

Medidas de protección del suelo y medio natural sobre obras lineales de Andalucía y Ceuta. Planificación integral

**José Francisco López Corzo,
Álvaro Herrán Pérez,
Rafael Merino de Cos,
Francisco Manuel Baena Ureña,
Camelia Ruiz Viola**
*Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
VS Ingeniería y Urbanismo, S.L.*

Este artículo describe la problemática y las experiencias obtenidas, últimamente, en la ejecución de obras y proyectos en materia de protección ambiental del entorno y de la propia obra. Las prácticas empleadas son un repaso de las técnicas de protección de suelos y del medio natural recomendadas para las obras lineales, carreteras y ferrocarriles, incidiendo en el hecho de que la calidad de estas actuaciones tiene además de la ventaja ambiental y paisajística una clara repercusión en el periodo de vida útil de la construcción así como en las operaciones de conservación, mantenimiento y en la seguridad vial del itinerario.

1. Equilibrio de las obras lineales en el entorno

La construcción de infraestructuras viarias lineales, carreteras y líneas ferroviarias, implica inevitablemente la realización de movimientos de tierras importantes con la consiguiente alteración de los factores condicionantes de la erosividad y sedimentación del medio rompiéndose el equilibrio natural existente. Por ello, estas obras deben prever la restitución del equilibrio del sistema garantizando su integración ambiental y ecológica en el entorno, redundando todo esto en la seguridad, durabilidad, calidad y economía de las obras.

Los taludes desnudos, en desmonte, terraplén, vertederos, etc, pueden erosionarse y alterarse a velocidades

realmente importantes, con la consiguiente producción de sedimentos y fallo de las obras, afectando al equilibrio del medio y a la durabilidad y servicio de las infraestructuras. Es también transcendental no alterar la red de drenaje superficial o profunda del entorno, evitándose la ocupación de los cauces de la zona y sus márgenes (ríos, rambla, barrancos, etc.).

La tendencia debe ser la reducción del volumen de movimiento de tierras, la eliminación de vertederos y préstamos exteriores a la traza y la reutilización del material excavado mediante encapsulamiento de materiales finos, erosionables y de calidad marginal.

A continuación se analizan 4 obras lineales singulares: 3 tramos de carretera y 1 línea de ferrocarril de alta velocidad, en las que se ha seguido un claro criterio de control de la erosión y sedimentación del medio natural.

Las actuaciones analizadas y las principales medidas adoptadas en ellas son las que se indican a continuación:

- Autovía A-334 del Almanzora. Tramo Purchena-Fines (Almería), en la que se reduce el volumen de movimiento de tierras y se adopta medidas (activas y pasivas) de control de la meteorización y la erosión.
- Obra LAV Jerez (Cádiz). LAV Sevilla-Cádiz. Tramo Utrera – Aeropuerto de Jerez de la Frontera. Subtramo el Cuervo (Cádiz) – Aeropuerto de Jerez (Cádiz) en la que el balasto recuperado (procedente de las vías abandonadas al entrar en servicio los nuevos trazados ferroviarios en

variante) se emplea como medida de protección frente a la erosión de taludes y rellenos construidos en zona inundable.

- Estabilización de talud en La Rambla (Córdoba). Carretera A-3133, donde se mejora el sistema de drenaje y estabilización de taludes.
- Estabilización de taludes en Ceuta. Carretera N-362, con uso de tratamientos sobre fenómenos de movimientos de ladera y arrastre de materiales en épocas lluviosas.

2. Autovía A-334 del Almanzora. Tramo Purchena-Fines (Almería)

2.1 Marco administrativo

Promotor: AOP Junta de Andalucía. UTE Purchena-A-7.
Redacción del proyecto: VS Ingeniería y Urbanismo S.L.

2.2 Geología

La longitud total del trazado afectado por los materiales aquí descritos es de 11,25 kilómetros. El entorno objeto de estudio se encuentra entre los términos municipales de Purchena y Cantoria (provincia de Almería). El trazado transcurre paralelo a la actual A-334, a unos 1 000 metros al norte de la misma y a unos 2000 metros del río Almanzora.

Desde el punto de vista litológico, el entorno atravesado por las obras consta principalmente de margas y margocalizas blanco-amarillentas del Mioceno, las cuales quedan recubiertas ocasionalmente por glaciis y suelos de naturaleza aluvial y terrazas en los cauces interceptados.



Figura 1. Detalle de la formación: paisaje "Tierras Blancas"



Figura 2. Talud de desmonte 1H:1V. PK 56 de la A-334 actual. Detalle de materiales erosionados "Tierras Blancas". Montera de glaciis

Las margas y margocalizas blanco-amarillentas del Mioceno, presentan una topografía alomada, mostrándose muy erosionadas en laderas y taludes artificiales, con recubrimientos importantes de material granular tipo glaciis, como se puede apreciar en las Figuras 1 y 2.

Los depósitos de glaciis constituyen superficies topográficas suaves-planas, depositados de manera discordante sobre los materiales del Terciario. Litológicamente se componen de conglomerados y arcillas rojizas, más o menos cementados en función de la antigüedad del depósito; presentan erosionabilidad baja dada su granulometría gruesa y su elevada compacidad.

2.3 Reducción del volumen de movimiento de tierras

2.3.1 Desestimación de la solución inicial propuesta

Un paso fundamental a la hora de definir la solución del movimiento de tierras de la obra ha sido descartar una primera solución en la que se proponía la retirada a vertedero de todo el material excavado dentro de la formación terciaria, lo que conllevaba que:

- a) Se excaven 4,8 millones de metros cúbicos de tierras de la traza, de las cuales un 74% (3 570 000 m³) se llevan a vertederos definidos en la obra que requieren Autorización Ambiental, vertiendo otro 6% (229 000 m³) en pequeñas vaguadas.
- b) Para ejecutar los núcleos y asientos de firme de la obra se necesitan 2,62 millones de metros cúbicos de los cuales un 40% proceden de préstamos cuya explotación requiere también Autorización Ambiental.

La insuficiente, a nuestro juicio, interpretación que se efectuaba de los resultados de los ensayos realizados en la formación denominada TIERRAS BLANCAS, junto con la existencia de una notable y positiva experiencia en la utilización de este tipo de materiales (e incluso marginales) en grandes obras de infraestructuras lineales, nos ha aconsejado estudiar y proponer soluciones al respecto.

2.3.2 Solución proyectada

La solución proyectada se enmarca dentro de los siguientes criterios:

- Compensación del diagrama de masas de la obra. Ajuste del trazado. Reducción y compensación del movimiento de tierras.
- Reutilización de materiales. Eliminación de vertederos y préstamos exteriores a la traza.
- Taludes más tendidos para desmonte (3H:2V) y para terraplén (2H:1V). Los espaldones de glaciis contribuyen a reducir la erosión de los taludes de relleno.
- Revegetación de taludes.

La opción elegida apuesta por la reutilización del material terciario excavado en los desmontes para lograr una mayor compensación de tierras, previo encapsulamiento del mismo, en núcleo de terraplenes mayores de 5 m, evitando de ésta manera el coste ambiental que supone la necesidad de préstamos y vertederos.

La solución planteada comprende la realización de un estudio completo de la estratigrafía y aprovechamiento de los materiales del corredor, para lo cual se efectúan sondeos y catas en todos los desmontes de donde pensamos extraer material para conocer en detalle la variabilidad transversal y en profundidad de materiales y calidades, y en consecuencia su aprovechamiento, con el fin de establecer con mayor precisión el material de cimientado en los fondos de desmonte.

