos en la determinación de caudales en términos probabilísticos y, por lo tanto, que prevemos un determinado periodo de retorno

que lo que indica es que tan sólo existe una probabilidad de que ocurra en un determinado periodo de tiempo, pero esta circunstancia puede ocurrir en cualquier momento, por lo que se debe asumir que, para aguaceros excepcionales con una dilatación en el tiempo, las obras de fábrica afectas a esa cuenca pueden ser desbordables. Este criterio lo hemos de entender como economicista, ya que la inversión en la construcción de la obra de fábrica debe estar equilibrada con los daños que puede ocasionar su desbordamiento y bajo este planteamiento general se han determinado los periodos de retorno de las avenidas que hay que evacuar.

Un aspecto que se debe tener en cuenta en la disposición de obras de fábrica es su replanteo físico; ya que se han observado, en desviaciones sobre el cauce del arroyo, problemas de erosión en su entrada y salida, motivados, unas veces en el primer caso, por incidencias del agua en la entrada contra una de las aletas y el talud del terraplén; y en el otro, por diferencia de pendientes entre el cauce y la obra de fábrica, que han provocado una gran socavación en su salida. En este apartado cabe resaltar la importancia que adquiere un buen estudio de la pendiente de la obra de fábrica y del cauce, así como una buena ejecución de las boquillas de entrada y salida que nos garanticen una

