



Ins  
Ge

**ESTUDIO PARA CORRECCION  
DE INESTABILIDADES POR  
DESPRENDIMIENTOS EN  
LOS JARDINES DEL MURO**

**BENALMADENA PUEBLO (MALAGA)**



**Este informe incluye el estudio de las inestabilidades rocosas por desprendimiento en el paraje denominado Los Jardines del Muro, en Benalmádena Pueblo (Málaga), en respuesta a la solicitud realizada al Instituto Tecnológico Geominero de España por el Gobierno Civil de Málaga.**

**Con la finalidad de reconocer el lugar y llevar a cabo las observaciones y toma de datos oportunos, el pasado mes de Julio se desplazaron a la citada localidad dos técnicos del Area de Ingeniería Geoambiental del ITGE.**

**Con la información recopilada se ha realizado el presente informe, que incluye la descripción de las inestabilidades y la propuesta de medidas preventivas y correctivas encaminadas a estabilizar las laderas afectadas.**

**Autores del Informe:**

**Mercedes Ferrer Gijón**  
**Dra. en Ciencias Geológicas**

**Joaquín Mulas de la Peña**  
**Ingeniero de Minas**

**Area de Ingeniería Geoambiental**  
**I.T.G.E.**

## **INDICE**

1. INTRODUCCION.....	1
2.- ANTECEDENTES.....	2
3.- CARACTERIZACION GEOLOGICA.....	3
4.- DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
5.- ANALIS DE INESTABILIDADES POR ZONAS.....	9
6.- MEDIDAS CORRECTIVAS PROPUESTAS.....	13
6.1.- Actuaciones sobre el macizo rocoso.....	15
6.2.- Descripción de las medidas.....	21
6.3.- Control de factores externos.....	24
7.- PRESUPUESTO ESTIMATIVO.....	26
FOTOGRAFIAS.....	30

## **1.- INTRODUCCION**

El presente estudio analiza las inestabilidades rocosas que afectan a la zona denominada Los Jardines del Muro, en la localidad de Benalmádena Pueblo. Incluye, asimismo, las medidas necesarias para la estabilización del macizo rocoso afectado y un presupuesto estimativo de las mismas.

La citada zona constituye el extremo de un promontorio rocoso (Fotografía 1) situado al S del pueblo, de unos 100 m de longitud en dirección NNE-SSW, cuyas laderas presentan inestabilidades y peligro de desprendimiento de bloques rocosos debido, fundamentalmente, a la fracturación que afecta al macizo rocoso y a las características de los materiales que lo componen.

La parte alta y plana del promontorio está ocupado por una ermita y unos jardines, está pavimentada y se han construido algunas instalaciones y jardineras con plantas. Aparece bordeada de un muro de piedra y sirve como mirador y zona recreativa.

La ladera SE es la más suave, y sobre ella han sido realizados unos jardines con senderos, estanques (que en el momento de la visita se encontraban secos) y un templete (Fotografía 2).

La ladera W es muy escarpada (Fotografías 1 y 3), de unos 20 m de altura, y por ella discurre una escalera de subida a la parte alta. A su pie discurre una carretera muy transitada. En esta zona aparecen bloques inestables fracturados y en voladizo.

La unión de las laderas W y SE, denominada ladera S en lo sucesivo, forma un vértice rocoso abrupto. A su pie, y partiendo de la carretera que rodea la parte W, discurre un camino en parte asfaltado que lo rodea, para seguir después a pie de la ladera SE.

Es esta ladera la zona más afectada por las inestabilidades, apareciendo bloques de distinto volumen fracturados, con peligro de desprendimiento y bloques de gran tamaño ya caídos que han quedado a pie de ladera, junto a la carretera y al camino. Así mismo aparece, unido al macizo rocoso, un gran bloque independizado por grietas verticales y en estado precario de estabilidad.

## **2.- ANTECEDENTES**

En la zona de estudio se han venido produciendo desprendimientos desde hace años. En la actualidad, además de pequeños fragmentos rocosos caídos distribuidos por las bases de las laderas, se pueden observar varios grandes bloques rocosos (de varias decenas de m<sup>3</sup>), depositados a pie de la pared S (Fotografía 9).

Según un estudio Geológico-Geotécnico de la zona realizado por YNIDES en Abril de 1990, algunos de estos grandes bloques formaban parte de una cornisa que formaba una gran cueva junto al aserradero de marmol que existe en la actualidad a pie de la ladera S del macizo; así mismo, y también según este estudio, en esta parte se llevaron a cabo voladuras antiguas para eliminar bloques inestables, lo que a su vez produjo caídas y debilitamiento de la masa rocosa.

A finales de 1989, se produjeron desprendimientos y grietas en la zona Sur de los Jardines del Muro.

En esta misma zona existe un gran bloque rocoso, independizado del macizo por fracturas y grietas pero formando parte de él, que está en movimiento, como se puede comprobar por el agrietamiento que está produciendo en un canal construido (acequia) y que apoya contra él (Fotografía 7).

Según la nota emitida por el Gobierno Civil de Málaga al ITGE, durante el año 1989, y como consecuencia de unas lluvias torrenciales ocurridas en la zona, este bloque sufrió un considerable desplazamiento.

### **3.- CARACTERIZACION GEOLOGICA**

A grandes rasgos, la zona de estudio se encuentra localizada en el borde Sur de la Sierra de Mijas, formando uno de los enclaves travertínicos existentes. Este edificio travertino sobre el que se asienta gran parte de la población de Benalmádena está situado de manera discordante sobre materiales impermeables metamórficos (neises fundamentalmente del Complejo Alpujárride), siendo los restos del depósito de precipitación carbonatada en los manantiales de contacto proveniente de la disolución de materiales calizo-dolomíticas de la cercana Sierra de Mijas, como consecuencia del funcionamiento hidrogeológico condicionado por la etapa de mejora climática (interglaciar Riss-Würm), la edad atribuida esta comprendida entre 86.300-109.000 aproximadamente según dataciones llevadas a cabo.

El promontorio objeto de este estudio forma parte en su totalidad de la masa travertínica citada, estando compuesta aquí por materiales fundamentalmente carbonatados, con presencia de restos de plantas, zonas arenosas y arcillosas y nódulos calcáreos, apareciendo por tanto material de muy diverso comportamiento y resistencia según las zonas. La base de los travertinos (el material sobre el que se depositaron) aflora junto a la carretera que discurre a pie de la ladera W, apareciendo una zona de alteración areno-arcillosa, con niveles conglomeráticos rojizos (Fotografía 4), blanda y socavada. Bajo estos niveles detríticos, de algo más de 1 m de potencia, aparecen los tramos más alterados de la formación de neises subyacente. La potencia de la masa de travertinos aquí es de unos 20 m, altura que coincide con la del promontorio estudiado.

El macizo se encuentra afectado por una serie de fracturas que independizan bloques de diferentes tamaños. Estas fracturas aparecen abiertas en su mayoría, debido tanto a las acciones de disolución que afectan a este tipo de materiales como al estado tensional a que se encuentra sometido el macizo, entre otros factores.

La karstificación y presencia de cavidades es otra de las características de los materiales travertínicos, que, en función de la dureza y competencia de las zonas y de los procesos de circulación de agua que lo afectan, sufren disolución y erosión, debilitándose todo el conjunto del macizo rocoso y pudiendo dar lugar a desplomes, formación de cavidades, etc.

#### **4.- DESCRIPCION DE LA PROBLEMÁTICA**

El estado actual de inestabilidad que presenta el macizo rocoso investigado es consecuencia, por un lado, de las características del propio material (travertinos) que lo constituye, y, por otro, de las acciones, tanto naturales como antrópicas que sobre el macizo se han venido ejerciendo desde su formación. Todo ello ha dado lugar a la degradación actual que presenta el material, permitiendo que la actuación de diversos factores provoque las inestabilidades y caídas de bloques que lo afectan.