Se lleva a cabo, también, un estudio especial de reutilización de las Tierras Blancas que incluye los siguientes aspectos:

- Estudio de la clasificación IDFRCA (clasificación de la Instrucción para el diseño de Firme de la Red de Carreteras de Andalucía) sobre muestras remoldeadas procedentes de distintas profundidades de las columnas de los sondeos perforados en estos materiales y de muestras alteradas de calicatas.
- Realización de ensayos CBR proctor modificado (PM) en glacia y Tierras Blancas (muestras en catas y columnas de sondeos) con condiciones de sobrecarga reales. (4,5 kg – 100 kg – 200 kg).
- Contenido en sulfatos.
- Estudio de la deformabilidad de rellenos construidos con las margas blancas, mediante ensayos edométricos con inundación bajo carga constante.
- Resistencia al corte de muestras remoldeadas compactadas al 95% del PM, en ensayos triaxiales tipo consolidados-no drenados (CU) con medida de la presión intersticial.
- Estudio de la permeabilidad del glacis en laboratorio. Se han realizado ensayos específicos de permeabilidad, en célula triaxial con presión de cola, sobre muestras remoldeadas y compactadas al 95% del PM.

En paralelo con el estudio especial de reutilización de las Tierras Blancas se ha ejecutado un terraplén experimental con el fin de comprobar, analizar y justificar sobre el terreno la solución de los rellenos encapsulados.

A continuación se expone un resumen de las propiedades geotécnicas de las TIERRAS BLANCAS, obtenidas durante el estudio especial realizado:

- En cuanto a la consistencia de estos suelos in situ, en función de los valores de SPT se pueden clasificar como suelos de consistencia dura (golpes por encima de 30, en el 98% de los casos ensayados) y puntualmente firme a muy firme (golpes entre 8 y 30). Normalmente los ensayos SPT realizados en los sondeos muestran valores mínimos superficiales por encima de 30 que pasan a rechazo a escasa profundidad y que se mantienen en rechazo a lo largo de todo el perfil.

- Los ensayos de penetración dinámica muestran valores de N₂₀, en general, superiores a 15-20, alcanzando el rechazo muy superficialmente (en torno a los 3 m).
- Las muestras analizadas en laboratorio presentan los siguientes valores medios de humedad-densidad.
 - Densidad seca media: 18,07 kN/m³
 - Humedad natural media: 13,89 %
 - Densidad saturada media: 21,32 kN/m³
 - Densidad sumergida media: 11,32 kN/m³
- El índice de poros calculado es 0,48 y el grado de saturación medio de las muestras analizadas es el 77%.
- Se trata de materiales muy homogéneos predominantemente finos, con pasante medio por el tamiz #200 prácticamente del 90%. Presenta indicios de arena con valor medio del orden del 8%. El contenido medio en gravas, del orden del 2-3%, se debe a la contaminación de las muestras por material Cuaternario.
- Se trata de arcillas y limos de baja plasticidad en un 69% (55 % + 14% respectivamente) del muestreo realizado (CL y ML), y arcillas y limos de alta plasticidad en un 28% de los casos (27% CH y 1% MH). El resto del suelo (3%) corresponde a arenas limo-arcillosas.
- Aptitud para la formación de rellenos (reutilización).
 - Respecto a la clasificación IDFRCA de las Tierras Blancas, se aprecia el predominio de suelos tolerables (73%), aunque con una representación importante de suelos marginales (27%), por hinchamiento libre (HL entre el 3-5%) y contenido en yesos y sales solubles.
 - Respecto a la capacidad portante de los materiales, observamos que para su clasificación como TNS (Terreno Natural Subyacente) el 84% de las muestras ensayadas presentan un CBR por debajo de 3 (compactación al 95% del proctor normal [PN]), es decir tienen baja capacidad portante. No obstante y para su colocación en núcleo de terraplén se ha comprobado que para una sobrecarga de 100 kg en el ensayo (correspondiente a una sobrecarga mínima de 3 m de tierras en el terraplén) se obtienen en todos los casos CBR's por encima de 3, con valores medios de 6,60 para una compactación del 95% del PN y de 11,60 para el 95% del PM.
 - Ensayo de inundación bajo carga en edómetro. El resultado de estos ensayos da valores normales acordes con el resto de ensayos convencionales volumétricos realizados. Se obtiene un hinchamiento medio del 2,82% frente al 1,79 obtenido en los ensayos convencionales de HL, no obstante queda dentro del rango de clasificación del suelo como suelo tolerable. Respecto al índice de colapso medido en algún caso se obtienen valores bajos no superiores al 0,3%; muy por debajo del límite del 1% fijado por el PG-3 para suelos tolerables.
 - Respecto a la expansividad de estos materiales observamos que el 76% de las muestras presenta HL

por debajo de 3%, lo que permite clasificarlo con suelo tolerable. Un 25% de las muestras presenta una expansividad media con HL entre 3% y 5%, que las clasifica como suelo marginal.

- Contenido en sulfatos. Un porcentaje muy importante de las muestras ensayadas, en concreto el 39%, presenta contenidos en sulfatos superiores al 0,5% (en un 19% superiores al 1%); contenido prohibitivo para el estabilización de estos materiales con cal (reacción de los sulfatos con la cal y formación etringita, material muy expansivo).
- Contenido en yesos y otras sales solubles. Se han detectado 9 muestras con un contenido en yesos entre el 5% y el 20% (contenido máximo del 12,83%), cantidad que requiere, según el PG-3, la realización de un estudio especial para su utilización en núcleo de terraplén. Por otro lado estos contenidos en yesos impiden la posibilidad de estabilizar el material con cal. Existen además 8 muestras con un contenido en sales solubles por encima del 1% (contenido máximo del 2,92%), cantidad que requiere según el PG-3 la realización de un estudio especial para su utilización en núcleo de terraplén

Se resumen a continuación las medidas especiales que finalmente se propusieron para la construcción de rellenos con estos materiales terciarios, consecuencia de las experiencias obtenidas en el estudio realizado:

- Se proyecta un encapsulamiento del material protegiéndolo de la intemperie con terreno poco permeable y de calidad tanto en espaldones como en coronación. Para ello se emplearán los materiales más arcillosos correspondientes de la formación cuaternaria glacis.
 - Se fija la altura mínima de terraplenes encapsulados en 5 m medidos desde la rasante de la carretera. Los terraplenes de cota roja inferior se construirán íntegramente con los materiales granulares del Cuaternario de la formación glacis. Esto supone un espesor mínimo del núcleo encapsulado de 2 metros.
 - Se exige una sobrecarga mínima de 3 m de tierras (incluidos explanadas y firme) sobre el núcleo de Tierras
- Blancas, ya que los ensayos CBR realizados con esta sobrecarga proporcionan un aumento sustancial de la capacidad de soporte, se obtienen en todos los casos CBR's por encima de 3, con valores medios de 6,60 para una compactación del 95% del PN y de 11,60 para el 95% del PM.
 - Se propone una energía de compactación durante la puesta en obra de estos materiales correspondiente al 95% del PM y humedad +1%/+2% de la humedad óptima. Igualmente se ha comprobado durante la realización de ensayos de laboratorio y construcción del terraplén de prueba que la capacidad de soporte cumple con las exigencias del PG-3, mediante control de densidad y humedad con: método de la arena y nuclear, realización de placas de carga y método de la huella.
 - Para la puesta en obra de estos materiales utiliza: bulldozer para su extendido, rodillo de pata de cabra para la primera fase de compactación, y rodillo liso para el sellado de la compactación. El extendido debe garantizar la disgregación de los materiales margosos litificados, rechazándose aquellos bloques de tamaño superior a 15 cm.
 - El espesor máximo de capa será de 40 cm.

La sección finalmente adoptada, para la construcción de los rellenos de altura superior a 5m es la siguiente:

- El terraplén se corona con un espesor mínimo de 2,4 m de suelo glacis: 160 cm de calidad S0 (CBR mínimo de 3) más 80 cm S2 (CBR \geq 10) que se corresponden con las capas de asiento del firme. La sobrecarga mínima del núcleo de Tierras Blancas deberá ser de 3 m de tierras (por tanto las capas de firme deberán tener un espesor mínimo de 60 cm).
- Los espaldones se construyen con material de la formación glacis tipo S0 (CBR \geq 3), con una anchura de 3 m medidos en horizontal.
- El núcleo se construye con las Tierras blancas S0 y S00 (con aprovechamiento mínimo de los tramos marginales que se destinan en su mayor parte a vertedero) y excedentes de glacis S0, compactados ambos al 95% PM.