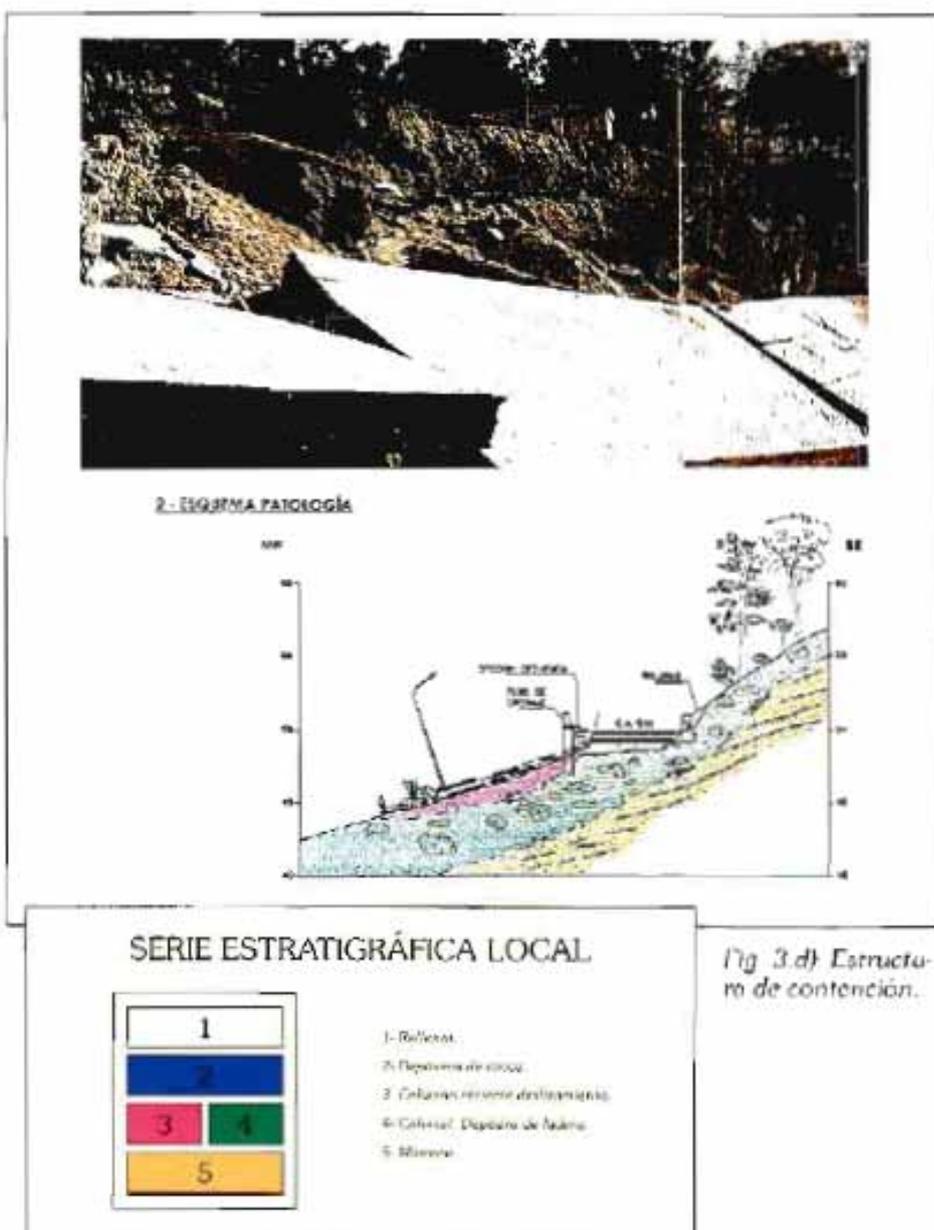


Fig 3.d) Estructura de contención.



2.- ESQUEMA PATOLOGÍA

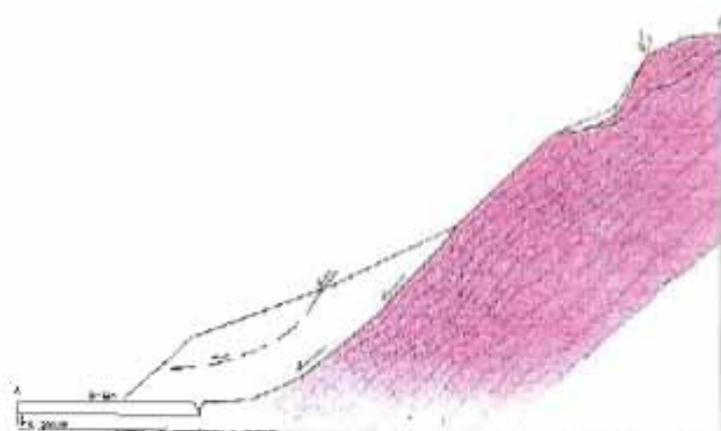


Fig. 3 e) Talud de desmante

adecuada recogida y entrega del agua al cauce.

En este aspecto se ha de indicar, asimismo, la gran importancia que puede llegar a tener la conservación de las obras de fábrica, así como la limpieza de los cauces, ya que esto nos garantizará la disposición plena de las secciones hidráulicas construidas y se evitará su obstrucción, con el consiguiente desbordamiento (más por obstrucción que por insuficiencia de sección).

En cuanto al drenaje longitudinal, se ha de indicar que, en general, ha presentado algunos problemas de desbordamiento, sin poder en muchos casos decidir si esta circunstancia se ha producido por capacidad insuficiente, o bien por obstrucción, inclinándonos más por esto últi-

SERIE ESTRATIGRÁFICA



mo, ya que en los desmontes en los que se han producido desbordamientos se han dado aportaciones de suelos a la cuneta, que en muchos casos han provocado su corte y, por consiguiente, su desbordamiento, al obstruirse el cauce. Asimismo, se han detectado erosiones en terrenos flojos, debido a una circulación de agua con una velocidad superior a la admitida por el terreno, por lo que se ha de considerar su revestimiento en función del terreno existente y su resistencia a la erosión.

Por último, conviene indicar que se debe establecer, mediante las operaciones necesarias, la entrega del sistema de drenaje longitudinal a los cauces, estudiando que no se produzcan erosiones o daños en la propia obra ni en las propiedades colindantes, en todo el recorrido del agua hasta el cauce en el que ésta desagüe.

8. La erosión

En cuanto a la erosionabilidad de los taludes, hemos de indicar que, frente al agua, tan sólo depende de sus elementos constitutivos, debiendo indicar que éste es un elemento más del propio drenaje de la ladera a la que pertenece; y cabe indicar que, para evitar esta situación, tan sólo cabe minimizar la cantidad de agua que circule por el talud mediante su protección con cunetas de coronación o mediante plantaciones o elementos protectores; o bien disponiendo el talud necesario para que la velocidad de circulación del agua sobre éste cause el menor daño. Estas alternativas llevan indudablemente a un encarecimiento del proyecto que debe contemplar el punto de vista de los daños que la situación de erosionabilidad cause, y decidir lo más adecuado, entendiendo que la inversión pública es escasa, ya que el país demanda infraestructuras por encima de las posibilidades presupuestarias actuales.

