

ESTABILIZACIÓN DE ACANTILADOS URBANOS MEDIANTE TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN GEOLÓGICA

STABILIZATION OF ROCK OUTCROPS IN URBAN SETTINGS BY MEANS OF GEO RESTORATION TECHNIQUES.

FRANCISCO JURADO JIMÉNEZ. Arquitecto.

Profesor Departamento de Estructuras E.T.S. Arquitectura. Univ. Politécnica Madrid. oficinargfs@terra.es

JUAN ANTONIO GARCÍA GONZÁLEZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe de División. GEOCISA, empresa miembro de AETESS. jag-geocisa-madrid@dragados.com

RESUMEN: Las actuaciones tradicionales sobre acantilados ante situaciones de inestabilidad o desprendimientos, no siempre resuelven satisfactoriamente la necesidad de integración paisajística; en especial cuando el cantil añade valor estético al paisaje urbano o se encuentra integrado en el propio patrimonio histórico de la ciudad. Mediante la aplicación de técnicas de restauración geológica se persigue la consolidación y estabilización del escarpe rocoso, empleando soluciones que permiten la ocultación de la actuación, manteniendo inalterado el carácter del cantil. Las técnicas descritas han sido empleadas con éxito por Geocisa en las Peñas de Santa Marta (Zamora) y en el acantilado del Puerto de Mahón (Menorca).

PALABRAS CLAVE: ESTABILIZACIÓN ACANTILADOS, RESTAURACIÓN GEOLÓGICA, CONSOLIDACIÓN

ABSTRACT: The traditional means of treating outcrops to safeguard against instability and rock falls, are frequently unappealing and this is all the more so when the outcrop or rock face adds an aesthetic value to the urban landscape or when it is considered as part of the heritage of a town or city. GEO restoration serves to consolidate and stabilize the outcrop using hidden solutions which keep the external appearance of the face intact. The techniques described in this article have been successfully employed by Geocisa at the rock faces of the Peñas de Santa Maria (Zamora) and the cliffs at the port of Mahón (Menorca).

KEYWORDS: STABILIZATION OF OUTCROPS. GEO RESTORATION, CONSOLIDATION

La UTE formada por Geocisa y Antonio Gomila S.A., en colaboración con el arquitecto D. Francisco Jurado Jiménez, esta concluyendo la consolidación de dos zonas del Acantilado del Puerto de Mahón en Menorca bajo el auspicio del Excelentísimo Ayuntamiento de Mahón y en concreto de la Concejalía de Ciudad y Medio Ambiente. Los desprendimientos habían obligado a dicho Ayuntamiento a desalojar las viviendas y a cerrar los negocios situados en el pie de dicho acantilado, así como a acometer por urgencia los trabajos de consolidación.

La importancia estética del cantil rocoso en el paisaje del puerto de Mahón hacía necesario el empleo de una téc-

nica de estabilización respetuosa con la morfología y estética del acantilado.

Frente a las soluciones tradicionales, agresivas con el paisaje, a base de hormigón proyectado, bulones y mallas de acero, la propuesta de la UTE ha avanzado hacia el uso de técnicas de integración paisajística innovadoras para la resolución de este problema, basándose en la técnica de la restauración geológica. Mediante el empleo de anclajes y bulones ocultos, mamposterías conformes con la arquitectura popular de la isla; drenes, microfijaciones y consolidaciones; se está demostrando que se pueden conciliar la estética, la seguridad y el respeto al medio ambiente. El objetivo

que se ha perseguido en las actuaciones ha sido la estabilización de éste conservando al máximo el aspecto natural del acantilado y la protección del entorno. En este sentido se ha actuado como si de un monumento histórico se tratara.

No solo en el aspecto estético existen ventajas sobre las soluciones tradicionales. Se han empleado materiales tradicionales como los morteros y lechadas de cal, compatibles con los materiales del acantilado; y materiales innovadores, como las fibras de vidrio y carbono empleadas en la consolidación y fijación, por su total resistencia a la corrosión en ambiente marino.

