

CARRETERAS



4ª ÉPOCA - NÚM. 138 - ENERO/FEBRERO 2005 - REVISTA TÉCNICA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Apuntes: Hugo Corres y José Romo

**Materiales tratados con cemento
y pavimentos de hormigón**

Innovaciones en ligantes bituminosos

**Cooperación administración-empresas
para la innovación viaria en Francia**

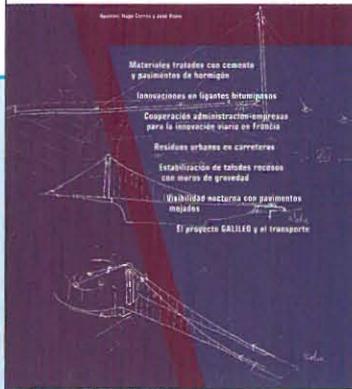
Residuos urbanos en carreteras

**Estabilización de taludes rocosos
con muros de gravedad**

**Visibilidad nocturna con pavimentos
mojados**

El proyecto GALILEO y el transporte

Elche



**Serie temática 2005:
EL ALMA DEL PUENTE:
TRAZOS DEL PROYECTISTA
Puente del Bimilenario (Elche)
y Puente Arco (Nájera)**

Singularidad, elegancia, transparencia y ligereza estructural. Éstos eran los parámetros que debía conjugar el Puente Bimilenario destinado a completar la Ronda Norte de Elche, paralela a la Autovía del Mediterráneo. Este puente colgante asimétrico arranca desde la margen derecha, donde se sitúa la única pila y su mirador, uno de los mayores atractivos de la construcción. En cuanto al Puente Arco, se trata de un puente arco metálico de sección triangular y tablero mixto que soluciona las deficiencias de comunicación de la localidad riojana de Nájera.

APUNTES: HUGO CORRES Y JOSÉ ROMO

CONSEJO DE REDACCIÓN:

Presidente:

Jaime Gordillo Gracia

Vocales:

Mercedes Aviñó Bolinches
Luis Ayuso Sánchez
Alberto Bardses Orúe-Echevarría
Carlos Cristóbal Pinto
Jacobo Díaz Pineda
Jesús Díez de Ulzurrun Mosquera
Julio González de Pedroviejo
José Antonio Hinojosa Cabrera
Jesús M^o Leal Bermejo
José Vicente Martínez Sierra
Carlos Méndez Santos
Pablo Nobell Rodríguez
José María Pardillo Mayora
José Quereda Laviña
Liberto Serret Izquierdo
Luis Alberto Solís Villa
Ramón Tomás Raz

PRESIDENTE:

Miguel M^o Muñoz Medina

DIRECTOR:

Aniceto Zaragoza Ramírez

DIRECTORA EJECUTIVA:

Marta Rodrigo Pérez

DIRECTOR TÉCNICO:

Recaredo Romero Amich

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

Jose María Gil • Javier Virseda • Cristina Lopez

**EDICIÓN Y PUBLICIDAD:
COMUNICACIÓN Y DISEÑO**

Jacometrezo, 15 - 6^o A
28013 Madrid
☎ 91 541 94 07 Fax: 91 541 94 05
e-mail: comdis@telefonica.net

**ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE LA CARRETERA**

Goya, 23 - 3^o y 4^o Derecha
28001 MADRID
☎ 91 577 99 72 Fax: 91 576 65 22
e-mail: aec@aecarretera.com
http://www.aecarretera.com

SUSCRIPCIÓN ANUAL (Año 2005):

España: 57 Euros (IVA incluido)
Europa: 95 Euros • América: 135 \$ / 101 Euros

IMPRIME: Gráficas Marte
Depósito Legal: M- 19.439-1975
ISSN: 0212 - 6389

Las opiniones vertidas en las páginas de "Carreteras" no coinciden necesariamente con las de la Asociación Española de la Carretera o las del Consejo de Redacción de la publicación.

Editorial

Sociedad 4

Artículos Técnicos

| | | |
|---|---|----|
| Materiales tratados con cemento y pavimentos de hormigón: desarrollos recientes. | Carlos Jofré Ibáñez | 6 |
| Innovaciones en ligantes bituminosos. | Juan José Potti | 20 |
| Reglamentación, normalización e innovación viaria en Francia: una larga experiencia de cooperación entre empresas y administración. | Yves Brosseau | 45 |
| La integración de las carreteras en la gestión de los residuos urbanos. | Juan de Oña López Antonio López Navarro Francisco Osorio Robles | 68 |
| Muros de gravedad con anclajes de barra pasivos para estabilización de taludes rocosos en carreteras locales. | Miguel Ángel Franesqui García | 79 |
| Mejora de la visibilidad nocturna con pavimentos mojados o en condiciones de lluvia. | Juan Ramón Jiménez | 90 |
| El proyecto Galileo y su influencia en el mundo del transporte. | Alumnos de la ETSI de Caminos, Canales y Puertos de Madrid | 97 |

Tribunas

| | | |
|---|-----------------------|-----|
| Conclusiones del I Congreso Nacional de Seguridad Vial "Hacia una seguridad sostenible: Reducir la mortalidad a la mitad en 2010" | Antonio García Cuadra | 106 |
| ¿Podemos importar las claves del éxito francés? | Luis M. Xumini | 109 |

Entrevista

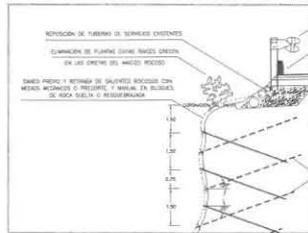
| | | |
|--|------------|-----|
| Dana Low, Presidente de la Ejecutiva Mundial de la IRF | Iván Corzo | 114 |
|--|------------|-----|

