

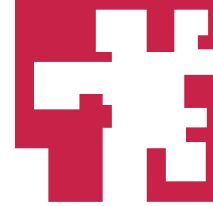
El presente volumen de la serie Cuadernos de Patrimonio recopila veinte años de estudios y trabajos que han tenido como fin efectuar un diagnóstico preciso de las distintas patologías que afectaban a la zona arqueológica Cueva Pintada. Esa evaluación permitió definir los criterios de actuación y establecer las oportunas recomendaciones en las que se basó la intervención final realizada en el yacimiento, a la vez que diseñar el protocolo para su conservación en el futuro.

I.S.B.N. 84-8103-534-6
9 788481 035346



 CUADERNOS DE Patrimonio Histórico 

La conservación en la musealización de la Cueva Pintada
De la investigación a la intervención



CUADERNOS DE Patrimonio Histórico

7

La conservación en la musealización
de la Cueva Pintada
De la investigación a la intervención





■ Vista lateral del testero de la Cueva Pintada.

La conservación en la musealización de la Cueva Pintada

De la investigación a la intervención

JORGE ONRUBIA PINTADO

JOSÉ IGNACIO SÁENZ SAGASTI

CARMEN GLORIA RODRÍGUEZ SANTANA

Editores científicos

JOSÉ MIGUEL PÉREZ GARCÍA
PRESIDENTE DEL CABILDO DE GRAN CANARIA

LUZ CABALLERO RODRÍGUEZ
CONSEJERA DE CULTURA Y PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL

ERNESTO MARTÍN RODRÍGUEZ
DIRECTOR INSULAR DE PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL

COORDINACIÓN GENERAL

JUANA HERNÁNDEZ GARCÍA
DEPARTAMENTO DE DIFUSIÓN DE LA CONSEJERÍA DE CULTURA Y PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL

GESTIÓN

JOSÉ ROSARIO GODOY
DEPARTAMENTO DE DIFUSIÓN DE LA CONSEJERÍA DE CULTURA Y PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL

EDITORES CIENTÍFICOS

JORGE ONRUBIA PINTADO
JOSÉ IGNACIO SÁENZ SAGASTI
CARMEN GLORIA RODRÍGUEZ SANTANA

AUTORES TEXTOS

DAVID BENAVENTE GARCÍA; JUAN CARLOS CAÑAVERAS JIMÉNEZ;
CONCEPCIÓN CIRUJANO GUTIÉRREZ; JAIME CLAPÉS BOIXADER;
SOLEDAD CUEZVA ROBLEÑO; ABELARDO DÍAZ TORRES; JAVIER FEDUCHI BENLLIURE;
FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA; JAVIER GARCÍA GUINEA; JUAN MIGUEL GONZÁLEZ GRAU;
MANUEL HOYOS GÓMEZ; LEÓNILA LÁIZ TROBAJO; JAVIER LARIO GÓMEZ;
ÁNGEL DAVID MOURE GARCÍA; JOSÉ VICENTE NAVARRO GASCÓN;
MIGUEL Á. NÚÑEZ VILLANUEVA; JORGE ONRUBIA PINTADO;
PATRICIA PRIETO ANGULO; CARMEN G. RODRÍGUEZ SANTANA;
JOSÉ I. SÁENZ SAGASTI; CESÁREO SÁIZ JIMÉNEZ; SERGIO SÁNCHEZ MORAL;
ENRIQUE SANZ RUBIO; VICENTE SOLER JAVALOYES; JOSÉ MANUEL SOSA PÉREZ;
PEDRO A. TORRES GONZÁLEZ; LUIS ZARANDIETA NÚÑEZ

DIGITALIZACIÓN

JOSÉ LUIS MORENO

FOTOGRAFÍA

ARCHIVO FOTOGRAFICO EL MUSEO CANARIO Y ARCHIVO MUSEO Y PARQUE ARQUEOLÓGICO
CUEVA PINTADA (JAVIER BETANCOR, JOSÉ IGNACIO SÁENZ)

REALIZACIÓN E IMPRESIÓN

DAUTE DISEÑO

COLABORA

MUSEO Y PARQUE ARQUEOLÓGICO CUEVA PINTADA

ISBN: 978-84-8103-534-6 **DEPÓSITO LEGAL:** GC. 618-2006

© Cabildo de Gran Canaria, 1ª edición 2007 © De los autores para sus textos

Las opiniones expresadas en cada uno de los textos y colaboraciones
incluidas en este cuaderno son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Foto portada: detalle de "la burbuja" realizada en el interior de la Cueva Pintada para permitir su contemplación.

Índice

Presentación	11
Introducción	13
Historia de las actuaciones	15
• La recuperación y conservación de la zona arqueológica de la Cueva Pintada. Datos para un balance J. Onrubia Pintado; J. I. Sáenz Sagasti; C. G. Rodríguez Santana.	17
Diagnóstico y definición de los criterios de actuación.	
Estudios previos	43
• Análisis climático de la Cueva Pintada (1987-1997) F. Fernández García.	45
• Las alteraciones de los materiales volcánicos encajantes del complejo troglodita de la Cueva Pintada: geología, petrología y geoquímica J. C. Cañaveras Jiménez; E. Sanz Rubio; S. Sánchez Moral; M. Hoyos Gómez	59
• Procesos de alteración de la toba y geoarqueología de los materiales de relleno y cobertera de la zona arqueológica de la Cueva Pintada J. Lario Gómez; J. C. Cañaveras Jiménez; S. Sánchez Moral; J. Onrubia Pintado y J. I. Sáenz Sagasti	81
• Estudio geofísico de la roca de la Cueva Pintada: despegues y fisuras J. Clapés Boixader.	103
• Registro de vibraciones y análisis del fondo sísmico en el entorno de la Cueva Pintada V. Soler Javaloyes; A. D. Moure García; P. A. Torres González	125

- Estudio de la viabilidad de aplicación de tratamientos de consolidación sobre la toba volcánica del yacimiento arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar
C. Cirujano Gutiérrez; J. V. Navarro Gascón 133
- Estudio de los materiales constituyentes de muestras de los paneles policromos de la Cueva Pintada
S. Sánchez Moral; J. C. Cañaveras Jiménez; E. Sanz Rubio; J. García Guinea 151
- Análisis de las pinturas de la Cueva Pintada en el infrarrojo próximo
V. Soler Javaloyes; A. Díaz Torres 169

**Diagnóstico y definición de los criterios de actuación.
Estudios avanzados 177**

- Registro de las características microclimáticas y de las condiciones de renovación de la masa de aire en la Cueva Pintada de Gáldar 2003-2007
V. Soler Javaloyes; A. D. Moure García; P. A. Torres González 179
- Determinación de rangos microclimáticos óptimos para minimizar los procesos de deterioro del soporte y pinturas de la Cueva Pintada
S. Sánchez Moral; J. C. Cañaveras Jiménez; D. Benavente García; S. Cuezva Robleño; L. Láiz Trobajo; J. M. González; C. Sáiz Jiménez 193

Las intervenciones 217

- El proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico de la Cueva Pintada: una intervención para la conservación
L. Zandieta Núñez; J. M. Sosa Pérez; J. Feduchi Benlliure 219
- Trabajos de restauración de las estructuras arqueológicas del yacimiento Cueva Pintada
M. A. Núñez Villanueva; P. Prieto Angulo; J. I. Sáenz Sagasti 251

Anexo 283

Bibliografía 289

Presentación

*Mis raíces se afirman en la tierra de asombros
de los años que huyen*

(Pedro García Cabrera)

La publicación del número 7 de *Cuadernos de Patrimonio Histórico* abre una nueva etapa en el estudio, conservación y difusión de los valores de nuestro rico y diversificado acervo cultural. No es una feliz coincidencia que la obra que ahora tiene en sus manos esté dedicada a un yacimiento tan emblemático como la Cueva Pintada de Gáldar, paradigma romántico de un patrimonio arqueológico que todavía hoy permanece sumido en la desesperanza y el olvido. Es el resultado de años de trabajo, de esfuerzos personales y colectivos y, sobre todo, de compromiso con un legado que hoy podemos disfrutar. Es también un buen ejemplo de compromiso personal e institucional sostenido —durante 144 años— hasta alcanzar la meta propuesta. Un empeño que hoy se materializa en un moderno museo que da sentido patrimonial al ocio de propios y extraños, familiarizándonos e identificándonos con los inicios de nuestra andadura como pueblo. Pero antes que todo esto fue la planificación, la conservación, la musealización del sitio arqueológico, y, antes aún, la investigación y la constancia en los esfuerzos para sacar del desahucio al que habían sido sentenciados los bienes culturales que hoy muchos se afanan en apadrinar. Fue entonces, y es ahora, un proyecto con vocación de futuro.

Desde su gestación, en la Cueva Pintada se ha apostado por un proyecto en el que, como principio básico, se encuentren plenamente integrados los conceptos de protección, investigación y divulgación. Un trinomio indisoluble que, más que una mera declaración de principios, se ha materializado en cada una de las acciones que han terminado por conformar el Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada y que sustentan las bases de un prometedor porvenir. Los trabajos cuyos resultados se reúnen en esta obra, así como en otras publicaciones que seguirán viendo la luz en fechas próximas, son el mejor exponente de lo dicho. El equipo de la Cueva Pintada ha investigado, e investiga, para conocer y, especialmente, para explicar parte del pasado, pero también para programar las medidas adecuadas que garanticen



su conservación, así como implementar los modelos más idóneos para presentar el patrimonio y determinar los contenidos fundamentales que deben ser transmitidos. Ha de reivindicarse, como auténtico modelo a seguir, que el elemento dinamizador de todo este proceso sea la investigación, toda vez que al privilegiar el valor científico de los bienes objeto de trabajo se les ha conferido un sólido contenido histórico que los hace partícipes de una riqueza patrimonial común. Cada jornada de trabajo en el Museo Cueva Pintada es un paso más en el acercamiento a nuestro pasado.

No obstante, si hubiera que destacar un aspecto de los ofertados por el Museo Cueva Pintada es, sin duda, su capacidad de acercar el patrimonio arqueológico al público visitante, de humanizar este legado compartido. Las personas que allí acuden no son consideradas meros espectadores, simples consumidores de unos recursos expositivos. Al contrario. En su viaje al pasado se les hace partícipes en la generación de conocimientos mediante su interacción constante con el yacimiento, con lo que allí se cuenta. Además de la imposibilidad de quedar impasibles ante la historia pretérita de Gáldar y de Gran Canaria se estimula la cercanía, la vivencia y, especialmente, la reflexión. Se ha logrado, en palabras de Felipe Criado, «formar al público en la pedagogía de la pregunta, más que en la comodidad de la respuesta, en la didáctica de la duda, más que en la seguridad de la certeza». Podría decirse que es tan importante lo que se aprende en una visita al Museo Cueva Pintada, como lo que, tras ella, desea seguir conociéndose.

Todo ello no hubiera sido posible sin la decidida participación de un nutrido número de personas, sin la concurrencia de inestimables esfuerzos y compromisos, institucionales y personales. En esta obra se presenta sólo una parte de los resultados de tales trabajos, pero sin los cuales hoy sería difícil entender qué es y qué fue la Cueva Pintada, y cómo se va a garantizar que este yacimiento pueda ser objeto de disfrute público a lo largo de sucesivas generaciones. Es por ello, como ya decíamos, un pasado con mucho futuro.

Dirección Insular de Patrimonio Histórico y Cultural

Introducción

Cuando, al cumplirse diez años desde su acondicionamiento y apertura como yacimiento visitable, la Cueva Pintada se cierra al público en 1982, queda también clausurado todo un periodo de su centenaria historia. Se abre entonces una nueva etapa que se caracterizará, por encima de todo, por el extraordinario empeño que se pondrá en abordar de manera definitiva la cuestión de su recuperación. Porque no será hasta ese momento cuando se produzca una auténtica y unánime toma de conciencia de la gravedad y complejidad de las patologías que la aquejan y de la necesidad de encarar, de una vez por todas, una actuación respetuosa y sostenible. Respeto y sostenibilidad que nacen del desafío de conseguir hacer compatible la responsabilidad de asegurar su salvaguarda con el compromiso democrático y ciudadano de facilitar su disfrute social.

No descubriremos nada nuevo si insistimos en el hecho de que los problemas de conservación de la Cueva Pintada se manifiestan muy tempranamente. En efecto, sólo dos décadas después de su descubrimiento en 1862 ya se alzan algunas autorizadas voces que denuncian, con preocupación, un visible deterioro de la toba y de las pinturas murales. Será preciso, no obstante, esperar casi una centuria para que esta inquietud, especialmente presente y comprometida a partir del segundo tercio del siglo XX, cristalice, en 1970, en un proyecto de intervención. Hija de su tiempo y sus circunstancias, esta voluntariosa actuación careció, por hablar sólo de la conservación, de un diagnóstico digno de tal nombre y de una evaluación cabal de sus consecuencias a medio y largo plazo. Los efectos de esta imprevisión tardaron muy poco en mostrar su cara más negativa y alarmante, llegándose pronto a una situación límite que sólo admitía una salida: el cierre de la Cueva Pintada y la elaboración, con carácter de urgencia, de un nuevo plan de actuaciones.

Si bien sus precedentes se remontan al mismo año de la clausura de la cavidad, no es hasta 1986 cuando toma cuerpo este nuevo programa. Es entonces cuando nace el proyecto de parque arqueológico de la Cueva Pintada. Concebido como una actuación integral que situaba en el centro de sus preocupaciones inmediatas la recuperación de la cámara policromada, y del complejo troglodita del que forma parte, su fin último era, en cambio, mucho más ambicioso: documentar y revalorizar la zona arqueológica hasta ese momento conocida.

Han hecho falta veinte años para ver culminada esta iniciativa. Sobra decir que durante todo este tiempo, tan necesario para su maduración y ejecución

como sin duda demasiado largo para los que veían desfilar los años sin resultados tangibles, los estudios y actuaciones relacionados con la conservación de la Cueva Pintada han ocupado un lugar fundamental. Como también lo han hecho las labores, desde luego menos urgentes y sofisticadas, derivadas de la indispensable protección y preservación de los restos hallados en el curso de los trabajos de excavación desarrollados a partir de 1987. Como no podía ser de otra manera, la prioridad ha consistido en efectuar un diagnóstico preciso de las distintas patologías que afectaban a la zona arqueológica para, a partir de él, definir los criterios y establecer las recomendaciones sobre los que basar la intervención final. El protocolo diseñado y ensayado, que puede convertirse en modelo para otros proyectos similares, ha servido así para primar las tareas encaminadas hacia la estabilización de los procesos de deterioro y las actuaciones de carácter preventivo.

El presente libro intenta dar cuenta de estos veinte años de estudios y trabajos. Su ejecución sólo ha sido posible gracias al empeño de los numerosos colegas y amigos que durante todo este tiempo han colaborado, con perseverancia y entusiasmo, en los mismos. La mayoría aparecen en la nómina de los firmantes de los capítulos que integran sus páginas. Pero, como sucede a menudo, si son todos los que están, no están todos los que son. Por un lado, y por distintas razones que no viene al caso evocar ahora, algunos de los análisis propuestos, como los de micro-organismos llevados a cabo por técnicos del Instituto del Patrimonio Histórico Español o los de caracterización de materiales encargados al Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna, no superaron la fase de toma de datos o de elaboración previa. Por otra parte, la normalización del registro de muestras exigió la realización de sucesivos trabajos de topografía, fotogrametría y fotografía que tampoco aparecen recogidos en esta publicación.

Vaya, con todo, nuestra más sincera gratitud a todos ellos. Gracias, también, a los organismos e instituciones que han hecho posible, a través del fomento de la participación activa de sus investigadores y técnicos o del patrocinio financiero, que estos trabajos, y en consecuencia el libro que los presenta, hayan podido hacerse realidad. Y, muy especialmente, al Cabildo de Gran Canaria que desde 1996 asumió, con decisión, el liderazgo de los mismos y ha decidido auspiciar, consagrándoles una entrega de sus *Cuadernos de Patrimonio Histórico*, la difusión de sus resultados.

Jorge Onrubia Pintado
José Ignacio Sáenz Sagasti
Carmen Gloria Rodríguez Santana

HISTORIA DE LAS ACTUACIONES

La recuperación y conservación de la zona arqueológica de la Cueva Pintada. Datos para un balance

J. Onrubia Pintado, J. I. Sáenz Sagasti y C. G. Rodríguez Santana

Como acontece con otras iniciativas similares en el ámbito de la musealización de yacimientos y zonas arqueológicas, el proyecto que ha tenido por objeto la revalorización del caserío prehispánico de la Cueva Pintada de Gáldar se ha sustentado, en lo que tiene de contribución a un proceso de «construcción» científica y «producción» social de patrimonio histórico, en una triple vocación: investigar, conservar, difundir. Nada hay de original en ello. Lo que sí resulta singular, en nuestro caso, es la manera concreta en que estas tres dimensiones se han combinado, en la práctica, a lo largo de dos décadas para conducir al resultado final: el Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

17



■ Foto 1. La Cueva Pintada. En esta cámara artificial excavada en la toba destaca el friso de motivos geométricos que decora sus paredes.

Por lo que a la conservación respecta, se hace necesario destacar el papel absolutamente primordial que ésta ha encarnado en la propia gestación del proyecto de puesta en valor y uso social al que aludimos. Porque resulta fácil comprobar hasta qué punto el desafío planteado por la recuperación definitiva de la cámara rupestre, decorada con pinturas geométricas (foto 1) que da nombre a la actual zona arqueológica y al centro museístico a ella vinculado, ha actuado como elemento dinamizador, y persuasivo argumento, a la hora de aunar voluntades para diseñar y acometer toda la actuación. Aunque sea ocioso conjeturar ahora sobre el asunto, seguramente no estaríamos donde estamos si, hace ahora un cuarto de siglo, el imparable deterioro de la Cueva Pintada no hubiera encendido todas las luces de alarma. Y no es que la preocupación por la degradación de sus pinturas se remonte a ese momento. De hecho, esta inquietud, y las intervenciones que ella ha inspirado, constituyen un elemento recurrente de su más que centenaria historia.

Antecedentes y primeras actuaciones

La Cueva Pintada fue hallada hacia 1862 a raíz del acondicionamiento del denominado Huerto Nuevo y «redescubierta» en más de una ocasión —siendo la más célebre la atribuida a José Ramos Orihuela en 1873— después de sufrir sucesivos cegamientos. Sabemos que los trabajos de sorriba y bancalización relacionados con la puesta en explotación de esta manzana agrícola transformaron de manera notable la fisonomía del complejo troglodita del que aquélla forma parte, y de la decoración mural asociada a algunas de las habitaciones que lo componen. Pero ignoramos en qué medida estas labores, y los distintos taponamientos y reaperturas de que fue objeto la cámara policromada, afectaron, en ese preciso momento, a sus excepcionales paneles pintados.

Uno de los testimonios más cercanos en el tiempo al descubrimiento, debido a la pluma de Gregorio Chil y Naranjo, parece reflejar un buen estado inicial de las pinturas pues, según él, los «...colores se conservaban todavía tan frescos como si estuviesen acabados de ponerse» (Chil y Naranjo, 1876, p. 598)¹. Una conclusión similar podríamos extraer para

¹ Ignoramos, en realidad, la fecha exacta de la composición del pasaje relativo a la Cueva Pintada de la obra del doctor Chil. Conviene recordar que sus *Estudios* fueron inicialmente

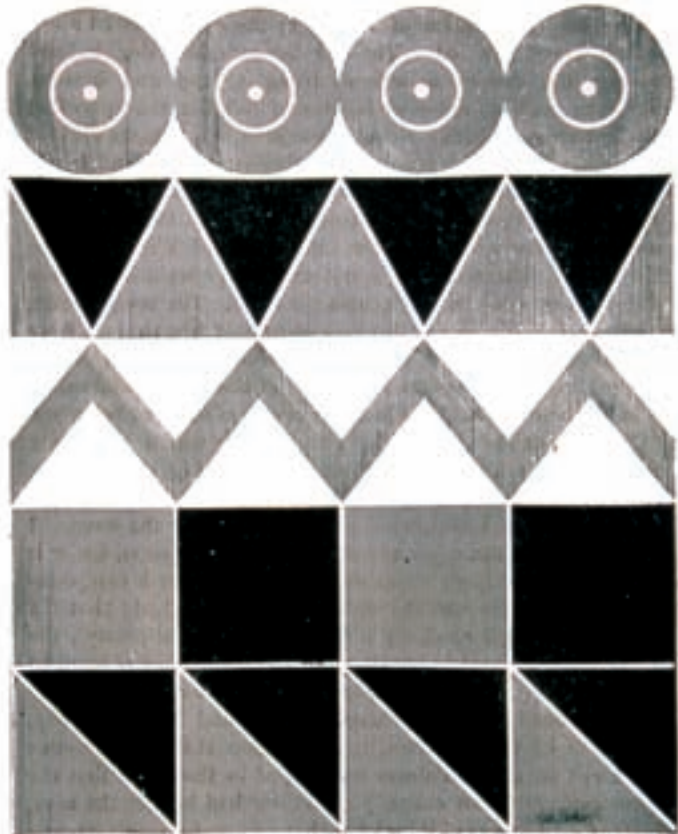


■ Foto 2. Copia coloreada del dibujo realizado por Francisco Guillén Morales en 1884, depositada en el Salón de Plenos del Ilustre Ayuntamiento de Gáldar.