Estas técnicas ya habían sido empleadas con anterioridad por Geocisa en la consolidación de las Peñas de Santa Marta en la ciudad de Zamora. En este caso también era necesaria una actuación respetuosa con el entorno histórico, y gracias a ello, se conserva intacta una de las más bellas panorámicas de la ciudad.

DESCRIPCIÓN DE LAS INTERVENCIONES

Las actuaciones sobre un acantilado urbano debe tener en consideración no solo los factores que afectan a la morfología y la configuración geológica del acantilado. Se han de tener en cuenta factores ambientales, la propia dinámica urbana así como el valor histórico y paisajístico del acantilado a estabilizar.

La litología de los materiales que forman el acantilado; sus propiedades estratigráficas y estructurales, hidrogeológicas y ambientales, condicionan y definen junto con la propia morfología del escarpe rocoso, el tratamiento de cada zona del frente abarcando las siguientes técnicas:

- Saneado
- Bulonado
- Anclajes
- Microfijaciones y cosidos
- Consolidación
- Inyecciones
- Drenaje
- Apeo de cornisas
- Tratamiento de monteras

SANEADO

En primer lugar se lleva a cabo el saneo consistente en la retirada manual de piedras sueltas y la retirada de la vegetación. En función de la litología del escarpe se lleva a cabo un picado de costras salinas o una limpieza adicional de material alterado y meteorizado mediante chorro de agua y aire, para eliminar las sales incrustadas, que alteran la piedra con las variaciones de humedad. En acantilados urbanos son frecuentes las incrustaciones de Nitratos y

otras sales provenientes de las fugas de las redes de alcantarillado.

BULONADO

Para coser los niveles de roca más superficiales se disponen bulones (hasta 5 metros de longitud). La longitud, orientación y la distribución de los bulones se determinará en función de la estratificación, diaclasado y morfología del acantilado.

Para garantizar la máxima durabilidad de los bulones, se emplean de fibras sintéticas (vidrio y carbono). La inyección se realiza en toda su longitud, empleando materiales de inyección compatibles con el macizo rocoso (morteros y lechadas de cal hidráulica y morteros de resinas).

El acabado del bulón se completa cubriéndose el orificio de la perforación sobre el escarpe con mortero pétreo. Una vez endurecido el mortero se procede a su ocultación mediante una patina del mismo color que la roca. De esta manera queda oculto a la vista, realizando su función de cosido por adherencia en toda su longitud, evitándose la colocación de la correspondiente cabeza y placa.

ANCLAJES

La estabilidad global del escarpe rocoso se asegura mediante la disposición de niveles de anclajes pasivos perforados hasta la zona estable del macizo detrás del posible plano o curva de deslizamiento.

Para garantizar la máxima durabilidad de los anclajes, se utilizan, de igual manera que en el caso de los bulones, armaduras de fibras sintéticas (vidrio y carbono), introduciéndose resinas de polietileno como material de inyección. El diseño de anclaje, con dos zonas de bulbo (una en cada extremo), suficiente para transmitir la carga de diseño hace innecesario también el empleo de cabezas para los anclajes. Una vez inyectado se oculta el emboquille con mortero pétreo, cubriéndose el orificio de la perforación. Posteriormente se procede a su ocultación mediante una patina del mismo color que la roca.

MICROFIJACIONES Y COSIDOS

Los bloques y rocas inestables de menor magnitud, que no hayan sido retirados en el saneado, se coserán mediante varillas de fibra, realizándose una microinyección con resina de este bulón y de las fisuras atravesadas. La disposición, orientación y la cantidad de cosidos de cada bloque estará en función de su situación y sujeción al macizo, empleándose al menos tres cosidos por bloque.

El criterio de decisión para el cosido de un bloque será su inspección visual desde el andamio, realizando un análisis del diaclasado y su posible descalce.