La fracturación y socavación que presenta el macizo es consecuencia de varios fenómenos conjugados, tanto intrínsecos al propio macizo rocoso como externos y que actúan sobre él:

- **Propiedades de los materiales.** La alternancia de materiales de diferente competencia y resistencia implica diferentes comportamientos, grados de erosión, de disolución, etc.
- **Proceso de sedimentación,** que dió lugar a la generación de superficies de debilidad y discontinuidad. De hecho el travertino presenta, por zonas, un aspecto más o menos estratificado.
- **Estado tensional** a que está y ha estado sometido el macizo rocoso a lo largo de su historia geológica (asociado fundamentalmente a esfuerzos traccionales de descompresión por no existir confinamiento alrededor de esta masa).
- **Procesos de disolución** que lo afectan, debido a la circulación de agua a través de los materiales solubles y a favor de fracturas y discontinuidades.
- **Acciones antrópicas,** como las construcciones que sobre él se han realizado, la plantación de árboles y plantas, el riego, las voladuras que, según consta en informes previos, lo han afectado, etc.

Todos estos factores conjugados han dado lugar al debilitamiento del material y han motivado su actual comportamiento. Como consecuencia, el macizo rocoso presenta una fracturación, con direcciones fundamentalmente verticales, muy



importante, grietas que independizan bloques rocosos, grandes cavidades, zonas blandas socavadas, zonas de material alterado y meteorizado, etc.

Posiblemente como consecuencia de acciones antrópicas, la ladera W aparece escarpada y con taludes verticalizados, mientras que la ladera SE presenta laderas naturales, más tendidas y vegetadas. En la unión de ambas se encuentra la zona más problemática en cuanto a inestabilidad, apareciendo un gran bloque independizado del macizo rocoso y cuyo movimiento compromete a su vez la estabilidad general de los taludes en esta zona.

Entre los factores comentados anteriormente, y que han dado lugar al estado actual de inestabilidad del promontorio, existen algunos que pueden ser definidos como factores desencadenantes, en cuanto que son los que producen finalmente las inestabilidades.

### **Factores desencadenantes**

**El agua.** Las condiciones hidrogeológicas de un macizo rocoso controlan en gran parte su comportamiento geomecánico. La presencia de agua da lugar a la generación de presiones intersticiales, a la disminución de las propiedades resistentes de los materiales y a su disolución, al lavado de discontinuidades con arrastre de finos, etc, sin olvidar los efectos erosivos que conlleva.

En este caso, la permeabilidad de la masa de travertinos es por porosidad a través de los materiales carbonatados (permeabilidad primaria) y por circulación del agua a través de las grietas y fracturas de la roca (permeabilidad secundaria), implicando una gran capacidad de almacenaje de agua que se queda en el macizo o bien es drenada por su base, en el contacto con los materiales impermeables.

La masa travertínica estudiada no presenta un nivel freático fijo, no hay agua almacenada en su interior, por tanto el agua que lo afecta es la procedente del exterior: de la lluvia o de los riegos que sobre el se llevan a cabo para cuidado de los jardines.

En la visita realizada a la zona se pudo observar como durante el riego de las plantas y árboles (con mangueras y aspersores), gran cantidad de agua se vertía directamente al enlosado que recubre la superficie plana del promontorio. Además toda el agua que va a las jardineras indudablemente termina en el macizo rocoso subyacente. Por la inclinación de esta plataforma superior, el agua tiende a discurrir hacia el vértice S, vertiéndose en la zona más problemática en cuanto a estabilidad y entrando directamente al macizo, que aquí aparece más alterado y fracturado.

Las lluvias torrenciales de otoño en el área Mediterránea muy especialmente en gran parte de la provincia de Málaga (en sólo los últimos meses del 89 se registraron máximas en algunos observatorios de zonas montañosas de 2.000 mm de precipitación) pueden ser equiparables a los valores medios anuales de algunas zonas del mundo consideradas como muy lluviosas, son por tanto un factor desencadenante importante. La elevación rápida de los niveles de agua aumenta las presiones intersticiales y disminuye la resistencia de los materiales; su drenaje a base de los materiales travertínicos erosiona y socava el pie de las laderas. Superficialmente la lluvia da lugar a erosiones intensas de los materiales blandos, creando cavidades y dejando bloques más duros en voladizo.

**La vegetación** ejerce un papel importante en este caso. La presencia de árboles y plantas tanto en las parte superior del promontorio como en sus laderas (fundamentalmente en la que aparece más afectada por las inestabilidades, la ladera W) juega una función desestabilizadora.

Las raíces penetran en el terreno, provocando el esponjamiento y la apertura de grietas, dejando bloques independizados en la parte externa de los taludes que las propias raíces se encargan de desprender. Además, estas fisuras y grietas abiertas son caminos preferentes para el agua (sobre todo si se lleva a cabo el riego), lo que contribuye al lavado y pérdida de resistencia total de estos planos. Así mismo, las raíces importantes actúan durante su crecimiento separando las paredes de las grietas, en su intento de penetrar en el terreno.

En el caso analizado, se puede distinguir entre las plantaciones que están en la plataforma superior del montículo y los arbustos y árboles distribuidos por las laderas con problemas de inestabilidad. Las primeras contribuyen, sobretodo, porque al ser

regadas todo el agua penetra al macizo rocoso, pero además las raíces de mayor tamaño van agrietando la roca o abriendo las fracturas ya existentes en el interior. Las raíces de los arbustos que crecen sobre las paredes rocosas van separando bloques pequeños del resto del macizo rocoso, que acaban desprendiéndose, por la apertura de grietas y entrada de agua que provocan.

**Acciones sísmicas.** El punto de estudio se encuentra dentro de un área importante de actividad sísmica tanto a nivel de microsismicidad (actividad sísmica sólo percibida instrumentalmente) como de terremotos históricos significativos, como puede observarse al mirar la siguiente tabla:

**TABLA DE TERREMOTOS HISTORICOS SIGNIFICATIVOS (SIGLOS XV-XX)  
Y SUS EFECTOS (INTENSIDAD) EN BANALMADENA**

FECHA	(1) I MAX	ZONA	I*
Ene 1494	VIII-IX	Málaga	---
9-12-1518	IX	Vera	No
22-9-1522	IX	Almería	No
18-6-1581	VII-VIII	Málaga	---
9-10-1680	IX	Málaga	VIII-IX
1-11-1755	X	Lisboa	VI
17-7-1767	VII	Málaga	---
13-1-1804	VIII	Motril	No
25-8-1804	IX	Dalías	No
21-3-1829	X	Torrevecija	No
25-12-1884	X (6.7)	Arenas del Rey	VII
21-3-1911	VIII	Cotillas	No
10-9-1919	VII-VIII	Jacarilla	No
5-7-1930	VIII (4.9)	Montilla	III-IV
5-3-1932	VII	Lucar	<IV
23-6-1948	VII-VIII	Cehegin	No
10-3-1951	VIII (4.8)	Bailén	IV
19-5-1951	VIII (3.2)	Alcahudete	IV
8-1-1954	VII-VIII (4.2)	Arenas del Rey	<II
19-6-1956	VIII	Albolote	No
9-6-1964	VII-VIII	Orce	No

I\* Intensidad sentida en Benalmádena en base a Mapa de isosistas

---: Sin datos

(1): Magnitud estimada

No: No percibidos por ningún ser humano

En la situación actual del talud, consideramos que una acción sísmica de características similares a los terremotos del registro histórico podría inestabilizar más aquellos bloques o lajas sueltas del talud; con terremotos sentidos en Benalmádena de  $I \geq VI$  podrían darse casos de desprendimiento, de mayor importancia a medida que fueran de mayor Intensidad. Para la zona dentro de una hipótesis determinista, se han llegado a estimar intensidades sentidas entre VIII y IX, lo que supondría en una situación actual, posiblemente el desprendimiento de casi todos los bloques y lajas y el resquebrajamiento definitivo del gran bloque que está encima de la acequia, bloquando la travesía o rodando ladera abajo hasta cotas más bajas.