1884, año en que se fecha la primera versión del conocido dibujo realizado por Francisco Guillén Morales (foto 2). Mas no hay duda que esta representación tiene mucho de libre recreación. Y, además, no faltan declaraciones contemporáneas y fehacientes en sentido contrario. Por un lado, Olivia M. Stone indica, con ocasión de su visita a la cámara policromada en el

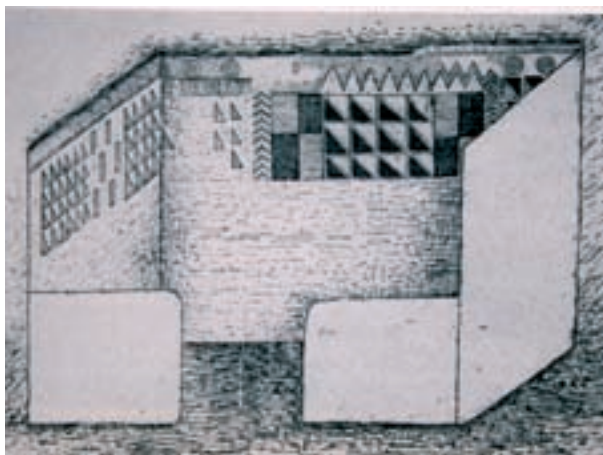
→ publicados por entregas. En consecuencia, el año que figura en la portada del primero de los volúmenes que componen la serie, 1876, no corresponde en modo alguno al de su impresión íntegra, más al momento en que inician su aparición los sueltos que constituirán, una vez agrupados y encuadernados en un único libro, este tomo. Sabemos, de hecho, que su composición y edición se extiende más allá de 1879 (Onrubia Pintado y otros, 2000, pp. 26-27). Pero, también, que la recopilación de materiales para la redacción de este trabajo ocupó, desde su retomo de París en 1859, no sólo a Chil y Naranjo sino, asimismo, a tres de sus más directos y entregados colaboradores: el doctor Juan Padilla Padilla y los hermanos Emiliano y Amaranto Martínez de Escobar. Del cotejo de distintos pasajes de la obra se desprende, con claridad, que la revisión final de los borradores no alcanzó a actualizar y normalizar; en aras de su paulatina publicación, las distintas versiones manuscritas manejadas a lo largo de todo este tiempo, ni a armonizar las aportaciones de cada una de las manos que participaron en esta ingente tarea. Así las cosas, resulta imposible determinar si la noticia sobre la Cueva Pintada, que habla además de su posterior cegamiento por parte del propietario de la finca donde se encontraba, molesto con las visitas de los curiosos, corresponde al momento de su hallazgo propiamente dicho o, como parece más probable, a uno de sus ulteriores «redescubrimientos», tal vez al atribuido a Ramos Orihuela.

otoño de 1883, que «...las pinturas de las paredes y del techo se estaban estropeando» (Stone, 1995, p. 54) (foto 3). De otra parte, la precisa descripción de la misma realizada por René Verneau (Verneau, 1889), ilustrada con una figura que reproduce una maqueta en escayola presentada en la Exposición Universal de París de 1889 (foto 4), prueba bien a las claras que el deterioro de algunos de los motivos es una realidad en 1887, año en que el antropólogo francés estudia la cavidad. Es más, poco tiempo más tarde, el estado de conservación de las pinturas murales se manifiesta ya como un hecho inquietante. En 1900, apenas transcurridas cuatro décadas desde su descubrimiento, José Batllori y Lorenzo deja constancia de su preocupación al respecto en un memorable artículo de elocuente título que reflejaba, con pesar y hartazgo, su desasosiego ante el progresivo arruinamiento de la Cueva Pintada (Batllori y Lorenzo, 1900).



■ Foto 3. Dibujo de los motivos de la Cueva Pintada realizado en 1884 por O. Stone después de visitar la cámara decorada. Llama la atención la escasa coincidencia con el original.

La nitidez con que, en esas tempranas fechas, debían aparecer ya las patologías que afectaban a la cámara policromada hace que Verneau y Batllori no tengan dificultad alguna en dar con el origen de las mismas. Amén de los inadecuados usos propiciados por el abandono que pronto reflejara Diego Ripoch y Torrens en su



■ Foto 4. Dibujo de René Verneau que reproduce una maqueta en escayola de la Cueva Pintada, presentada en la Exposición Universal de París de 1889.

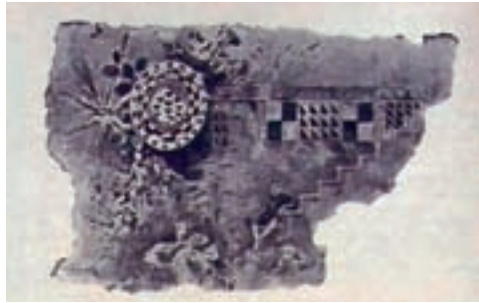
conocida *Carta de París* (Ripoche, 1883), redactada apenas unos días antes de la visita de Stone, quien también denuncia esta incuria, su causa última se vincula desde entonces a la modificación de las condiciones de circulación del agua en el entorno de la Cueva Pintada, y a los aportes masivos de recursos hídricos que exigían las tierras de regadío que proliferaron en su vecindad. Paradójicamente, el parcelario agrícola cuyo acondicionamiento posibilitó su localización acabó convirtiéndose, con sus bancales escalonados dedicados, primero, a tuneras de regadío para la cría de la cochinilla y, más tarde, a papas, millo y plataneras, en su mayor amenaza.

Como ya hiciera Ripoch, el vehemente artículo de José Batllori acababa con una exhortación pública al Museo Canario para que tomara a su cargo, con celeridad, la salvaguarda de la Cueva Pintada. Aunque con un retraso de más de treinta años (foto 5), achacable al dilatado languidecimiento que sufrió la institución a la muerte en 1901 de su principal impulsor; el doctor Chil, la desesperada llamada de su comprometido socio no cayó en saco roto. En 1934 y 1935, y coincidiendo con una intensa actividad arqueológica de la sociedad científica en la comarca de Gáldar entre cuyos resultados figura, por ejemplo, la excavación de varias de las sepulturas que conforman la notable necrópolis del poblado prehispánico de El Agujero-La Guancha, la junta directiva de El Museo Canario deja constancia de su interés por propiciar el desarrollo de trabajos de desecación y conservación de la cámara policromada.



■ Foto 5. Artículo de Francisco Guillén, publicado en Hoy el día 10 de febrero de 1935, en el que se denuncia el estado de abandono en el que se encuentra la Cueva pintada de Gáldar o Audiencia de los primitivos aborígenes.

remodelación por iniciativa del citado comisario provincial quien decidió, por esos mismos años, instalar una puerta de cierre. Acondicionada inicialmente a finales del siglo XIX merced al impulso de la corporación municipal (foto 6), la entrada que se trataba de adecentar consistía en un hueco flanqueado, por un lado, por la visera que forma la parte aún conservada del techo de la cavidad y, por otro, por el muro de



■ Foto 6. Dibujo aparecido en un especial sobre Gáldar publicado en 1898 por el *Diario España*. En él se aprecia la reproducción del friso policromo así como los peldaños que permitían entonces el acceso a la cámara.

contención que separaba el bancal adyacente de la cámara entonces conocida (foto 7), cuyo ingreso original se perdía en aquella época, como el resto de la planta, bajo dicha pared. Hay que recordar que en ese momento la Cueva



■ Foto 7. Estado en el que se encontraba el acceso a la Cueva Pintada hasta que fue llevada a cabo la intervención de 1970.

Pintada se reducía al testero de lo que hoy es una habitación rupestre más amplia que forma parte, de añadidura, de un desmantelado complejo troglodita excavado en la toba volcánica. A este primer acceso, que se completaba con una escalera de piedra adosada al muro que permitía descender a su interior; se llegaba, tras dejar la serventía que aseguraba el paso a la finca, siguiendo la acequia que discurría pegada a la terraza agrícola superior:

Pese a la obstinada insistencia de Jiménez Sánchez, otras tres décadas debió esperar; no obstante, la Cueva Pintada para que aquel proyecto de recuperación y acondicionamiento

podiera concretarse. Es de justicia reconocer que en su definitivo impulso desempeñó un papel fundamental la campaña de sensibilización emprendida, bajo el activo liderazgo de Celso Martín de Guzmán, por los estudiantes galgenses que a mediados de los años sesenta frecuentaban las aulas de la Universidad de La Laguna. Fueron ellos los que, con su celo y entusiasmo, consiguieron atraerse la simpatía, y el decisivo apoyo para su causa, de dos de sus más eminentes y estimados profesores: Elías Serra Ràfols y Jesús Hernández Perera, a la sazón, y respectivamente, delegado de zona para Canarias del Servicio Nacional de Excavaciones Arqueológicas y vicerrector del organismo universitario lagunero. La jubilación de Serra, en 1968, deja solo en el empeño al ya rector Hernández Perera a cuyos buenos oficios se debe, en buena medida, que, a finales del año siguiente, la Dirección General de Bellas Artes, el Cabildo de Gran Canaria y el Ayuntamiento de Gáldar alcancen un compromiso formal para detener el deterioro de las pinturas murales y rehabilitar el entorno de la cueva.

Tras la realización de una serie de estudios previos de los paneles pintados por parte de Julio Moisés y Pilar Leal,² técnicos del Instituto Central de Restauración que acabarán asumiendo la responsabilidad de la intervención sobre ellos, la actuación se pone al fin en marcha en 1970. Coordinados por José Miguel Alzola González en su calidad de consejero provincial de Bellas Artes, quien contará con el auxilio de la Comisaría General de Excavaciones Arqueológicas, a cuyo frente figuraba Martín Almagro Basch, los trabajos se orientaron en varias direcciones. Los propiamente relacionados con la conservación consistieron, de una parte, en tareas de limpieza mecánica de las pinturas (foto 8) y, de otra, en la eliminación, mediante un retranqueo del huerto superior, de las tierras de cultivo situadas inmediatamente sobre el techo de la cavidad. Por lo que a ellas respecta, las obras para garantizar una mejor accesibilidad a la misma se sustanciarán en la apertura de una nueva entrada directa desde el callejón que marca el límite meridional de la manzana



■ Foto 8. Limpieza mecánica realizada en el panel central de la Cueva Pintada en 1970.

² Ver Anexo, informe I.

agrícola. Estos trabajos exigirán una importante labor de desescombro y remoción de tierras que afectará a buena parte del bancal adyacente, posibilitando, como resultado en apariencia inesperado, la exhumación de la práctica totalidad del conjunto rupestre del que la Cueva Pintada constituía, sin ningún género de dudas, la cámara principal (fotos 9, 10). La profusión e interés de los hallazgos que se producen en el curso de este vaciado, obligan a organizar un precipitado y discutible seguimiento arqueológico del mismo que sólo permitirá la simple recuperación de una parte indeterminada, aunque seguramente pequeña, de los materiales.

Finalizadas las labores de desmonte de tierras, y ultimada la restauración de las pinturas, se acomete la intervención final. Esta



■ Foto 9. Intervención llevada a cabo en 1970 y que deja al descubierto el complejo troglodita en el que se inserta la Cueva Pintada.



■ Foto 10. Acceso a la Cueva Pintada después de llevar a cabo la intervención de 1970. En la parte posterior se aprecia el muro de hormigón que se construye entonces para retener las tierras del bancal agrícola.



■ Foto 11. Proceso de desmantelamiento del bancal agrícola llevado a cabo en 1970 y que descubre el complejo troglodita. Se aprecia cómo se accede desde la calle Cueva Pintada.

consiste, por un lado, en la construcción de diferentes muros, mayoritariamente de hormigón, destinados a contener las tierras de los tres bancales afectados por las obras (foto 11), y, por otro, en la ejecución de una edificación diseñada por el arquitecto Luis Alemany Orella para asegurar el cerramiento de las tres cámaras septentrionales del complejo troglodita, entre ellas la policromada. Este contenedor, que deja fuera una parte importante del conjunto rupestre recién exhumado, está techado por un forjado de vigueta y bovedilla que descansa sobre la propia visera de la cueva y muros de carga de ladrillo; material que fue empleado también para la fachada, en la que se abren tres puertas (fotos 12 y 13). En el interior del edificio se dispondrán algunos de los objetos recuperados con ocasión de los trabajos de remoción de tierras y otras piezas arqueológicas procedentes del entorno, cedidas al efecto por el Ayuntamiento de Gáldar; para constituir, junto a varios paneles y cartelas, un pequeño museo de sitio del Gáldar prehistórico (foto 14).

El 29 de abril de 1972 el complejo troglodita de la Cueva Pintada se abre por fin al público como yacimiento visitable, y el 5 de mayo de ese mismo año es declarado Monumento Nacional Histórico-Artístico (hoy BIC con categoría de zona arqueológica, BOC nº 79, de 29 de junio de 1994). Sin embargo,



■ Foto 12. Construcción de la plancha de hormigón con la que se cubre la Cueva Pintada después de los trabajos de 1970.



■ Foto 13. Resultado final de la intervención realizada desde 1970 a 1972 y que permitirá abrir al público la Cueva Pintada.

los problemas de conservación no sólo subsisten sino que se agravarán con el tiempo.

En efecto, apenas transcurridos seis años desde su apertura al público, las patologías de la Cueva Pintada se vuelven a hacer patentes de manera alarmante. La persistencia de las manchas de humedad en las paredes de toba de la cámara policromada demuestra que, a pesar del retranqueo realizado en el huerto situado sobre el techo de la cavidad, las infiltraciones de agua continúan. Además, el negativo efecto de las aguas de riego cargadas de abonos procedentes de las numerosas plataneras que todavía se cultivan en los bancales superiores, o de las aguas fecales que provienen de varias fosas sépticas situadas en el entorno, aumenta por el lavado al que someten el hormigón del muro y los forjados que ciñen ahora el complejo troglodita. El impacto de este proceso se combina con otras dos causas para provocar, amén de la proliferación de sales sobre las pinturas, continuos desprendimientos de toba que arrastran los pigmentos que soportan. Por un lado, las fisuras y despegues que existían en la roca de la Cueva Pintada antes de la intervención se han visto afectados por la brusca alteración del régimen de cargas que se ha producido como consecuencia de la retirada del bancal

situado sobre el techo original, y de la construcción del forjado del nuevo cerramiento. En segundo lugar, la insolación directa sobre un edificio mal aislado y ventilado orientado al mediodía, las visitas masivas y una iluminación inadecuada se han conjugado para crear una situación, sin duda no deseada en su día, que ha acabado por alterar gravemente los parámetros microclimáticos de la cavidad: aumento sostenido de la temperatura e incremento, hasta aproximarse el punto de saturación, de la humedad relativa del aire en el interior del contenedor. Por último, aparece un nuevo factor de riesgo vinculado, esta vez, a la acelerada meteorización a la que ha quedado sometida la parte del complejo troglodita que, tras ser sacada definitivamente a la luz, exhibe su toba a la intemperie sin protección alguna.



■ Foto 14. Dibujo de los paneles policromos de la Cueva Pintada publicado por A. Beltrán y J. M. Alzola en 1974.

Así las cosas, y ante la renovada insistencia del Ayuntamiento de Gáldar, la Dirección General de Bellas Artes vuelve a tomar cartas en el asunto y encarga nuevos informes técnicos³. Las recomendaciones de los memoran-

³ Ver Anexo, informes 2 y 3.

dos coinciden en que la solución definitiva pasa, sin margen para la duda, por la total supresión de las filtraciones de agua (foto 15), lo que exige la adquisición de todas las fincas de la manzana agrícola que dominan el techo del complejo troglodita. En 1981, mientras se concretan las gestiones para iniciar la expropiación de estos bancales, declarando como de utilidad pública la ejecución de trabajos arqueológicos en todo el entorno del complejo troglodita, se acomete una intervención de urgencia dirigida por el arquitecto Juan Francisco Carratalá Fuentes. Esta actuación, que contó con la supervisión arqueológica de Celso Martín de Guzmán, consistió en impermeabilizar y drenar el trasdós del muro de contención de hormigón que abrazaba por el norte el conjunto rupestre, y en mejorar el aislamiento y la ventilación del cerramiento mediante la instalación de un segundo forjado sobre el techo —que hará las veces de cámara de aire—, la sustitución de la puerta central por un lienzo de cantería y la multiplicación de las rejillas de aireación (foto 16). Pese a estas obras, que coinciden en el tiempo con el inicio de una labor sistemática de control de la temperatura y la humedad relativa del aire en la cámara policromada, la conservación de la misma continúa seriamente



■ Foto 15. Estado del interior de la cámara decorada tras la apertura al público, se aprecian las enormes manchas de humedad en las paredes de toba.

comprometida.⁴ Limitado ya el régimen de visitas como consecuencia de estos trabajos, la Cueva Pintada se cierra al público, de manera definitiva, al concluir el verano de 1982, sólo una década después de su inauguración oficial como yacimiento arqueológico visitable.

La clausura de la Cueva Pintada coincide en el tiempo con el inicio de la catalogación y estudio de los materiales arqueológicos, aún inéditos, exhumados

con ocasión del seguimiento del vaciado de 1970 (Onrubia Pintado, 1986). Estas tareas constituyen, en realidad, la fase previa de un ambicioso proyecto de investigación, conservación y puesta en valor que, bajo el impulso de Martín de Guzmán, pretende recuperar el complejo rupestre y su entorno, y dotarlo de un museo de sitio. Con



■ Foto 16. Estado del cierre de la Cueva Pintada tras la modificación de 1981.

todo, el retraso en la adquisición de las fincas situadas sobre la cámara decorada, que sólo verán desaparecer las últimas plataneras en 1984, demora considerablemente el comienzo de estas actuaciones que estarán pautadas, de añadidura, por los ritmos y ajustes que exigirá la implantación del nuevo mapa competencial surgido de la España de las autonomías.

Precisamente, las lógicas disfunciones generadas por la asunción de las competencias en materia de patrimonio histórico por parte de la naciente administración autonómica canaria, afectarán de manera directa al proceso de toma de decisiones que, a la espera de la puesta en marcha del necesario proyecto integral, demanda la recuperación de la Cueva Pintada. El resultado de esta situación se traduce en una manifiesta falta de planificación y descoordinación de las iniciativas que es necesario emprender con urgencia. En 1983 y 1984, por indicación del entonces inspector de yacimientos arqueológicos de Canarias, Antonio Tejera Gaspar, el Departamento

⁴ Ver Anexo, informes 4 y 5.

de Edafología de la Universidad de La Laguna acomete un útil estudio sobre los datos higrotérmicos de la cámara decorada y la velocidad de desprendimiento de la toba⁵ y es solicitado, mediante una propuesta de colaboración con la administración central, para proceder a la indispensable caracterización físico-química de los materiales. Pero, mientras esto sucede y ante la convicción intuitiva de que la disminución de la humedad que se constata tras las obras de 1981 está afectando a la cohesión de la roca, acelerando su degradación, se toman medidas tan pintorescas como ineficaces o, incluso, contraproducentes. Así habría que calificar, por ejemplo, la ocurrencia de regar regularmente la azotea que remata el forjado del contenedor (foto 17 y 18), lo que termina por provocar el encharcamiento de la cavidad, o de situar en su interior, con objeto de elevar el índice de humedad relativa del aire, una serie de baldes llenos de agua.



■ Foto 17. Cubierta de hormigón instalada sobre la Cueva Pintada en la que se observa un encharcamiento provocado por la lluvia.

⁵ Ver Anexo, informe 6.



- Foto 18. Estado en el que se encontraba la Cueva Pintada tras el encharcamiento provocado por el riego de la parte superior de la cámara decorada. Se observa también los baldes destinados a servir de «humidificadores».

El proyecto de parque arqueológico de la Cueva Pintada: el Área de Conservación

La situación cambia en 1986. En ese año la Cueva Pintada se incluye, merced a un acuerdo alcanzado entre los Gobiernos central y autónomo, en lo que será, primero, la nómina de intervenciones arqueológicas en «yacimientos preferentes» y, más tarde, el Plan Nacional experimental de Parques Arqueológicos. Surge así el proyecto de parque arqueológico de la Cueva Pintada y se constituye, de manera inmediata, el núcleo inicial del equipo científico y técnico que lo impulsará hasta que pueda darse por definitivamente ejecutado con la inauguración oficial, el 26 de julio de 2006, del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. Dirigido hasta su prematura muerte en 1994 por Celso Martín de Guzmán, este equipo se organizará, desde un primer momento, en tres áreas complementarias: Conservación, Arqueología y Arquitectura. A ellas se añadirá, con el correr del tiempo, una cuarta: Museología y Didáctica.