El proceso de cosido de un bloque se resume en las siguientes operaciones:

1. Identificación del bloque a coser.
2. Perforación de los taladros.
3. Limpieza.
4. Inyección de resina.
5. Colocación de varillas.
6. Acabado: ocultación, patinado y fijado.

CONSOLIDACIÓN Y PROTECCIÓN DE NIVELES METEORIZADOS

Los niveles más alterados de escarpe, constituidos por rocas meteorizadas o arenizadas, se consolidan mediante sales de silicato, formando una película resistente que frena este proceso. En los casos más expuestos a las inclemencias meteorológicas se puede proteger estos niveles mediante mampostería.

INYECCIÓN

Con el fin de reducir el deterioro progresivo del escarpe del acantilado, se lleva a cabo la inyección de las fisuras existentes. Con la inyección se persigue dos objetivos:

- Mejorar el módulo de deformación del macizo, al dar continuidad a los bloques que lo componen. La reducción de la deformabilidad va a limitar la aparición de nuevas fisuras.
- Reducir la penetración del agua y el aire dentro del macizo, mejorando la durabilidad al impedir la alteración del material dentro del macizo.

La inyección se realizara con morteros compatibles con el macizo (en general lechadas a base de cal hidráulica). El empleo de material químicamente compatible con la formación rocosa asegura la integración de la inclusión en la propia estructura del macizo, además de contar con un módulo de deformación y permeabilidad similares. Se evita la formación de eflorescencias de sales (sulfatos) como en el caso de la lechada de cemento, que terminan atacando superficialmente la roca sana.

La inyección de las fisuras comprende las siguientes fases:

1. Limpieza de la fisuras y oquedades.
2. Rejuntado y tapado de huecos con mortero, así como colocación de tubos de cobre para la inyección, a lo largo de la fisura.
3. La inyección con lechada o mortero de cal, en función de las dimensiones de la grieta a inyectar.
4. Saneado de la fisura, retirando el rejuntado y los tubos de inyección.

5. Patinado de la fisura inyectada.

La inyección en si forma una barrera impermeable que debe complementarse mediante una red de drenaje para controlar el flujo de agua procedente del trasdós del acantilado hacia el escarpe, con la ayuda de drenes californianos.

DRENAJE

La presencia de agua de filtración es una de las principales causas de la inestabilidad tanto local como general. La saturación de agua en los distintos niveles del macizo crea unas presiones intersticiales desestabilizantes que deben eliminarse facilitando la salida de esta agua. El agua procede normalmente de la escorrentía superficial y desde la mortera del acantilado, y suelen existir aportaciones de riesgos y pérdidas de redes urbanas.

La existencia de vegetación en los escarpes, prueba manifiesta de la existencia de aportaciones de agua, agrava el riesgo de desprendimientos por el efecto desestabilizador de las raíces leñosas.

La red de drenaje debe constar de varios niveles de drenes californianos (al menos un nivel por cada estrato permeable). Los drenes se alojan en perforaciones subhorizontales (10-20°) equipadas de un PVC ranurado forrado en geotextil.

La ubicación de los drenes y su orientación debe realizarse de manera que se recoja el agua de los niveles permeables, facilitando su salida al exterior.

APEO DE CORNISAS

La aportación de agua desde el trasdós del acantilado debilita las zonas más permeables provocándose de esta manera una mayor erosión en estos niveles y da por resultado la formación de oquedades y cornisas, provocándose la inestabilidad de los niveles superiores.

Con el fin de interrumpir este proceso, se procede al relleno de las cuevas existentes en el acantilado con hormigón de cal o mampostería.

TRATAMIENTO DE MONTERAS

Para evitar la infiltración de agua al acantilado desde su montera, se procede a la colocación de mampostería en las zonas donde se acumula el agua, facilitando su evacuación y evitando su penetración en el macizo.

La combinación de estas técnicas da por resultado la posibilidad de estabilizar la mayor parte de los casos de acantilado. Desde los microcosidos, que aseguran rocas de poco volumen, hasta los anclajes que aseguran la estabilidad general, cada una de las otras técnicas ex-



Peñas de Santa Marta (Zamora). Vista general de las obras.

puestas tiene su aplicación en diferentes niveles del escarpe.