Por todo ello tanto el saneo de bloques y lajas sueltas y la eliminación del gran bloque, sería una medida definitiva ante acciones sísmicas, en lo que respecta a la estabilidad del terreno, otro asunto a tener en cuenta sería la posible respuesta sísmica de las instalaciones encima del cerro, donde debido a la amplificación de la acción sísmica base que se produzca (efecto topográfico), podría dañarlas (muro de mampostería con barandilla metálica, varias edificaciones, obras de jardinería y alcantarillado), así lo avalan las numerosas experiencias observadas de daños en terremotos de todo el mundo ( $I \geq VI$ ), donde ciertas formas topográficas pueden incrementar el efecto, sobre todo en los bordes, cuestas y laderas de gran pendiente.

## **5.- ANALISIS DE LAS INESTABILIDADES POR ZONAS**

Con la finalidad de sistematizar el análisis y descripción de las inestabilidades, su estudio se ha llevado a cabo por zonas que aparecen representadas en el Plano 1. Para cada una de estas zonas se incluye el análisis detallado de la problemática presente y las soluciones de estabilización más favorables, así como sus grados relativos de riesgo.

Las Fotografías referenciadas en el texto incluyen unas vistas generales de las diferentes zonas (numeradas de 1 a 8) y detalles o rasgos importantes de las mismas (numeradas con dos números, el primero correspondiente al n° de zona y el segundo al orden de la fotografía).

Las zonas incluidas han sido:

### **ZONA 1**

#### **Zona inestable con riesgo alto de caída de bloques de pequeño volumen.**

Abarca, en la ladera W, desde el inicio del muro de piedra del camino que conduce a las escaleras (que parte del aparcamiento), hasta la puerta metálica que hay al final de este camino (Fotografía 5 y Plano 1).

Los travertinos aparecen apoyados sobre unos conglomerados (Fot. 4), y están afectados por gran número de fracturas, fundamentalmente verticales y subverticales. Aparecen zonas duras calcáreas y zonas terrígenas blandas muy fracturadas y erosionadas.

En la parte superior del talud, a base del muro de los jardines, aparecen zonas socavadas y bloques agrietados y sueltos (Fotografía 1.1). Esta zona aparece karstificada con numerosas cavidades y socavaciones. La parte del talud junto a la Zona 2 aparece más sana a excepción del pie socavado (Fot. 1.4).

El mayor peligro lo constituye un conjunto de bloques sueltos que aparecen entrelazados con las raíces de unos olivos en lo alto del talud y bajo el muro de piedra de los jardines; pueden sufrir desprendimiento afectando a los caminantes. La caída de otro gran bloque que aparece a su izquierda daría lugar a la inestabilidad y rotura (por falta de sustentación de la base) del citado muro, a parte del peligro para las personas y vehículos que transitaran por la carretera, hasta la que podría llegar debido a su importante volumen.

## **ZONA 2**

**Zona con riesgo muy bajo de desprendimientos, pero con un grado importante de socavación y erosión en la zona inferior del talud que, en un futuro, podría dar lugar a la desestabilización por descalce de grandes masas rocosas.**

Incluye, también en la pared W, desde el final de la zona 1 (puerta metálica) hasta el final de la pared que encierra unas casetas construidas bajo los voladizos rocosos y rodeadas de un muro (Fotografías 5 y 6).

El talud en general es cóncavo y aparece totalmente socavado y erosionado en su mitad inferior, con huecos que se aprovechan como almacén. La mitad superior, sin embargo, no presenta signos de inestabilidad ni bloques con peligro de desprendimiento, apareciendo la roca más sana y resistente (Fot. 2.1 y 2.2).

## **ZONA 3**

**Zona con bajo riesgo de desprendimientos.**

En esta zona la roca aparece más sana, excepto hacia la base del talud, con un aspecto más uniforme sin grandes socavaciones y resaltes. Llega hasta la zona agrietada que independiza los grandes bloques fracturados de la zona 4, que constituye el "vértice" S de la ladera (Fotografías 6 y 7). La pendiente es más acusada en su parte superior, correspondiendo la parte baja a depósitos de material, lo que conlleva pendientes más suaves.

Aparece, hacia la mitad inferior, material terrígeno rojizo erosionado y socavado, con bloques travertínicos en voladizo apoyando sobre él. A base del talud, junto a la carretera, aflora el material conglomerático base de los travertinos.

En esta zona aparece un gran bloque desprendido situado a pie del talud, junto a la carretera, y que posiblemente proviene de la unión entre las zonas 3 y 4, donde el talud presenta una gran concavidad (Fot. 6 y 9).

#### **ZONA 4**

**Zona con inestabilidad general alta, debido a la presencia de un gran bloque rocoso que actualmente está en movimiento y que puede desestabilizar al macizo.**

Corresponde al "vértice" del macizo rocoso (Fotografías 7 y 8). Es la zona más problemática en cuanto a volumen de bloques inestables y movimiento de los mismos; en 1989 se produjeron desprendimientos relacionados con importantes lluvias en la zona. A pie del talud aparecen dos grandes bloques desprendidos (Fot. 9).

Formando parte del macizo pero independizado por grandes grietas verticales, existe un bloque inestable de grandes dimensiones y que sufre movimientos, justo debajo del vértice de los jardines superiores (prácticamente es éste gran bloque rocoso el que constituye la zona 4). Sobre este bloque apoya un extremo de un canal que va a un muro situado enfrente y que se encuentra fracturado y sometido a importantes esfuerzos compresivos como consecuencia del empuje del bloque, que tiende a separarse del resto del macizo.

Tanto el bloque independizado como la parte del macizo rocoso sobre la que está en contacto, presentan un aspecto más sano en su lado W (es decir, en el contacto con la zona 3; Fot. 7), apareciendo la roca más resistente. Sin embargo al otro lado del bloque y del macizo, en contacto ya con la zona 5, el material aparece más blando y terrígeno, alterado y fracturado (Fot. 8).

## **ZONA 5**

**Zona con riesgo bajo de inestabilidad, excepto desprendimientos de algún fragmento rocoso del techo de una gran cavidad que aparece en materiales blandos.**

Situada al S, es la zona a partir de la cual la ladera cambia su orientación a SE, apareciendo ésta ya con pendientes naturales que no presentan problemas de inestabilidad. Abarca todo el escarpe socavado desde el final de la zona 4 hasta la pérdida de cota del talud (Fotografías 8 y 5.1).

Todo el escarpe aparece muy fracturado y socavado en la base debido a la presencia de materiales blandos, existiendo una especie de cueva, sobre la que los materiales aparecen algo más competentes pero agrietados y con bloques pequeños inestables. Excepto esta zona socavada, el resto del tramo, debido a la pérdida de altura y de pendiente, no presenta ya problemática de estabilidad.