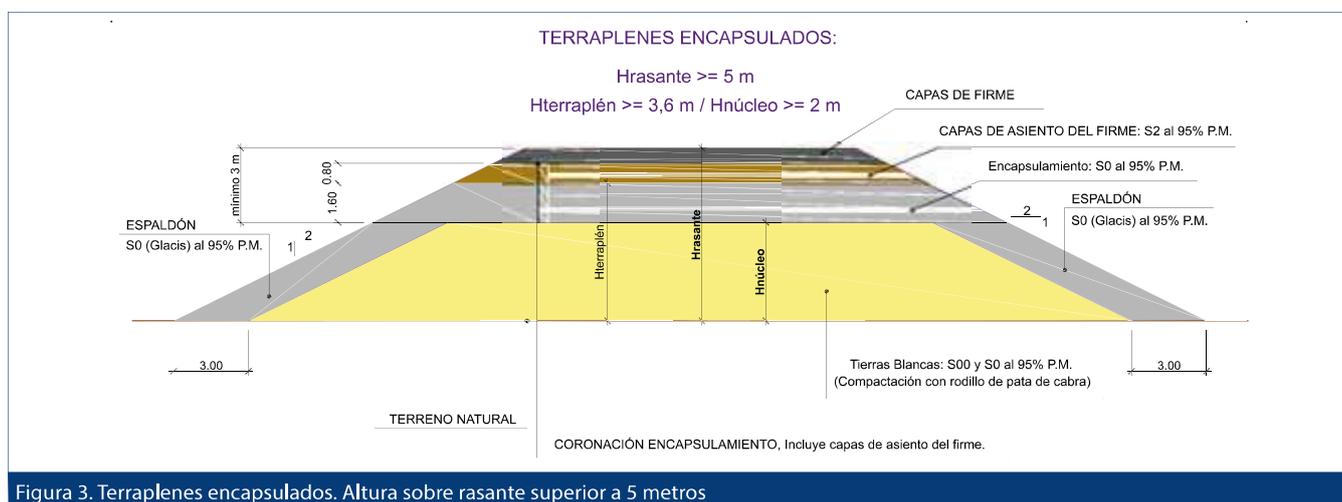


Figura 3. Terraplenes encapsulados. Altura sobre rasante superior a 5 metros

2.3.3 Terraplén de prueba

Con el fin de adecuar la escala del terraplén de prueba a las condiciones medias de los rellenos de la obra y además evitar la influencia de condiciones de contorno singulares, se exigieron los siguientes condicionantes geométricos:

- Topografía: apoyo sensiblemente horizontal, tanto en sentido longitudinal como transversal.
- Drenaje: no debe existir obra de drenaje.
- Cuñas de transición: no debe incluir la construcción de las cuñas de transición de estructuras u odts.
- Respecto a la geometría del relleno, las dimensiones ejecutadas son:
 - Coronación de 30 m x 30 m.
 - Altura de 10 m (núcleo 8 m + 2 m coronación con glacis).
 - Taludes: 2H:1V.
 - Rampa de acceso: pendiente 5H:1V.

En las Figuras 4 y 5 se pueden apreciar los trabajos de inicio del terraplenado (una vez colocadas las LCA), así como una panorámica de la obra terminada.

El proceso de construcción y auscultación del relleno se dividió en varias fases:

- Control del terreno de cimentación del relleno. Campaña geotécnica del subsuelo para obtener parámetros utilizar en estudios posteriores del comportamiento del terreno de cimentación y relleno.
- Control del material empleado en la construcción. Campaña geotécnica de estudio de los materiales de relleno: Tierras Blancas y glacis. Clasificación ICAFIR-PG-3 y ensayos de compactación y capacidad portante. Humedad y grado de compactación de referencia.
- Preparación de la superficie de asiento del relleno.
- Construcción del relleno. Se analiza el método de puesta en obra de los materiales del entorno (Tierras Blancas y glacis) en la construcción de rellenos encapsulados.



Figura 4. Fase inicial de construcción del terraplén experimental



Figura 5. Panorámica del terraplén de prueba

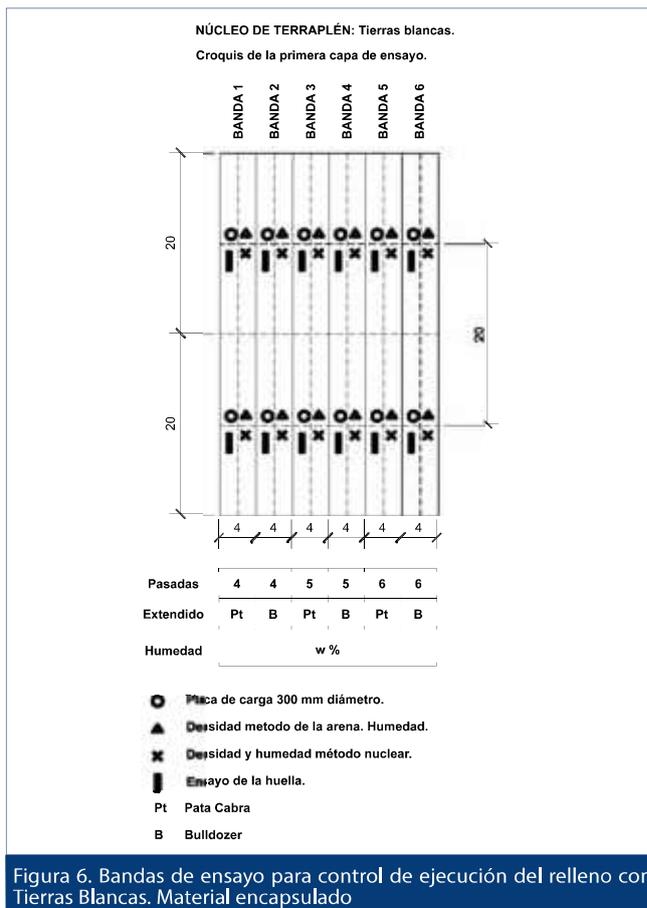


Figura 6. Bandas de ensayo para control de ejecución del relleno con Tierras Blancas. Material encapsulado

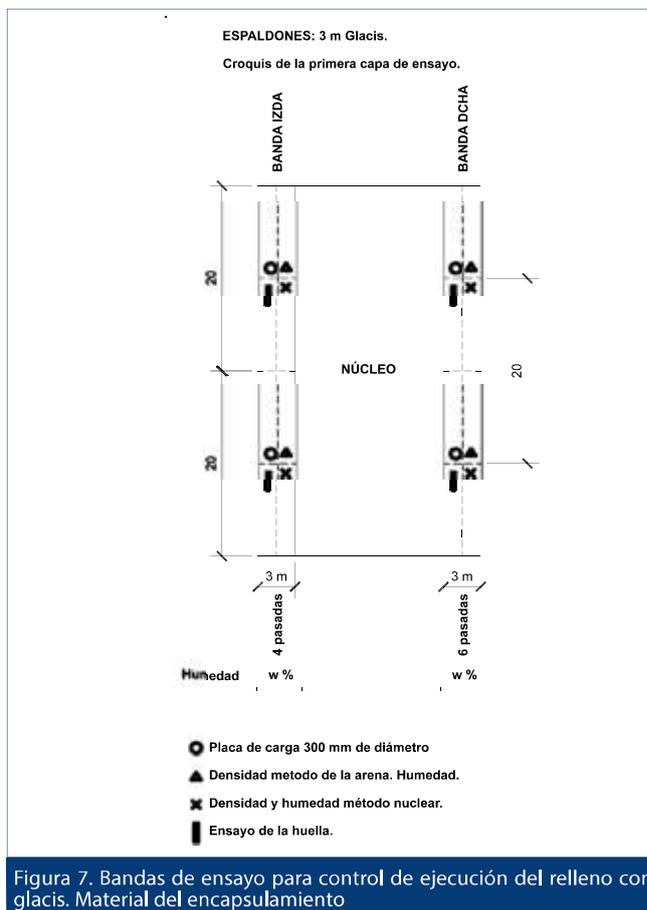


Figura 7. Bandas de ensayo para control de ejecución del relleno con glacis. Material del encapsulamiento