ACTUACIÓN EN LAS PEÑAS DE SANTA MARTA (ZAMORA)

Tratamiento de Montera. Peñas de Santa Marta.

El Excmo. Ayuntamiento de Zamora adjudicó, por el procedimiento de concurso abierto, a la empresa Geocisa junto



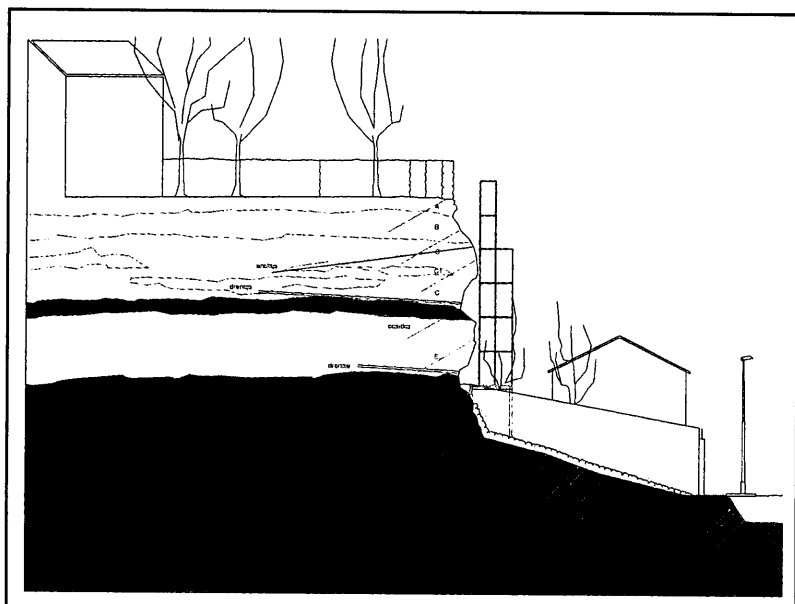
con la Oficina de Arquitectura de Francisco Jurado, la redacción del proyecto, dirección facultativa y ejecución de las obras para la Estabilización de las Peñas de Santa Marta, ejecutándose las obras en el primer semestre del año 2000.

La necesidad de una actuación que redujera la posibilidad de desprendimiento de rocas, debía ser a la vez una actuación poco agresiva con el entorno, debido al valor que el enclave tiene para la ciudad de Zamora.

Los problemas eran variados, alcanzaban los diferentes materiales y diferentes niveles de alteración, por lo que las actuaciones decididas fueron diferentes para estabilizar el macizo: bulones, anclajes y cosidos para los niveles margosos deteriorados, que descalzan los niveles superiores con voladizos de hasta 1.5 m; drenes y consolidación de la superficie meteorizada; y, en general, para todo el frente un saneo del mismo y una limpieza de las sales afloradas en la superficie.

Se realizaron ensayos para determinar los materiales a emplear en las diferentes unidades: fibra de vidrio inyectada con resina para bulones y anclajes, consolidantes e hidrofugantes para la consolidación, y lechadas de cemento y cal con bajo contenido en sulfatos para la inyección de las fisuras.

Los trabajos comenzaron con la realización de 14 pruebas de tesado para comprobar la resistencia del conjunto y las adherencias entre fibra, resina y roca. La actuación se separó en dos partes debido a los 302 m de longitud del tramo a tratar. La superficie asciende a más de 3.500 m².



**Perfil transversal.
Peñas de Santa
Marta.**

La modulación de los bulones en horizontal fue cada 2 m, y la vertical definida por la separación entre niveles de andamios 2 m. Los bulones se armaron con una barra de fibra de vidrio de 25 mm de diámetro, y cartuchos de resina como relleno del taladro. El criterio de diseño de los bulones era el de resistir el esfuerzo que produjera un bloque de arenisca de entre 4-8 ton al desprenderse de la pared. En total el número de bulones que se ejecutaron fue 800 de 4 m de longitud, y más de 900 de 1 m, aproximadamente, para bloques de menor tamaño, con lo que se emplearon más de 5.000 cartuchos de resina.