## **6.- MEDIDAS CORRECTIVAS Y ESTABILIZADORAS PROPUESTAS**

Las medidas y actuaciones encaminadas a la estabilización de la ladera, en este caso, vienen condicionadas por el uso que se le da al lugar (recreativo) y por los elementos que han sido construidos sobre ella: el muro de piedra que rodea la explanada superior, las escaleras de acceso desde la parte baja, etc. Así, por ejemplo, han debido ser descartadas en algunas zonas las labores de saneo y retirada de bloques, por suponer peligro para la estabilidad de las construcciones citadas.

La presencia de carreteras y caminos a pie del montículo implica la no disponibilidad de espacio para la implantación de determinadas medidas en estas zonas, debiéndose conseguir, por otro lado y como objetivo fundamental, la seguridad para peatones y vehículos en estas concurridas vías.

La estabilización del macizo rocoso, y la eliminación de los posibles riesgos de desprendimiento que existen, se plantea mediante dos tipos de actuaciones:

- sobre el propio macizo rocoso, incluyendo la estabilización, corrección o eliminación de las inestabilidades con realización de obras
- sobre los factores externos que contribuyen o que desencadenan las inestabilidades.

Respecto al primer punto, los factores comentados en los párrafos anteriores han llevado a la conclusión de abordar la estabilización de la ladera fundamentalmente con medidas de sujeción de bloques y reforzamiento externo del macizo rocoso, abandonando la idea de retirada y limpieza de bloques inestables, o con su estabilidad comprometida, en la mayoría de las zonas afectadas.

La descripción de las medidas estabilizadoras, que se incluyen a continuación, se ha llevado a cabo por zonas, indicando los diferentes trabajos a ejecutar sobre fotografías y detallando las partes más problemáticas y peligrosas.

Las zonas más problemáticas son la 4 y la 1, por lo que deberán comenzarse por ellas los trabajos de estabilización y saneo.

Las Fotografías referenciadas en el texto, sobre las que se han descrito las distintas actuaciones propuestas, incluyen tanto las vistas generales de las zonas (numeradas de 1 a 8) como las que incluyen detalles de las diferentes zonas (numeradas por el nº de cada zona).

Respecto a las medidas relacionadas con el segundo punto (el control de los factores externos que influyen en las inestabilidades) se incluyen en conjunto al final de este apartado.

## **6.1. ACTUACIONES SOBRE EL MACIZO ROCOSO**

### **ZONA 1**

Zona inestable con riesgo alto de caída de bloques de pequeño volumen, bloques en voladizo y presencia de zonas socavadas.

Fotografías 1.1 a 1.5 y 5.

#### **Medidas estabilizadoras y correctivas**

**SANEO** de los bloques señalados en la Fotografía 1.1, que están en parte sujetos por las raíces del árbol. Quitar los árboles y desprender los bloques; matar las raíces si no pueden ser totalmente extraídas. El saneo de estos bloques no afecta a la estabilidad del muro de los jardines, pero son peligrosos para las personas que accedan por las escaleras y jardines.

**BULONADO** de un gran bloque que sirve de soporte en parte al muro de piedra de los jardines (Fot. 1.1 y 1.3).

**LIMPIEZA, MACIZADO Y RECALCE** en las zonas socavadas señaladas en las Fotografías 1.1, 1.4 y 1.5 (desde el giro de la escalera hasta la verja metálica) con la finalidad de evitar que siga progresando la erosión y al mismo tiempo servir de soporte para las rocas que dejan en voladizo. Deberán ser instalados drenajes (mechinales o tubos) que permitan la salida del agua del interior del macizo rocoso.

**GUNITADO.** En las zonas señaladas como a macizar que presenten aspecto más sano (que no sean zonas arcillosas muy alteradas), y que no dejen en voladizo bloques inestables que se puedan desprender, puede ser aplicada gunita en lugar llevar a cabo las labores de macizado y recalce.

Se recomienda también el gunitado de la parte del talud bajo el bloque a bulonar y bajo el conjunto de bloques a sanear (Fot. 1.1) y de la pared de la parte inicial de acceso a la ladera, formada por materiales terrígenos, para evitar procesos de erosión (Fotografía 5).

## **ZONA 2**

Zona con riesgo bajo de desprendimientos, pero con un alto grado de socavación y erosión en la zona inferior del talud que, en un futuro, podría dar lugar a la desestabilización por descalce de grandes masas rocosas.

Fotografías 2.1 a 2.3.

### **Medidas preventivas**

En esta zona, ante la presencia de grandes cavidades y el aspecto más o menos sano del macizo, se considera conveniente la limpieza y **GUNITADO**, al menos, de la parte inferior afectada por la socavación, donde el material aparece más deteriorado.

Deberá ser realizado algún **MACIZADO** de mampostería en cavidades inferiores, a base del talud, que dejan bloques en voladizo en condiciones de inestabilidad (Fot. 2.3).

### **ZONA 3**

Zona con riesgo de desprendimientos bajo.

Fotografías 6 y 7.

#### **Medidas preventivas**

Igual tratamiento que la Zona 2, limpieza y **GUNITADO** de toda la mitad inferior del talud, que es una gran cavidad de materiales alterados y blandos. En la gunita deberán ser instaladas tuberías de drenaje horizontal para la evacuación del agua en estas zonas de pie de talud.

## **ZONA 4**

Zona con inestabilidad general alta, debido a la presencia del gran bloque rocoso que actualmente está en movimiento. La estabilización de esta zona pasa por la del bloque citado.

Fotografías 7 y 4.1 a 4.6.

### **Medidas estabilizadoras**

La instalación de **ANCLAJES** se ha estimado como la mejor solución de estabilización, al considerar que otras alternativas no son viables dado el estado general del macizo rocoso y las características del bloque inestable. La voladura y eliminación de este bloque rocoso dejaría en estado precario de estabilidad, y expuesta a los agentes erosivos, un gran pared vertical de unos 20 m de altura, desde el vértice del muro de los jardines superiores hasta el camino que pasa a pie de esta zona (Fotografía 4.5).

La colocación de anclajes tiene por finalidad fijar el bloque al macizo rocoso de tal forma que sea solidario con él, evitando por un lado el movimiento de vuelco que lo está afectando (y que hace que se fracture el canal que apoya sobre este bloque) y por otro el deterioro y erosión del propio bloque y de esta zona del talud.

Si se considera necesario, previamente a la realización de las perforaciones para la instalación de los anclajes, deberá ser reforzado el bloque, sobre todo en su lado E (en contacto con la zona 5; Fotografías 4.4 a 4.6), que aparece fracturado y deteriorado, mediante la inyección de cemento en las juntas o fracturas, o la instalación de vigas de cosido, de una malla resistente de acero, etc. Estas medidas deberán ser tomadas si se estima que el bloque puede fracturarse en esta zona al ser anclado; en este caso deberían también cementarse las fracturas o grietas que independizan al bloque del macizo rocoso (Fotografía 4.5).

Los anclajes deberán tener suficiente longitud para ser efectivos, suponiendo que en el interior del macizo se pueden atravesar algunas zonas blandas, fracturas e

incluso cavidades. Antes de su instalación, y aprovechando las perforaciones realizadas, deberán ser inyectadas con cemento estas posibles cavidades.

Tras la perforación inicial y la inyección de cemento, desde el final de la perforación hasta las grietas que separan el macizo del bloque independizado, se llevará a cabo una reperfusión para la instalación de los anclajes.

El cálculo de la fuerza de anclaje necesaria se llevará a cabo de forma detallada en el proyecto, pero un cálculo aproximado (a partir de la componente del peso del bloque que tiende al vuelco), da valores en torno a 160 tm (considerando factor de seguridad), que se distribuirán al menos en dos anclajes, según se decida en el análisis detallado del estado del bloque y del macizo rocoso.