Área de Servicio

| | | |
|--|----------------------------|-----|
| Desde el Arcén | | 119 |
| Cirujanos de la tierra | José Luis Manzanares Japón | 132 |
| Relación de artículos publicados en 2004 | | 134 |
| Recomendaciones para la presentación de artículos técnicos | | 136 |
| Guía profesional de empresas colaboradoras | | 140 |

EMPRESAS COLABORADORAS





Miguel Ángel FRANCESQUI GARCÍA

Ingeniero de Caminos,
Canales y PuertosProfesor Titular del Departamento de
Ingeniería Civil. Universidad de Las Palmas
de Gran Canaria

Muros de gravedad con anclajes de barra pasivos para estabilización de taludes rocosos en carreteras locales

Gravity retaining walls with passive fully-grouted steel bar anchorages to stabilize jointed rock slopes in local roads

RESUMEN

Se presenta una solución para la estabilización de taludes verticales y el sostenimiento de la ampliación de una plataforma sobre macizos rocosos fuertemente fracturados en las actuaciones de mejora de trazado de un tramo de la carretera GC-503 en la Isla de Gran Canaria, mediante una solución de sencilla ejecución y elevada integración ambiental. Por la complicada orografía, la carretera discurre por una estrecha divisoria de profundos barrancos cuya anchura se reduce en algunos puntos a prácticamente la plataforma actual de la carretera. La solución básica ha consistido en la ejecución de muros de gravedad de hormigón en masa con paramento a cara vista en mampostería utilizada como encofrado perdido y base de cimentación reducida adaptada a la forma de la ladera mediante anclajes pasivos sistemáticos adherentes inyectados con lechada de cemento, en la base de la obra de fábrica. También se ha previsto la estabilización del talud rocoso vertical bajo los muros, así como de los taludes adyacentes.

Palabras clave: Anclajes en roca, Anclajes pasivos adherentes inyectados, Muros de gravedad anclados, Cosido de macizos rocosos, Ampliación de plataformas.

ABSTRACT

An economical and environmentally-friendly solution to stabilize jointed vertical rock slopes in works of improvement and cross section widening of a part of the GC-503 local road in Gran Canaria Island (Spain) is presented in this paper. Due to the mountainous relief of this territory, this road cross over a extremely narrow section between two deep cliffs. The structural solution involves the construction of traditional gravity retaining walls with passive fully-grouted steel bar anchorages in its foundation. The rock masses nailing under the foundation of the retaining walls and even the adjacent rock slopes is also designed.

Keywords: Rock anchorages, Passive grouted rock bolts, Retaining walls, Rock masses nailing, Cross section widening.



Las actuaciones de acondicionamiento y mejora de trazado y de la plataforma existente en carreteras locales representan una parte muy significativa de las llevadas a cabo por las Administraciones autonómicas y locales que gestionan estos niveles de la red de carreteras.

En muchas de las Islas Canarias de orografía más abrupta es frecuente, debido a la particular disposición de la red natural de drenaje en forma radial con profundos barrancos separados por estrechas divisorias, que las comunicaciones entre la costa y las cumbres centrales se realicen a través de trazados que discurren en ciertos tramos por estas divisorias de cuencas. En ellas, la anchura se reduce en algunos puntos a prácticamente la plataforma actual de la carretera, dificultando su posible ampliación y obligando a disponer adecuados sistemas de contención de vehículos que garanticen la seguridad vial, por el importante desnivel.

Esta es la situación actual de la GC-503, con un trazado heterogéneo, sin alineaciones bien definidas y una plataforma, en general, muy estrecha, fruto de su probable origen de camino rural de otros tiempos y necesidades, y de un relieve muy abrupto. En la actualidad se podría catalogar en la estructura de la Red de Carreteras de Gran Canaria como una vía de tercer orden pero que sirve a varias zonas residenciales en expansión ante el crecimiento de nuevas urbanizaciones. Es además una carretera muy sinuosa, con fuertes pendientes y tráfico reducido (aforos de IMD en el año

2002 de 305, y de 486 para el año horizonte de proyecto), pero que es utilizada diariamente por los habitantes de las citadas zonas residenciales.

La dificultad para la ampliación de la plataforma reside, por tanto, en las escarpadas condiciones orográficas en las que se inserta el trazado, al apoyarse sobre una estrecha meseta constituida por un macizo rocoso altamente fracturado, en la coronación de una divisoria, con taludes casi verticales y alturas que pueden llegar a superar los 15-20 m en determinados puntos kilométricos (Fotos 1 y 2).

En octubre de 2002, el Área de Carreteras del Cabildo de Gran Canaria requirió nuestra asistencia técnica para el estudio de posibles soluciones de ampliación de la plataforma de la mencionada carretera en el tramo de los 460 m de mayor dificultad, así como para el proyecto y desarrollo del sistema estructural finalmente adoptado. En las prescripciones impuestas para el mencionado estudio se subrayaba explícitamente la simplificación del método constructivo para que pudiese ser ejecutado de forma económica, sistematizada y con garantías sin necesidad de excesiva especialización, por tratarse de laderas de complicado acceso y elevada irregularidad. Además se requería la máxima integración paisajística y ambiental de las actuaciones.