Rutas Divulgación



Figura 8. Fase de llenado de las zanjas. Saturación del terreno previa a la ejecución de las placas de carga inundadas



Figura 9. Detalle de la ejecución de las placas de carga inundadas

- Control del procedimiento de ejecución mediante bandas de ensayo (ver Figuras 6 y 7), en las que se comprobaba el espesor de la tongada, el extendido, la humectación, el equipo de compactación (tipo, peso, frecuencia) y su forma de actuación (número de pasadas).
- Control del comportamiento del relleno frente al agua (ensayos de permeabilidad a escala real y placa de carga inundada).
- Control de la deformabilidad a medio-largo plazo, mediante la Instalación de células de asiento y LCA, y el control topográfico mediante referencias de nivelación.

En los Figuras 10 y 11 se incluyen croquis indicando el total de la instrumentación realizada sobre el terraplén experimental.

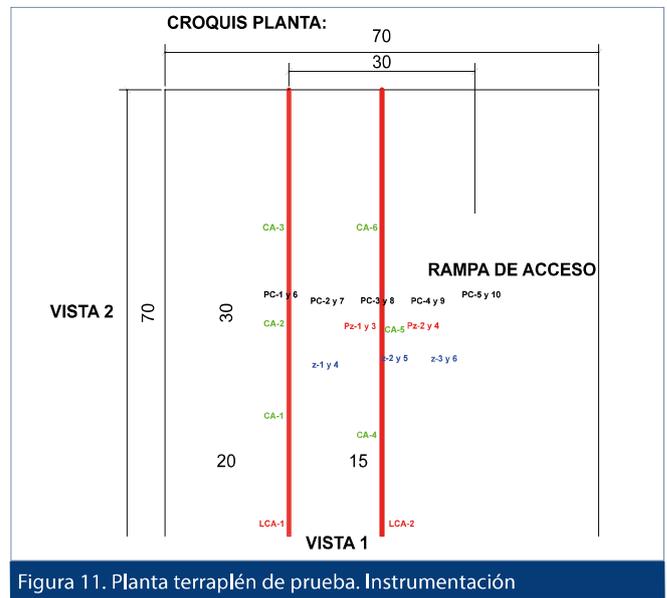


Figura 11. Planta terraplén de prueba. Instrumentación

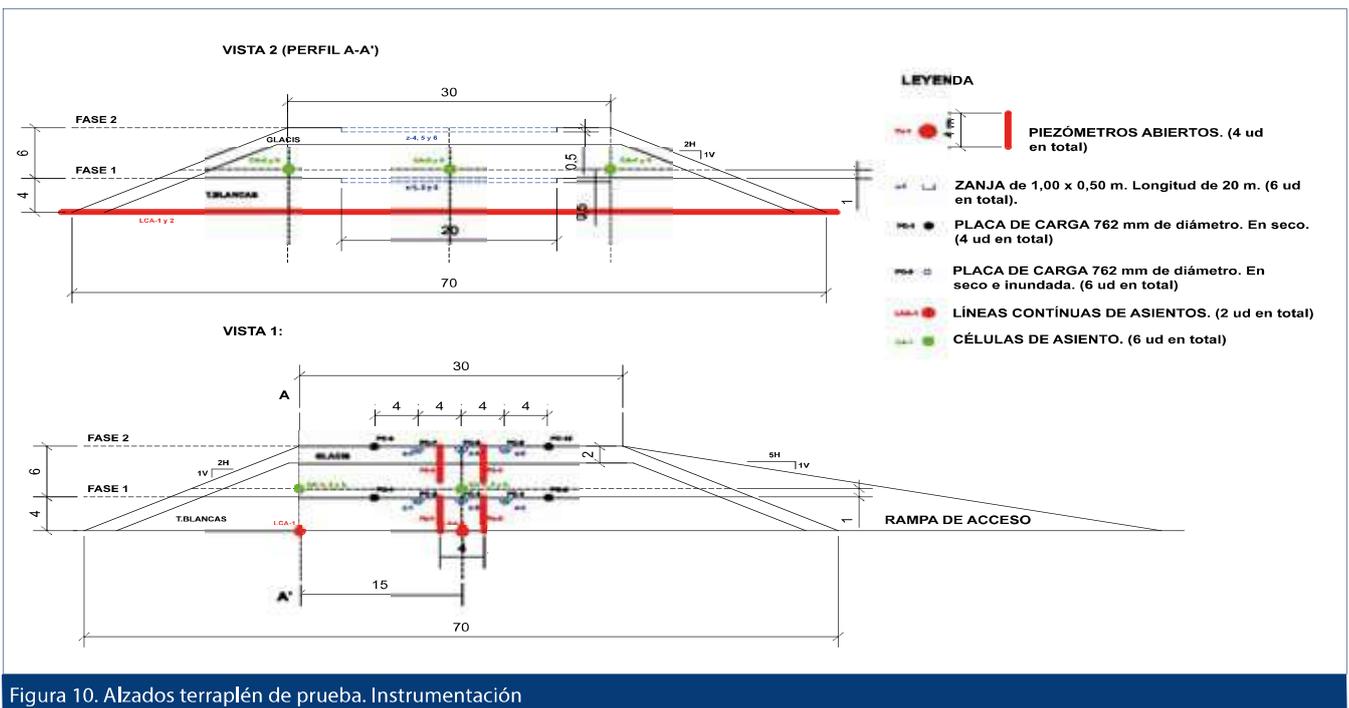


Figura 10. Alzados terraplén de prueba. Instrumentación

2.4 Otras medidas

En la solución proyectada se definen otras medidas de protección como taludes tendidos para desmonte (3H:2V) y terraplén (2H:1V) en los que los espaldones de glacis contribuyen a reducir la erosión de los taludes de relleno, revegetación de taludes y el empleo de barreras de paja (Figura 12).

El empleo de pacas de paja en las cercanías de los cauces tiene por objeto evitar arrastres sólidos procedentes de la zona de obras, ya que este material permite la circulación de las aguas reteniendo buena parte de las tierras arrastradas. Estas barreras de retención de sedimentos se prevén en el cruce de la autovía con los cursos de agua de mayor importancia, así como en la protección de los cauces durante la construcción de puentes.

2.5 Control de la erosión y meteorización

El sistema de drenaje global definido en la autovía tiene por objetivo, además de permitir el paso de las aguas interceptadas, limitar la pérdida de suelo y de transporte de sedimentos. Está formado por elementos que drenan transversalmente y longitudinalmente. En todos los elementos se han adoptado medidas con el fin de minorar la erosión localizada y en taludes. Se detallan a continuación las medidas adoptadas en el sistema de drenaje.