Los primeros meses de 1987 ven ya las primeras actuaciones del Área de conservación con el comienzo de los estudios de diagnóstico de los paneles pintados de la cámara policromada. Estos comportan una primera aproximación a las condiciones climáticas de la cavidad⁶ y una serie de análisis, que incluyeron tomas de muestras de pigmentos y otros materiales,⁷ llevados a cabo por miembros del Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales del Ministerio de Cultura, organismo que desempeñará un papel fundamental en los primeros compases del proyecto. El inicio, por esas mismas fechas, de los sondeos arqueológicos en los bancales que rodean el complejo troglodita supondrá la apertura de un nuevo frente para el Área de conservación. Porque, como se esperaba, estos trabajos demuestran que las terrazas agrícolas fosilizan las ruinas de un importante caserío prehispanico relativamente bien conservado



■ Foto 19. Campaña de excavación de 1989. Se aprecian las ruinas de una casa aparejada con sillarejo de toba.

cuyas habitaciones, excavadas en la toba (foto 19) o aparejadas con muros de mampostería y sillarejos de toba, están en muchos casos decoradas con pinturas murales (Onrubia Pintado y otros, 2004). Su protección y salvaguarda se convertirá, de ahora en adelante, en una nueva prioridad.

En mayo de 1988 se hace entrega del anteproyecto de parque arqueológico para su evaluación por parte de las administraciones concernidas.⁸ El documento, que establece el principio de democratización del acceso al disfrute del patrimonio como la base axiológica de toda la actuación, determina las que serán, a partir de ese momento, las líneas maestras de la misma. Junto con la arqueología, la conservación se erige como el centro sobre el que pivotará el resto de las intervenciones, quedando éstas, y muy especialmente las propuestas arquitectónicas, subordinadas a sus resultados y

⁶ Ver Anexo, informe 8 y más adelante el capítulo *Análisis climático*..

⁷ Ver Anexo, informes 7, 9 y 10.

⁸ *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Departamento de Arqueología del ICRBC, Ministerio de Cultura [edición provisional, difusión restringida], Madrid-Las Palmas de Gran Canaria, 1988. 3 vols.

demandas. La aceptación del anteproyecto, y por lo tanto su definitiva conversión en proyecto, y la firma en 1989 del correspondiente convenio para su ejecución entre el Ministerio de Cultura y la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias (BOE nº 227, de 22 de septiembre de 1989), suponen la formalización de un marco adecuado para la prosecución de los estudios previos de conservación mientras se va completando la adquisición de las fincas de la antigua manzana agrícola, se intensifican los trabajos arqueológicos y dan comienzo las obras de musealización con la construcción, a partir de 1990, del cerramiento sur del recinto del futuro parque arqueológico.

En este periodo los estudios de diagnóstico insisten en dos cuestiones fundamentales. Por un lado, el microclima de la cámara decorada donde, a partir de 1991, se instala un avanzado sistema de sondas de temperatura y humedad para disponer de un registro continuado de datos.⁹ Por otro, la caracterización de pigmentos y otros materiales, y sus correspondientes ensayos de consolidación, para lo que se suscribe en 1989 un convenio de colaboración con el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna que, por distintas razones que no viene al caso evocar ahora, sólo alcanza un desarrollo parcial e insuficiente.¹⁰ Además, se procede a tomar distintas medidas de carácter preventivo e iniciativas encaminadas a normalizar el proceso de toma de datos y control: demolición de los muros de hormigón que ciñen el complejo troglodita (foto 20), instalación de una tarima de madera tratada en el suelo de la cámara decorada para protegerlo y favorecer el desarrollo de los trabajos, seguimiento fotográfico en espectro visible e infrarrojo de los paneles pintados, levantamiento topográfico y fotogramétrico del complejo rupestre...

El año 1993 supone un nuevo hito en la historia del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. Es entonces cuando se encarga a Javier Feduchi Benlliure la redacción del proyecto de intervención arquitectónica cuya ejecución exigirá la firma, a finales de 1995, de un nuevo acuerdo entre el Estado y la Comunidad Autónoma de Canarias (BOE nº 28, de 1 de febrero de 1996), insistiendo en una fórmula de colaboración entre administraciones que, como hemos visto, se ensayó en anteriores intervenciones en la Cueva Pintada. En este convenio se recoge, además, el interés de las partes en propiciar la participación

⁹ Ver Anexo, informes I1 y I8, y más adelante el capítulo *Análisis climático...*

¹⁰ Ver Anexo e informe I4.



■ Foto 20. Demolición del muro de hormigón construido a raíz del vaciado de 1970 en torno a la Cueva Pintada.

del Ayuntamiento de Gáldar y del Cabildo de Gran Canaria en la financiación y puesta en funcionamiento del proyecto de parque arqueológico. Esta voluntad, junto a la nueva distribución de competencias en materia de patrimonio histórico emanada de la ley del Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas de Canarias, hace que la corporación insular desempeñe, a partir de ese momento y a través del naciente Servicio de Patrimonio Histórico, un importante papel en su gestión, convirtiéndose, por añadidura, en la administración competente en todos los asuntos relacionados con la conservación.

Así las cosas, el Área de conservación, estancada en una prolongada inercia y pendiente de decisiones inaplazables,¹¹ recibe un renovado impulso para culminar la fase de diagnóstico. Todavía pendiente, por los desajustes producidos en la aplicación del convenio con la Universidad de La Laguna al que antes aludíamos, el definitivo estudio y caracterización de los materiales y las pruebas de consolidantes, se decide acabar con este estado de cosas procediéndose, por un lado, a reactivar la colaboración con el ahora denominado Instituto del Patrimonio Histórico Español y, por otro, a incorporar formalmente al proyecto

¹¹ Ver Anexo, informe 12.

a un amplio equipo científico, con una sólida trayectoria en este campo, coordinado por Manuel Hoyos Gómez. La diagnosis se orienta ahora en tres direcciones. Se consagra, en primer lugar, al estudio geológico, petrológico y geoquímico de los materiales volcánicos del complejo troglodita, y de sus alteraciones,¹² que son también objeto, en lo que concierne a la roca en la que está excavada la cámara decorada, de un examen geofísico destinado a evaluar la situación de sus fisuras y despegues.¹³ De otra parte, y de manera complementaria, tiende a determinar la viabilidad de un eventual tratamiento de consolidación de la toba.¹⁴ Se aplica, por último, a caracterizar los morteros, enlucidos y pigmentos de los paneles policromos;¹⁵ caracterización que es, a su vez, completada con un análisis de los mismos en el infrarrojo próximo.¹⁶ En un ámbito ajeno a los estudios previos para la conservación del conjunto rupestre en sentido estricto, cabe indicar, en fin, que a partir de este momento se acometen, asimismo, una serie de actuaciones encaminadas a la consolidación y protección provisionales de las estructuras arqueológicas que van siendo exhumadas con el paulatino desarrollo de los trabajos de excavación.¹⁷

Los primeros resultados de la fase de diagnóstico concuerdan en la necesidad de que las actuaciones para la conservación del complejo troglodita, y del resto de la zona arqueológica, deben ser de carácter preventivo, encaminándose a una reducción de la acción directa del agua de lluvia, del viento y de la insolación. En este sentido, y coincidiendo con el inicio en 1997 de la ejecución del proyecto arquitectónico, se sugiere una primera modificación del mismo para que incluya el techado simultáneo, con una cubierta ligera, modulable y ampliable, de la totalidad del área excavada.¹⁸ Una vez instalado este techo será posible proceder, en su caso, a la consolidación y restauración definitivas de las estructuras arqueológicas¹⁹ y, sobre todo, acometer la intervención final en la cámara policromada. En consecuencia, y mientras se acaban de definir los criterios y protocolos de intervención, se

¹² Ver Anexo, informes 21, 27 y más adelante los capítulos *Las alteraciones de los materiales...* y *Procesos de alteración de la toba...*

¹³ Ver Anexo, informe 22 y más adelante el capítulo *Estudio geofísico de la roca...*

¹⁴ Ver Anexo, informes 16, 19 y 28, y más adelante el capítulo *Estudio de la viabilidad de...*

¹⁵ Ver Anexo, informe 26 y más adelante el capítulo *Estudio de los materiales constituyentes...*

¹⁶ Ver Anexo, informe 24 y más adelante el capítulo *Análisis de las pinturas...*

¹⁷ Ver Anexo, informes 13, 17 y 23, y más adelante el capítulo *Trabajos de restauración...*

¹⁸ Ver el capítulo *El proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico de la Cueva...*

¹⁹ Ver Anexo, informe 30 y más adelante el capítulo *Trabajos de restauración...*

opta por posponer cualquier decisión sobre la misma, si bien se acuerda que, tal y como prevé el documento museológico inicial, se ha de trabajar para que la solución finalmente retenida pueda permitir, con las máximas garantías, la contemplación directa de los paneles pintados por parte de los futuros visitantes. Hasta tanto se tramita el reformado del proyecto arquitectónico, que incorporará otras modificaciones que harán necesaria la redacción de un nuevo programa museológico, y de su correspondiente desarrollo museográfico, las obras se concentrarán exclusivamente en el edificio del museo. Como sucederá a lo largo de toda la ejecución del proyecto, estos trabajos garantizarán la integridad de todos los vestigios arqueológicos y serán objeto de un permanente control sísmico por parte del Área de conservación para que las vibraciones generadas por la actividad y el trasiego de maquinaria y operarios o por las propias estructuras construidas, no sobrepasen un umbral crítico susceptible de afectar a la estabilidad de los mismos, y fundamentalmente de la Cueva Pintada cuyas fisuras y despegues estarán, además, sometidos a una continua supervisión.²⁰

El principal problema de conservación que sigue quedando pendiente lo constituye, pues, la cámara policromada. Los estudios previos desaconsejan una intervención directa para limpiar y fijar sus pinturas y descartan, por ineficaz y contraproducente, cualquier tratamiento de consolidación de la toba en la que está excavada. De este modo, la única garantía para su preservación pasa sin duda por una actuación que sirva para atenuar las modificaciones microambientales intensas capaces de provocar la inestabilidad de sus materiales. Antes será necesario determinar, de manera precisa, los requerimientos que debe cumplir la intervención arquitectónica a ejecutar tanto en su diseño y proceso de montaje, como, sobre todo, en su funcionalidad última; es decir, en lo que tiene de unidad expositiva que ha de facilitar la contemplación de la Cueva Pintada amortiguando, de paso, el impacto de los visitantes. Para ello, a partir de 2003, y coincidiendo con el inicio de la instalación del techo de la zona arqueológica, se acomete un nuevo y profundo estudio microclimático que comportará la obtención de nuevas y más precisas observaciones del interior de la cavidad, lo que exige la instalación de una renovada instrumentación de medida y registro²¹ (fotos 21 y 22), y

²⁰ Ver Anexo, informes 15, 20, 25 y más adelante los capítulos *Registro de vibraciones y análisis...* y *El proyecto arquitectónico...*

²¹ Ver el capítulo *Registro de las características microclimáticas...*



■ Foto 21. Equipos de registro de los parámetros microclimáticos instalados en el interior de la Cueva Pintada en 1991 y 2003.

la determinación de rangos climáticos óptimos de cara a minimizar los procesos de deterioro.²² Con los primeros datos disponibles, se fijan los criterios de conservación preliminares que han de exigirse al cerramiento llamado a sustituir al contenedor inaugurado en 1972: una superficie acristalada que, para evitar el recurso a una iluminación excesiva y favorecer la visión de las pinturas murales, permita un acercamiento a las mismas sin entrar en contacto directo con el ambiente de la cámara. Surge así la idea de una suerte de «burbuja» que ha de posibilitar, además y en todo momento, el control de los parámetros microclimáticos interiores²³ (foto 23). La evaluación de los efectos de su instalación definitiva marca, en los primeros meses de 2007, el final de las actuaciones del Área de conservación del proyecto Cueva Pintada como tal. El Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada es ya una realidad.

En resumen, la musealización de la zona arqueológica de la Cueva Pintada puede considerarse, desde el punto de vista de su conservación y sin ningún atisbo de triunfalismo, como una intervención adecuada y estimable. Por supuesto que no se ha de bajar la guardia a la hora de evaluar, y en su caso

²² Ver Anexo, informe 29 y más adelante el capítulo *Determinación de rangos microclimáticos...*

²³ Ver el capítulo *El proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico de la Cueva...*

■ Foto 22. Sondas y equipos de medición de los parámetros microclimáticos instalados en el interior de la Cueva Pintada.



corregir; la incidencia de las nuevas condiciones ambientales y el impacto del régimen de visitas sobre la sostenibilidad de este bien patrimonial. Es lo que corresponde hacer ahora al Departamento de Conservación del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. La vigilancia ha de extremarse y las labores de control deben multiplicarse, sobre todo en lo relacionado con la cámara policromada donde, por lo pronto, se hace necesario continuar con el registro de la actividad sísmica de su entorno e instalar un sistema automatizado de seguimiento de la evolución de las pinturas y de los despegues y fisuras en cuyo diseño se está trabajando actualmente. No hay que olvidar que, pese a todo, si tenemos en cuenta el avanzado grado de alteración de la toba, y la heterogeneidad de su distribución, continúan existiendo riesgos no sólo de disgregación superficial de la roca sino, también, de desprendimiento de elementos estructurales del complejo troglodita. Pero el desafío, y la responsabilidad que conlleva, nos parecen dignos de ser asumidos si de lo que se trata, por encima de todo, es de favorecer el placer emocional y el gozo intelectual que, más allá de monopolios gremialistas y esencialismos identitarios, sólo puede procurar el disfrute, a un tiempo íntimo y participativo, de un patrimonio arqueológico felizmente recuperado, conservado y recordado, para su aprovechamiento social y educativo, tras casi siglo y medio de comprometida existencia.



■ Foto 23. «Burbuja» realizada en el interior de la Cueva Pintada para permitir la contemplación de la cámara decorada.

40



■ Foto 24. Detalle del friso central de la Cueva Pintada.



■ Foto 25. Plano general de las instalaciones museísticas y del yacimiento arqueológico.

**DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DE
LOS CRITERIOS DE ACTUACIÓN**
Estudios previos

Análisis climático de la Cueva Pintada (1987-1997)

F. Fernández García

En 1987, al tiempo que se iniciaba el proyecto de Parque Arqueológico Cueva Pintada, se consideró prioritaria la realización de un estudio climático que permitiera caracterizar las condiciones ambientales de la zona y permitiera a los especialistas implicados en el proyecto determinar las condiciones óptimas para la conservación de las pinturas.

Para ello fue necesario realizar registros de parámetros de humedad y temperatura en los tres espacios implicados en la estabilidad de las pinturas, es decir: el testero de la cámara que sirve de soporte de las mismas, el entorno climático exterior y las condiciones climáticas del aire en el interior de la Cueva Pintada.

45

I. Fases de actuación

Los trabajos se iniciaron de forma sistemática en 1987, y después de diez años de registro continuo se pueden establecer una serie de fases de actuación con objetivos y metodologías específicas.

1. **Desde 1987 hasta noviembre de 1991.** En este período se colocaron varios termohigrógrafos en el interior y exterior de la Cueva Pintada y se realizaron, de forma puntual, mediciones de los diferentes parámetros climáticos con termómetros digitales e infrarrojos. Se analizaron también los datos medidos en observatorios meteorológicos del entorno próximo que nos permitieron conocer los rasgos generales del clima regional.

Se pudo determinar con cierta precisión el comportamiento general y caracterizar los rasgos fundamentales del clima, especialmente los referentes a la cámara decorada y el exterior. La relación entre ambos espacios es fundamental dado que, al contrario de lo que

puede ocurrir en otros complejos arqueológicos con pinturas, en Gáldar, la posición superficial de la Cueva Pintada determina que la influencia del ambiente exterior sea determinante en el ambiente climático interior. Las diversas mediciones mostraron, en efecto, un comportamiento similar de ambos espacios, aunque las oscilaciones térmicas e higrométricas estaban atenuadas en el interior como consecuencia del cerramiento entonces existente.

Un estudio más detallado exigía, no obstante, otro sistema de medidas en el que se evitaran las imprecisiones derivadas de los mismos aparatos de medida y de los errores introducidos en la colocación de los registros. Asimismo era preciso obtener medidas de forma continuada en el tiempo a fin de evaluar las oscilaciones normales del clima.

2. **De noviembre de 1991 a julio de 1997.** En esta fecha se instalaron 23 sondas de temperatura y humedad en el ambiente y de contacto y penetración en los muros, iniciándose la segunda fase del trabajo con un registro continuado de datos.¹ Esta etapa es la que ha permitido obtener las conclusiones más válidas desde la óptica de la conservación y caracterización del microclima de la zona.

Se trataba, en definitiva, de conocer los desequilibrios térmicos e higrométricos en estas áreas a fin de determinar los intercambios de calor y humedad entre la pared soporte y el ambiente, causa esencial de la inestabilidad de las pinturas. También se instaló un pluviógrafo en el exterior a fin de evaluar las precipitaciones de la zona y su intensidad.

En los criterios que se siguieron en la selección de estos aparatos de registro, se optó por utilizar sondas de marca reconocida, como es la finlandesa Vaisala, conectadas a un registrador que permite evaluar en cualquier momento los valores existentes y analizar con precisión las variaciones que se producen y el ritmo de los mismos.

El principal problema que presenta este tipo de registros radica en que las medidas han de realizarse con la menor agresividad posible, especialmente en la roca soporte de las pinturas. Por lo que respecta a las temperaturas esta agresividad es mínima, pero no ocurre lo mismo con la humedad. En efecto la humedad es una variable cuyo

¹ Estas sondas han estado instaladas y registrando hasta el año 2006, momento en el que han sido definitivamente sustituidas por el método de control y registro instalado en el 2003 (ver más adelante). [Nota de los editores].

control se hubiera realizado bien con métodos difícilmente aplicables a nuestra zona, ya que suponían la extracción de porciones de la roca, o bien mediante la utilización de aparatos muy costosos.

En la Cueva Pintada se instalaron sondas térmicas de contacto y penetración en diferentes sectores, especialmente en el espacio ocupado por las pinturas y sondas termohigrométricas de ambiente. Con respecto a la humedad se optó por introducir las sondas en la pared de la cueva situada al lado de la cámara decorada, cuyas características litológicas y ambientales son similares. Las sondas de penetración no miden exactamente la humedad de la roca sino la del aire que rellena el hueco donde se han colocado las mismas, sin embargo, las diferencias entre esta porción del aire y la roca son mínimas, dado que al estar aislado del exterior (sellado con silicona) el aire estanco refleja unas condiciones muy similares a las de la roca soporte de las pinturas, siendo el grado de fiabilidad válidos para los objetivos propuestos. En esta fase, el análisis de los datos permitió caracterizar con mayor precisión los ritmos climáticos en el interior de la cueva y la relación entre los tres ámbitos considerados. Especialmente significativa es la relación existente entre la temperatura y humedad ambientales de la Cueva Pintada y las diferencias observadas entre éstas y las registradas en el muro. A partir de estas diferencias se establecieron unos umbrales que se pueden considerar óptimos o críticos para la estabilidad del espacio estudiado.

2. El marco climático regional

Las condiciones climáticas del entorno arqueológico de Gáldar están determinadas por su posición latitudinal y la influencia marítima. En consecuencia, es un clima que podemos definir como mediterráneo tropical.

Las precipitaciones

Las precipitaciones son muy escasas; el total anual no supera los 200 mm, siendo relativamente intensas especialmente en las zonas próximas a Gáldar (zona de Caideros, situada a mayor altitud), y la época más frecuente es en las estaciones equinocciales, como en el mundo mediterráneo.

Las bandas del pluviógrafo detectan especialmente:

- Largos períodos sin lluvia
- Períodos cortos con lloviznas que apenas se marcan en la banda del pluviógrafo.
- Períodos de lluvias en forma de chubascos débiles
- Períodos de duración desigual con precipitaciones débiles alternando con chubascos de intensidad media fuerte.

La lectura de estos datos pone de manifiesto la irregularidad interanual generalizada y que los períodos de lluvia más frecuentes se localizan en el semestre noviembre-marzo. En los demás meses pueden aparecer de forma aislada, pero con una frecuencia bastante menor:

Temperatura y humedad del aire

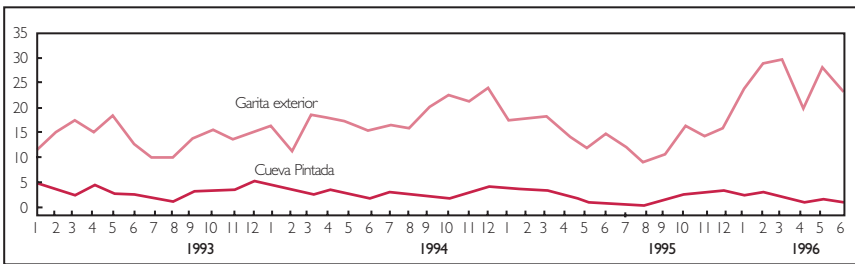
Las temperaturas más bajas se dan en enero o febrero con valores medios en torno a los 17°C/18°C, las más elevadas oscilan entre los 23°C/25°C. El mes más cálido es agosto, aunque en septiembre u octubre se alcanzan, frecuentemente, valores similares. Las mínimas medias raramente descienden por debajo de los 15°C y las máximas pueden superar los 26°C.