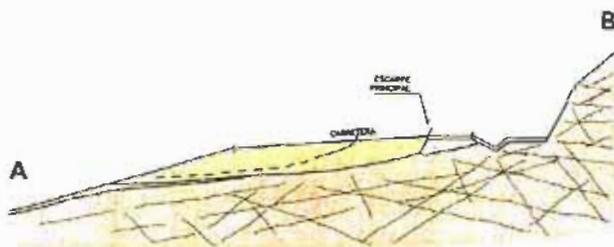
9. Muros de sostenimiento

En cuanto a los muros de sostenimiento, se ha de indicar que en general se han comportado bien, salvo algunos casos puntuales en los que cabe hacer tan sólo unas reflexiones sobre su construcción para garantizar la estabilidad, y aquí se deben destacar dos puntos, a nuestro entender fundamentales, que son la calidad del terreno de cimentación y el relleno del trasdós.

La calidad del terreno de cimentación es importante, y no la destacamos porque no se co-



2 - ESQUEMA PATOLOGÍA



SERIE ESTRATIGRÁFICA



- 5. Rellenos de explanada
- 4. Rellenos de pavimentación asfáltica, hormigón, fibrosa
- 3. Hundimiento-deslizamiento
- 2. Coluvión antiguo
- 1. Arcillas silíceas marrón amarillentas
- 0. Arcillas con bloques

Fig. 3.f) Drenaje deficiente

de temperatura y humedad, y, por consiguiente, sufre la alteración de su estructura original. Si bien dicha capa se relaciona habitualmente a las arcillas expansivas (mayoritarias en

Andalucía, y causantes de gran parte de los daños), podemos hacerla extensiva a otros tipos de materiales que en definitiva hayan sido causantes de corrimientos de las características descritas.

El espesor que se suele adoptar está en el entorno de los 2 m a 5 m, con lo que suele ser aceptable tomar el promedio de 3 m a 4 m.

Con esta magnitud puede plantearse una excavación hasta alcanzar un terreno no alterado, o afectado por el corrimiento; pero debe destacarse que a veces no

es suficiente esta estimación del espesor afectado, y necesariamente debe recurrirse a una investigación del terreno para evaluar la factibilidad de la solución pensada.

En los casos en que esta profundidad sea superior a los 4 m, debe estudiarse críticamente la alternativa de un muro, u otra que la pueda reemplazar, principalmente con vistas a minimizar los riesgos de ejecución (p.ej. excavaciones muy profundas en terrenos problemáticos, y normalmente con circulación de vehículos y escasas posibilidades de realizar desvíos).

Ante esta alternativa, podríamos inclusive aceptar que la emergencia en cuestión sea resuelta "a medias", o sea, actuando con un muro a sabiendas de no haber atravesado el suelo movido, pero sólo si se acomete la reparación con soluciones "deformables" (p.ej. gaviones). De esta forma, cuando se produzcan nuevos corrimientos, es probable que aquellos se deformen sin llegar a permitir un daño completo, y que se pueda así garantizar cierto grado de operatividad de la carretera afectada.

En resumidas cuentas, debemos contar con un cimiento competente que responda a las hipótesis hechas respecto a su parámetros resistentes, y asegurarnos, siempre que sea posible, que el espesor de la masa movilizada esté totalmente contenida por el muro y que no sea lo contrario, en cuyo caso el futuro de la obra estará comprometido.

Superada esta etapa, y ya debidamente instalado el muro, se debe proceder al relleno en el trasdós.