**GUNITADO**, una vez instalados los anclajes, de la pared del bloque en contacto con la Zona 5, que aparece más deteriorada y con materiales alterables y fracturados (Fotos 8, 4.4, 4.5 y 4.6). Deberán ser instaladas, así mismo, las tuberías de drenaje horizontal necesarias.

## **ZONA 5**

Zona con riesgo bajo de inestabilidad, excepto desprendimientos de algún fragmento rocoso del techo de la gran cavidad que aparece en materiales blandos.

Fotografías 8 y 5.1.

### **Medidas preventivas**

La limpieza y **GUNITADO** de toda la pared que forma esta zona, servirá para su protección frente a la erosión y frente al avance de la socavación, y como medida preventiva para el descalce de bloques y fragmentos de la parte alta del talud. Instalación de drenes horizontales atravesando la gunita.



## **6.2. DESCRIPCION GENERAL DE LAS MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS**

### **SANEO Y LIMPIEZA**

Los trabajos de saneo se refieren a la limpieza y retirada de los bloques que aparecen sueltos y con gran riesgo de caída. Al ser bloques o lajas pequeñas y tener buen acceso las zonas afectadas, estas labores se pueden realizar a mano, desprendiendo los bloques con alguna herramienta y dejándolos caer. En caso de ser necesario se utilizará algún andamiaje o incluso medios mecánicos (grua) para proceder al saneo. Deberá tenerse cuidado en las zonas donde caigan los bloques, tomando las medidas oportunas para evitar cualquier tipo de daño.

Estas labores incluyen, donde sea necesario, la eliminación de los arbustos, árboles pequeños y raíces, bien arrancándolos o bien utilizando algún producto que evite que vuelvan a crecer.

2

### **MACIZADO Y RECALCE**

El macizado y recalce de bloques o zonas en voladizo debe realizarse para evitar peligros de desprendimiento de masas por falta de sustentación en el pie y para evitar el progresivo deterioro de estas zonas. Las labores consisten en la limpieza de la zona (en caso de que esté aterrada, con vegetación, etc.) y en la construcción de un macizo de hormigón rellenando el hueco, que forme parte del macizo rocoso y aporte resistencia a estas zonas. En su parte externa será construido un muro de mampostería (con bloques de piedra) a modo de fachada y a efectos de impacto visual.

En todos los casos, deberán ser instalados mechinales o drenajes que permitan la evacuación del agua que pueda llegar a las zonas macizadas.

## **GUNITADO**

El gunitado de las zonas indicadas tiene por finalidad evitar la erosión y progresiva degradación por meteorización, así como reforzar posibles bloques o lajas agrietadas y zonas fracturadas débiles. La capa de gunita será de unos 10 cm de espesor máximo.

La gunita deberá ser proyectada en las zonas indicadas utilizando colorantes adecuados en la mezcla, en caso de que se desee corregir el impacto visual que produciría el hormigón en la zona.

## **DRENES**

Los drenes horizontales y mecinales deberán ser instalados tanto en las zonas a gunitar como en los macizados de hormigón y piedra, a fin de permitir la evacuación del agua. Se han estimado longitudes de 1 m para los drenes y tuberías de PVC de 25 mm de diámetro, ranuradas en su mitad superior. En todo caso, en las zonas macizadas con hormigón, los drenes deberán tener una longitud suficiente para traspasar el muro y llegar al macizo rocoso tras él. Las tuberías pueden ser instaladas previamente al vertido del hormigón y construcción del muro.

## **BULONES**

Para el bloque a bulonar (zona 1) se han estimado 3 bulones de 5 m, distribuidos regularmente sobre la superficie expuesta del bloque.

## **ANCLAJES**

Para estabilizar el bloque de la zona 4 se han estimado 2 anclajes de unos 20 m de longitud y de 80 mm cada uno, colocados uno bajo el otro (en la vertical), a una distancia entre ellos al menos de 1.5-2 m para evitar la interconexión de los bulbos de anclaje. Deberán ser instalados sobre una viga de reparto de hormigón armado,

rectangular y con dimensiones en torno a 0.7 m de ancho por 3 m de largo en sentido vertical (desde los dos puntos de anclaje a los bordes superior e inferior de la viga deberá haber al menos 0.5 m).

Los anclajes deben instalarse hacia la parte superior del bloque, para contrarrestar la componente de vuelco que actualmente está funcionando.

Previamente a la instalación se inyectarán las perforaciones y se reperforarán para colocar los cables de anclaje.

### **6.3. CONTROL DE LOS FACTORES EXTERNOS QUE INFLUYEN EN LA INESTABILIDAD**

#### **Agua**

Debe impedirse que el agua penetre en los materiales, por lo que habrá de suprimirse el riego de los jardines superiores o, si se desea mantenerlos, impermeabilizar correctamente los maceteros que contienen las plantas y árboles y tener cuidado de que no se vierta agua al enlosado. Otra alternativa adecuada podría ser la instalación de sistemas de riego por goteo para las plantas y árboles, aportando así el agua imprescindible para la vida vegetal, y evitando el exceso de líquido que penetra en el terreno con el riego normal.

La impermeabilización de toda la superficie plana del promontorio impediría tanto la entrada de agua procedente del riego como la de lluvia, pero lo costoso y complejo de esta operación no la hacen viable. No obstante, pueden construirse canales perimetrales de recogida y canalización del agua que caiga sobre esta superficie, para evacuarla e impedir que penetre en las laderas.

En este sentido, una zona importante a considerar es el vértice S del promontorio, donde aparece el gran bloque independizado, ya que por gravedad actualmente el agua tiende a verter en este punto, infiltrándose hacia el terreno blando que existe (Fotografía 4.5) y debilitando todavía más el contacto del macizo con este bloque inestable.

La ladera SE, que cuenta con abundante vegetación y estanques, no deberá ser regada en exceso (sobre todo su parte superior), y los estanques, en caso de llenarse, deberán estar correctamente impermeabilizados y no permitir las conexiones entre ellos a no ser que también se impermeabilicen totalmente. Mantener la vegetación en esta zona, como no presenta problemas de inestabilidad, contribuye a que se infiltre menor cantidad de agua de lluvia al terreno.

## **Vegetación**

Aunque ya ha sido recomendado para algunas zonas, deberán ser eliminados los arbustos y árboles que crecen sobre las laderas W y S, y cuyas raíces penetran en el terreno. Los árboles o arbustos que crecen a base de los taludes, deberán ser conservados por su papel de sujeción del terreno en estas zonas, a excepción de las zonas que van a ser gunitadas, en cuyo caso deberán ser limpiadas.

## **Otros factores**

Deberán impedirse todo tipo de actuaciones que puedan debilitar la resistencia o que aporten cargas sobre el macizo rocoso, como por ejemplo la excavación (con cualquier fin) en la base de las laderas o en zonas con presencia de materiales blandos, así como las voladuras en el propio macizo o en zonas cercanas, la construcción de obras o instalaciones, nuevas plantaciones, etc.

## 7.- PRESUPUESTO ESTIMATIVO DE LAS LABORES DE ESTABILIZACION Y PREVENCION

El presupuesto se ha realizado de forma estimativa y las superficies, longitudes y volúmenes a tratar han sido calculadas de forma aproximada, por lo que el total se ha incrementado al final en un 20% en previsión de que estas medidas hayan quedado cortas.

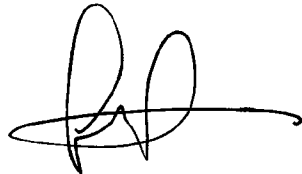
A continuación se incluyen los presupuestos de las labores preventivas y correctivas recomendadas para las cinco zonas estudiadas.