La humedad relativa media se mantiene todo el año por encima del 60%, con un máximo en verano, coincidiendo con el desplazamiento del anticiclón de las Azores hacia el norte y la persistencia del alisio húmedo. Las mínimas medias raramente descienden por debajo del 50% y las máximas medias superan el 75% en verano y llegan hasta el 80%. La oscilación media mensual puede alcanzar el 20 % en la humedad relativa especialmente durante los meses finales de otoño e invierno; en primavera y verano raramente las diferencias entre las máximas y las mínimas superan el 15%. La oscilación térmica oscila entre los 3° C y los 6°C; los contrastes mayores se han registrado en octubre y noviembre de 1994, siendo superiores a 6° y, los mínimos, en 1996.

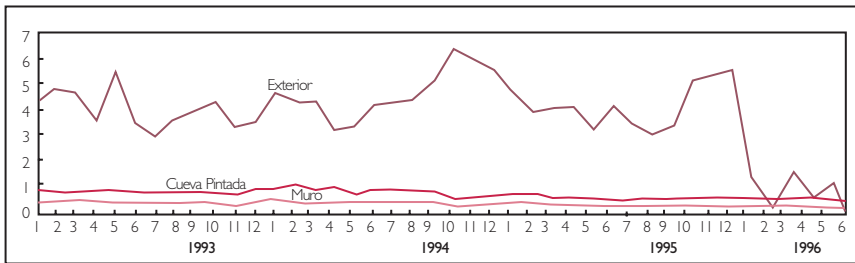
Los valores diarios, sin embargo, ponen en evidencia un rasgo singular del clima de esta zona como es la presencia de períodos cálidos y muy secos asociados a invasiones de aire sahariano, en los que los parámetros climáticos se desvían considerablemente de los normales. Puede aparecer en cualquier época del año, pero la más favorable se extiende desde septiembre hasta marzo, mientras que en verano son menos frecuentes y sobre

todo, de menor duración. Estos períodos de cambios acusados son los que pueden influir de forma destacable, tanto por las desviaciones de estos parámetros con respecto a los valores normales, como por la brusquedad con la que se producen los cambios. Estos efectos quedan amortiguados en el interior de la cueva como consecuencia de las mismas condiciones de abrigo natural que ésta presenta y del cerramiento construido en los años setenta del pasado siglo.

■ Gráfico Ia. Amplitudes medias mensuales. Humedad relativa.



■ Gráfico Ib. Amplitudes medias mensuales. Temperaturas.



3. Las condiciones climáticas en la cámara decorada

Dentro de la cueva es preciso diferenciar dos ambientes: el del aire y el del muro. La escasa profundidad del abrigo natural que conforma este espacio determina que exista una clara dependencia entre las condiciones interiores y las del exterior; no obstante, el cerramiento entonces existente dará lugar a unas condiciones microclimáticas que se manifiestan en una menor oscilación térmica e higrométrica en relación con el exterior.

Temperatura y humedad en el aire en la cueva

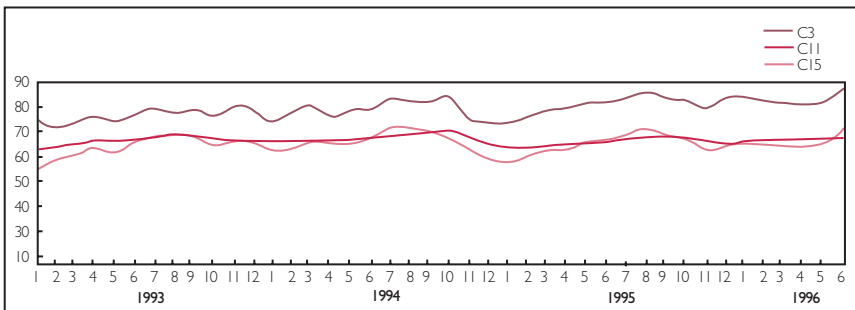
Las temperaturas siguen un ritmo similar al observado en el exterior: las más elevadas se registran en el semestre estival con valores próximos a los 26° y mínimos cercanos a los 20° en invierno.

Las humedad relativa estival se mantiene entre el 65% y el 70% y en invierno los mínimos se mantienen en valores próximos al 45%.

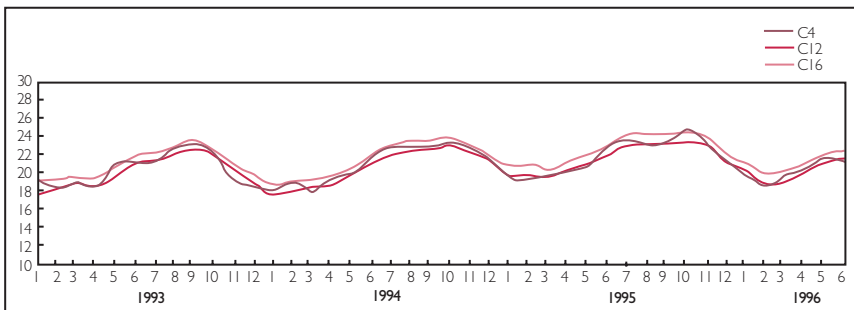
Temperatura y humedad relativa de la pared

Aparecen escasas diferencias en relación al anterior; especialmente en las temperaturas, muy similares a las registradas en el aire. La humedad relativa, sin embargo, se mantiene más uniforme con máximas que raramente superan el 65% y mínimas que sólo en contados casos descienden del 60%.

■ Gráfico 2a. Humedad relativa.



■ Gráfico 2b. Temperaturas máximas medias mensuales.



4. Análisis de resultados

Comparación de humedad relativa y temperaturas

La comparación de los tres ambientes (en el exterior, la cueva y el muro-soporte), muestra claramente la relación entre ellos y el efecto moderador de la cueva.

La amplitud mensual, calculada como la diferencia entre las máximas y mínimas mensuales, puede alcanzar el 20% en la humedad relativa exterior; mientras que en el interior se mantiene en torno al 5%. La oscilación térmica en el exterior puede alcanzar los 6°C, en el interior es de 1°C.

En las medias mensuales horarias, los datos representados corresponden a los registrados durante la madrugada (entre las 4 y 6 horas), que coinciden normalmente con los mínimos de temperatura y máximos de humedad el día (entre las 12 y 14 horas); la tarde (entre las 18:00 y las 20:00 horas) y la noche (entre las 22:00 y las 24:00 horas).

Las curvas de temperatura y humedad del aire aparecen suavizadas en la cueva en relación al exterior.

La humedad relativa del exterior es normalmente más elevada que la del interior y la del muro, mientras que la temperatura exterior es ligeramente más baja.

En los mínimos horarios se observa un comportamiento diferente de la humedad del muro y la del ambiente interior: en el muro la curva de humedad (C11) se mantiene con escasas oscilaciones, pero la del aire (C15) sigue el ritmo del exterior (C3) con descensos acusados en determinados meses, especialmente en invierno y finales de otoño. En estos períodos las diferencias entre la humedad del muro y la del aire se agudizan y es posible que, a consecuencia de ello, se produzca una migración de agua hacia el exterior y se aceleren los procesos de salinización en el muro.

Diferencias de temperatura y humedad entre el ambiente y muro: períodos y umbrales críticos

El ritmo de variación de la humedad y temperatura, como acabamos de ver, es lento en el interior de la cueva y la oscilación diaria es muy escasa, lo que favorece la situación de estabilidad en el interior del recinto. Estabilidad

que se manifiesta en las débiles diferencias que se observan entre el aire y el muro. En la temperatura, en muy pocas ocasiones se superan los 0.5°C de diferencia; en la humedad se observa una clara estacionalidad entre el período invernal en el que la humedad ambiental es inferior a la del muro, y el verano en el que los términos se invierten.

A lo largo del año, en efecto, se observa que (cuadro 1):

- Las diferencias superiores al 10% tienen una importancia relativamente alta en los meses de invierno, a partir de esos meses la frecuencia es menor y desde mayo a septiembre prácticamente no aparecen.
- Diferencias comprendidas entre +5% y -5% se observan en más de la mitad de los días y en los meses de verano el porcentaje supera el 80%.
- Entre -5% y -10% los porcentajes oscilan entre el 20% y el 40% desde septiembre hasta mayo, con un máximo en enero y mínimo acusado en los meses de verano.
- Diferencias comprendidas entre el 5% y el 10% sólo tienen importancia en verano.

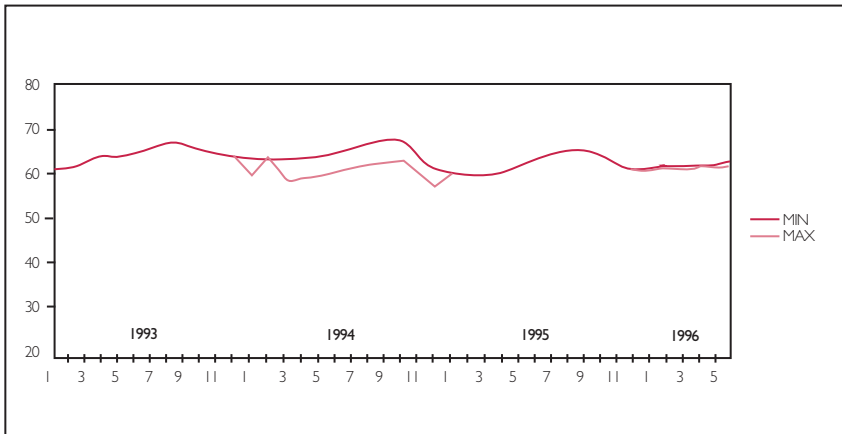
■ Cuadro 1. Frecuencia de las diferencias entre la hr del aire y la del muro (en % del total de observaciones).

Diferencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-10%	33	12	8	10	8	1	0	0	2	6	16	22
-5%	42	32	33	31	42	15	4	9	28	38	25	24
+5%	24	56	58	57	48	82	84	87	65	55	55	53
+10%	0	1	1	2	2	2	12	5	5	0	4	1

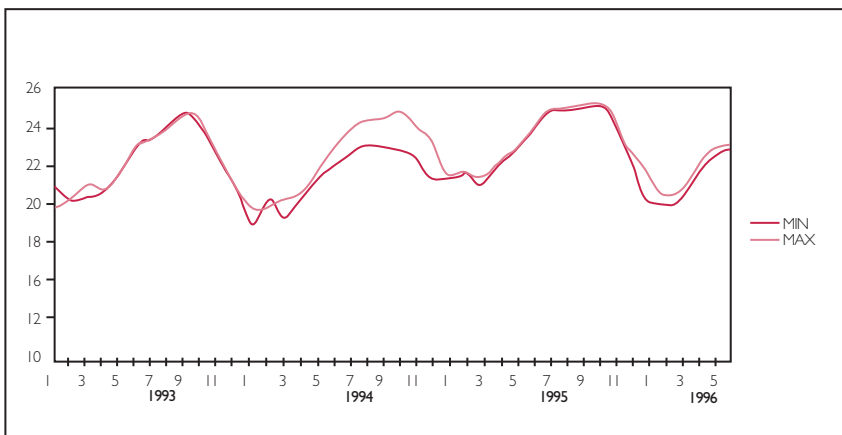
El problema, por tanto, que plantea el microclima de la Cueva Pintada radica en la sequedad del ambiente que aumenta las diferencias entre el ambiente interior y el muro, y que rompe el equilibrio normal entre ambos espacios. Es durante el semestre frío, especialmente en los tres meses invernales, cuando esta situación se mantiene durante más tiempo, relacionado con las características del clima regional; pero es también en esta época cuando mayor frecuencia presentan las advecciones de aire seco que agudizan el problema de la sequedad ambiental y, en consecuencia, los contrastes entre el aire y el muro. Estas situaciones aparecen de forma periódica y su duración y frecuencia son variables, pero pueden tener

repercusiones muy negativas en los procesos de desecación del muro por las desviaciones que presentan, particularmente la humedad, en relación a los valores normales.

■ Gráfico 3a. Humedad relativa de la pared de la Cueva Pintada.



■ Gráfico 3b. Temperatura de la pared de la Cueva Pintada.



En los años que estamos estudiando se han contabilizado 120 situaciones en las que las diferencias entre la humedad ambiental de la cueva y la del muro superaron el 15%, concentrándose fundamentalmente en los meses de enero, diciembre y febrero.

Umbral óptimos y caracterización de los diferentes meses

Para establecer esos umbrales se han calculado las funciones de correlación lineales entre la humedad ambiental y las diferencias entre el ambiente y el muro. La correlación en la humedad se reveló como alta, pero es muy baja en la temperatura. Las desviaciones estacionales son importantes, de ahí que se hayan realizado cálculos para cada una de las estaciones del año.

En el cuadro 2 se establecen las diferencias entre la humedad relativa del ambiente y la del muro calculadas según las funciones de correlación establecidas a partir de los datos obtenidos.

■ Cuadro 2. Diferencia entre la humedad relativa del ambiente y la del muro en función de la humedad relativa del ambiente (calculadas según las funciones de correlación).

HR ambiente (%)	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
50%	14,8	14,8	16,9	15,4
55%	10	9,9	12	10,4
60%	5,3	5,1	7,1	5,4
65%	0,5	0,2	2,2	0,4
70%	-4,2	-4,6	-2,7	-4,6
75%	-8,9	-9,5	-7,6	-9,6
80%	-13,7	14,3	-12,5	14,6

A partir de los cálculos anteriores se han definido unos umbrales de humedad que se han clasificado como:

- **Óptimos:** cuando las diferencias calculadas se mantienen en torno al 5%. Se corresponden con una humedad relativa ambiental comprendida entre el 60% y el 70%.
- **Intermedios:** cuando oscilan entre el 5% y el 10% corresponden a unos valores de humedad relativa ambiental comprendida entre el 55% y el 60% y entre el 70% y el 75%.
- **Críticos:** cuando supera el 10%. Tales diferencias se alcanzan cuando la humedad relativa del ambiente es inferior al 55% o superior al 75%.

De acuerdo con estos umbrales, desde enero de 1992 a julio de 1997, los períodos críticos (cuadro 3.1) han sido relativamente frecuentes desde noviembre a mayo, aunque el mes con mayor probabilidad ha sido enero en todos los años, exceptuando 1996; en este año estos períodos han sido muy escasos y el máximo se ha dado en noviembre. Singular parece ser, también, el año 1997 con una frecuencia muy alta de estas situaciones que se han extendido desde enero hasta junio.

■ Cuadro 3.1. Frecuencia de situaciones críticas en los diferentes meses durante el período de estudio (1992-1997).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1992	83	36	25	0	0	4	0	0	0	7	38	10
1993	78	41	40	22	16	2	8	1	14	11	8	20
1994	29	14	4	7	0	0	2	0	0	0	28	55
1995	63	50	23	20	0	0	1	0	1	5	26	14
1996	3	18	7	7	12	0	0			27	53	6
1997	87	63	99	58	60	41	7					

Las situaciones más favorables (cuadro 3.2), aquellas en las que la humedad ambiente permanece prácticamente igual a la del muro, alcanzan su máxima frecuencia en los meses estivales alargándose hasta septiembre y octubre, aunque en estos meses la variabilidad interanual es mayor.

■ Cuadro 3.2. Frecuencia de períodos óptimos en los diferentes meses del período de estudio (1992-1997).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1992	2	16	36	68	56	58	91	83	74	74	46	53
1993	1	4	23	44	79	75	91	98	68	37	68	62
1994	24	44	74	61	93	88	65	81	70	89	40	10
1995	6	11	30	33	100	85	90	91	91	78	30	45
1996	53	49	36	36	82	93	89			33	12	33
1997	0	7	0	0	0	8	29					

Lo que hemos denominado situaciones intermedias (cuadro 3.3), es decir aquellas en las que las diferencias entre la humedad ambiente y la del muro no son muy elevadas, se distribuyen de forma irregular en todos los meses, con mínimos en verano y finales de primavera.

■ Cuadro 3.3. Frecuencia de periodos intermedios en los diferentes meses del periodo de estudio (1992-1997).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1992	15	48	39	32	44	38	9	17	26	19	16	37
1993	21	55	37	34	5	23	1	1	18	52	25	28
1994	47	42	22	31	7	12	33	19	30	11	31	34
1995	32	39	47	48	0	15	10	9	8	17	44	41
1996	43	33	57	56	6	7	11	0	0	40	35	65
1997	13	30	1	42	40	51	64					

5. Conclusiones y propuestas

Las conclusiones que presentamos responden al análisis de los datos registrados durante el período comprendido entre 1992 y 1997. Este se ha realizado en los tres ámbitos, cuya interrelación explica las condiciones climáticas que caracterizan la cámara decorada y la roca soporte de las pinturas:

- A. El marco climático regional, que condiciona el ritmo de los principales parámetros climáticos
- B. Las condiciones ambientales de la cámara decorada.
- C. Las características de la roca.

Se observa una dependencia clara del clima regional. Sin embargo, las oscilaciones interanuales y diarias se atenúan considerablemente: en el aire son menores que en el exterior; y en el muro, menores que en el aire de la cueva.

La variable que mejor representa las posibles modificaciones que se producen en el muro como consecuencia de las características climáticas es la diferencia entre los valores medidos en el aire y en la roca.

Las diferencias térmicas son inapreciables y rara vez superan el grado centígrado.

En la humedad las diferencias se mantienen en torno al 5% en más del 50% de los casos y durante los meses estivales supera el 80% de las observaciones. En invierno es cuando esas diferencias son mayores y en un porcentaje bastante alto supera el 10%.

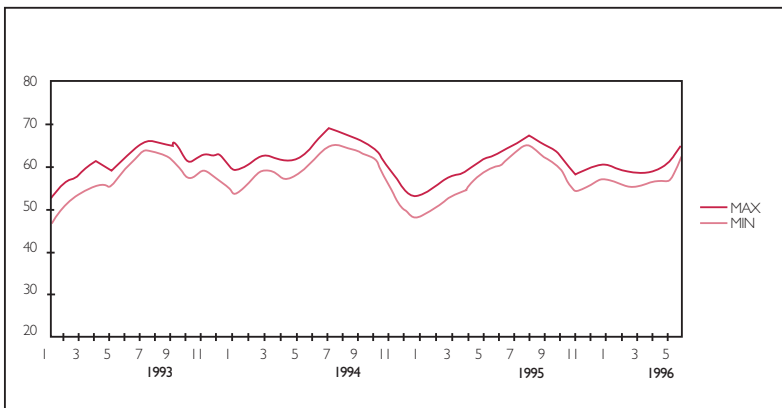
Las diferencias en la humedad de ambas áreas casi siempre se producen por un descenso de la humedad relativa ambiental: el muro permanece más

seco que el aire y se produce un desecamiento del mismo que puede provocar migraciones hacia el exterior de la humedad y desencadenar procesos de salinización.

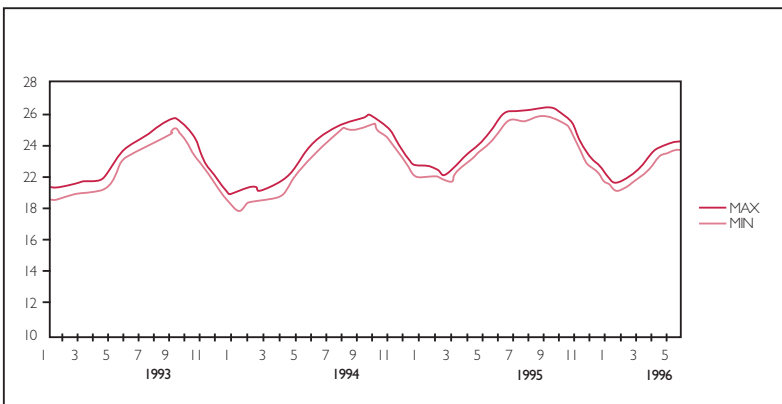
Desde la óptica climática creemos que se han definido claramente los ritmos de variación a que se ven sometidos los diversos ámbitos del entorno arqueológico y la relación estrecha que se establece entre ellos.

En relación a ello, sería suficiente mantener el control de la humedad ambiente de la cueva y del exterior a fin de controlar los períodos críticos en los que, sin duda, se produce un desequilibrio entre el muro y el entorno próximo lo que podría provocar migraciones hacia el exterior de los diferentes compuestos químicos e influir sobre el estado de las pinturas. Corresponde a otros especialistas determinar la intensidad de los procesos de salinización y desecación de la roca y evaluar la incidencia de los ritmos climáticos descritos.

■ Gráfico 4a. Cueva Pintada. Humedad relativa del aire.