Los anclajes sujetan el macizo frente a un posible deslizamiento del círculo profundo. Para evitarlo se diseñaron ancla-

**Microcosidos
e inyección
de resina.**



jes con una longitud libre intermedia de dos zonas de contacto en ambos márgenes, de esta forma se producirá una sujeción de la parte frontal del macizo deslizante unido a la parte sana de la considerada desde los 9 m en el interior del macizo. Los materiales empleados fueron: resina fluida y barras de fibra de vidrio envainada en PVC en su parte central, para que no exista adherencia entre la resina y la fibra de vidrio. Se ejecutaron más de 210 anclajes de 12 m de longitud.

Los drenes, realizados para evacuar el agua del interior del macizo y evitar su circulación sobre los estratos margosos y así la alteración de las margas, se definieron sobre el contacto de los dos niveles de margas, en el contacto superior son de 12 m y en el inferior de 6 m. Se realizaron con tubo ranurado de PVC de 50 mm, recubierto de geotextil. Se realizaron 225 y 165 uds de 12 y 6 m, en total más de 3.600 m de drenes.

Para sujetar bloques de piedra menores de 250 Kg, se emplean cosidos, utilizando como material de contacto resina inyectada. En total se sujetaron más de 700 bloques con un total de 2.000 varillas.

Para llevar a cabo una actuación acorde con el entorno, se procedió a efectuar labores de ocultación de los taladros, mediante una labor de patinado con tierras naturales.

Las fisuras horizontales de las rocas se rellenaron con lechadas de cal, para evitar ese hueco se rellena el contacto para evitar el posible apoyo de un bloque desplazado suelto con su inmediatamente inferior, provocando fuerzas aditivas sobre los bloques inferiores. Los ensayos geofísicos determinaron el éxito de la actuación, apreciándose en la mejora de más de un 100% en la velocidad de transmisión de las ondas sobre el macizo rocoso.

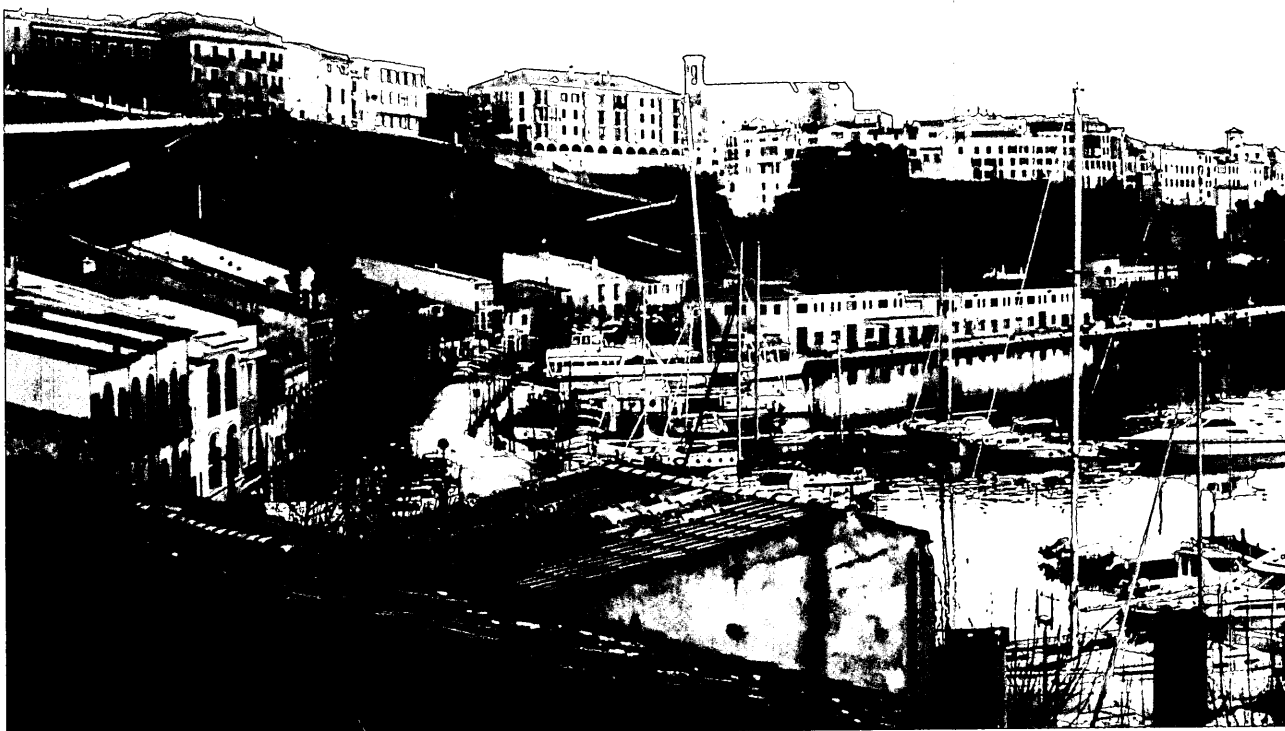
La limpieza de la montera de las Peñas se llevó a cabo para evitar la permanencia de agua sobre la misma.