	Unidades	Precio Unit.	Total Ptas.
<b>ZONA 1</b>			
SANEO	--	P.A.	50.000
<b>BULONADO</b>			
Bulón	15 ml	8.000 Pta/ml	120.000
Perforación e inyección	15 ml	5.300 Pta/ml	79.000
Instalación y tesado	3 ud.	6.000 Pta/ud.	18.000
Traslado y preparación equipo	--	P.A.	100.000
<b>MACIZADO Y MURO</b>			
Hormigón	8 m <sup>3</sup>	20.000 Pta/m <sup>3</sup>	160.000
Construcción/mampostería	--	P.A.	50.000
<b>GUNITADO</b>			
Suministro y proyección	40 m <sup>2</sup>	5.000 Pta/m <sup>2</sup>	200.000
<b>DRENES</b>			
Perforación e instalación	7 ml	6.000 Pta/ml	42.000
Tubería P.V.C.	7 ml	1.000 Pta/ml	7.000
			-----
			<b>826.500</b>
<b>ZONA 2</b>			
<b>MACIZADO Y MURO</b>			
Hormigón	5 m <sup>3</sup>	20.000 Pta/m <sup>3</sup>	100.000
Construcción/mampostería	--	P.A.	30.000
<b>GUNITADO</b>			
Suministro y proyección	20 m <sup>2</sup>	5.000 Pta/m <sup>2</sup>	100.000
<b>DRENES</b>			
Perforación e instalación	4 ml	6.000 Pta/ml	24.000
Tubería P.V.C.	4 ml	1.000 Pta/ml	4.000
			-----
			<b>258.000</b>

	Unidades	Precio Unit.	Total Ptas.
<b>ZONA 3</b>			
<b>GUNITADO</b>			
Suministro y proyección	20 m <sup>2</sup>	5.000 Pta/m <sup>2</sup>	100.000
<b>DRENES</b>			
Perforación e instalación	5 ml	6.000 Pta/ml	30.000
Tubería P.V.C.	5 ml	1.000 Pta/ml	5.000
			<u>135.000</u>
<b>ZONA 4</b>			
<b>ANCLAJES</b>			
Suministro, perforación instalación y tesado	40 ml	16.000 Pta/ml	640.000
Suministro e inyecciones de hormigón	10 m <sup>3</sup>	65.000 Pta/m <sup>3</sup>	650.000
Reperforación	40 ml	2.600 Ptas/ml	104.000
Traslado y preparación equipo	-	P.A.	100.000
Viga de reparto	-	P.A.	120.000
<b>GUNITADO</b>			
Suministro y proyección	60 m <sup>2</sup>	5.000 Pta/m <sup>2</sup>	300.000
<b>DRENES</b>			
Perforación e instalación	6 ml	6.000 Pta/ml	36.000
Tubería P.V.C.	6 ml	1.000 Pta/ml	6.000
			<u>1.956.000</u>
<b>ZONA 5</b>			
<b>GUNITADO</b>			
Suministro y proyección	100 m <sup>2</sup>	5.000 Pta/m <sup>2</sup>	500.000
<b>DRENES</b>			
Perforación e instalación	10 ml	6.000 Pta/ml	60.000
Tubería P.V.C.	10 ml	1.000 Pta/ml	10.000
			<u>570.000</u>
<b>SUMA</b>			<b>3.745.500 Ptas</b>
Andamiajes o gruas para perforación y saneo, traslados y recogida de material, instalación de medidas de seguridad, etc			400.000
20% incremento aprox.			855.000
<b>TOTAL</b>			<u><b>5.000.000 Ptas</b></u>

Los trabajos de drenaje e impermeabilización de la superficie del promontorio, o la instalación de riego por goteo recomendada, no se han presupuestado, ya que la solución definitiva debe ser decidida previamente.





Fdo.: Joaquín Mulas de la Peña



Fdo.: Mercedes Ferrer Gijón

V<sup>o</sup>B<sup>o</sup>  
El Director de Ingeniería  
Geoambiental



Fdo.: F.J. Ayala Carcedo

**FOTOGRAFIAS**



**Fotografía 1.** Vista general de la ladera W, escarpada y con un talud muy verticalizado.



**Fotografía 2.** Vista general de la ladera natural SE, con pendiente suave mucho menor que la W. La pared o ladera S aparece como un cortado del montículo.





**Fotografía 3.** Vista general de la ladera W, con la carretera y el camino a su pie.



**Fotografía 4.** Materiales conglomeráticos de base sobre los que se apoya la masa travertínica.









Fotografía 5. Vista de la ladera W. abarcando las zonas 1 y 2





BLOQUE  
FRACTURADO  
E INDEPENDIZADO

ZONA 4

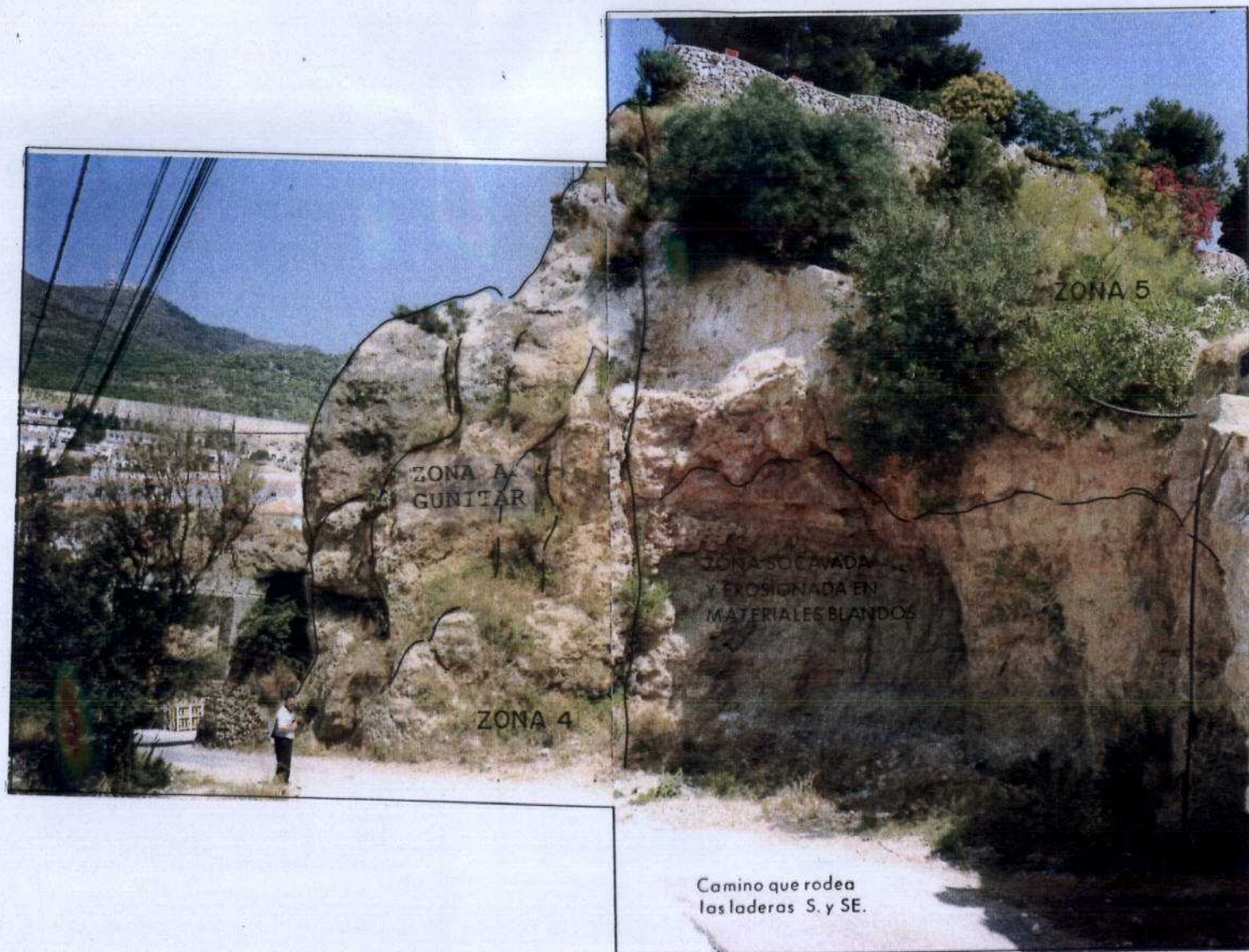
Fotografía 6. Vista de las zonas 2,3 y 4 en la ladera W.