■ Gráfico 4b. Cueva Pintada. Temperatura del aire.



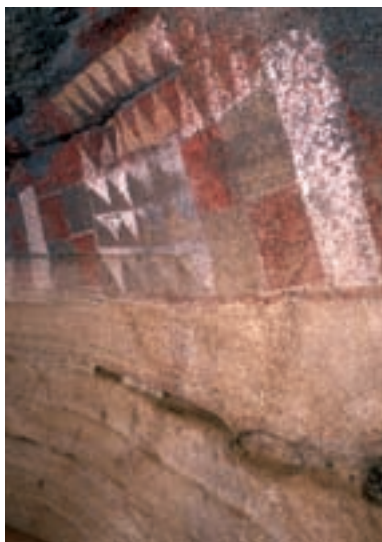
Las alteraciones de los materiales volcánicos encajantes del complejo troglodita de la Cueva Pintada: geología, petrología y geoquímica

*J. C. Cañaveras Jiménez, E. Sanz Rubio,
S. Sánchez Moral y M. Hoyos Gómez*

Objetivos

Para abordar un proyecto tan complejo como el de la conservación del parque arqueológico, y como paso previo a cualquier actuación, es esencial caracterizar los materiales que lo componen así como conocer el contexto geológico y geomorfológico en el que se sitúa. Entre 1997 y 1998, y dentro del marco de un convenio entre el Cabildo de Gran Canaria y el Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), se llevó a cabo el estudio geológico, geomorfológico e hidrogeológico del Complejo Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar bajo la dirección y supervisión de Manuel Hoyos Gómez.

El objetivo final de este estudio era determinar los mecanismos físico-químicos de los procesos de alteración de la roca, así como delimitar los agentes activos causantes de dicha alteración. En conclusión, se pretendía conocer cómo y por qué se alteraba la roca que constituye el soporte de todo el parque arqueológico con el fin de poder precisar las medidas a tomar posteriormente de cara a la minimización de los fenómenos de deterioro. Para cumplir este objetivo fue necesario reconstruir la historia de la alteración de los materiales, desde su formación hasta nuestros días.



■ Foto 1. Detalle del testero de la Cueva Pintada.

Materiales y métodos

La roca encajante del complejo troglodita forma parte de una estructura volcánica más amplia. El estudio fotogeológico previo del área de estudio nos permitió ver que el trabajo de campo no debía limitarse al análisis y toma de muestras de los afloramientos de la roca encajante del complejo troglodita, sino que se debía extender a todos los perfiles de las formaciones superficiales existentes en el interior del parque arqueológico (bancales suprayacentes a la Cueva Pintada), y a otros afloramientos representativos del conjunto volcánico. En consecuencia, se procedió al levantamiento y estudio de los perfiles con afloramiento de roca más representativos del parque arqueológico así como de dos canteras de «picón», una situada en el interior de la villa de Gáldar (cantera de Santiago) y otra en las afueras de la población, en la ladera NO del cono volcánico de Pico de Gáldar (cantera exterior). En ambas canteras los piroclastos aparecen con diferentes grados de alteración, desde poco alterados a niveles de alteración moderada.

60

En el estudio petrográfico se utilizaron técnicas de microscopía óptica de baja resolución (microscopio petrográfico de luz polarizada y lupa binocular) y de microscopía óptica de alta resolución (Microscopio Electrónico de Barrido-MEB). El aparato utilizado fue un PHILIPS XL-20 del Laboratorio de Microscopía Electrónica del MNM-CSIIC. La determinación de la porosidad de los piroclastos se realizó en un porosímetro de mercurio por inmersión, en los laboratorios del Instituto de la Construcción Eduardo Torroja (CSIIC).

Mediante difracción de rayos X (DRX) se analizaron más de 40 muestras de material piroclástico, arcilloso y carbonático, en un Difractómetro de R-X PHILIPS PW-1710 en el Laboratorio de Rayos X del Departamento de Geología del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIIC). Los análisis de geoquímica elemental y trazas fueron realizados mediante espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X PHILIPS 1410/20 en los laboratorios del Departamento de Geología del MNCN-CSIIC. Asimismo, se han realizado análisis geoquímicos semicuantativos (detector microanálisis EDAX Super UTW) en las muestras estudiadas al MEB. El microanalizador es el modelo PHILIPS DX4i.

Resultados

Geología y Geomorfología

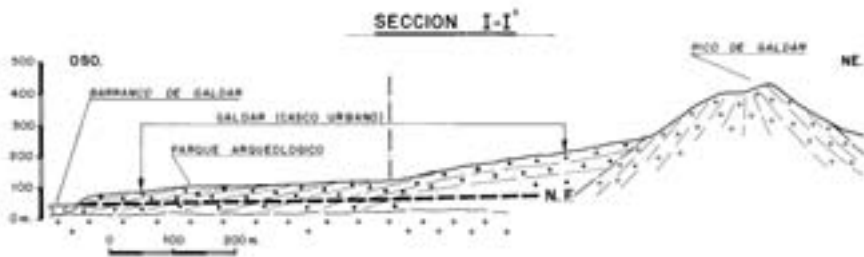
La ciudad de Gáldar está situada sobre un cerro formado por una estructura volcánica de forma abombada y alargada de escasa altura (150-250 m s.n.m., y entre 50-100 m sobre el cauce del barranco de Gáldar). Este cerro está orientado en dirección este-oeste, y corresponde a un apéndice lateral del cono del volcán Pico de Gáldar (434 m s.n.m.) de donde procede, estando adosada a éste por su zona oriental. La zona ocupada por el Parque Arqueológico de Gáldar se encuentra en el interior de la población del mismo nombre, a media ladera del flanco oriental del citado cerro sobre el que se asienta dicha población.

El edificio volcánico de Pico de Gáldar presenta una morfología de cono volcánico bastante erosionado que oculta la disposición exacta del cráter (figura 1). Este volcán es de tipo estromboliano y pertenece al Ciclo Post Roque Nublo o Ciclo III del volcanismo de Gran Canaria, cuya actividad comenzó hace 2.8 m.a. (Balcells y otros, 1990; Perez-Torrado y Mangas, 1990). El cono del edificio, con una pendiente que oscila entre 24° y 32°, está fundamentalmente constituido por material piroclástico eruptivo de proyección aérea, formado por fragmentos de pequeña talla, muy vacuolar, frágiles, de escasa densidad y fácilmente alterable por meteorización (cuando los elementos constitutivos se encuentran soldados se denomina al conjunto «toba volcánica», o simplemente «toba»). Estos materiales se disponen en capas de piroclastos de espesor variable y pendiente suave (0° a 5°) que se apoyan directamente sobre una colada de basaltos nefelínicos que se extiende por el norte hasta el mar donde da lugar al acantilado actual (figuras 1 y 2).

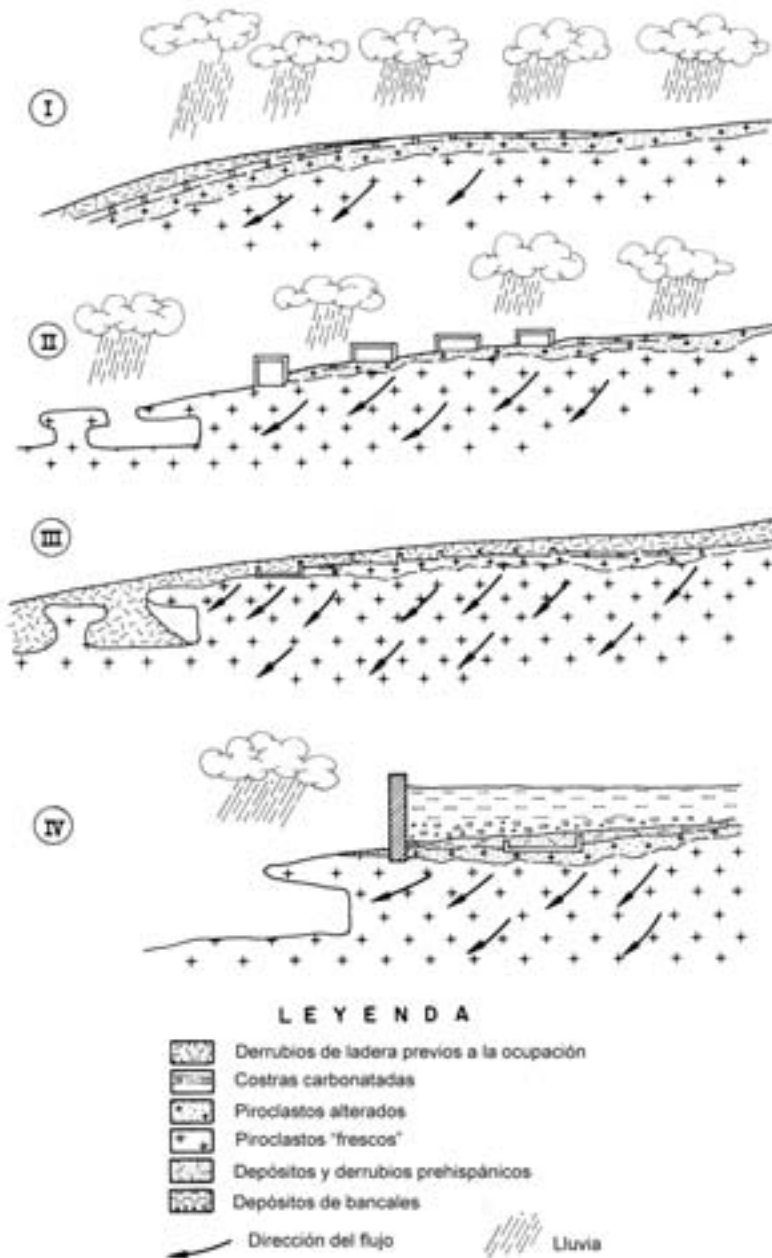
En el ámbito del Parque Arqueológico, como en todo el cerro de Gáldar, las formaciones superficiales son escasas y poco desarrolladas, reduciéndose a acumulaciones de sedimentos procedentes de la erosión de las partes altas de las laderas del cono y del propio cerro de Gáldar, así como al desarrollo de algún suelo y costra carbonatada de origen edáfico. Estos depósitos varían lateralmente de potencia y no están representados de igual modo en toda la superficie del cerro. Su origen es muy anterior a la ocupación por parte de las poblaciones indígenas canarias y fueron necesariamente excavados para la construcción del complejo troglodita (figura 3). Posteriormente



■ Figura 1. Mapa geológico del área de Gáldar.



■ Figura 2. Sección del área del Pico y la ciudad de Gáldar. Orientación del corte en la figura 1. N.F.: nivel freático máximo.



■ Figura 3. Esquema de evolución geomorfológica del complejo troglodita. I. Etapa anterior a la colonización prehispánica. II. Etapa de instalación prehispánica. III. Etapa de abandono, complejo troglodita cubierto por derrubios de ladera. IV. Etapa de instalación de cultivos.

y tras su abandono, la morfología superficial dejada por la ocupación y actividad de los habitantes prehispánicos fue cubierta por derrubios de ladera transportados por las aguas de escorrentía, englobando en su base restos de dicha ocupación humana inmediatamente anterior. Los depósitos más representativos se encuentran en el interior del Parque en la zona sur. Más recientemente la morfología del cerro de Gáldar, en la zona del Parque Arqueológico, sufrió nuevas modificaciones antrópicas, para la instalación de terrazas para el cultivo (figura 3).

En la ladera del cerro se construyeron bancales, que excavaron parte de los depósitos existentes en las zonas superiores y rellenaron las zonas bajas con los mismos depósitos extraídos y otros más groseros (conglomeráticos) aportados del cauce del barranco, y que se extendían como lecho basal de los bancales agrícolas con objeto de que actuaran como nivel de drenaje de los cultivos.

En cuanto a la procedencia de los materiales sedimentarios citados, todos ellos proceden de la alteración del edificio de piroclastos del volcán Pico de Gáldar, excepto los materiales aportados para la construcción de los bancales, que por su naturaleza provienen del lecho de un cauce fluvial, en este caso con toda probabilidad del barranco de Gáldar.

Hidrogeología

La distribución de la red de drenaje de la zona es simple, siendo el barranco de Gáldar el conducto principal de captación y desagüe, al que confluye por el sur el barranco de Anzofé. El barranco de Gáldar erosiona por el sur y oeste el cerro de piroclastos donde se encuentra Gáldar sin que afloren los basaltos infrayacentes, dando un acusado escarpe de unos 30 m, que ha sido modificado y aprovechado posteriormente con fines agrícolas. La alta permeabilidad de las capas de piroclastos confieren una alta transmisibilidad hídrica al conjunto del depósito volcánico que constituye el cerro de Gáldar, por lo que las aguas se infiltran rápidamente hacia el nivel freático situado muy por debajo del pueblo, ya que el cauce del barranco de Gáldar está a una cota situada entre 50 y 100 m por debajo de éste (figuras 1 y 2).

Desde el punto de vista de conservación del complejo troglodita, la acción del agua ha sido muy diferente a lo largo del tiempo, distinguiéndose las siguientes fases (figura 3):

- En la época de ocupación prehispánica, la influencia de las aguas de infiltración en la alteración de la toba debió ser más importante en la parte excavada por los propios aborígenes para la construcción del complejo troglodita. En ella la acción e infiltración del agua de lluvia y de parte de la de escorrentía era directa siendo menos importante en las partes cubiertas por depósitos detríticos arcillosos y/o costras de carbonatos.
- En épocas posteriores, cuando el complejo troglodita estaba cubierto por derrubios de ladera, los aportes hídricos verticales eran más reducidos ya que los derrubios retendrían parte del agua favoreciendo una mayor evapotranspiración. Los posibles aportes laterales de aguas de infiltración y residuales procedentes de pozos negros situados en la parte alta del pueblo, tenderían con preferencia a infiltrarse casi verticalmente hacia el freático. Solo una parte del agua infiltrada procedente de la lluvia caía directamente encima del complejo troglodita y en la parte alta de su entorno próximo se infiltraría hacia la Cueva Pintada, ya que tendería hacia la discontinuidad existente entre la superficie de la roca (paredes y techo) y el aire.
- En tiempos de la construcción de los bancales de cultivo, las condiciones de circulación subterránea superficial cambiaron sensiblemente como consecuencia de la transformación de la morfología del terreno, y sobre todo por los aportes masivos de agua para el riego. Todo ello provocaba un exceso de agua que empapaba las tierras de cultivo y la toba situada debajo. En ese tiempo, en la Cueva Pintada el agua rezumaba por las paredes, ya que parte importante del flujo subterráneo superficial se dirigía preferentemente hacia la superficie de dichas paredes y techo.
- En las etapas de excavaciones arqueológicas, y posteriormente a ellas, hasta la instalación de la cubierta actual, solo la lluvia directa afectó al complejo troglodita, ya que fue aislado de otros posibles aportes de aguas subterráneas superficiales, por lo que el flujo de agua hacia la Cueva Pintada se redujo casi en su totalidad.

Características petrológicas y geoquímicas de la toba del complejo troglodita

El estudio de las propiedades, de la composición mineralógica y de las características de la roca permite determinar cuáles son los procesos de alteración que la han afectado desde su formación, así como definir los agentes y mecanismos de dichos procesos activos en el momento del estudio.

La toba en el complejo troglodita está formada por lechos de piroclastos de una potencia entre 0.10 y 0.40 m correspondientes a diferentes y sucesivas oleadas de emisión (foto 2). La alteración y/o cementación de los piroclastos no es uniforme en todas las capas, por lo que aparecen resaltes y depresiones por erosión diferencial en función de la mayor o menor competencia frente a la erosión. Este mismo fenómeno es también observable, aunque con menor frecuencia, a lo largo de un mismo estrato. En el momento del estudio y por lo tanto antes de la instalación de la actual cubierta, se observaba una intensa meteorización que provocaba el desprendimiento de pequeños fragmentos de la toba dando lugar a la «arenización» de los piroclastos, acumulados en forma de sedimentos por las aguas de escorrentía y el viento en las zonas deprimidas del suelo o al pie de los muros.

66



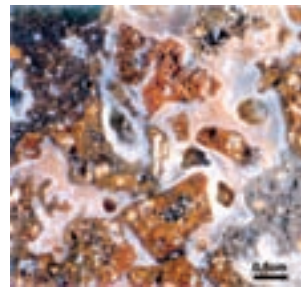
■ Foto 2. Capas de piroclastos (tobas de lapilli) en el complejo troglodita.

Composición mineralógica

Los análisis mineralógicos de las muestras reflejan una gran homogeneidad en la composición mineralógica de cada uno de los grupos estudiados (complejo, canteras y bancales). Las diferencias mineralógicas existentes, tanto entre muestras del mismo grupo como entre las de los diferentes grupos, son debidas fundamentalmente al diferente grado de alteración

que afecta a los materiales (foto 3). Todas las muestras presentan un alto contenido en vidrio volcánico (hasta un 40%) y dentro de las fases minerales cristalinas predomina augita (15-40%), olivino (2-15%), ceolitas –tipo phillipsita– (15-55%), calcita (15-40%) y filosilicatos (5-20%). Estos últimos presentan una amplia variedad composicional, destacando las esmectitas, caolinitas e illitas. Se han detectado, asimismo, indicios de apatito y pequeñas proporciones (2-6%) de clorita, sepiolita, vermiculita, haloisita, rectorita y correnisita.

■ Foto 3. Detalle de toba de lapilli. Vacuolas y piroclastos cementados por ceolitas y carbonatos.



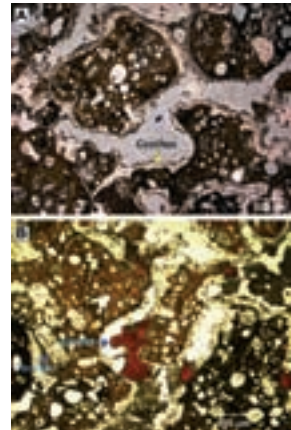
Descripción petrográfica de los materiales estudiados

En general, las muestras se caracterizan por su alta porosidad resultado del proceso de soldadura de los piroclastos. Asimismo, estos presentan una textura vacuolar muy marcada, producida por procesos de desgasificación en la génesis de estos depósitos volcánicos (foto 3). Atendiendo al tamaño predominante de los piroclastos (2-50 mm) y al grado de compactación/soldadura del depósito se trata de una toba de lapilli.

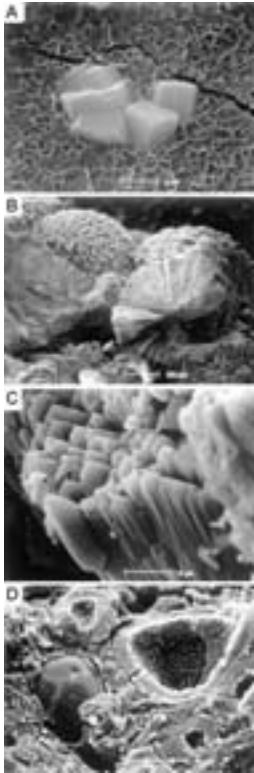
Al microscopio los piroclastos presentan texturas porfídicas que se distinguen por la presencia de grandes cristales de piroxeno-augita y en ocasiones olivinos (fenocristales 10-40%) flotando en una matriz vítrea y/o microcristalina con plagioclasas y feldespatoideos (p. ej.: nefelina) (foto 4). Los fenocristales y la masa vítrea sufren frecuentes procesos de alteración, corrosión y desvitrificación, que a menudo son especialmente intensos en las muestras del complejo troglodita, adoptándose numerosas morfologías ameboideas y bordes cristalinos curvos. La alteración de los fenocristales se centra en bordes cristalinos y a favor de los planos de exfoliación. En el caso de los olivinos se observa localmente la formación de iddingsita en sus bordes. Asimismo en las

vacuolas también se reconocen bordes o finas capas concéntricas de alteración-hidratación del vidrio volcánico que a veces afectan a todo el piroclasto, sobre las que, en muchos casos, se apoyan empalizadas de ceolitas y/o carbonatos (foto 4). Las arcillas, de gran variabilidad composicional, aparecen como matriz relictas intergranular (inter-piroclasto) en relación con una génesis producida a partir de la alteración de los diferentes componentes de la toba piroclástica (foto 5A). Junto con los filosilicatos aparecen óxidos/hidróxidos de Fe y Ti (a veces en forma de masas botroidales) y en menor medida cristales de carbonato. Las ceolitas, que cementan tanto a los piroclastos como a sus vacuolas, se presentan principalmente en forma agregados radiales y empalizadas de cristales prismáticos (foto 4A y 4B).

- Foto 4. Microfotografías de piroclastos del complejo troglodita.
 - A) Detalle de piroclastos vacuolares cementados por empalizadas de ceolitas.
 - B) Detalle de empalizada de calcita (teñida de rojo) cementando piroclastos. Ambas microfotografías están tomadas en nicoles paralelos.