Al tratarse de ampliar la anchura de la sección transversal por encima del nivel del terreno natural resultaba preciso recurrir a estructuras que permitieran sos-



Fotos 1 y 2. Tramo de la carretera GC-503 objeto de la actuación, sobre la coronación de la divisoria entre los Barrancos de Ayagaures y Lomo de La Data (Foto 1, margen derecho)(Foto 2, margen izquierdo).

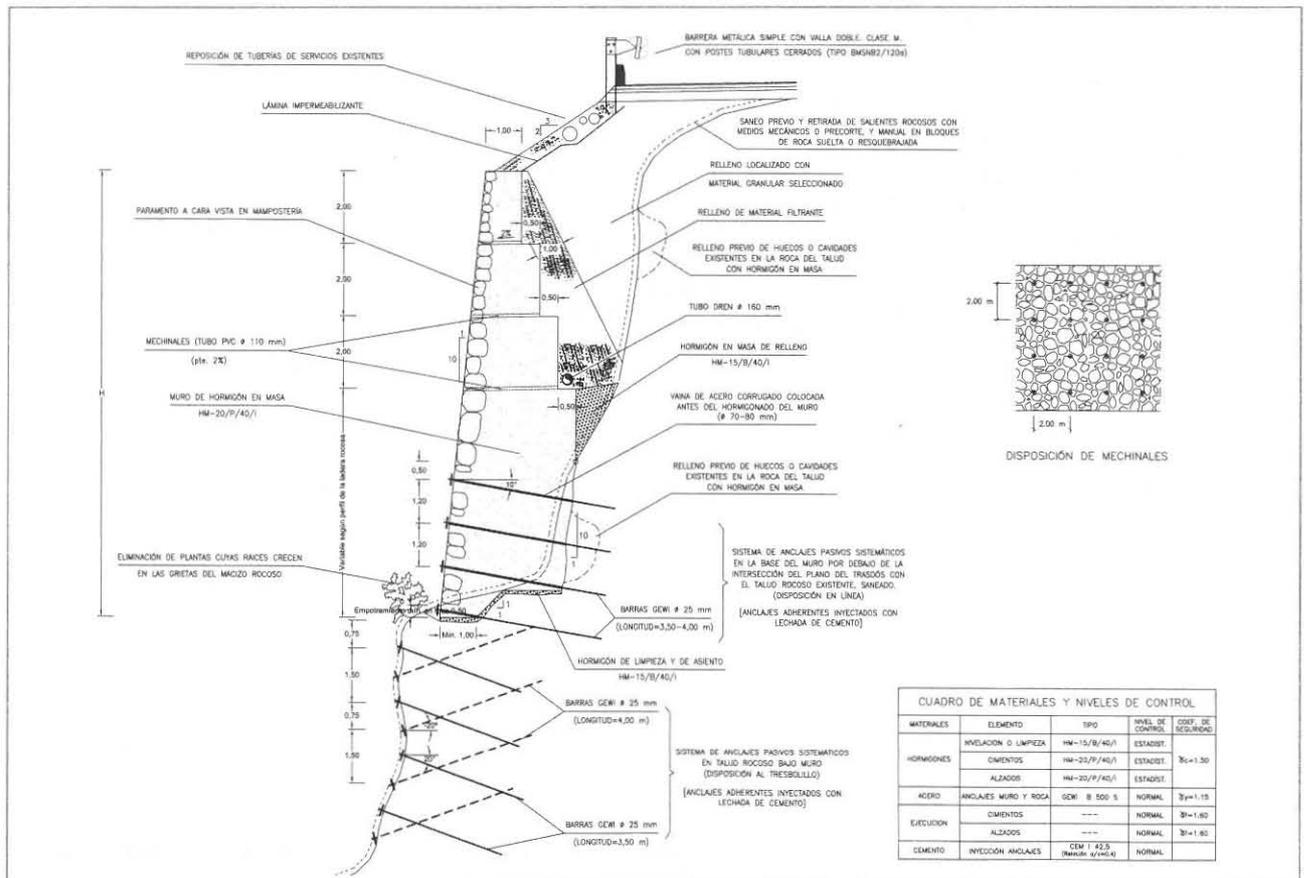


Figura 1. Sección transversal tipo del muro de sostenimiento con anclajes en su base de cimentación y sistema de anclajes para cosido de estabilización del talud rocoso inferior.

tener la rasante a la cota requerida. Por motivos ambientales (es necesario recordar que el 64% de la geografía canaria son espacios naturales protegidos) se descartaron las soluciones consistentes en costosas estructuras que proporcionasen el vuelo necesario para el aumento de la anchura de la plataforma. El sistema de estabilización finalmente desarrollado integra un importante número de medidas de saneo y refuerzo, habitualmente empleadas para taludes en roca, con el requerimiento de máxima sencillez en su ejecución.

MARCO GEOLÓGICO Y GEOMECÁNICO. ESTUDIOS REALIZADOS

Los materiales que se encuentran en la zona de actuación son de origen volcánico, pertenecientes al Ciclo I (Mioceno Superior) y están constituidos por ignimbritas fonolíticas, con naturaleza de coladas escoriáceas y con soldadura intensa aunque muy fracturadas. En cuanto a la estructura, la estratificación presenta un buzamiento de unos 8° que va descendiendo percli-

nalmente hacia el mar, distinguiéndose también otras dos familias principales de discontinuidades. Los bloques son subangulares decimétricos a métricos y existen grandes oquedades en la base. Las posibles inestabilidades son principalmente movimientos de trayectoria vertical, como desprendimientos o colapsos de bloques, así como deslizamientos de cuñas y planos formados por la fracturación.