Por último se procedió a la mejora de la zona restaurada (36 m) en actuaciones anteriores, efectuando la ocultación y protección, mediante patinado, de los bulones activos de fases anteriores, terminados en placa y tuerca de acero, y de los sellados blancos que realizaron en todas las fisuras.

ACTUACIONES EN EL ACANTILADO DEL PUERTO DE MAHÓN (MENORCA)

También en este caso las obras fueron adjudicadas por el Excmo. Ayuntamiento de Mahón, mediante concurso, a la UTE formada por Geocisa y Antonio Gomila S.A., de nuevo con la colaboración de la Oficina de Arquitectura de Francisco Jurado. La intervención se desarrolla en dos zonas: la primera de ellas situada en el Andén de Poniente entre los números 32 al 36 y la segunda en el Muelle de Levante entre los números 67 a 82. En ambas zonas se habían producido desprendimientos que dieron lugar al desalojo de las viviendas y cierre de los comercios.

Vista general
del acantilado
del Puerto de
Mahón. Zonas
de muelle de
Levante y
andén de
Poniente.



El acantilado está constituido por Mioceno con intercalaciones de conglomerados, calcarenitas y suelos arcillo-margas. La alteración del acantilado se produce por la erosión de los niveles más blandos, formándose voladizos rocosos que terminan desprendiéndose, agravándose esta situación por la orientación norte-noreste de escarpe rocoso, expuesto directamente a las lluvias combinadas con los vientos de la Tramontana. También es nociva la acción de las raíces leñosas, especialmente las higueras, que aceleran la formación de cuñas inestables.

Colocación de
bulones en
fibra de vidrio.



La primera de las zonas, corresponde al Andén de Poniente números 32 al 36, y tiene una longitud de 25 metros de anchura por 32 metros de altura, con cornisas de hasta 6 metros en voladizo. En esta zona se han producido desprendimientos locales de bloques del nivel superior, que en parte se encuentra bastante alterado y amenizado, dando lugar al crecimiento de vegetación. Existen también extensas fracturas verticales de gran profundidad y bloques de dimensión megalítica volcadas sobre las medianeras de las edificaciones anexas al acantilado, construidas de sillería de piedra de Marés, que han funcionado de manera extraordinaria, a modo de contrafuerte evitando su desprendimiento. La inestabilidad se ve incrementada por la excavación incontrolada de bodegas dentro del acantilado. Se realizó una simulación por elementos finitos de la situación actual comparándola con la definitiva después de finalizados los trabajos de anclaje y cosido.