Por otro lado, los carbonatos, tanto calcita como dolomita, se presentan: (1) tapizando y uniendo fragmentos vítreos y rellenando vesículas junto con ceolitas (foto 4B y 5C); (2) reemplazando ceolitas y (3) asociados a sus productos de alteración. En los dos primeros casos los cristales de carbonato consisten en agregados botroidales compuestos por haces de cristales fibrosos, o más raramente, en empalizadas de cristales subhedrales. Son frecuentes las alternancias composicionales dolomita-calcita en estos agregados cristalinos. Con respecto al último caso, los carbonatos, exclusivamente calcínicos, se asocian a fenómenos de colonización-alteración biológica que afecta a los bordes de las ceolitas; producto de esta actividad orgánica es la bioinducción de pequeños cristales anhedrales de calcita. Esta última tipología es mucho más abundante en las muestras correspondientes al complejo troglodita, con respecto a las de las canteras.



■ Foto 5. Imágenes al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) de materiales del complejo troglodita.

- A) Detalle de la alteración del vidrio volcánico a minerales filossilicatados (esmectitas) en agregados vermiformes con crecimiento de ceolitas con hábito pseudocúbico (probablemente chabacita).
- B) Empalizadas radiales de ceolitas (phillipsita) compuestas por cristales prismáticos con terminaciones piramidales.
- C) Detalle de empalizada de cristales de dolomita.
- D) Detalle de la alteración de vidrio volcánico en vesículas.

Consideraciones relacionadas con el estado de alteración

En base a criterios petrográfico-mineralógicos, se ha establecido el orden de susceptibilidad mineral a la alteración química, de la siguiente forma:

Vidrio > Olivino > Plagioclasas > Piroxenos > Ceolitas > Fe-Ti Óxidos

En el caso del vidrio, su alteración comienza en las primeras fases de forma coetánea a la formación de la toba, y continúa de forma preferencial durante la fase de exposición subaérea. Dicha alteración consiste en la formación de bordes o

finas capas concéntricas alrededor de los fragmentos vítreos (foto 5D), que en ocasiones se observan ya disgregadas pasando a formar parte de la matriz, mediante su transformación a minerales arcillosos como illita y esmectita; no obstante, su alteración se ve parcialmente inhibida por los «tapices» ceolíticos y carbonáticos.

En cuanto a la alteración de los fenocristales, los olivinos se encuentran en la mayor parte de los casos fuertemente alterados, con aparición de bordes iddingsíticos y golfos de corrosión; los piroxenos (augitas) presentan asimismo golfos de corrosión y bordes de alteración compuestos por Óxidos Fe-Ti; la alteración de las plagioclasas incluidas en la matriz, es difícil de diferenciar, pero en algunos casos se han observado pequeñas acumulaciones de esmectitas y caolinitas relacionadas con procesos de hidrólisis; las ceolitas, en su mayor parte poco alteradas, muestran huellas de disolución y remplazamiento por carbonatos cálcicos (calcita).

Debido a estos fenómenos de alteración y atendiendo a la composición mineral media de cada grupo de muestras, se produce un cambio significativo en las proporciones de las diferentes fases minerales mayoritarias que componen la toba volcánica en cada caso. Así, se observa como en conjunto las muestras del complejo troglodita, y de forma más acusada en las de los bancales, debido a su mayor grado de alteración, presentan proporciones menores de olivino, augita y ceolitas que las de las canteras, y en sentido contrario un mayor porcentaje de calcita, en relación con el mayor desarrollo de procesos edáficos de carbonatación.

En resumen, los piroclastos del complejo troglodita presentan características petrológicas y mineralógicas que indican en todos los casos un mayor grado de alteración que los piroclastos presentes en las canteras.

Geoquímica

El análisis de los datos geoquímicos obtenidos denota una estrecha correspondencia entre las composiciones modal y normativa de los materiales estudiados. En conjunto, los materiales estudiados son tobas de lapilli de carácter básico a ultrabásico, subsaturadas en sílice, ricas en olivino y piroxeno, de naturaleza predominantemente tefritico-fonolítica. Desde el punto de vista de la conservación, son materiales con una alta susceptibilidad a la alteración cuando se encuentran expuestos a condiciones meteóricas.

Todos los grupos analizados (complejo troglodita, canteras y bancales) presentan una relativa homogeneidad en sus contenidos elementales, con valores de SiO_2 que oscilan entre el 34 y 43%, Al_2O_3 entre 6 y 9.5%, MgO entre 6 y 13%, y CaO entre 7 y 14%, como elementos mayoritarios, destacando también los altos contenidos en FeO y Fe_2O_3 . Las diferencias observadas, en su mayor parte están condicionadas por los diferentes grados de alteración de las tobas, si bien se puede destacar que en cada grupo existen muestras que presentan composiciones anómalas respecto a dichos contenidos medios. Esto es debido a que algunas muestras corresponden a zonas con abundantes procesos de carbonatación, que se reflejan en elevados contenidos en CaO y pérdida por calcinación, y concentraciones muy bajas en SiO_2 ; asimismo algunas muestras de los bancales están constituidas fundamentalmente por filosilicatos, por lo que sus contenidos en SiO_2 y Al_2O_3 se ven considerablemente incrementados.

Consideraciones relacionadas con el estado de alteración

El mecanismo de alteración predominante es la meteorización química, como consecuencia de la interacción de aguas de infiltración (natural y procedente de actividades antrópicas) con las tobas volcánicas. La intensidad de estos procesos depende de forma directa de la accesibilidad del agua al interior de la roca, en función principalmente de su porosidad efectiva. En este sentido, los valores de la porosidad obtenidos en muestras de toba volcánica del complejo troglodita son muy altos (20-35%) y, por lo tanto, tras períodos de lluvias, la tasa de interacción entre las aguas meteóricas y la roca es muy elevada favoreciendo el desarrollo de los procesos de alteración química.

La meteorización química provoca el cambio de la estructura cristalina de los minerales atacados, con liberación de especies iónicas solubles y su reorganización junto con el residuo insoluble en nuevas estructuras minerales, entre las que destacan los minerales de la arcilla. A medida que avanza el estado de alteración de la roca, disminuye su cohesión y por tanto su resistencia a la erosión.

Desde el punto de vista geoquímico, una descripción esquemática de los procesos de alteración sufridos por la roca desde su formación hasta la actualidad sería la siguiente:

- Tras la fase inicial de cementación de la toba, inmediatamente después de su formación, el ataque químico comenzó afectando preferencialmente al vidrio volcánico que constituye la matriz mediante un mecanismo de hidrólisis (por captación de agua); como resultado, se produjo la liberación de los componentes principales del vidrio (Na, K, Al, Si; en orden de movilización decreciente) en zonas donde no está protegido por el tapiz ceolítico. Asimismo, la fase cristalina con mayor grado de susceptibilidad a la alteración es el olivino (Mg, Fe_2SiO_4); el ataque químico inicial de esta fase mineral provoca la liberación de magnesio y hierro a la solución hipergénica (agua meteórica).
- El magnesio liberado en estas primeras fases de alteración, junto con el Si y Al liberado por la alteración del vidrio, se incorpora a nuevas estructuras minerales para formar arcillas autigénicas tipo esmectita, vermiculita, illita, sepiolita; posteriormente estas arcillas, y en especial las esmectitas, pueden transformarse a su vez en caolinita, cuando las condiciones de drenaje y acidez se ven incrementadas.

- Por su parte, el Fe procedente del olivino (y de los piroxenos en fases más avanzadas de la alteración) se incorpora a la solución meteórica oxidante, y se ve afectado por un proceso de oxidación pasando a estado férrico (Fe^{3+}); el hierro en estado férrico, presenta un carácter marcadamente insoluble y precipita en forma de óxidos-hidróxidos con elevada estabilidad frente a la alteración, rellenando parcialmente los poros de la toba junto con las arcillas como se ha podido comprobar mediante el estudio petrográfico. De esta forma, y desde el punto de vista geoquímico, el Fe es un buen indicador del estado de alteración de la roca.

El Na procedente de la alteración del vidrio y de las plagioclasas, es también un buen indicador debido a su gran solubilidad y a que su incorporación a minerales autigénicos es muy limitada en este caso; de esta forma, el contenido en Na disminuye con el progreso de la alteración de la roca. Sin embargo el resto de los elementos mayores, se incorporan en general a nuevas estructuras minerales (Mg y K en arcillas, Ca y Mg en carbonatos cálcico-magnésicos), permaneciendo en la roca, hecho que dificulta su utilización individual como indicadores de la intensidad de la alteración.

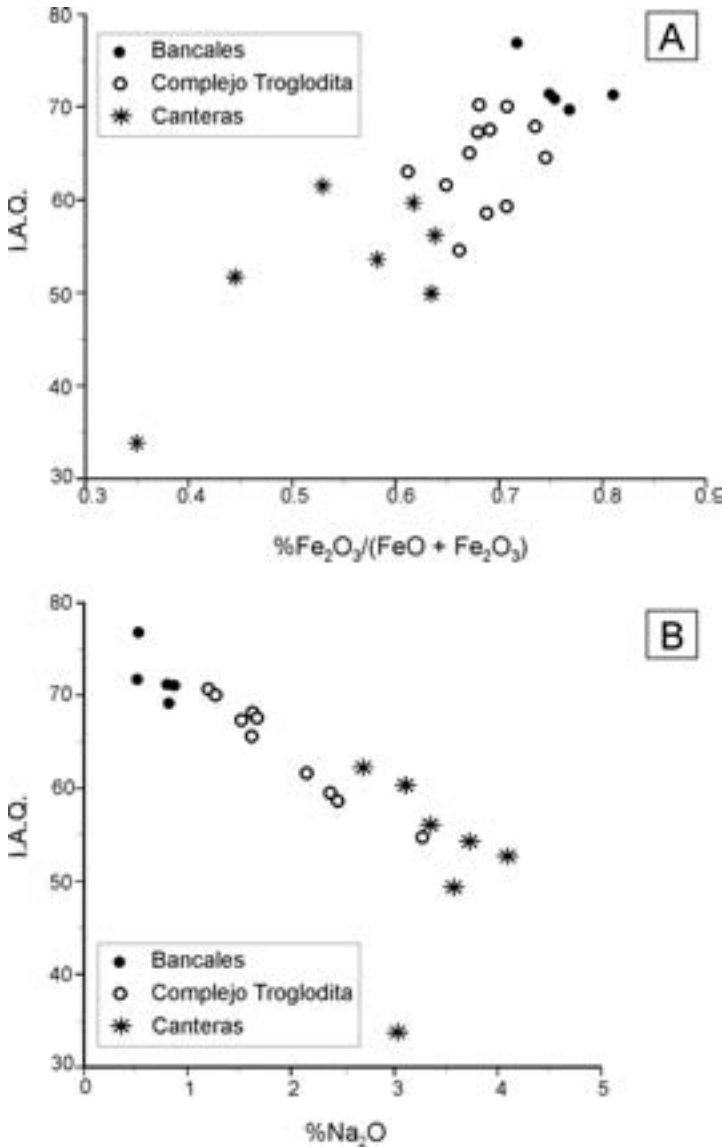
Basándonos en todo lo anterior, la cuantificación del estado de alteración en cada muestra se dedujo mediante el cálculo del Índice de Alteración Química (IAQ) propuesto por Nesbitt y Young (1982, 1989). Dicho índice se basa en la variación conjunta de las proporciones de los elementos mayores que entran a formar parte de la composición química de las rocas volcánicas, en función de la intensidad de los procesos de alteración que los afectan:

$$\text{IAQ: } 100 \times \{ \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \}$$

Según este índice, valores del IAQ menores de 50 denotan una alteración incipiente, entre 50 y 65, moderada, entre 65 y 80 moderada-alta y los mayores de 80 un estado de alteración avanzada.

Los valores obtenidos para todas las muestras analizadas (figura 4) fueron coherentes con las conclusiones obtenidas mediante las observaciones de campo y los análisis petrográfico-mineralógicos. Así, las muestras de toba volcánica tomadas en las canteras, presentaban en conjunto un estado de alteración incipiente a moderada; las muestras del complejo troglodita, una tasa de alteración moderada a moderada-alta; y las muestras de toba volcá-

nica de los bancales, un estado general de alteración moderado-alto que en algunos casos está muy próximo al campo de la alteración avanzada.



■ Figura 4. Representación Índice de Alteración Química (IAQ) con respecto al: A) Fe₂O₃ y B) Na₂O.

La validez de los resultados obtenidos, se refleja en la buena correlación existente entre los valores del IAQ y el estado de oxidación del Fe en las diferentes muestras. En la figura 4A se observa como a medida que aumenta la proporción de hierro en estado férrico (Fe_2O_3) el IAQ experimenta un incremento directamente proporcional, desde las muestras de canteras hasta las de los bancales, pasando por las correspondientes al propio complejo troglodita. Un efecto similar pero contrario se produce en el caso del Na cuyos contenidos disminuyen considerablemente a medida que progresa la intensidad de los procesos de alteración; esta pérdida de Na debido a su alta movilidad en soluciones diluidas coincide con la formación de eflorescencias salinas carbonatado y sulfatado sódicas, en muchos de los niveles de canteras estudiados y en el propio complejo troglodita.

Cronología de las grandes fases de alteración de la toba

Una vez conocida la situación geomorfológico e hidrológica del Parque Arqueológico y realizados todos los estudios petrológicos y geoquímicos, se pudo establecer la serie cronológica de los procesos de alteración que han afectado a los materiales de la toba del complejo troglodita. Esta reconstrucción nos permite entender el grado de influencia de la naturaleza de los materiales soporte en el estado de conservación del Parque Arqueológico, los procesos relacionados con su posición geomorfológica e hidrológica, así como la influencia de las diferentes actividades antrópicas llevadas a cabo en la zona a lo largo de su historia.

74

Primera fase

En un estadio temprano, coetáneo con la erupción del Pico de Gáldar o inmediatamente después (finales del Pleistoceno medio), los diferentes niveles de piroclastos acumulados sufrieron una serie de procesos de alteración del vidrio composicional debidos a la influencia de la emanación de gases y vapor de agua de la propia erupción, así como a la acción de las primeras aguas meteóricas:

- **Fracturación** (diaclasado): producido por enfriamiento de la toba tras la emisión del material volcánico original. Debido a la poca competencia de este tipo de rocas piroclásticas, la aparición de grietas presenta un desarrollo de moderado a escaso. Sin embargo, cabe destacar su importancia como vía de penetración de los agentes atmosféricos en la toba.

- **Hidratación del vidrio volcánico:** la interacción de las aguas volcánicas y meteóricas con los fragmentos vítreos, produce su hidratación mediante la difusión de agua dentro del vidrio rico en sílice y álcalis, seguida de un proceso de hidroxilación. Por medio de esta reacción, se produce la alteración de los bordes de dichos fragmentos, y se genera una solución reactiva de elevada alcalinidad, adecuada para la formación de ceolitas y carbonatos.
- **Cementación de los piroclastos:** la consecuente precipitación de estas fases minerales, se produce en el interior de las vacuolas y en los espacios intergranulares, recubriendo y uniendo los fragmentos piroclásticos.

La disposición y desarrollo de la hidratación-cementación no es uniforme en el conjunto del depósito, y ni siquiera afecta de forma totalmente homogénea a una misma capa de piroclastos. Así, las zonas donde el proceso de cementación es más homogéneo, quedan más protegidas frente a posteriores procesos de alteración, y en muchas ocasiones generan resaltes en áreas de escarpes donde aflora la toba, debido a una mayor cohesión y por tanto mayor resistencia a la erosión. Acompañando a estos procesos y condicionada por los mismos factores se produce a su vez la desvitrificación inicial de los piroclastos de los niveles o capas más superficiales, que también presenta una distribución irregular. En los perfiles de las canteras se ha observado que en profundidad los piroclastos aparecen prácticamente sueltos con escasas ceolitas y carbonatos, mientras que en niveles más superficiales la alteración de los piroclastos y los productos secundarios de precipitación o de neoformación son más abundantes.

Segunda fase

En esta fase, la más amplia temporalmente (Pleistoceno superior y gran parte del Holoceno), se suceden los procesos de alteración más significativos a los que estuvo sometida la toba, desde su génesis hasta la época de los asentamientos prehispánicos.

Durante esta fase, la toba ya consolidada se ve expuesta a las condiciones subaéreas. Los materiales volcánicos se encuentran sometidos a procesos de meteorización, erosión y edafización. La naturaleza y efectividad de dichos procesos dependería no sólo del grado de cementación-alteración inicial, sino también de las condiciones climáticas y de las características geomorfológicas

del terreno en cada punto. En este sentido, los procesos de edafización con formación de costras carbonáticas (calcíticas), se dan preferentemente en zonas de escasa pendiente, donde la posibilidad de acumulación de agua es mayor, y donde los procesos de alteración y de ascenso capilar del agua por evaporación se ven favorecidos.

Tanto los materiales superficiales del cono volcánico del Pico de Gáldar, como los de la estructura de Gáldar se vieron sometidos a estos procesos de meteorización, principalmente a la acción del agua de infiltración y de escorrentía, ambas relacionadas con la pluviosidad. La acción de las aguas de infiltración da lugar a un aumento de la hidratación de los vidrios volcánicos de los piroclastos y combinada con el CO_2 del aire produce nuevos precipitados de carbonatos. Las aguas de escorrentía producen erosión en las zonas altas y depósitos de materiales de alteración en las zonas más deprimidas. En función de las condiciones climáticas los procesos de edafización dan lugar a la formación de al menos dos fases de costras calcáreas que incorporarían por infiltración aguas carbonatadas a los niveles de piroclastos infrayacentes, contribuyendo a la incorporación de carbonatos en estos.

Tercera fase

La construcción del complejo troglodita implicó la retirada de los materiales detríticos de cobertera y la exposición directa de la toba a los procesos de meteorización citados. En estas condiciones los procesos físico-químicos señalados en el apartado anterior, acentuaron la desvitrificación de los piroclastos y la generación de arcillas de neoformación. La erosión por aguas de escorrentía no debió ser importante por estar controlada por la estructura del complejo troglodita, pero la acción de la lluvia y del viento junto a los fenómenos cíclicos de humectación-deseccación debieron actuar sobre la superficie de las paredes expuestas a la intemperie.

Cuarta fase

Corresponde a la fase de abandono, desmantelamiento y enterramiento, en la que se distinguen dos etapas diferentes. En una primera etapa y desde un punto de vista de alteración geológica de los materiales, una vez enterrados los restos del complejo troglodita, los procesos de alteración disminuyeron con relación a la fase anterior, siendo similares a los de la segunda fase, con

la diferencia de que la duración de esta cuarta fase se extendió únicamente durante medio milenio. Las aguas de infiltración aportarían sobre todo arcillas al relleno de los huecos de los piroclastos.

En una segunda etapa, las obras realizadas para el acondicionamiento agrícola y la instalación de los cultivos, cambiaron sensiblemente la morfología del terreno con la construcción de bancales, y sobre todo provocaron grandes aportes de agua como consecuencia de riegos periódicos. Los procesos geoquímicos anteriores se reactivan, los aportes de arcillas infiltrados en la roca aumentan y aparecen sales que darán lugar a eflorescencias procedentes de abonos.

Quinta fase

Corresponde a la etapa reciente y corta, desde la excavación hasta el momento del estudio, en la que la toba vuelve a encontrarse directamente afectada por la meteorización y por tanto a los procesos ya señalados.

Las diferencias de alteración encontradas entre los componentes de la toba del complejo troglodita y los materiales alterados de las canteras, corresponden a los procesos de alteración sufridos por la toba del complejo troglodita durante las fases tercera y cuarta, ya que la quinta es similar para todos ellos.

Conclusiones

1. La toba del complejo troglodita es un material volcánico formado por piroclastos más o menos cementados y de composición fundamentalmente vítrea, lo que le confiere una alta sensibilidad a los procesos de alteración, naturales o inducidos por la actividad humana, en los que intervenga el agua como agente principal. Asimismo, la acción erosiva del viento puede ayudar al desprendimiento de partículas en las zonas más arenizadas.
2. En las condiciones actuales, la toba del complejo troglodita se encuentra aislada de posibles aportes de aguas subterráneas, ya que el nivel freático se encuentra muy por debajo del yacimiento. En el momento del estudio sólo recibía aportes hídricos por infiltración directa del agua de lluvia.