Para la caracterización del macizo rocoso se establecieron tres estaciones geomecánicas en las que se han estudiado tanto las características de la roca matriz como de las familias principales de discontinuidades estructurales existentes según las recomendaciones de la *Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM)*⁽¹⁾. Todos los datos anteriores permitieron clasificar geomecánicamente los macizos rocosos mediante la clasificación de Bieniawski y de Barton.

Además, estos criterios de clasificación empíricos permiten estimar parámetros de cálculo del macizo rocoso tales como su resistencia a compresión simple, cohesión, rozamiento, los parámetros intrínsecos del



comportamiento en rotura según el criterio de Hoek-Brown, así como el módulo de deformación del macizo. Las discontinuidades más representativas se agrupan en tres familias predominantes obtenidas mediante un "cluster analysis" jerarquizado, las cuales se han representado en proyección estereográfica. Se ha estudiado la resistencia al corte de las discontinuidades rugosas del macizo aplicando el criterio de rotura de Barton-Choubey⁽²⁾, a partir de los valores obtenidos del JRC y la JCS.

Se ha determinado también el índice RDA ("Rockslope Deterioration Assesment"⁽³⁾) para la evaluación de la degradación potencial de los taludes, proporcionando una Clase 4 (susceptibilidad alta) con un grado de meteorización II (ISRM⁽¹⁾), así como los índices RHRS ("Rockfall Hazard Rating System"⁽⁴⁾) y RHRON ("Ontario Rockfall Hazard Rating System"⁽⁵⁾), que han proporcionado un riesgo de desprendimiento de tipo medio (RHRS=464). También se ha clasificado el macizo a efectos de su excavabilidad proporcionando un IE=50 según la clasificación de Hadjigeorgiou y Scoble.

SISTEMA ESTRUCTURAL PROYECTADO PARA EL SOSTENIMIENTO DE LA AMPLIACIÓN DE LA PLATAFORMA Y ESTABILIZACIÓN GENERAL DEL TALUD

I. Descripción general y justificación de la solución adoptada

Los elementos estructurales proyectados están constituidos por muros de gravedad para el sostenimiento del relleno destinado a la ampliación de la sección transversal, y por el refuerzo del macizo rocoso en el que se apoya la anterior estructura y su cimentación mediante un sistema de cosido con anclajes permanentes de barra pasivos, sistemáticos, adherentes, de inyección única global (IU) con lechada de cemento.

Se precisaba uniformizar las tipologías de estructuras de sostenimiento a utilizar para conseguir la mayor economía posible en su construcción, teniendo en cuenta que

se trata de una ladera rocosa de difícil acceso y condiciones de trabajo en ella, además de su gran irregularidad y variabilidad con presencia de huecos o cavidades en la roca y zonas en desplome. La tipología adoptada debía ser fácil de insertar en cualquiera de los perfiles irregulares existentes que pueden presentarse en cualquier sección del tramo de carretera, y con un proceso constructivo sistematizado que no precisara de alta especialización y cualificación del personal. Por todo ello, se descartaron los anclajes de tipo activo.

Por simplicidad constructiva se han elegido muros de gravedad *in situ* de hormigón en masa (ver Figura 1) con trasdós escalonado cada 2,0 m de altura, lo que permite ejecutarlos por