Fotografía 7. Vista de las zonas 3 y 4, con el gran bloque independizado del macizo rocoso por fracturas.





Camino que rodea  
las laderas S. y SE.

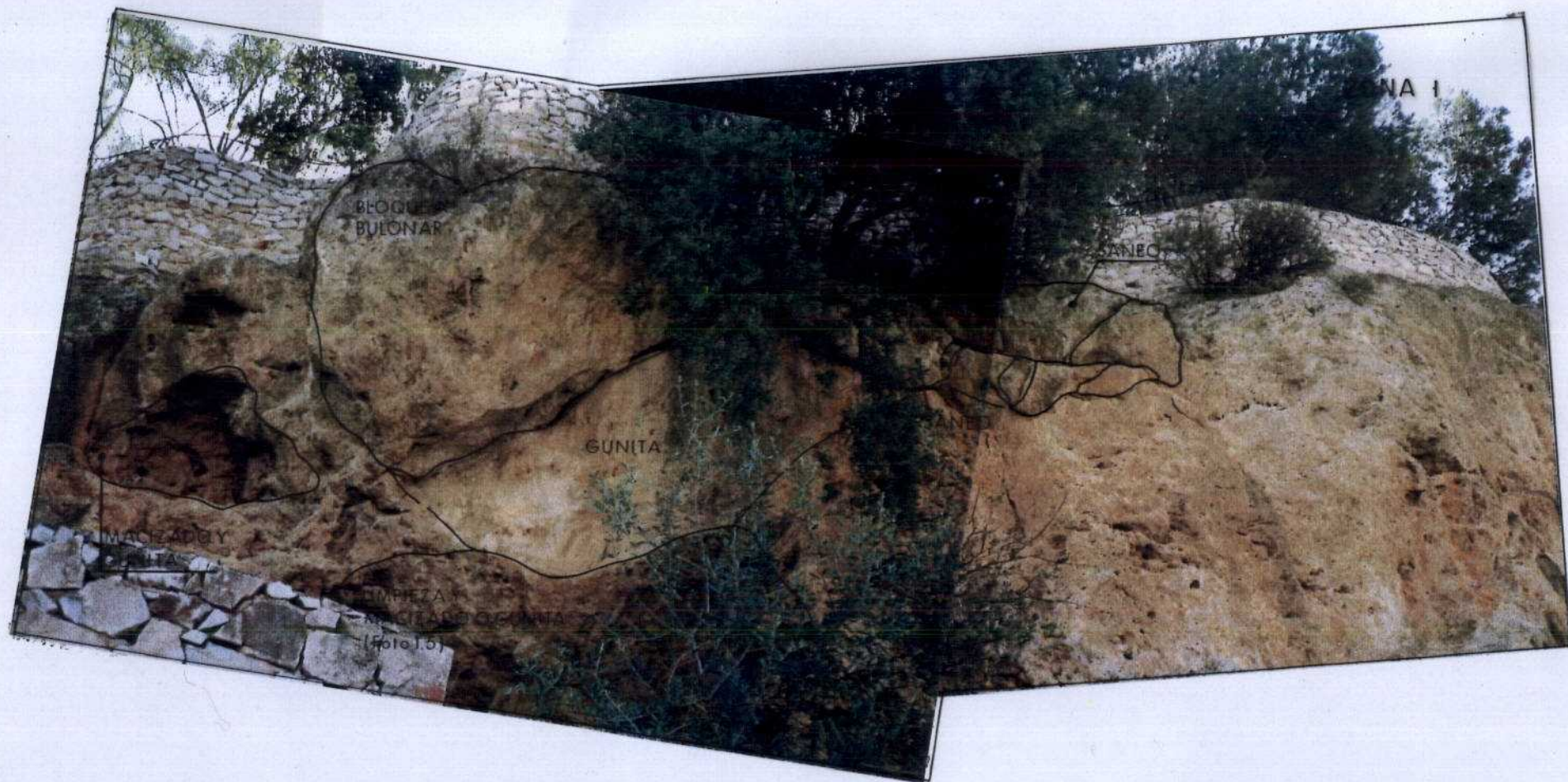
Fotografía 8. Vista de la zona 4 (lado SE.) y parte de la zona 5.





Fotografía 9. Vista de la base del talud desde lo alto del vertice S. del promontorio.





Fotografia 1.1. Vista de la parte superior de la zona 1.





**Fotografía 1.2.** Detalle de los bloques inestables a sanear de la parte superior de la Zona 1. Bloques en parte sujetos por las raíces de los árboles a eliminar.

## ZONA 1

**Fotografía 1.3.** Bloque a bulonar que en parte sirve de sustento al muro de los jardines superiores.







Fotografia 1.4

ZONA I



Fotografia 1.5

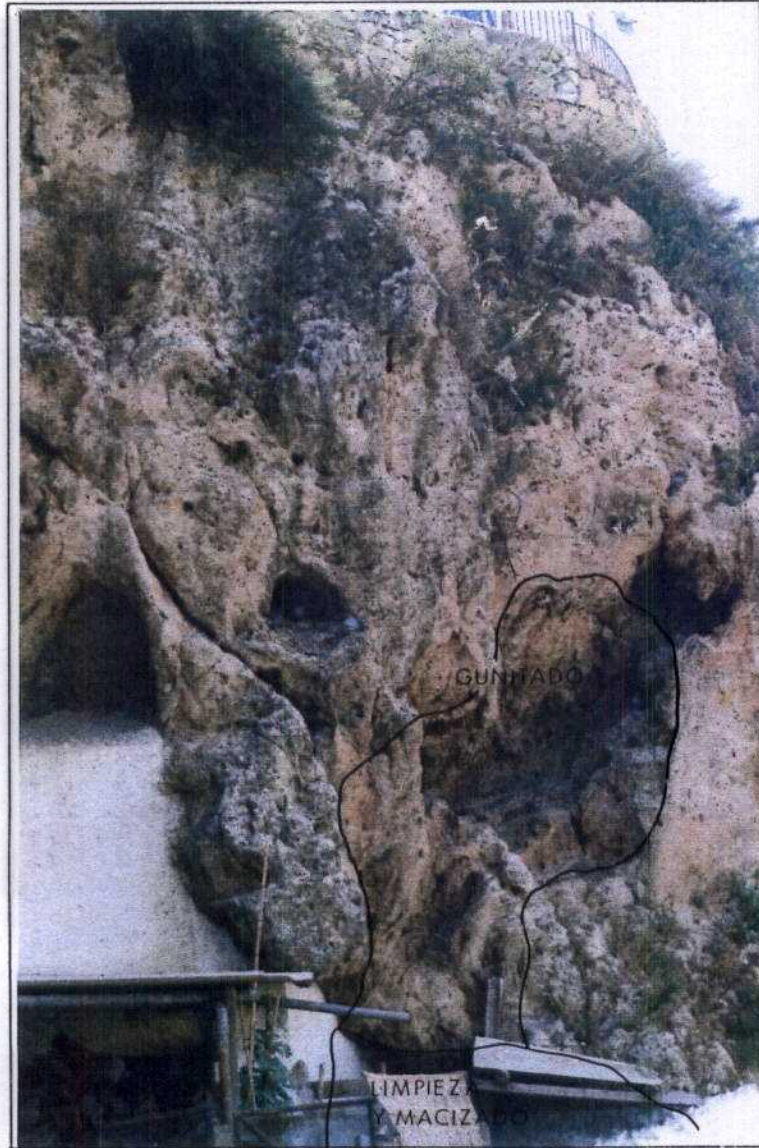


## ZONA 2



**Fotografías 2.1. y 2.2.** Vistas de la Zona 2, con las cavidades y socavaciones en la parte inferior del talud, que se han cercado con un muro y puertas. El aspecto del resto del talud es bastante sano, aunque agrietado, sin presencia de zonas blandas .