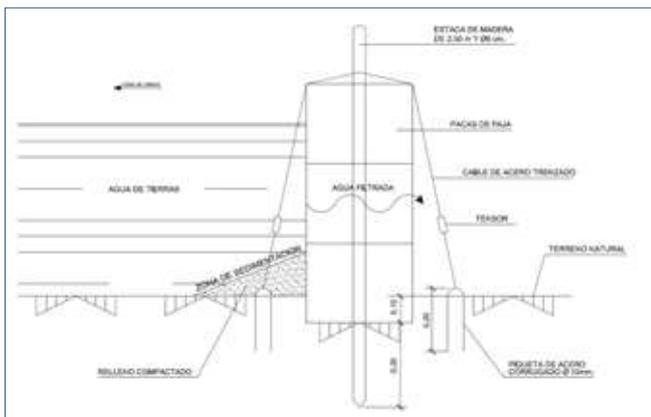


Figura 12. Barreras provisionales de retención de sedimentos

2.5.1 Drenaje Transversal

Las obras de drenaje transversal (ODT) se dimensionan de forma que la velocidad sea inferior a 6 m/s para minorar la erosión.

Para disminuir el riesgo de aterramientos, se ha puesto especial cuidado en que el perfil de los conductos se adapte lo máximo posible al del cauce, así como respetar las dimensiones mínimas del mismo, considerando obras de drenaje con capacidad hidráulica suficiente e incluso relativamente sobredimensionadas para mantener la capacidad ante un eventual aterramiento de la misma.

Se ha previsto la disposición de un rastrillo mínimo de 0,8 m de profundidad y 0,4 m de anchura para todas las ODT, y la solera necesaria según los cálculos, para evitar la erosión localizada a la salida de la obra.

Se disponen mantos de escollera flexibles alrededor de los apoyos de las cimentaciones de las estructuras para paliar la erosión local de los cauces.

En las ODT que aguas arriba o aguas abajo se localiza un badén por el cruce de un camino, se ha previsto una protección del cauce mediante solera hormigón entre la embocadura y el badén correspondiente, de forma que el agua fluya siempre por el mismo material, con el fin de que la energía cinética del agua no produzca erosión en el terreno y descalce la obra.

2.5.2 Drenaje Longitudinal

El sistema de drenaje tiene por objeto recoger las aguas de escorrentía procedentes de la plataforma y márgenes, conducirlas a través de los elementos proyectados fuera de la plataforma hacia su cauce natural, con el fin de impedir la entrada del agua en las capas inferiores de la explanada y evitar la erosión interna y pérdida de capacidad portante del TNS.

Superficial

En las cunetas de mediana (Figura 13) se ha dispuesto una zanja bajo la berma de la mediana y situada en la margen a favor del peralte de la calzada. En su interior se ha colocado un dren circular de PVC de 200 mm recubierto por un geotextil, para drenar la escorrentía de la margen de calzada peraltada y recogida en la mediana.

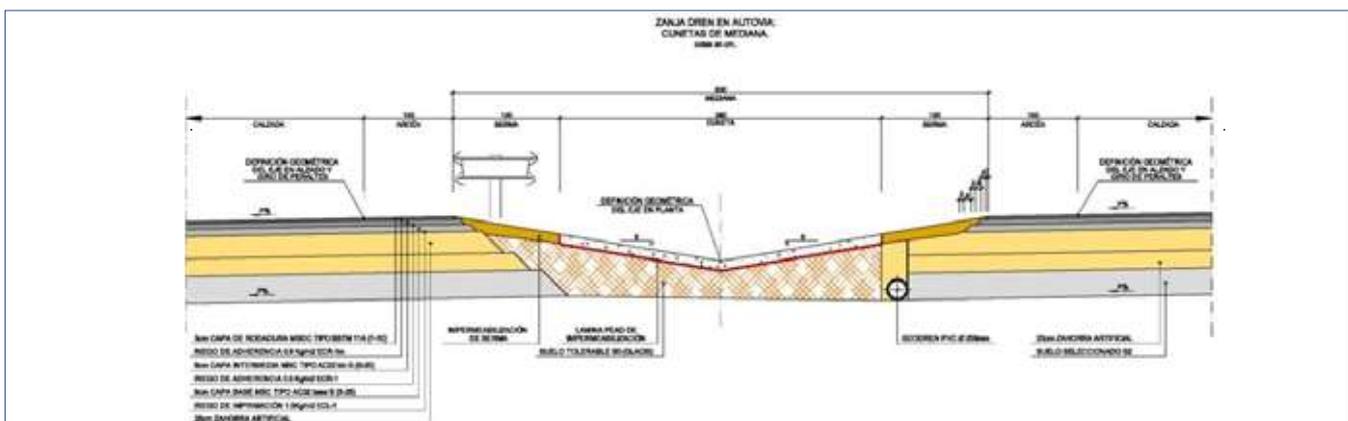


Figura 13. Detalle de sección de firme (zanja dren y cunetas de mediana)

La cuneta de la mediana irá siempre revestida y separada del terreno natural por una lámina de polietileno.

La zona de mediana entre la cuneta y el arcén se acabará con recubrimiento de tierras cohesivas impermeables para que sea máxima la escorrentía superficial hacia la cuneta y mínima la infiltración hacia el dren.

En las cunetas de desmonte del tronco se dispone una zanja dren por motivos de drenaje del firme. Para evitar erosiones o sedimentaciones se revisten todas las cunetas de desmonte y se separan del terreno natural mediante una lámina de polietileno, que aporta impermeabilidad en caso de fisuración o rotura del hormigón de la cuneta.

Las cunetas previstas responden a criterios de márgenes seguros; para ello los taludes son 6/1 y se dispone además de una berma de seguridad de 1,1 m que drena hacia la cuneta. Por otro lado, esta berma también permite recoger posibles pequeños desprendimientos del talud de desmonte, evitando la obstrucción de la cuneta.

Para proteger frente a las erosiones los taludes proyectados, se disponen cunetas de guarda en coronación de desmonte en aquellas situaciones donde la ladera adyacente aporte escorrentía al talud, así como cunetas de pie de terraplén. Éstas últimas se han previsto en los casos en los que la ladera vierte aguas contra el pie del terraplén, para canalizar las bajantes procedentes de la calzada o para dar continuidad a las cunetas de desmonte hasta la correspondiente obra de drenaje. Se revisten de hormigón para evitar erosiones o aterramientos, dada la dificultad de mantenimiento. Además se ha dispuesto una berma de 1,0 m entre el pie del talud y la cuneta con el objeto de retener cualquier posible pequeño desprendimiento y evitar el aterramiento de la cuneta.

Unos bordillos dispuestos en el borde del arcén conducen el agua hacia las bajantes evitando así la erosión del talud en los terraplenes debida a la escorrentía de la plataforma.

Para canalizar el agua recogida se han dispuesto bajantes prefabricados de terraplén (recogen el agua de los bordillos de coronación de terraplén y la canalizan hasta el pie de terraplén o hasta la correspondiente cuneta de pie de terraplén), bajantes prefabricados de desmonte y bajantes de enchachado de piedra para grandes caudales.

A pie de bajantes se disponen arquetas para amortiguar la energía cinética del agua que discurre por éstas, encauzándola a la cuneta correspondiente, en su caso. Por otro lado, funcionan también como areneros reteniendo posibles sedimentos.

Para dar salida transversal al agua proveniente de las obras del drenaje de la plataforma y márgenes se han dispuesto las denominadas obras transversales para el drenaje longitudinal (OTDL). Las OTDL ubicadas en zonas de terraplén se definen con tubos de PEAD soldados, mejorando la estanqueidad en las juntas y evitando que el agua alcance el terraplén y reduzca su capacidad estructural.

En los estribos de las estructuras, se ha previsto dar continuidad a la defensa rígida con el bordillo de coronación de terraplén y de éste a una bajante hasta la correspondiente cuneta o arqueta de salida de bajante. Con esta solución se consigue canalizar la escorrentía de la plataforma y evitar la erosión de los estribos.