3. La toba del complejo troglodita ha sufrido al menos cinco fases de alteración diferentes, por lo que sus propiedades físico-químicas iniciales han cambiado sustancialmente con el tiempo. Los piroclastos se encuentran en avanzado estado de desvitrificación, transformados en arcillas (illitas, esmectitas y en menor proporción caolinita) y óxidos de hierro, presentando cantidades variables de carbonatos, sobre todo calcita, y proporciones también variables de ceolitas. Estos cambios han dado lugar a una pérdida de la cohesión inicial que, por otra parte, nunca fue demasiado alta.
4. Los cambios físico-químicos experimentados por los piroclastos de la toba en el complejo troglodita son superiores a los sufridos por los piroclastos de la misma toba en otras zonas en las que han estado sometidos a procesos naturales (canteras). Estos cambios no han sido homogéneos, ni han afectado de igual forma y con la misma intensidad a todas las partes de la toba, por lo que ésta presenta un carácter marcadamente anisótropo, que debe tenerse en cuenta para cualquier intervención de restauración que se realice.
5. Un alto porcentaje de los componentes de alteración de los piroclastos son arcillas esmectíticas, por lo que en cualquier tratamiento debe tenerse en cuenta su carácter expansivo frente al agua, así como los fenómenos de retracción bajo condiciones de extrema sequedad.
6. La alta porosidad de la toba con los piroclastos alterados (20-35 %), no sólo es intergranular sino que también presenta carácter intragranular (vacuolar). La porosidad intergranular ha disminuido localmente por los rellenos carbonáticos, mientras la intragranular ha aumentado por la desvitrificación. Todo ello indica que los tratamientos de consolidación de la roca no pueden tener un carácter general y en caso de ser aconsejables, deberían reducirse a zonas muy localizadas.
7. Dada la alta susceptibilidad a la alteración de gran parte de las fases minerales que componen la toba (vidirio, olivino, piroxenos) por interacción con soluciones de procedencia externa, los tratamientos de consolidación que puedan realizarse deberán tener en cuenta esta característica. No serían desfavorables tratamientos que dieran lugar a carbonataciones moderadas cálcico-magnésicas, que reforzarían el esqueleto carbonatado existente.
8. Puesto que el agua juega un papel esencial en los procesos de alteración de la toba, la circulación de agua a través de la roca deberá mantenerse lo más baja posible. Asimismo, la humedad ambiental debería

mantenerse lo más estable posible con objeto de disminuir los ciclos de expansión-retracción de los materiales arcillosos. Y puesto que la humedad de la roca depende también de la diferencia de temperatura entre roca y aire, esta diferencia debería tender a ser nula y constante, para lo cual, una disminución de la tasa de insolación recibida por el conjunto arqueológico sería recomendable. De esta forma se evitarán procesos de condensación y flujos de agua capilares.

En definitiva, los resultados obtenidos en este estudio indican que las actuaciones a realizar para la conservación de la roca que constituye el Parque Arqueológico deben ser de carácter preventivo y encaminarse a una reducción de la acción directa del agua de lluvia, viento e insolación.

Procesos de alteración de la toba y geoarqueología de los materiales de relleno y cobertera de la zona arqueológica de la Cueva Pintada

*J. Lario Gómez, J. C. Cañaveras Jiménez, S. Sánchez Moral,
J. Onrubia Pintado y J. I. Sáenz Sagasti*

Objetivos

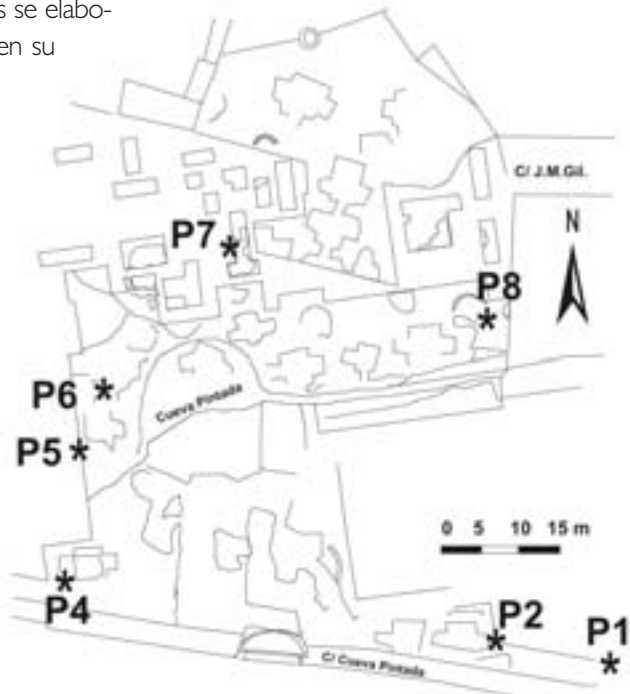
El estudio de los materiales de relleno y cobertera del Parque Arqueológico de la Cueva Pintada (fases de alteración tercera y cuarta del capítulo precedente) se planteó con el fin de efectuar una revisión de todos los perfiles arqueológicos existentes, antes de llevar a cabo las tareas de limpieza y liberación de los espacios necesarios para ejecutar el proyecto arquitectónico de conservación. Los objetivos concretos de este estudio finalizado en 2002 eran los siguientes:

- Confirmar y completar, mediante los correspondientes análisis sedimentológicos, algunas de las observaciones e identificaciones estratigráficas realizadas en el curso de las tareas de excavación (Onrubia Pintado y otros, 2004).
- Examinar y caracterizar los suelos de ocupación (pavimentos, zonas de circulación...) de cada una de las fases prehispánicas identificadas, tanto para obtener datos sobre los procesos de trabajo ligados a su acondicionamiento y mantenimiento, como para disponer de elementos suficientes de cara a poder realizar atribuciones fiables a uno u otro periodo en ausencia de otros indicadores cronológicos (superposiciones, dataciones...).
- Reconstruir la génesis de los depósitos correspondientes al abandono y desmantelamiento de las casas y estructuras arqueológicas, con el fin de determinar la secuencia de enterramiento, la procedencia de los depósitos post-deposicionales y el eventual papel en ellos desempeñado por actividades de origen antrópico.

Metodología

Se procedió a la selección y análisis de campo de 7 perfiles que contenían sedimentos y materiales representativos del intervalo de tiempo desarrollado entre las diferentes fases principales de ocupación del poblado por habitantes prehispánicos (figura 1). De estos perfiles se tomaron un total de 103 muestras divididas en dos series en función de las determinaciones analíticas a realizar en cada una de ellas. Serie GP: 41 muestras repartidas en 7 perfiles arqueológicos, representativas de los diferentes niveles identificados en las observaciones de campo. Tomadas en cantidad suficiente para su análisis granulométrico mediante cribado en seco de la muestra, análisis mineralógico total y detallado de minerales de la arcilla. Serie SM: 62 muestras de los mismos perfiles tomadas con menor espaciado para una mayor resolución en cada uno de los niveles anteriores. Sobre estas muestras se ha realizado la determinación de la susceptibilidad magnética de los sedimentos. El análisis granulométrico ha sido realizado mediante contador láser para obtener mayor definición en cada fracción de tamaño de partícula y poder correlacionar los cambios en ambos parámetros en la fracción más fina del sedimento. Para cada uno de los perfiles se elaboraron fichas que incluyen su

ubicación, descripción, columna estratigráfica, localización de las muestras, distribución granulométrica, susceptibilidad magnética y mineralogía. Asimismo se ofrecen los principales parámetros granulométricos de la fracción $<300\ \mu\text{m}$ considerados para la interpretación sedimentológica de los materiales de cada perfil.



■ Figura 1. Localización de los perfiles de campo estudiados.

Técnicas mineralógicas

En total se han analizado por difracción de rayos X (DRX) las 103 muestras de material detrítico pertenecientes a las dos series. Cada una de las muestras ha sido triturada y desecada a 60°C durante 24 horas antes de llevar a cabo cada análisis mineralógico, los cuales han sido realizados en un Difractómetro de R-X PHILIPS PW-1710. Para todas las muestras se han realizado difractogramas de muestra total en polvo, rodados de 2° a 70°. Posteriormente, en las muestras de la Serie GP se han realizado difractogramas de agregado orientado de la fracción arcillosa (A.O.), A.O. tratado solvatado con etilén glicol, A.O. calentado a 110°C y A.O. calentado a 550°C para la fracción menor de 64µm.

Susceptibilidad magnética

En cada perfil se han efectuado medidas en el propio yacimiento arqueológico y posteriormente en el laboratorio. Para las determinaciones en campo se utilizó un equipo portátil de la firma Bartington modelo MS2, provisto de sensor MS2F para la medida directa sobre los perfiles, y otro sensor MS2B para las muestras tomadas directamente del perfil. En total se tomaron 62 muestras en contenedores cilíndricos de policarbonato de 22mm de diámetro por 22mm de longitud para su análisis en el laboratorio. Debido a la pobre granoselección del sedimento, se realizaron determinaciones de susceptibilidad de la muestra total y, a continuación, se llevó a cabo un tamizado de cada muestra para obtener la fracción fina menor de 0.3mm (300µm); de esta forma se evita la fuerte influencia de pequeños fragmentos de toba volcánica que poseen una fuerte señal debido a su elevado contenido en minerales ferromagnesianos. Las medidas verificadas en el laboratorio se realizaron con un equipo Kappabridge KLY-2, tanto las de muestra total (KLY2) como las de la fracción fina (KLY2 f.f.). En los perfiles GP1 y GP5 incluimos las medidas efectuadas directamente sobre el perfil arqueológico con la sonda MS2F. En general la concordancia de las distintas medidas es buena, y únicamente en los perfiles GP2 y GP4 parece observarse una mejora sobre los resultados de la fracción fina. En los datos del equipo de medida directa MS2F (GP1 y GP5) es evidente una atenuación de las variaciones de señal a lo largo del perfil, muy probablemente debido al efecto promediador de esta sonda.

Análisis Granulométrico

Se han utilizado dos tipos de metodología analítica de las dos series de muestras tomadas en los diferentes perfiles. Sobre las muestras de la Serie GP correspondientes a las diferentes litologías encontradas en cada perfil, se ha realizado una clasificación granulométrica a partir del cribado en seco de la muestra. Además, se ha realizado un muestreo de mayor detalle (Serie SM) para elaborar perfiles de mayor resolución sobre la mineralogía, la susceptibilidad magnética y la granulometría de cada muestra. De estas últimas muestras se ha realizado un cribado a 300 μm con el fin de realizar su análisis granulométrico de detalle de la fracción menor de ese tamaño. El análisis ha sido realizado con un contador láser ANALYSSETE 22 de la casa Fritsch. A partir del análisis realizado, se han calculado diferentes parámetros granulométricos de cada muestra. La escala granulométrica utilizada en las descripciones de cada nivel ha sido la siguiente: arcilla: fracción $<4 \mu\text{m}$; limos muy finos y finos: fracción entre 4-16 μm ; limos medios y gruesos: fracción entre 16-63 μm ; arenas muy finas y finas: fracción entre 63-250 μm ; arenas grano medio y grueso: fracción entre 250 μm -2 mm.; gravas: fracción $> 2 \text{ mm}$.

Resultados de los estudios realizados en los perfiles

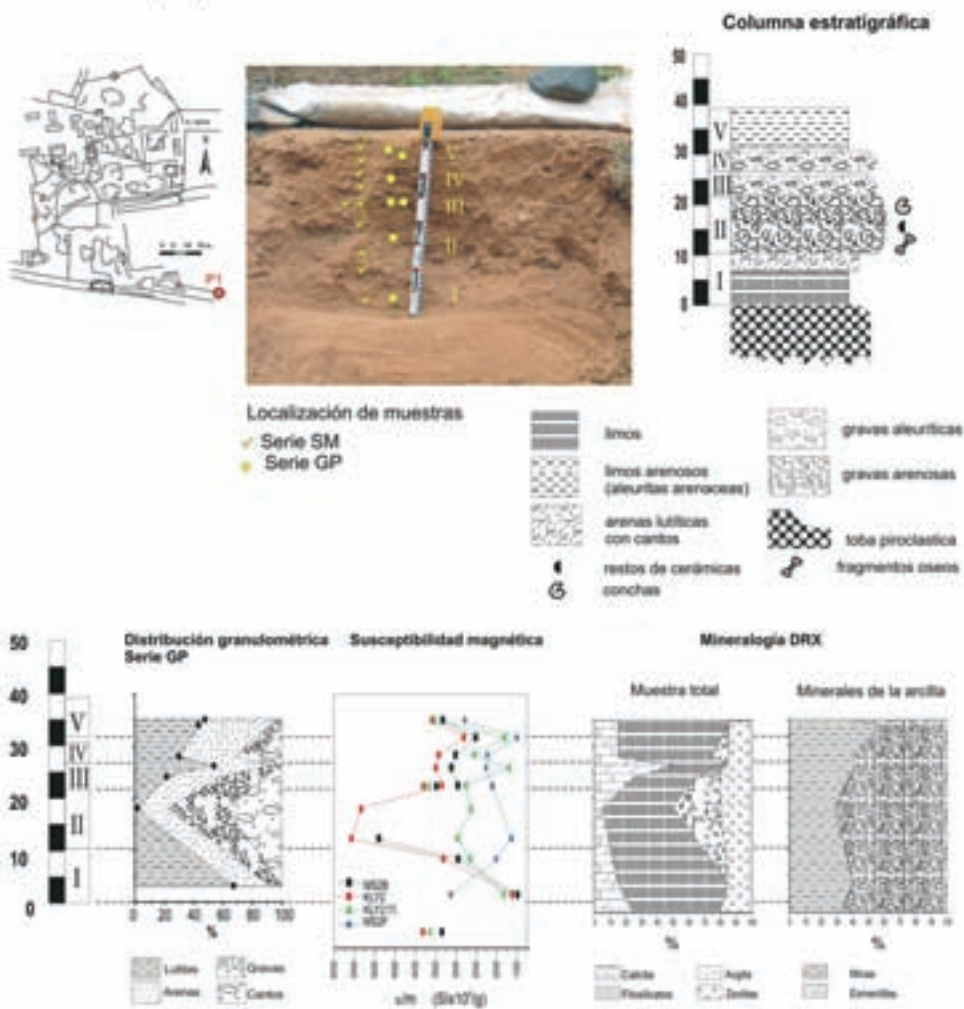
Una síntesis de las columnas estratigráficas levantadas de todos los perfiles, así como de los resultados analíticos más representativos, se presentan en las figuras de las fichas de cada perfil (figuras 2 a 8). Las características más relevantes de cada uno de ellos se presentan a continuación.

Perfil-I (PI)

Compuesto por cinco unidades. Los niveles I y V presentan un importante componente de finos (limos y arcillas), fracción que también aparece como matriz principal de los niveles mayoritariamente compuestos de gravas.

El estudio de la fracción fina ($<300 \mu\text{m}$) muestra que la mayor parte de esta fracción (50-70%) está compuesta por limos. Los valores de los parámetros granulométricos indican una mala a muy mala selección del sedimento (valores >1), con valores de asimetría o skewness positiva, predominantemente entre fino y muy fino. Podemos interpretar que los materiales se

PERFIL-1 (P1)



■ Figura 2. Ficha Perfil I con las características y resultados analíticos más relevantes.

corresponden con sedimentos de ladera con mala selección, sin procesos de transporte importantes ni lavado de los materiales. El material fino proviene de la alteración del material volcánico grosero (cantos y bloques) y, en el caso de los niveles I y V, predominantemente limosos, deben de proceder de derrubios situados topográficamente por encima de estos depósitos, aunque sin que hayan sufrido procesos importantes de transporte.

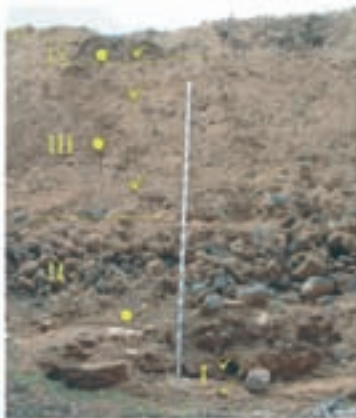
Los niveles II, III y IV presentan una mayor granulometría como corresponde a una fase de dismantelamiento del poblado, apareciendo augita en su composición mineralógica en proporciones significativas, indicando su procedencia de materiales colindantes. La distribución granulométrica de los materiales tiene una clara influencia en los resultados de las medidas de susceptibilidad magnética. Las medidas realizadas sobre la fracción total (sensores MS2B y KLY2) muestran un aumento importante de la susceptibilidad magnética asociada a los materiales de granulometría gruesa (cantos y bloques del nivel II), mientras que cuando se realizan las medidas sobre la fracción fina (sensor KLY2ff), los valores son menores y sin grandes variaciones, existiendo una correlación entre el incremento de los materiales arcillosos observados entre los niveles III y IV y los valores bajos de susceptibilidad en el mismo punto.

Perfil-2 (P2)

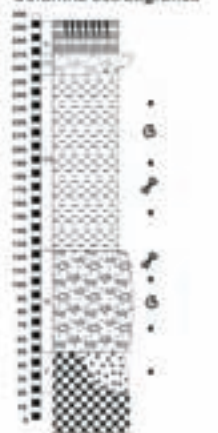
Depósitos de origen antrópico correspondientes a un bancal agrícola de la fase reciente de abancalamiento para cultivo. Presenta una clara homogeneidad en las propiedades composicionales y texturales de los materiales, sin cambios reseñables en las granulometrías y su distribución (casi constante 20% lutitas (limo + arcillas), 50% arenas y 30 % gravas) y una mala selección, salvo en los niveles de drenaje inferiores y en los niveles altos de picón.

Esta homogeneidad está representada igualmente en las medidas de susceptibilidad magnética, reseñando únicamente un incremento en el contacto entre los niveles I y II, asociado a un pequeño incremento de finos. Esta subida marca el cambio de los materiales correspondientes a la primera fase de ocupación del poblado de los materiales de la fase abancalamiento y cultivo, y no es más acusada debido a la removilización de los sedimentos provocada por los trabajos de preparación del terreno.

PERFIL-2 (P2)



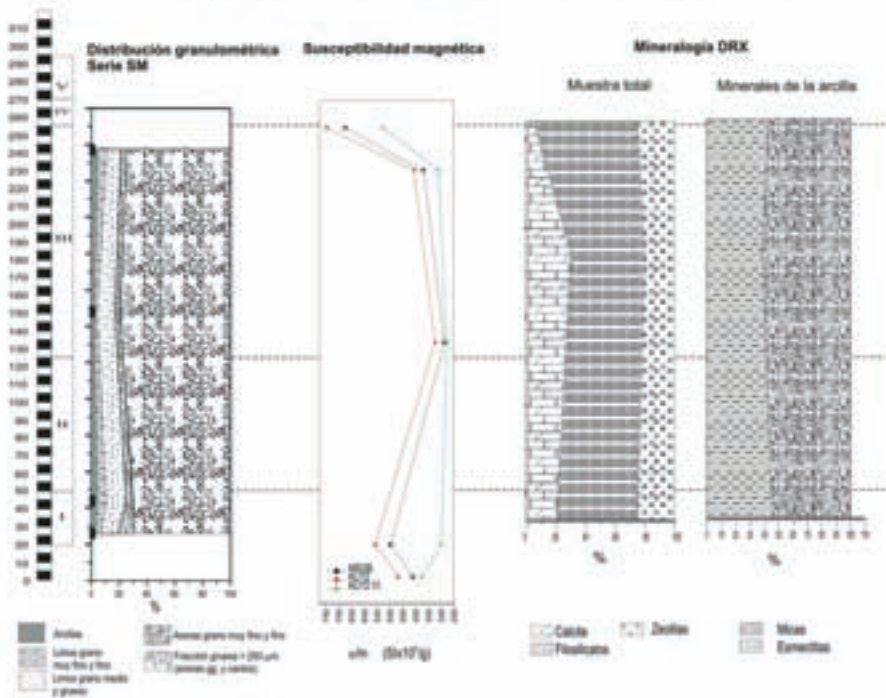
Columna estratigráfica



Localización de muestras

● Serie SM ● Serie GP
■ restos de cerámicas ♣ fragmentos osos
G semillas |||| huellas de raíces

arena
 arena gruesa o arena con carbón
 arena gruesa o arena gruesa
 arena fina
 arena fina



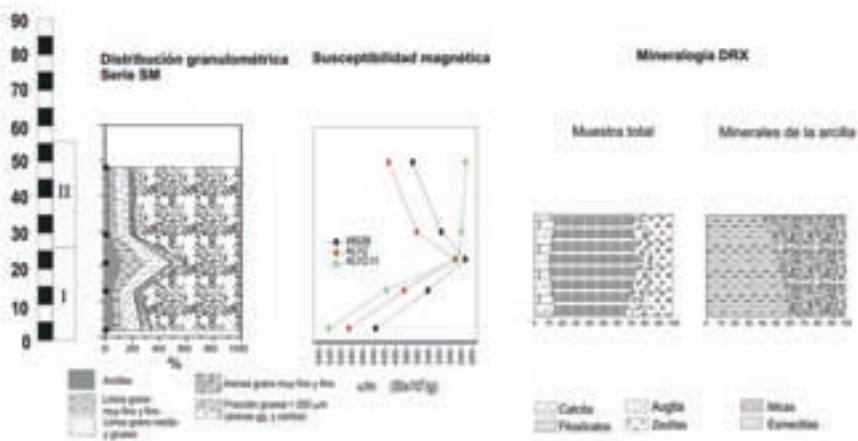
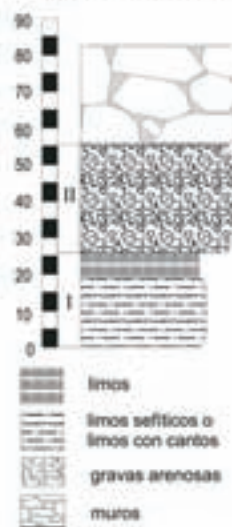
■ Figura 3. Ficha Perfil II con las características y resultados analíticos más relevantes.