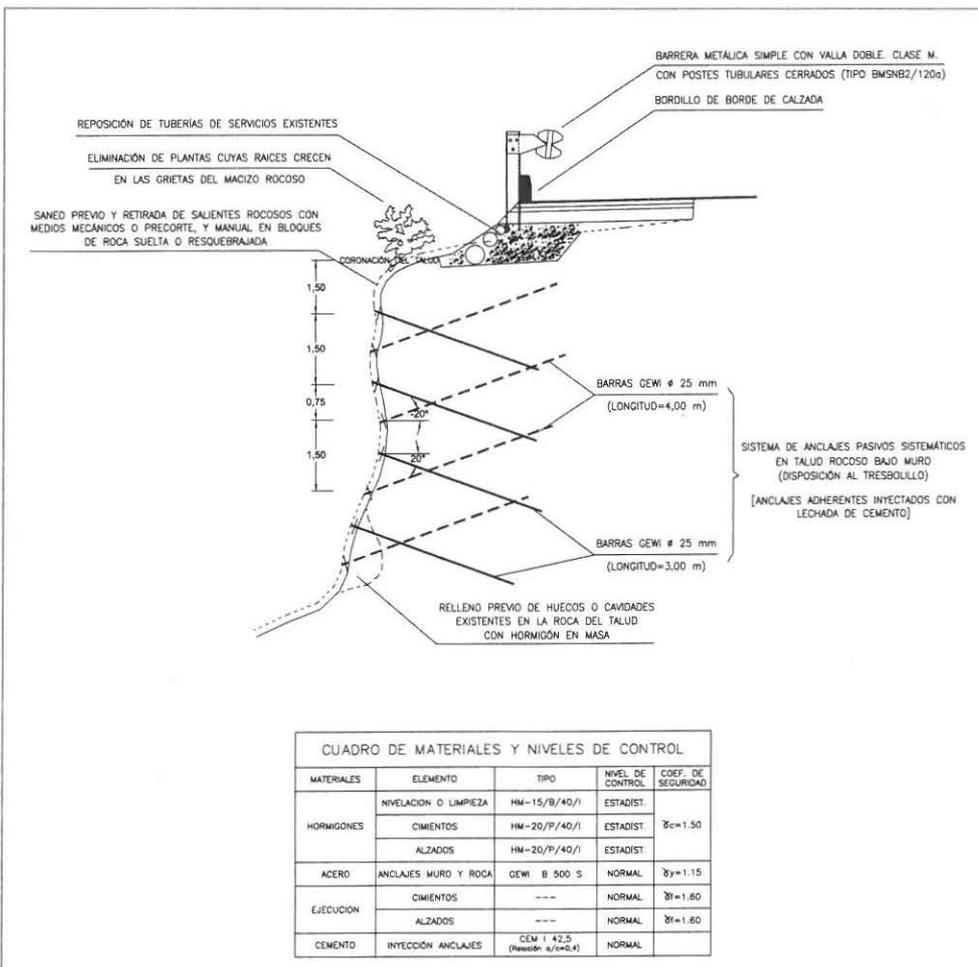


Figura 2. Sección transversal tipo del sistema de anclajes para cosido de estabilización del talud rocoso.

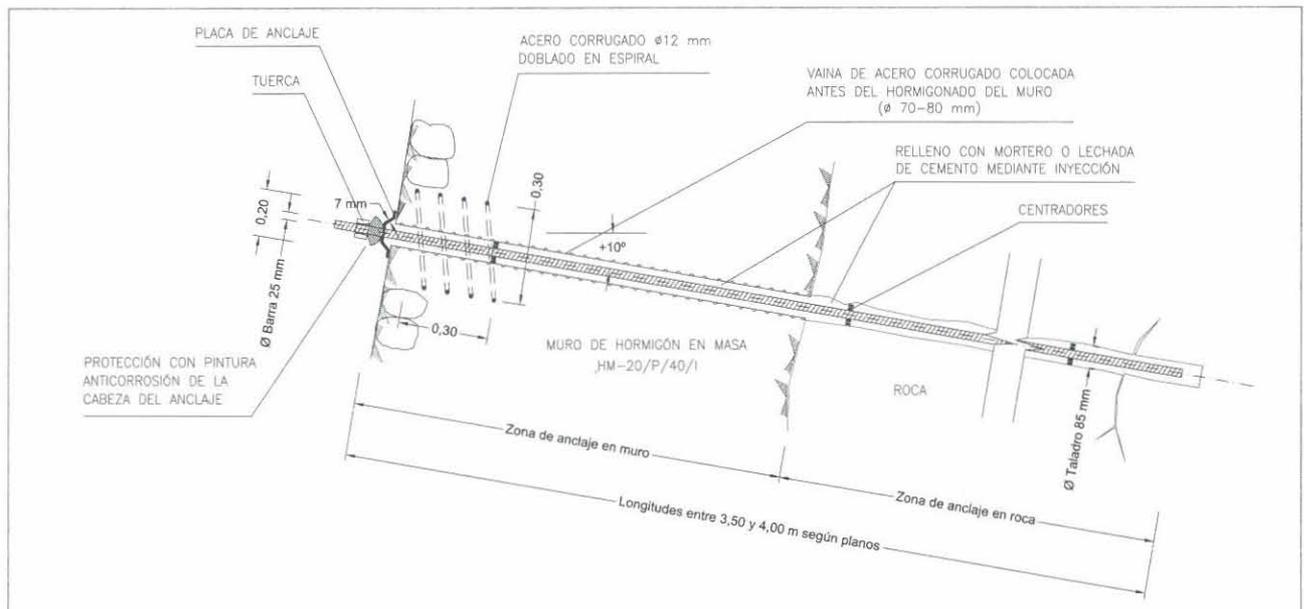


Figura 3. Detalle de anclaje pasivo adherente en base de cimentación de muros.

tongadas horizontales de fácil encofrado. El paramento a cara vista o intradós queda recubierto con mampostería de piedra del lugar utilizada como encofrado perdido, lo que proporciona un acabado de alta calidad. La altura máxima prevista para el muro en cualquier sección transversal de la carretera no supera los 9 m.

En su base o cimentación, por debajo de la intersección del plano de su trasdós con el perfil existente de la ladera rocosa, se ejecuta un sistema de anclajes pasivos entre el macizo de hormigón y la roca mediante barras tipo GEWI B500S Ø25 mm, de manera que se puede reducir al máximo la anchura de su cimentación adaptándola al perfil existente de la ladera en cada zona.

Adicionalmente, se ha proyectado también un sistema de refuerzo del macizo rocoso en que se apoya la cimentación de los muros con objeto de estabilizar el talud rocoso ante deslizamiento general o local debido a las cargas concentradas que transmiten estas estructuras de sostenimiento, así como el refuerzo de los perfiles de ladera en los que no resulta necesaria la construcción de las mencionadas estructuras de sostenimiento para el relleno de ampliación de la plataforma (Figura 2). Tales medidas consisten también en un cosido del macizo mediante anclajes similares a los descritos anteriormente.

En las Figuras 3 y 4 pueden verse los detalles de los diferentes anclajes de barra proyectados.