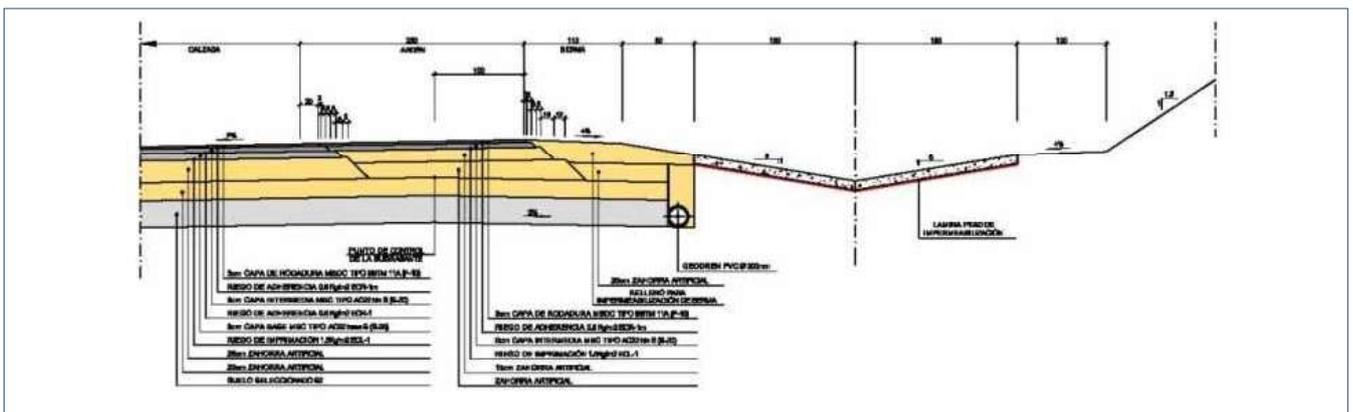
Subterráneo

Para asegurar el drenaje del agua infiltrada en la mediana, así como el drenaje del firme en las zonas en que la escorrentía de éste (provocado por el peralte) escurra hacia la mediana, se ha proyectado un dren circular desplazado del eje de la cuneta bajo la berma en la mediana, como ya se ha comentado. El material drenante sintético más el tubo dren irán envueltos en un geotextil para evitar el arrastre de finos y la colmatación del dren.

En los desmontes del tronco se dispone zanja dren para drenar las capas del firme. Su profundidad se establece acorde al criterio de que el tubo dren quede por debajo del firme. El dren circular (de Ø 200 mm de PVC) más una malla geo-dren sintética, se definen envueltos en geotextil para evitar el arrastre de finos y la colmatación del dren.

Para evitar posibles obstrucciones en los drenes y asegurar de esta forma su conservación y mantenimiento se han diseñado arquetas de registro cada 50 m, con tapas y juntas que impidan la entrada de agua desde la parte superior hacia la arqueta.

La salida al exterior del agua captada por los drenes se ha previsto que sea a través de las arquetas de mediana y desmonte hacia las OTDL ya proyectadas, comprobando que en ningún momento el nivel de la lámina de agua en



éstas alcanza la altura del desagüe del dren, de forma que se evita en todo momento la entrada de caudales del drenaje superficial hacia los elementos de drenaje subterráneo.

3. Obra LAV jerez (cádiz)

3.1 Marco administrativo

Promotor: Ministerio de Fomento. Dirección General de Ferrocarriles.

Dirección de Obra: Ministerio de Fomento.

Asistencia Técnica: VS Ingeniería y Urbanismo S.L.

3.2 Geología

El tramo objeto de estudio, de unos 9 kilómetros de longitud, se encuadra en el entorno comprendido entre las poblaciones de El Cuervo y Jerez de la Frontera (provincia de Cádiz), discurriendo de norte a sur entre la N-IV y la A-5.

Teniendo en cuenta un encuadre geológico general, se ubica en el suroeste de la Depresión del Guadalquivir, próximo al área de contacto entre ésta y el extremo occidental de las Cordilleras Béticas.

Los materiales que constituyen el área de estudio y que afectan a la ejecución (tanto superficialmente como en profundidad) corresponden a formaciones de edades comprendidas entre el Triásico y el Cuaternario.

En el caso que nos ocupa, la principal problemática a nivel geotécnico es la creación de zonas de encharcamiento y el mantenimiento de la lámina de agua subflorante durante los meses de lluvia. Esto sucede en los materiales del Cuaternario (zonas de marisma próximas al acceso a Jerez de la Frontera), que llegan a saturarse por completo.

3.3 Descripción general de las obras.

Aprovechamiento del balasto procedente del antiguo trazado

Las obras consisten en el trazado en variante de un tramo de la antigua red Sevilla-Cádiz. Dados los condicionantes hidrogeológicos la obra se ha diseñado fundamentalmente en relleno sobre zonas inundables.



Figura 15. Retirada del balasto de la vía antigua

Para la protección de los rellenos se ha propuesto el empleo del balasto recuperado procedente de las vías a levantar, al entrar en servicio los nuevos trazados ferroviarios en variante, y su utilización como medida de protección frente a la durabilidad de los rellenos construidos en zona inundable.

La construcción de las nuevas líneas de alta velocidad en España está suponiendo la construcción de variantes de los trazados existentes y, por consiguiente, el desmantelamiento de los mismos. Este desmantelamiento tiene un valor añadido con la recuperación del carril y traviesas así como los materiales de electrificación y de seguridad. Pero hay otros materiales, como el balasto, que no tienen un fácil aprovechamiento y en el caso de que haya de retirarse a vertedero presenta una problemática medio ambiental al no admitir todos los vertederos este tipo de material.

El empleo que se ha propuesto es la recuperación del balasto para la formación de gaviones sobre taludes que se encuentran en zonas inundables y que, acompañados de un geotextil, tienen una función de filtro y protección contra el oleaje no estructural. En estos casos, los taludes se protegen normalmente mediante escolleras de tamaño pequeño o rip-rap, material escaso y caro ya que es un subproducto de las voladuras que es necesario realizar para la obtención de áridos, y posteriormente taquear y/o picar para obtener una escollera con la granulometría exigida.



Figura 16. Sección tipo propuesta

Para la construcción de estos rellenos (Figura 16) se ha propuesto una sección en pedraplén, con "gaviones" tipo colchón para recubrimiento con luz de malla 50x70 mm, de manera que se pueda utilizar el balasto de granulometría no menor de 50 mm que aunque es inferior a la que exige la norma (100-200 mm), como la cara exterior del gavión es la única que no está confinada, esta inclinada y con la precaución de dejar el material más grueso en esa zona no presentaría ningún tipo de problemas su empleo.

Los pedraplenes se pueden considerar inalterables por la erosión superficial, aunque pueden presentar problemas importantes de erosión interna por lavado de finos. Por esto se coloca un geotextil del filtro entre el relleno y los gaviones de balasto recuperado.

4 Estabilización de talud en La Rambla (Córdoba). Carretera A-3133

4.1 Marco administrativo

Promotor: Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía.

Redacción del proyecto: Servicio de Carreteras de la Delegación Provincial de Córdoba de la Consejería de Fomento y Vivienda.

Dirección de Obra: Servicio de Carreteras de la Delegación Provincial de Córdoba de la Consejería de Fomento y Vivienda.

Asistencia Técnica: VS Ingeniería y Urbanismo S.L. (contrato de la Agencia de Obra Pública).

4.2 Geología

El tramo sobre el que se ha llevado a cabo la actuación, de unos 200 metros de longitud, se localiza entre las poblaciones de La Rambla y Montalbán (provincia de Córdoba), al norte del Arroyo del Salado.

Considerando un encuadre geológico general, se sitúa en el borde sureste de la Depresión del Guadalquivir, en el área de contacto entre ésta y la zona noroccidental de las Cordilleras Béticas.

Los materiales que constituyen el área de actuación pertenecen al Terciario y se componen de una alternancia de arenas, bastante homométricas, con niveles margosos y limosos, los cuales a veces presentan niveles decimétricos intercalados de calcarenitas. La potencia de dicha formación puede llegar a alcanzar los 50 metros.