**Suele suceder que,
al realizar el proyecto
del muro,
no se considere el
empuje del agua
en el trasdós**

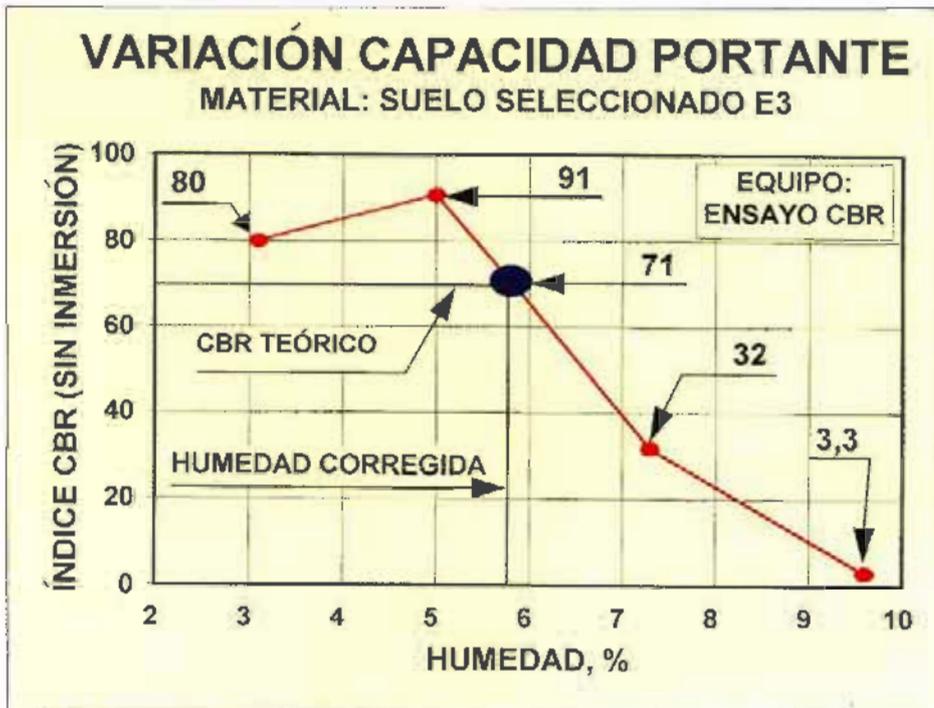


Figura 4.

10. Relleno en el trasdós

Suele suceder que, al realizar el proyecto del muro, no se considere el empuje de agua en el trasdós, pues de lo contrario bajará el FS. y, además, se le asig-

na al terreno de relleno unos parámetros de resistencia al corte y condiciones de saturación que no suelen ajustarse luego a la realidad de la obra.

Si por el contrario se estudiara la estabilidad con empuje de agua y un relleno con un suelo arcilloso (suele ser la situación

real en la mayoría de los casos) de baja permeabilidad, los muros resultarán de mayores dimensiones (diríamos que están "sobredimensionados"). En el caso particular de los gaviones, no tendríamos el problema del empuje sobre el paramento del trasdós, pues son elementos totalmente permeables. En otros tipos deben diseñarse mecniales de dimensiones y distribución generosa.

Por cuestiones también de drenaje, y para evitar un relleno saturado que comprometería la estabilidad, deben adoptarse medidas que permitan bajar el nivel de agua.

Para ello, las medidas que se deben adoptar son muy variadas, desde colocar un relleno permeable (zahorras con pocos finos, gravas, etc.) entre el muro y el talud natural del terreno, hasta una capa drenante en el trasdós, pasando por toda una gama de diseños de drenajes que pueden consultarse en la bibliografía especializada (Manual de Taludes-ITGE, Geotecnia y Cimientos, Muros de Contención-INTEMAC, incluso la NTE, etc.).

En definitiva, si se prevé que el muro no soportará empujes hidrostáticos, y que el relleno no se encuentra en situación de saturado, desarrollando los respectivos parámetros resistentes, **debe asegurarse que estas hipótesis se cumplan durante la construcción.**

11. La acción del agua sobre el firme

Hemos de analizar por último cómo puede llegar a afectar el agua al firme de la carretera bajo un punto de vista, no ya de su erosión ni de desbordamiento sobre él, sino estructuralmente, es decir, cómo responde la estructura del firme ante condiciones de saturación y cuál puede ser el daño que esto represente sobre él, bien minimizando su período de vida o bien provocando su ruina. Para ello, hemos de considerar los distintos elementos que