La elección de la tipología estructural proyectada responde a las siguientes razones fundamentales:

- Menor necesidad de excavación de la cimentación en el trasdós frente a las grandes anchuras de zapata que requieren los muros estructurales de hormigón armado. Esta ventaja es en nuestro caso muy importante por el reducido espacio existente para cimentar el muro y la necesidad de minimizar las excavaciones en la ladera rocosa. Esta reducción de la sección de su base o cimentación se consigue, además, mediante el anclaje con barras pasivas de la base del muro, logrando de esta forma una adaptación de la sección estructural a la forma existente de la ladera en cada perfil, la cual es muy variable en sentido longitudinal de la carretera.
- Buena integración en el paisaje, así como la utilización de parte de los materiales producto de la excavación.
- Mayor durabilidad al carecer de armaduras de acero. También esto facilita el proceso constructivo en una ladera de complicado acceso y condiciones de trabajo, y con elevada irregularidad para poder sistematizar un armado para la estructura que se inserta en cada perfil de la ladera.
- Proporcionan una reacción elevada para garantizar un determinado factor de seguridad frente al deslizamiento general en planos de discontinuidades o local de cuñas sueltas del macizo rocoso del talud.
- El trasdós se adopta inclinado para aprovechar la acción estabilizadora y centradora del peso del relleno sobre el muro, permitiendo reducir al máximo la

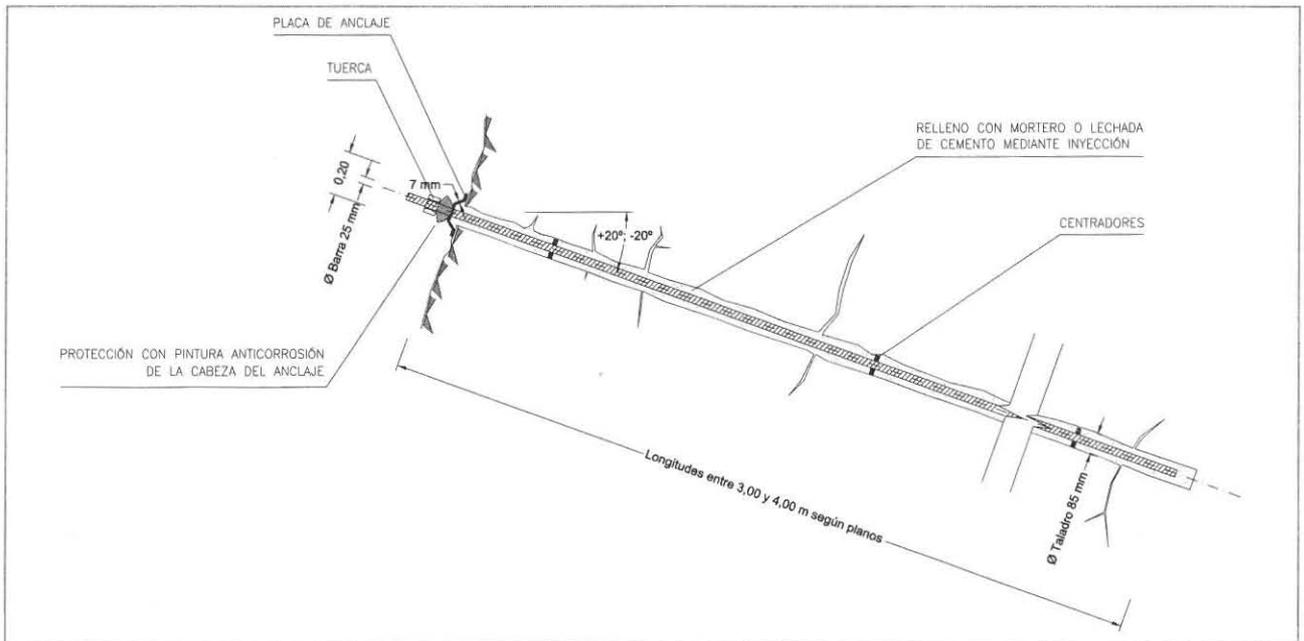


Figura 4. Detalle de anclaje pasivo adherente sobre talud de macizo rocoso fracturado.

anchura de su base de cimentación. La elección de un trasdós escalonado frente a un trasdós plano inclinado obedece a facilitar el proceso constructivo mediante un encofrado de más sencilla ejecución al construir el muro por tongadas horizontales.

- Se ha decidido ejecutar la estructura con hormigón *in situ*, frente a soluciones prefabricadas debido a la dificultad de sistematizar su construcción mediante prefabricación, ya que es necesario adaptarlo a una ladera rocosa totalmente irregular, con cavidades u oquedades, con espacios reducidos para su cimentación y de difícil ejecución de la excavación.

Se ha previsto un saneo previo y retirada de salientes rocosos con medios mecánicos y manuales de los bloques de roca suelta o resquebrajada, así como la eliminación de plantas arbustivas cuyas raíces crecen en las grietas del macizo, y la ejecución de elementos de drenaje e impermeabilización del trasdós de las estructuras de sostenimiento del relleno así como de la superficie de éste (ver Figura 1).

2. Cálculos y comprobaciones

Previamente se han estimado los parámetros geotécnicos de cálculo del macizo de ignimbritas fonolíticas soldadas a partir del estudio geológico y geotécnico realizado y el levantamiento geomecánico, así como las propiedades del relleno a emplear en el trasdós de los muros (las correspondientes al macizo rocoso se resumen en la Tabla 1).

Se han realizado comprobaciones de la estabilidad del muro anclado considerando los empujes del relleno situado por encima del plano superior de anclajes de su base y las solicitaciones del tráfico, teniendo en cuenta las combinaciones de acciones especificadas en las Instrucciones IAP y EHE. Para el cálculo de los empujes del terreno se ha aplicado la teoría de empujes en terrenos confinados o de efecto silo, dada la reducida anchura existente entre el talud rocoso existente y la nueva estructura de sostenimiento del relleno. Esto permite considerar empujes más reducidos que las clásicas Teorías de Coulomb o Rankine, y más aproximadas a la realidad de este caso, debido a la limitación de la anchura del relleno confinado. Previamente se ha comprobado la validez de las condiciones para la aplicación de esta metodología.