En el caso concreto que nos ocupa, la zona presenta bajo contenido en arena, observándose fundamentalmente niveles de margas, lo cual constituye terrenos de escasa consistencia y de carácter evolutivo en condiciones de alternancia de etapas húmedas-secas.

4.3 Descripción general

Se trata de una variante de la A-3133 de Puente Genil a La Rambla, puesta en servicio en el año 2006. El tramo objeto de la actuación se encuentra cerca de la localidad de Montalbán (Córdoba) en una trinchera cuyo talud de su margen izquierdo ha sufrido un gran deterioro debido a las aguas de escorrentía que llegaban a su cabecera.

Las actuaciones realizadas se enmarcan en los proyectos de emergencia promovidos por el Servicio de Mantenimiento y Conservación de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, y que en este caso concreto se deben a los daños causados por las lluvias extraordinarias del año 2008.

4.4 Situación original

La altura del talud es de 10,0 m, manteniéndose sensiblemente constante en la zona afectada, con una longitud de 200 m. En esta zona los terrenos están formados por materiales Terciarios, correspondientes al Mioceno (Messiniense, Unidad 13), formada por arenas, limos y margas aunque en este caso con bajo contenido de arenas, apreciándose fundamentalmente niveles de margas durante la excavación.



Figura 17. Detalle del talud colapsado

Se trata de un tipo de terreno conocido por su poca consistencia y su carácter evolutivo en condiciones de humedad-sequedad. Aunque se previeron cunetas en cabeza de talud en el proyecto original, la realidad es que una parte del agua de escorrentía se infiltraba en el terreno a través de las grietas originadas por la descompresión del terreno y otra parte afectaba superficialmente al talud con la formación de líneas prioritarias de escorrentía y filtración. De esta manera, el talud quedó parcialmente saturado con importante reducción de su resistencia al corte rompiendo así su estructura y generando su consiguiente rápida degradación, dando origen a un colapso generalizado del

talud con invasión de la calzada. Se trata, en consecuencia, de un problema de erosión y alteración progresiva, por lo que se requería una actuación que impidiera su avance, no siendo aplicables soluciones basadas en disminuir la pendiente del talud al no disponer de terreno de ocupación adicional.

4.5 Planteamientos

La solución pasaba por evitar la llegada del agua de escorrentía y dar una mayor capacidad portante al propio talud, para lo que se analizaron varias soluciones conjuntamente con un análisis de su coste dada la disponibilidad presupuestaria.

Había que asegurar, por tanto, que la posible solución que se adoptase finalmente cumpliera los siguientes requisitos:

- Que fuera lo suficientemente estable para evitar nuevos deslizamientos.
- Que el drenaje, y sobre todo el agua de escorrentía que llegaba al talud desde la cabeza del mismo, no se infiltrara en el terreno sino que encontrara su salida mediante cunetas, bajantes y otros elementos de impermeabilización que se pudieran disponer.

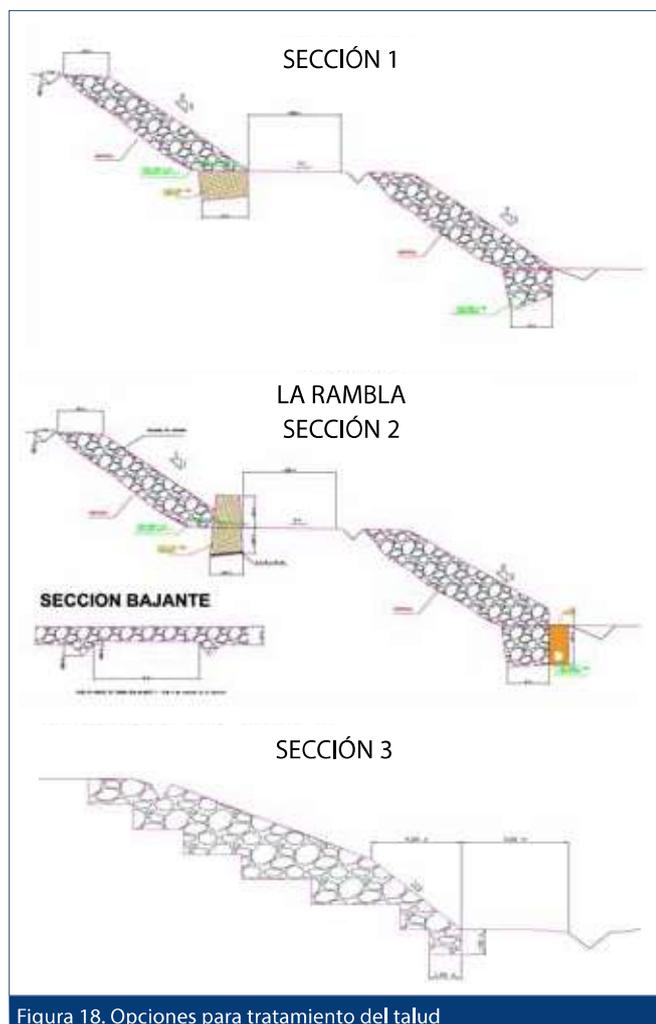


Figura 18. Opciones para tratamiento del talud

- La superficie ocupada se debía respetar, por lo que no se podía ir a soluciones que requirieran tender más el talud.

Con dichas premisas se diseñaron diferentes propuestas de soluciones, dos de las cuales (propuestas 1 y 2) se basaban en evitar en la medida de lo posible el relleno posterior a la ejecución de los muros de escollera de 1,00 m de espesor una vez realizado el vaciado y saneo del talud, por lo que se plantearon en dos niveles adaptando el camino de coronación al nivel intermedio, manteniendo el acceso a las fincas colindantes por el inicio o final de la actuación.

La tercera solución consiste en un talud más tendido y variable en su parte superior (1H/1V en la base) que parte de una berma a 5 m de la carretera. Esta solución daba origen a un mayor saneo y posterior relleno.

Se realizó una estimación del coste de las diferentes soluciones, factor que fue determinante en la elección de la misma.

Se levanta un taquimétrico de la cuenca vertiente a la cabeza del talud para detectar los ejes por donde discurre el agua y en el camino de coronación se realizan vados hormigonados para la impermeabilización del camino sobre el relleno ejecutado, lo cual permite que el agua llegue hasta la nueva cuneta de coronación, y de ésta hasta un bajante de dimensiones adecuadas y con elementos de disipación de energía.

4.6 Solución adoptada

La solución finalmente adoptada (Figura 19) es similar a las propuestas 1 y 2 en cuanto a la ejecución de dos niveles de contención mediante muros de escollera, si bien éstos son prácticamente verticales y sensiblemente paralelos pero con diferentes longitudes y alturas. El muro inferior, de 4 m de altura (2 m en zanja), actúa de base de apoyo y contención del pie del talud y del relleno posterior de 0,50 m de espesor de una berma de 4 m de ancho. Esta berma está limitada por el lado monte por un segundo muro de 3 m de altura (2 m enterrados) desde cuya coronación arranca con un talud 1H/1V alcanzando una altura máxima de 7 m. En su coronación se ejecuta una nueva cuneta y un camino de servicio con vados hormigonados para canalizar el agua. El relleno se realizó con un material seleccionado, por lo que su comportamiento frente a posibles empujes hidrostáticos se mejora sustancialmente.

5. Estabilización de taludes en Ceuta. Carretera N-362

5.1 Marco administrativo

Promotor: Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Occidental.

Redacción del proyecto: VS Ingeniería y Urbanismo S.L.