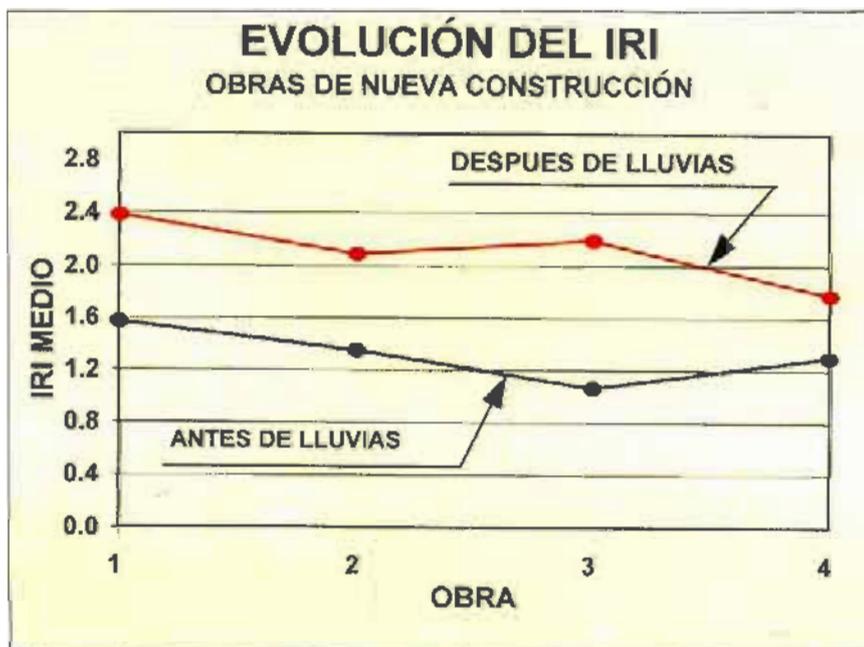


Figura 5.



Figura 6.

componen el firme, y en este proceso cabe indicar cómo las capas granulares y los suelos son susceptibles a los procesos de saturación de agua, habiendo efectuado ensayos en la Delegación Provincial de Granada para determinar la variación de la capacidad portante del suelo seleccionado en función del contenido de humedad, que se adjunta como figura 4 y en la que puede verse su susceptibilidad. Así, en este sentido y aprovechando esta época de lluvias, se ha determinado por un lado la variación del I.R.I. (Índice de Regularidad Internacional), es decir, el confort de la rodadura por posibles deformaciones de la rasante, y también se ha determinado la variación de la capacidad portante, datos obtenidos sobre obras que habían sido auscultadas durante su ejecución y de las que disponemos de todos los datos de su construcción. Estos resultados se adjuntan en las figuras 5 y 6, en las que se pueden verificar las evoluciones de los respectivos índices.

Ante estas consideraciones, hemos de indicar que existe, por tanto, una influencia decisoria en-

tre el grado de saturación de las capas de firme y de su sustento, y la durabilidad del firme, para lo que a título de ejemplo se han calculado diversas secciones con

CBR variables en función de la saturación de los terrenos y las capas granulares, que se adjuntan en la figura 7, y verificando cómo se disminuye la respuesta del firme ante las cargas en esta situación.

Por lo anteriormente expuesto, se ha de concluir que durante la construcción, la elección de materiales para el firme ante fenómenos de posibilidades de saturación de agua se hace delicada y se ha de tener presente que su susceptibilidad nos está dando la durabilidad del afirmado y de la propia obra, ya que, para el usuario, su primera percepción es la capa de rodadura de la carretera.

12. Conclusiones

Por último, y tras la exposición efectuada, entendemos que podemos establecer las siguientes conclusiones:

- La construcción de toda obra requiere el establecimiento de la verificación de las hipótesis establecidas en el proyecto.