La comprobación del talud rocoso en el trasdós de la estructura frente a inestabilidad general o local de planos o cuñas a través de las discontinuidades del macizo, se ha efectuado considerando la reacción introducida por el muro anclado y la presencia de tal estructura. Se ha determinado la reacción necesaria a proporcionar por los anclajes con la condición de garantizar un $FS=1,5$ frente a deslizamiento tanto general como local, para situación de proyecto persistente y combinación de acciones casi-permanente.

La elección de este valor del coeficiente de seguridad global para el cálculo de los anclajes se debe a la variabilidad observada en las propiedades geomecánicas del macizo, además de ser el valor recomendado según la

| PROPIEDADES GEOTÉCNICAS Y GEOMECÁNICAS (Valores de cálculo) | | Roca (Ignimbritas fonolíticas soldadas) |
|---|----------------------|---|
| $\gamma_{\text{sat}} =$ | (kN/m ³) | 20,21 |
| $\gamma_{\text{sat}} =$ | (kN/m ³) | 21,50 |
| ϕ BÁSICO JUNTAS = | (°) | 57,2 |
| ϕ RESIDUAL JUNTAS = | (°) | 41,5 |
| ϕ MACIZO = | (°) | 46,6 |
| C MACIZO = | (kPa) | 35,0 |
| JRC (Escala de 20) = | - | 8 |
| JCS = | (MPa) | 12,0 |
| σ'_c ROCA INTACTA = | (MPa) | 43,0 |
| $I_s =$ | (MPa) | 2,5 |
| Parámetros criterio Hoek-Brown: m = | | 0,851 |
| Parámetros criterio Hoek-Brown: s = | | $1,27 \times 10^{-3}$ |
| E ROCA INTACTA = | (MPa) | 9261 |
| E MACIZO (ESTIMADO) = | (MPa) | 2985 |
| $\nu =$ | - | 0,26 |
| RQD = | (%) | 80 |
| RMR = | | 57 (Clase III) |
| Q = | - | 4 |
| SMR = | - | IIIa (Normal, Parcialmente inestable) |

Tabla 1. Parámetros geotécnicos y geomecánicos de cálculo de las ignimbritas fonolíticas soldadas.

Guía de cimentaciones en obras de carretera⁽⁶⁾. Al tratarse de anclajes pasivos, la movilización de dicha reacción requiere un pequeño desplazamiento de la estructura, cuyo cálculo ha permitido comprobar la compatibilidad con la funcionalidad del muro. El análisis de estabilidad se ha realizado de dos maneras dependiendo de las características del macizo rocoso:

- Cuando el macizo rocoso presenta planos de discontinuidad sistemáticos se emplea el análisis por los métodos de equilibrio límite para deslizamientos planos o de cuñas definidos por la representación estereográfica de las principales familias de discontinuidades, determinando si permiten la formación cinemática de inestabilidades. Para el análisis de la resistencia al corte de las juntas rugosas se ha utilizado el criterio de Barton-Choubey ya mencionado. Las cuñas se han estudiado basándose en el método de análisis de Hoek y Bray.
- Cuando la roca no presenta unos planos de discontinuidad definidos, como es el caso de las partes del macizo que se encuentran fuertemente fracturadas con juntas en todas direcciones, se ha considerado que las roturas pueden producirse por superficies circulares y planares, analizándolas por métodos de

equilibrio-límite, asimilándose el comportamiento de los materiales rocosos al de suelos gravosos muy densos. El criterio de rotura empleado es el de Mohr-Coulomb. Se ha analizado la estabilidad tanto en condiciones drenadas (*Estudio a Largo plazo*) como no drenadas (*Estudio a Corto plazo*).

En todas las situaciones se analiza el factor de seguridad FS del talud frente a las acciones a las que está sometido. Se ha exigido un FS=1,5 como mínimo para considerar estable el talud. En el caso de que el FS resulte inferior a ese valor, se introduce una fuerza contra el talud deslizando hasta que dicho FS resulte igual o superior:

Ese valor de la fuerza coincide con la reacción mínima necesaria a proporcionar por la obra de contención para conseguir estabilizar con dicha seguridad la pendiente.

Adicionalmente, se ha analizado la estabilidad, general o local de planos o cuñas a través de las juntas del macizo, del talud rocoso situado bajo el muro reforzado con un sistema similar de anclajes de barra pasivos y sistemáticos. En este caso, las cargas en coronación del talud por debajo del muro son mayores debido a la carga gravitatoria concentrada ejercida por la estructura de sostenimiento.

Las metodologías de cálculo y los criterios de rotura aplicados son los mismos que los explicados en los párrafos anteriores. Igualmente se ha comprobado la estabilidad de aquellos perfiles de talud rocoso sin muro en su coronación, diseñándose también el sistema de anclajes pasivos sistemáticos necesarios para garantizar el factor de seguridad exigido.

A partir de la reacción o fuerza necesaria para estabilizar todos los taludes anteriores (con los coeficientes de seguridad especificados), cuyos valores máximos se resumen en la Tabla 2, se dimensionan los sistemas de anclajes necesarios.



| TALUD | PK | H (m) | Reacción necesaria (kN/m ²) | FS deslizamiento del talud |
|---|----------|-------|---|----------------------------|
| Talud en trasdós de muro de sostenimiento | PK 5+000 | 7,17 | 64,00 | 1,50 |
| Talud bajo el muro | PK 4+940 | 2,50 | 54,40 | 1,50 |
| Talud sin muro en su coronación | PK 4+960 | 8,00 | 32,50 | 1,50 |

Tabla 2. Reacciones máximas necesarias a proporcionar por el sistema de anclajes para garantizar un determinado factor de seguridad frente a estabilidad por deslizamiento del talud.