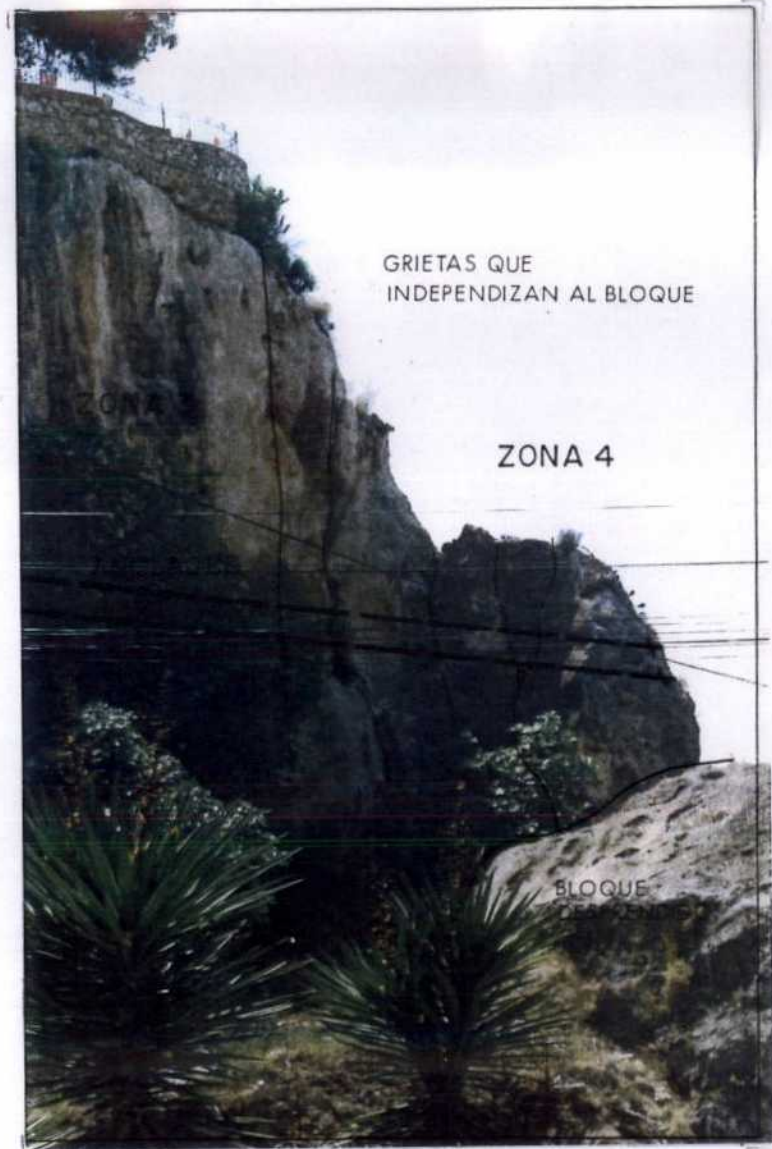




ZONA 2

Fotografía 2.3. Vista de la parte derecha de la zona 2





Fotografías 4.1 y 4.2. Vista del bloque inestable de la Zona 4 desde el lado W. con las grietas que lo independizan.



#### ZONA 4

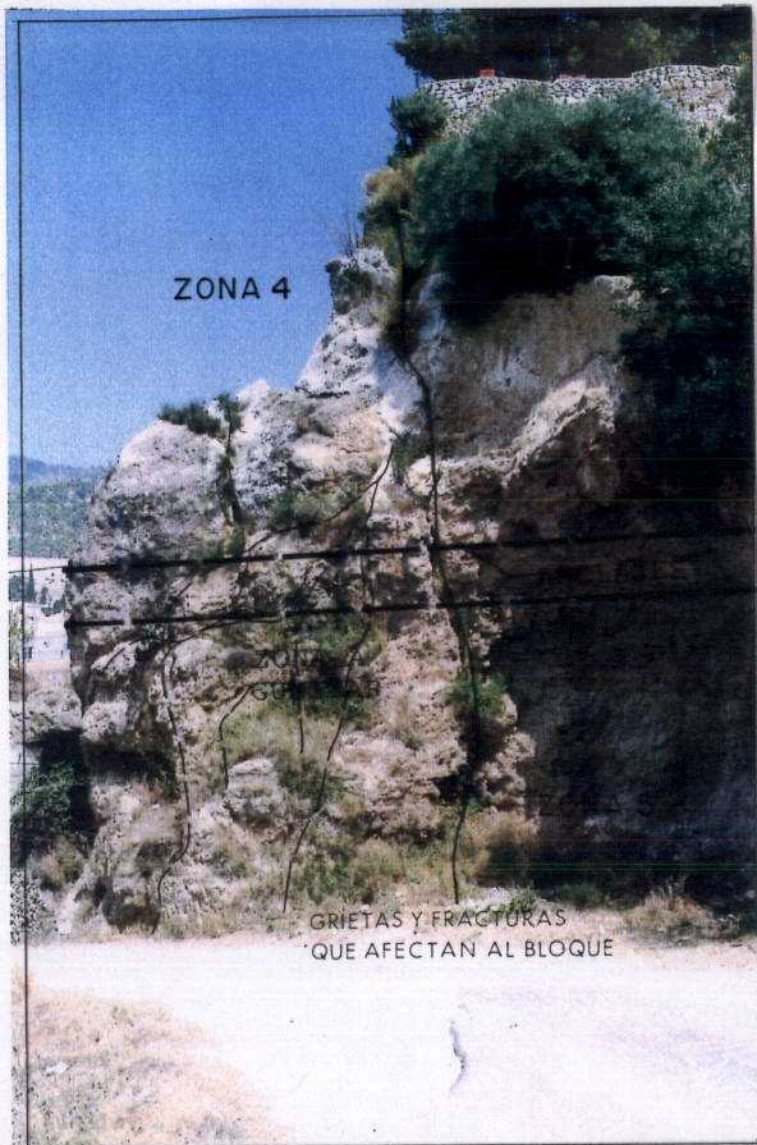


**Fotografía 4.3.** Base del bloque inestable de la Zona 4, sobre la que apoya un pequeño canal que aparece fracturado. Vista del lado W.



**Fotografía 4.4.** Vista del lado SE de la Zona 4, con las grietas verticales que independizan el bloque inestable. A la izquierda, uno de los bloques rocosos desprendido del macizo.





Fotografías 4.5 y 4.6 Vista del bloque inestable de la Zona 4 desde el lado E. con las grietas que lo independizan



## ZONA 5



**Fotografía 5.1.** Vista de la Zona 5, en la ladera SE del macizo, con una gran cavidad socavada en materiales blandos a la izquierda.