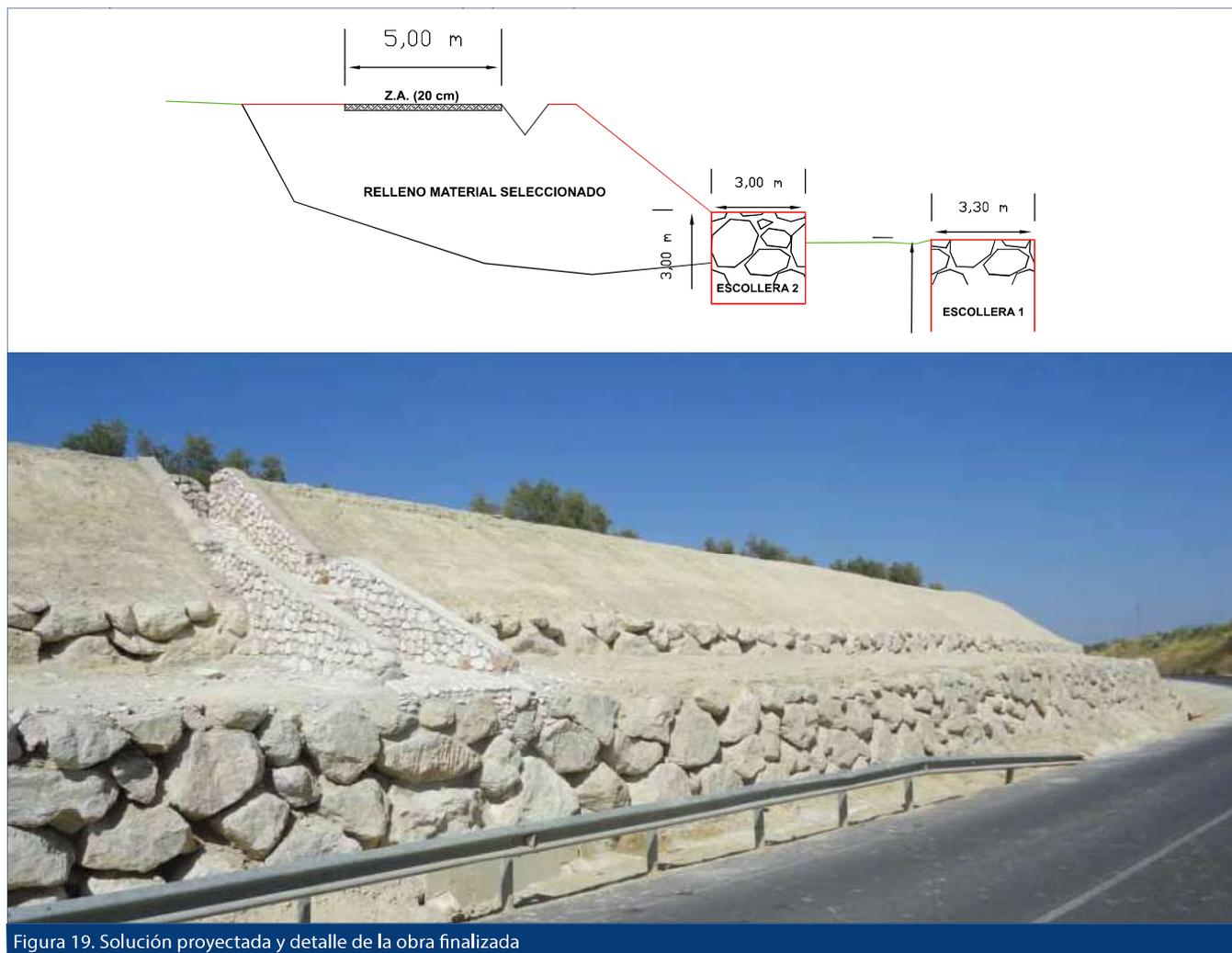


Figura 19. Solución proyectada y detalle de la obra finalizada

5.2 Geología

La zona objeto de actuaciones se localiza en Ceuta, en la N-362 (carretera de la Frontera). Considerando un encuadre geológico general, Ceuta se localiza en la unión de dos cadenas montañosas (Rift y Béticas) que rodean el mar de Alborán, describiendo a su alrededor el arco conocido como Arco de Gibraltar o Arco Bético-Rifeño.

La zona de estudio presenta dificultades a la hora de establecer claramente los contactos entre unidades. No obstante se diferencian distintas unidades geológicas, tanto en zonas de suelo (Cuaternario), como en zonas de roca (Paleozoico).

Los suelos presentes en la zona se caracterizan por una granulometría muy homogénea, con total ausencia de bolos y bloques de roca. Son unas arenas arcillosas con cantos de esquistos y filitas, cuyo origen se puede asociar a vertidos, niveles de alteración de la roca sana o coluviales (proceso gravitacional que favorece el arrastre por parte del material arenoso-arcilloso de cantos del material rocoso de áreas contiguas).

La roca que aflora en la zona corresponde a filitas grafitosas gris oscura, la cual presenta una intensa foliación y ha sido sometida a deformación tectónica.

5.3 Descripción general

Como consecuencia de lluvias torrenciales se han producido varios deslizamientos de tierras y flujo de materiales de derrubio en diferentes taludes de desmonte de la carretera N-362 en la ciudad autónoma de Ceuta (Figura 20). Algunos de estos fenómenos han provocado la interrupción del tráfico de la carretera.

En las siguientes imágenes se pueden apreciar los daños causados sobre los taludes de desmonte:

Las inestabilidades de talud se producen de manera secuencial y acumulativa desencadenando en el colapso final del talud y en el arrastre de cantidades ingentes de material sobre la calzada como consecuencia de lluvias torrenciales.

El objeto de los trabajos ha sido la estabilización de estos taludes de desmonte mediante la prevención de la escorrentía en su superficie y la recogida de las aguas a través de cunetas de guarda, de desmonte y bajantes de talud.

El drenaje superficial se ha mejorado protegiendo los cauces sobre los taludes de desmonte y restituyendo las vauadas antiguas, revistiendo y reduciendo la velocidad en



Figura 20. Detalle de la erosión hídrica sobre el talud de desmorte y arrastre de materiales sobre la carretera



Figura 21. Medidas para reducir la velocidad del agua en cunetas y tratamiento aguas arriba de ODT

las cunetas, realizando nuevas obras de paso transversal y protegiendo la entrada y salida de las ODT existentes.

También se prevé la disminución de la velocidad de la escorrentía por los taludes mediante la siembra y plantaciones, de forma que se genere una alfombra vegetal que reduzca la velocidad y a la vez, por medio de las raíces, se da sujeción a la superficie del talud.

En algunas actuaciones se prevé la continuidad o aumento de los muros de fábrica de gaviones y la escollera paramentada existentes en el pie de cada talud concreto, con la doble función de: contención de materiales arrastrados, y mejora de la estabilidad del talud.

6. Conclusiones

El trazado, el drenaje, la geología, el movimiento de tierras, son variables interdependientes que influyen todas sobre la erosión y sedimentación provocada por nuestras obras, y como tales debemos tratarlas de forma conjunta.

La calidad de las actuaciones proyectadas y ejecutadas en obra, en el sentido de evitar procesos erosivos y de sedimentación en el entorno y en la propia obra, tie-

ne una clara repercusión en el periodo de vida útil de la construcción así como en las operaciones de conservación y en la seguridad vial del itinerario.

En las obras lineales es fundamental el análisis detallado del movimiento de tierras, tratando de reducir y compensar los volúmenes actuando sobre el trazado. Hay que pensar en la reutilización de todos los materiales excavados, con el fin de eliminar vertederos, préstamos o canteras de elevado coste medioambiental, y “renaturalizar” aquellos que inevitablemente se hayan tenido que utilizar mediante los correspondientes tratamientos de integración ambiental.

El sistema de drenaje, tanto superficial como subterráneo, debe tener un tratamiento global, integrando la plataforma y las márgenes.

Los cauces y las estructuras deben protegerse evitando erosiones localizadas, así como las márgenes y taludes para los que la revegetación y las plantaciones son una buena solución.

Por último, debe tenerse presente la recuperación de materiales en obras de ampliación, mejoras de trazado o desdoblamiento. ❖