Por las razones comentadas de simplificación constructiva y dificultad de las condiciones de trabajo, se han elegido anclajes de barra pasivos sistemáticos, adherentes mediante relleno del taladro con lechada de cemento CEM I 42,5 R, con inyección única global (IU), empleando barras corrugadas tipo GEWI B500S del mismo diámetro en todos los casos. La categoría y tipo de estos anclajes, en función de la vida útil prevista, del riesgo social y económico en caso de fallo, y del tipo de inyección del taladro resultan ser: categoría C5 (ATEP⁽⁷⁾), y tipo 7 (DGC⁽⁸⁾).

Se han calculado sus separaciones o espaciamentos, utilizando disposiciones en línea para los anclajes del muro y al tresbolillo para el resto de anclajes en talud rocoso, así como las inclinaciones óptimas de trabajo en función del buzamiento de las principales familias de discontinuidades y del ángulo de rozamiento estimado en dichas juntas, siempre dentro de los límites máximos por razones constructivas.

El dimensionamiento de los diámetros y longitudes necesarios se ha efectuado en un análisis de estabilidad o comportamiento individual de los anclajes considerando la carga nominal de tracción actuante mayorada con los coeficientes que recomiendan las normas anteriores, comprobando la tensión admisible del acero (límite elástico y tensión de rotura) y la seguridad frente a arrancamiento del bulbo y frente a deslizamiento entre el acero y el material de relleno dentro del bulbo (obteniéndose la longitud adherente o de bulbo).

Para ello se han estimado las tensiones de adherencia última en los contactos con el terreno y con el relleno del bulbo para anclajes a base de cemento, a partir de los valores empíricos propuestos por las mencionadas recomendaciones y otras expresiones propuestas por algunos autores (Suzuki y Littlejohn y Bruce⁽⁸⁾), además de la experiencia previa con materiales similares. La sección resultante necesaria para las barras se ha unifi-

cado por simplificación constructiva, adoptándose un diámetro de 25 mm para todos los anclajes proyectados con longitudes totales que oscilan entre 3,0 y 4,0 m. El mencionado diámetro considera sobre espesores de sacrificio por corrosión de 3,0 mm.

Además se ha efectuado un análisis de la posible plastificación del terreno circundante o de las barras de los anclajes frente a flexotracción y cortante combinados, comprobando la no plastificación del terreno comprimido por la barra bajo el efecto del cortante, la no plastificación del terreno con formación de rótulas plásticas sobre la barra, y la comprobación, utilizando el criterio de Tresca, de la resistencia de la barra a flexotracción y cortante combinados. A estos últimos aspectos no hacen referencia las recomendaciones anteriormente citadas, pero que consideramos también de interés, especialmente en el caso de los anclajes de barra y bajo solicitaciones elevadas. Igualmente se han comprobado las tensiones en las placas de reparto.

CONCLUSIONES

Descartando, por motivos ambientales, las actuaciones consistentes en costosas estructuras que permitiesen dar el vuelo necesario para la ampliación de la sección transversal, se ha intentado presentar una solución consistente en un sistema estructural que combina los muros tradicionales con un refuerzo del macizo rocoso fracturado mediante inclusiones en forma de anclajes de barra pasivos, y que persigue integrar la sencillez de ejecución de los métodos constructivos empleados tradicionalmente en las obras de fábrica de la Isla (incluyendo la mampostería) con las técnicas de cosido del macizo mediante inclusiones, buscando la máxima adecuación ambiental y paisajística de la obra.

El coste unitario de ejecución material de las actuaciones de sostenimiento y refuerzo de los taludes se ha evaluado en unos 126 €/m² de superficie de talud (según precios año 2003), incluyendo las medidas de seguridad y salud, notablemente inferior al de otras posibles soluciones estructurales, pudiendo realizarse esta parte de las obras previstas, en el tramo de unos 340 m, en un plazo no superior a 3 meses.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ISRM (1981). "Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring". Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.
2. BARTON, N y CHOUBEY, V. (1977). "The shear strength of rock joints in theory and practice". Rock Mechanics, vol. 10, nº1.
3. NICHOLSON, D.T. y HENCHER, S. (1997). "Assessing the potential for deterioration of engineered rockslopes". Engineering Geology and Environment. A.A. Balkema. Atenas.
4. PIERSON, L.A., DAVIS, S.A., y VANVICKLE, R. (1990). "The Rockfall Hazard Rating System: Implementation Manual". Technical Report FHWA-OR-EG-90-01. US Department of Transportation.
5. FRANKLIN, J.A. y SENIOR, S.A. (1997). "The Ontario Rockfall Hazard Rating System". Engineering Geology and Environment. Edt. Balkema. Rotterdam.
6. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2003). "Guía de cimentaciones en obras de carretera". Centro de Publicaciones. Mº de Fomento. Madrid.
7. ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE PRETENSADO (1996). "Recomendaciones para el proyecto, construcción y control de anclajes al terreno H.P8-96". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid.
8. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2ª Edic. 2003). "Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera". Centro de Publicaciones. Mº de Fomento. Madrid.
9. LITTLEJOHN, S. (1995). "Rock Anchorages". News Journal. International Society for Rock Mechanics. Vol.2. nº3 y 4. ■