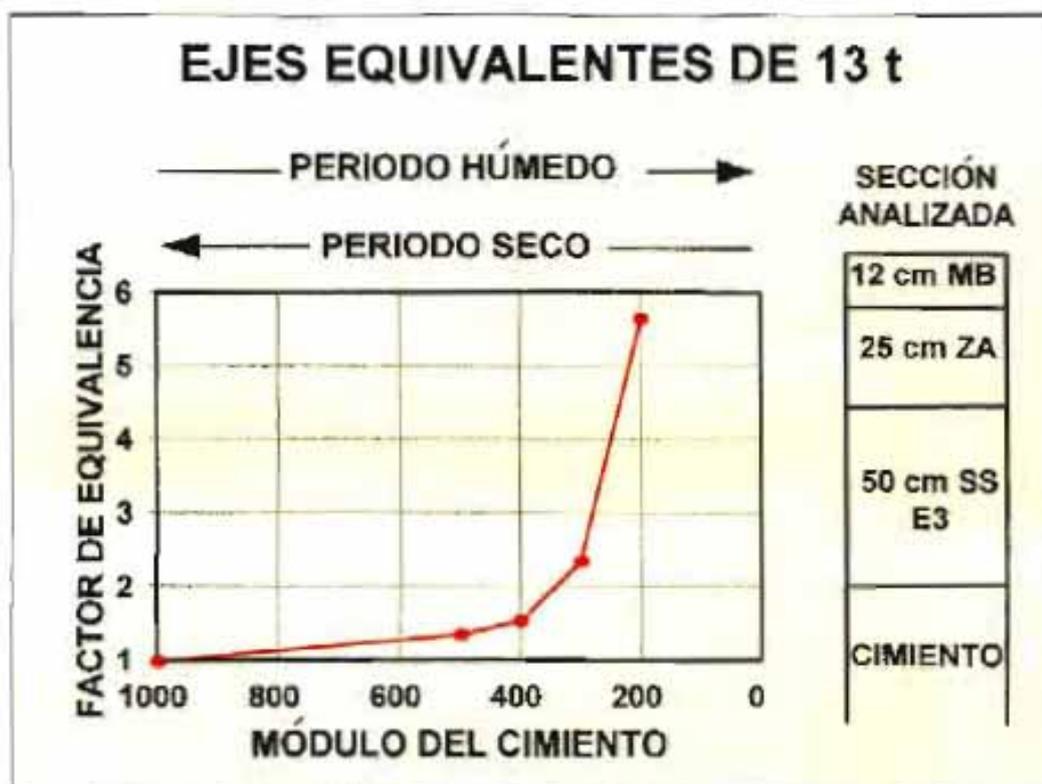


Figura 7.

• Se debe proceder, a la vista de las determinaciones del proyecto, a un reestudio (ya con los materiales reales que se van a utilizar) del cálculo de las obras de tierra, tanto en cuanto a su estabilidad como los asientos previsibles y remanentes.

• Verificación y encaje de detalle del drenaje transversal a la vista de la situación real de los cauces.

• Verificación del drenaje longitudinal y su adaptación a los terrenos reales, pues no cabe olvidar la heterogeneidad de la naturaleza de los terrenos que hace inviable su determinación ex-

haustiva en el proyecto.

• Verificación de los muros del proyecto, compatibilidad de los rellenos que se van a utilizar con las hipótesis de cálculo y, por último, condiciones de saturación de los suelos.

• Verificación de la respuesta adecuada del afirmado a las condiciones reales del terreno, y su respuesta en caso de ser previsible su saturación.

• Verificación del recorrido del agua por toda la obra y su entrega a los cauces, sin posibilidad de daños a la propia obra y terrenos colindantes.

• Óptimo económico de la obra, pues no olvidemos que, en

general, lo que estamos intentando obtener es la minimización del binomio coste de construcción y gastos de conservación y explotación. Así, en este sentido, cabe recalcar que en carreteras, dado que su deterioro no plantea un problema de vidas humanas sino de daños, se suele funcionar con coeficientes de seguridad próximos a la unidad, y por tanto nos movemos en un terreno de mínimos costes, al objeto de poder dar un mayor servicio a la comunidad sobre la base de recursos económicos escasos. ■

D. Ángel Tavera Herrero, Director de Ingeniería y Medio Ambiente de GIASA.

D. Carlos Recchi Van Den Born, Vicetusa Ingenieros Consultores.