La segunda zona, todavía en ejecución en el momento de la redacción del presente artículo, corresponde a los números de 67 a 82 del Muelle de Levante, con una longitud de 72 metros y una altura de 28 metros. En esta zona existen antiguos desprendimientos de gran magnitud con bloques de distintos tamaños, existiendo unos 5.000 m³ de derrubios en el pie del escarpe. Estos desprendimientos se deben principalmente a la existencia de un estrato arenoso poco cementado y altamente erosionable. Por encima se distinguen distintos niveles, apareciendo calcarenitas más competentes. Sobre estas

calcarenitas se apoyan muros de pared seca de antigua construcción que forman la Cuesta de Reines.

Para resolver las inestabilidades locales se procede a la estabilización del escarpe mediante a la sujeción y demolición de algunos bloques, procediendo al bulonado y cosido del resto. La modulación de los bulones corresponde a 0,5 a 1 unidad de bulón cada metro cuadrado, obedeciendo a la disposición y tamaño de los bloques a coser. Se han realizado hasta la fecha 210 bulones de 4 metros, armados con fibra de carbono de 12.5 mm, con una resistencia a tracción de 260 KN cada uno. Los bloques de menor entidad, se han fijado mediante microcosidos, colocándose 515 varillas inyectadas con resina.

Se han perforado 45 anclajes de 12 metros, armados con fibra de carbono de 16 mm, con una resistencia a tracción de 450 KN. Al igual que en las Peñas de Santa Marta se ha dispuesto una longitud libre intermedia de dos zonas de contacto en ambos márgenes, de esta forma se producirá una sujeción de la parte frontal del macizo deslizante. La inyección se ha realizado con resina fluida, protegiéndose con PVC en su parte central. El drenaje se realizó en el nivel inferior arenoso,

equipándose con tubos ranurados de PVC de 50 mm, recubierto de geotextil.

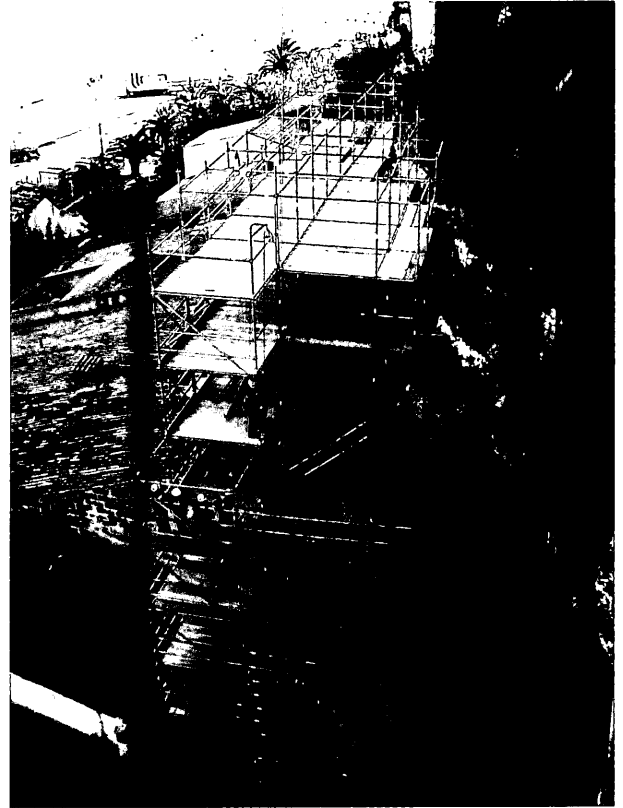
Se han ejecutado 189 metros cuadrados de mampostería, utilizando piedra de pared seca, rejuntado conforme a la arquitectura popular de la isla y siguiendo criterios de construcción tradicional, empleando morteros de cal, cemento blanco y arenas rojas. El objetivo de la mampostería ha sido el tratamiento de la montera, evitando la acumulación de agua y la sedimentación de suelos vegetales que den lugar al crecimiento de especies vegetales agresivas con el acantilado. También se ha empleado la mampostería para el apeo local de cornisas de pequeñas dimensiones.

Para la protección de los niveles arenizados más erosionables se están ejecutando muros de hormigón ciclópeo de cal, siempre en zonas que quedan ocultos a la visual desde el puerto. En zonas arenizadas de menor entidad, que son observables desde el puerto, se emplean consolidantes a base de sales de sílice, de probada eficacia en las Peñas de Santa Marta. Para evitar la aparición de presiones intersticiales, se realizan 2 a 3 microdrenajes por metro cuadrado en las zonas de aplicación de este consolidante.



Vista general del acantilado del Puerto de Mahón. Andén de Poniente.

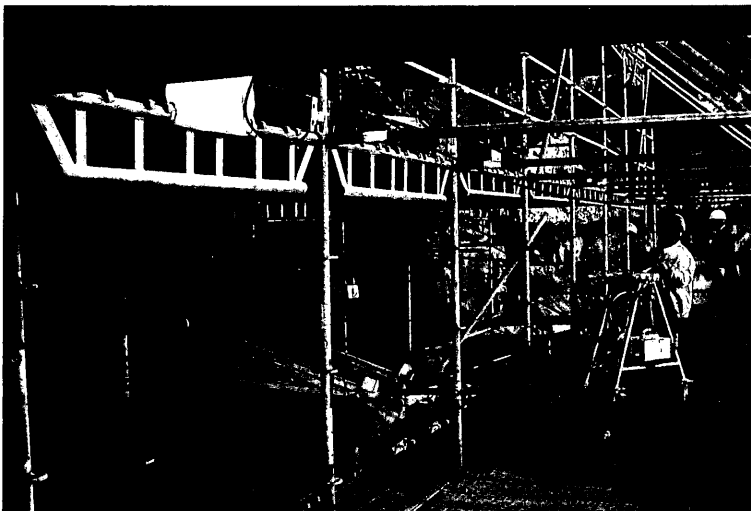
Vista de mampostería de tratamiento de montera en el acantilado del Puerto de Mahón. A la derecha, vista del andamio en el andén de Poniente.



El apeo de las cornisas de mayor entidad se realizará empleando este mismo sistema de muros de hormigón de cal ciclópeo, de material compatible con el acantilado, en cuanto a modulo de deformación y a composición química.

En cuanto a la sillería existente en apeos de cornisas y antiguas estructuras (como es el caso de la cimentación del convento situado sobre el acantilado) se ha procedido al saneo y limpieza de las juntas, y a la inyección interior con lechadas de cal y resinas y posteriormente al llagueado de todas ellas.

Trabajos de perforación de anclajes.



También se han restaurado y fijado los sillares en mal estado de conservación.

Las labores de ocultación de los taladros y de las actuaciones realizadas, se han realizado, de igual manera que en las Peñas de Santa Marta, mediante una labor de patinado con tierras naturales protegidas del agua mediante resina acrílica. Las fisuras del acantilado se inyectan con lechadas de cal y resina, garantizándose el apoyo de cada bloque suelto con su inmediatamente inferior.

Para acceder a la totalidad del acantilado ha sido necesario el montaje de un complejo andamio que debe permitir la perforación de los anclajes y los drenes. En la primera zona el montaje ha tenido que ser lanzado desde los patios de las casas adyacentes. Para ello se ha dispuesto un puente mediante una plataforma reforzada de 14 metros de luz sobre el cual se construyó un voladizo de 6 metros, salvando las cubiertas de las edificaciones adosadas al escarpe. La utilización de este andamiaje es imprescindible para trabajar con la seguridad y el detalle que estas técnicas requieren.

Los dos casos descritos en este artículo demuestran que, frente a las soluciones tradicionales agresivas con el paisaje, existe la posibilidad de llevar a cabo una solución integrada con el paisaje y respetuosa con el entorno mediante la técnica de la Georestauración, conservando al máximo el aspecto natural del acantilado y que debe ser empleada con mayor frecuencia, para el bien de nuestro patrimonio histórico, natural y paisajístico. ■