PERFIL-4 (P4)



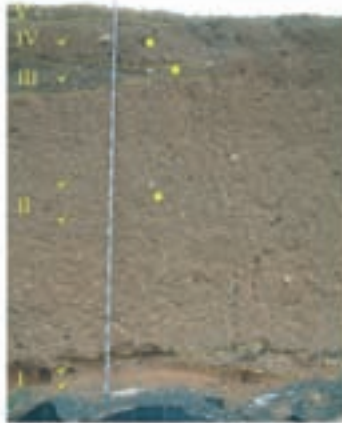
Localización de muestras
 ✓ Serie SM ● Serie GP

Columna estratigráfica

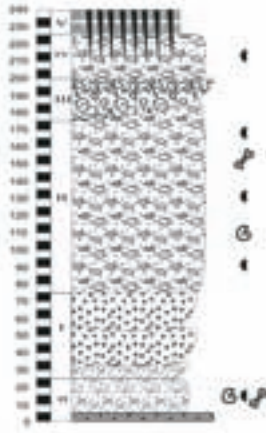


■ Figura 4. Ficha Perfil IV con las características y resultados analíticos más relevantes.

PERFIL-5 (P5)



Columna estratigráfica

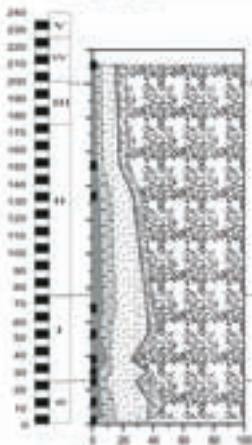


Localización de muestras

- ✓ Serie SM
- Serie GP
- ▬ restos de conchitas
- ⌘ fragmentos óseos
- ⊕ conchas
- ▬ huellas de raíces

- ▬ lodos
- ▬ arenas lúvicas con carbón
- ▬ arenas silíceas o arenas con carbón
- ▬ grava arenítica
- ▬ grava arenosa
- ▬ coque carbonatada

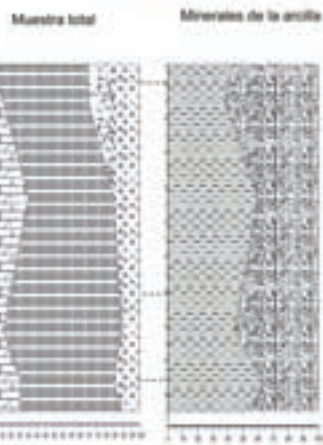
Distribución granulométrica Serie SM



Susceptibilidad magnética



Mineralogía DRX



- ▬ arcillas
- ▬ lodo grueso
- ▬ lodo fino
- ▬ lodo granulado y grueso
- ▬ arenas gruesas y finas
- ▬ arenas gruesas + 200 micras
- ▬ arenas finas y carbón
- ▬ Caliza
- ▬ Fibulitas
- ▬ Augita
- ▬ Zeolitas
- ▬ Micas
- ▬ Esmeraldas

■ Figura 5. Ficha Perfil V con las características y resultados analíticos más relevantes.

Perfil-4 (P4)

Este perfil presenta una mayor dificultad en su interpretación debido a la imposibilidad de observar su límite inferior. Presenta una gran homogeneidad en su composición y en sus propiedades magnéticas y texturales, con un cambio reseñable a techo del nivel I, donde se produce un importante incremento de finos (arcillas y limos). El descenso en el mismo punto de la susceptibilidad magnética parece indicar que se trata de finos arrastrados de otros niveles, y no producidos por alteración *in situ*. El nivel I podría representar la última fase de desmantelamiento de la primera ocupación prehispánica y los materiales del nivel II corresponderían a depósitos antrópicos dispuestos para la nivelación del terreno, previa a la construcción de las viviendas de la segunda fase.

Perfil-5 (P5)

Depósitos de origen antrópico correspondiente a un bancal de cultivo de la fase reciente de acondicionamiento agrícola. Perfil compuesto por seis unidades, predominantemente gravas. El nivel 0 presenta una importante proporción de arenas (aprox. 50%) y limos correspondiente a materiales removilizados del poblado. Un suave incremento en la proporción de arenas de grano grueso hacia techo se correlaciona con un incremento en los valores de susceptibilidad magnética de la fracción total (sensores MS2B y KLY2), que desaparece en los valores de susceptibilidad de la fracción fina (sensor KLY2ff). Se dispone sobre una de las costras carbonáticas de origen edáfico cuya génesis es previa a la construcción del poblado.

El nivel I está compuesto por tres niveles de arenas con cantos que se reflejan en algunos cambios poco significativos de la distribución granulométrica, también observable en los valores de susceptibilidad: en general, valores bajos de susceptibilidad se correlacionan con un incremento en los limos y arenas, mientras que valores algo mayores se correlacionan con mayores proporciones de grava, pérdida de limos y arenas y un enriquecimiento relativo de arcillas.

El nivel II es bastante homogéneo en todos sus parámetros y en su distribución. El nivel III de picón son gravas arenosas muy lixiviadas –nivel permeable de plataneras– equivale a la unidad IV del perfil 2. Los niveles IV y V presentan un importante incremento en la fracción gruesa (arenas, arenas grano grueso y gravas), relacionado igualmente con un incremento en la susceptibilidad magnética.

PERFIL-6 (P6)

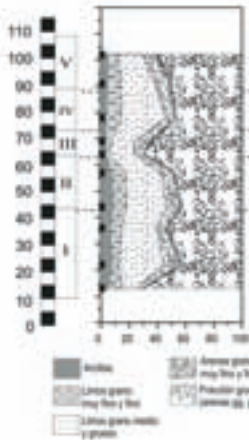


Localización de muestras
 ✓ Serie SM ● Serie GP

Columna estratigráfica



Distribución granulométrica Serie SM



Susceptibilidad magnética

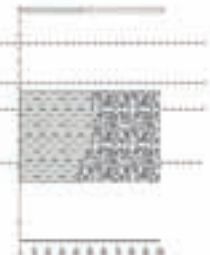


Mineralogía DRX

Muestra total



Minerales de la arcilla



■ Figura 6. Ficha Perfil VI con las características y resultados analíticos más relevantes.

Perfil-6 (P6)

La sección estudiada comienza a unos 45-50 cm por encima del nivel de ocupación de la primera fase, y en ella se han diferenciado cinco niveles.

El nivel I es predominantemente limo-arenoso, con un incremento en la fracción limo grano grueso (a 20 cm), correlacionable con una disminución de la susceptibilidad magnética, menos acusada cuando se realiza la medida solo sobre la fracción fina (sensor KLY2ff). En general, en este nivel y en los dos siguientes (II y III), se observan pequeñas variaciones en la distribución granulométrica bien representadas en la susceptibilidad magnética: incrementos en la fracción gruesa coinciden con incrementos en la susceptibilidad, e incrementos en la fracción fina se corresponden con disminuciones en este parámetro. En conjunto los materiales de estos tres niveles podrían corresponder a la fase de abandono, al menos los dos superiores, en una zona del poblado preferencial para la circulación de la escorrentía superficial y probablemente para la acumulación natural y/o antrópica de sedimentos.

En los niveles III y IV se han distinguido sendos niveles carbonosos probablemente correspondientes a incendios provocados, dado su carácter local, que podrían reflejar breves episodios de ocupación entre los dos principales. En el nivel IV existe un incremento de arcillas, reflejándose en una disminución de la susceptibilidad.

El nivel superior, mayoritariamente con cantos y gravas, presenta un incremento importante en la susceptibilidad en su base, que se mantiene cuando se analiza únicamente la fracción fina (sensor KLY2ff), lo que indica que es la fracción fina la que presenta minerales ferrimagnéticos y que probablemente corresponde a un período de fuerte alteración durante la fase de abandono.

Perfil-7 (P7)

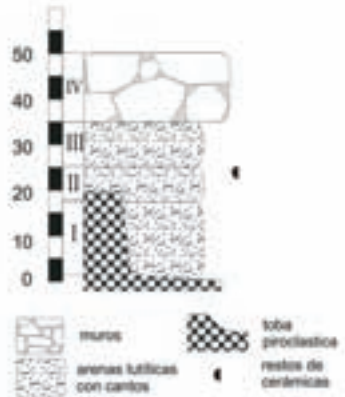
Este perfil se sitúa en una zona de intenso paso de la escorrentía y con altos niveles de drenaje, como indica la presencia de caolinita entre la fracción arcillosa.

Se han reconocido cinco niveles, comenzando el muestreo en el nivel de suelo de la primera fase de ocupación y terminando en el de la segunda fase incluida también la argamasa empleada para la construcción del muro de una vivienda de dicha fase.

PERFIL-8 (P8)

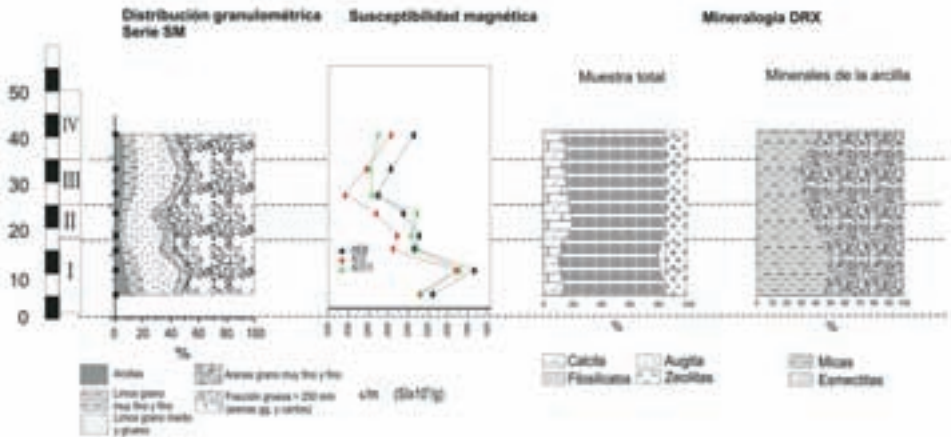


Columna estratigráfica



Localización de muestras

✓ Serie SM ● Serie GP



■ Figura 8. Ficha Perfil VIII con las características y resultados analíticos más relevantes.

El nivel I es predominantemente limo-arcilloso con un incremento de la fracción gruesa hacia techo que se ve reflejado en un incremento de la susceptibilidad magnética. Sus materiales deben corresponder a la primera fase de ocupación en sus últimos momentos, coincidiendo probablemente con un progresivo abandono del poblado, si bien no se ha podido distinguir bien el contacto con el nivel de suelo inferior.

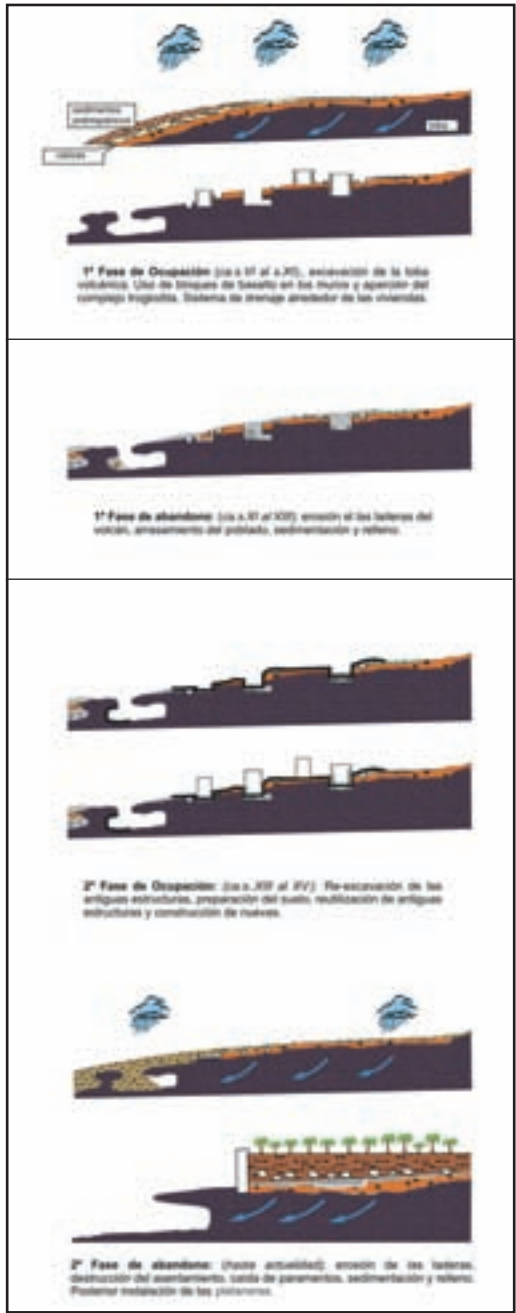
El nivel II incluye una cuña de bloques de basalto redondeados, procedentes de la caída de un muro de la primera fase de ocupación durante la etapa de abandono. Su caída se produjo sobre los materiales del nivel I, hecho que parece corroborar el progresivo abandono del poblado y debió ser provocada por la escorrentía superficial, como indican el paquete de gravas que acompaña a los materiales derrumbados. Este nivel junto con el suprayacente presenta mayor abundancia de gravas, pero con una matriz predominantemente limo-arenosa, que mantiene las características del techo de la unidad anterior.

La unidad IV vuelve a presentar un predominio de la fracción fina, predominantemente limos, reflejado en una disminución de la susceptibilidad. Este nivel es de origen antrópico y sirve como material de nivelación para la instalación del suelo de la segunda fase, más elaborado que el de la primera etapa de ocupación, y en el que no es descartable la utilización de cal algo tosca pero que implica ya una elaboración más cuidada del material de construcción.

Perfil-8 (P8)

El material de relleno de este perfil corresponde casi por completo a la primera fase de ocupación del poblado, al menos los niveles I y II que presentan una granulometría homogénea, con incremento de cantos en el nivel superior. Los sedimentos se encuentran rellenando un canal de desagüe excavado en la toba volcánica. La matriz de ambos es predominantemente limosa, con incremento de la fracción grosera, en este caso limos grano grueso y arenas, en el nivel II. La fracción más fina, con presencia de arcillas, corresponde con valores de susceptibilidad bajos que en este contexto indica procedencia autóctona del material.

La parte superior del nivel II y el nivel III parecen corresponder ya a la fase de abandono, siendo coherente este paso gradual con un progresivo abandono del poblado.



Discusión sobre las fases de ocupación, abandono y desmantelamiento

La ubicación geomorfológica del poblado prehispánico en una zona de desnivel menor, favorece el predominio de los procesos de sedimentación de los materiales arrastrados desde las zonas de mayor pendiente, procedentes de la meteorización, erosión y edafización de los depósitos volcánicos. En las zonas de menor pendiente la posibilidad de acumulación de agua es mayor y los procesos de alteración y acumulación de sedimentos se ven favorecidos dada la rápida pérdida de energía del medio de transporte. En conjunto, los materiales estudiados en los perfiles han sufrido muy poco transporte previo a su acumulación. Esto, unido a la gran vulnerabilidad de la toba volcánica frente a los procesos de alteración y su alta permeabilidad, provocan que los perfiles estudiados presenten una gran homogeneidad composicional. No obstante, es fundamental entender que el poblado, por su propia ordenación, constituye en sí mismo

■ Figura 9. Modelo evolutivo de la zona arqueológica.

un complejo medio de acumulación de depósitos debido a los numerosos obstáculos y/o zonas preferentes de paso de la escorrentía superficial (p.e.: viviendas, canalizaciones, etc.). De esta forma, los cambios que se pueden observar entre niveles coetáneos pueden ser totales y difíciles de correlacionar; dado el reducido tamaño de los cortes estudiados y su proximidad a las estructuras de habitación.

A partir de las observaciones de campo y de los resultados de las determinaciones analíticas efectuadas en los distintos perfiles estudiados, hemos podido distinguir las siguientes fases (figura 9):

Primera Fase de Ocupación (ca. siglos VI al XI)

Esta fase está representada en los sedimentos de los niveles inferiores (nivel I) de los Perfiles 1, 7 y 8. Está caracterizada por una textura fina (limo y arena fina), significativamente menor que los niveles inmediatamente suprayacentes, y por una baja proporción de minerales primarios y fácilmente alterables de la toba volcánica (por ejemplo, piroxenos tipo augita). La superficie original de la roca sobre la que se realizó el asentamiento de los primeros habitáculos prehispánicos se pueden distinguir en la base del Perfil 1. Los primeros pobladores prepararon un suelo de arcilla compactada sobre la toba volcánica. Además existen muros alrededor de las viviendas formados por bloques de basaltos dispuestos sin cemento sobre la roca excavada. Buena parte de las habitaciones del complejo troglodita fueron excavadas en esta fase. Por tanto, el asentamiento del primer poblado prehispánico implicó la excavación y nivelación de los niveles de toba, modificándose las condiciones naturales de drenaje. También los procesos de erosión se intentaron controlar mediante la excavación de canales de drenaje. Se han distinguido dos tipos de canalizaciones. Por una parte, existen estructuras convexas semicirculares perpendiculares a la máxima pendiente. Estos canales fueron excavados entre la toba volcánica y la vivienda, actuando de protección de las mismas al impedir la entrada de agua de escorrentía directamente a las mismas y el continuo encharcamiento de las zonas de habitación, así como la entrada de sedimentos en los periodos de lluvias. Por otra parte, se observan canales de desagüe excavados en la propia toba, que a menudo se encuentran rellenos de sedimentos. Normalmente, los canales deberían ser limpiados retirando los sedimentos acumulados, los cuales podrían ser utilizados para recubrir las zonas de paso e incluso las de habitación. Esto favorecería la protección de la toba volcánica

fácilmente alterable y explicaría que no se encuentren restos significativos de industria y/o huesos inmersos en esos materiales, dado que los sedimentos encontrados corresponderían a la etapa inmediatamente anterior al abandono del poblado.

La parte superior de estos niveles podría ya representar un intervalo de transición a la fase siguiente de abandono, mostrado por el incremento de la susceptibilidad magnética a techo de estos niveles, y sugiriendo un cierto espacio de tiempo con mayor exposición a la intemperie.

Primera Fase de Abandono (ca. siglos XI al XIII)

El abandono del poblado, con el consiguiente descuido en la protección de la toba volcánica y de los sistemas de desagüe, favoreció la acción erosiva de las aguas de escorrentía y el desmantelamiento de las viviendas. Todo ello provocó la caída de los paramentos verticales y la acumulación de los materiales de alteración en zonas deprimidas próximas, como corresponde a flujos de agua con escasa energía. El resultado final dejó al poblado cubierto por un manto de derrubios de ladera que incluye materiales propios de la habitación del poblado acumulados tras un muy escaso transporte. Esta fase



■ Foto 1. Instalación de los sistemas para la toma de datos en el yacimiento.

queda representada por los materiales acumulados en los niveles intermedios de los perfiles estudiados. Se caracterizan por una muy mala selección textural, una granulometría mucho más grosera que la infrayacente, unos valores estables de la susceptibilidad magnética y la presencia de minerales (augita) de la propia toba volcánica.

Segunda Fase de Ocupación (ca. siglos XIII al XV)

Del estudio del Perfil I se observa que la fase de abandono y desmantelamiento debe corresponderse con todo el nivel II, mientras que los dos niveles superiores podrían corresponder a otra etapa que representaría una ocupación provisional y/o una fase de preparación para la segunda etapa de ocupación. Esta fase y su duración debieron ser breves y queda bien reflejada por el descenso en la susceptibilidad magnética y la presencia de un posible suelo tratado con carbonato a techo del nivel IV. Si se compara este suelo con el material representativo del suelo de la primera fase de ocupación, éste último muestra calcita en proporciones significativas aunque menores que el de las muestras correspondientes a la segunda fase, pero mayores valores de la susceptibilidad debido a un mayor tiempo de exposición subaérea y utilización antrópica.

Se observa que durante la segunda fase de ocupación algunas de las antiguas estructuras fueron reutilizadas y las cuevas y habitáculos excavados en la roca fueron re-excavados y su suelo preparado para su reutilización. A partir del Perfil 7 (nivel IV, figura 3) es posible distinguir un recubrimiento usado como suelo durante esta fase de excavación. De hecho en algunos lugares se distingue claramente un nivel centimétrico de arcillas utilizado para nivelar el suelo y para limitar las humedades en el mismo. Este nivel arcilloso presenta por encima un nivel de carbonatado que constituye el suelo ocupacional de la vivienda. Por comparación con la superficie que posiblemente constituía el suelo de la primera etapa, se puede apuntar una mayor elaboración de los materiales para dar consistencia al paramento en la 2ª etapa.

A partir de los datos disponibles, no puede descartarse la existencia de una o varias etapas breves de ocupación entre las dos principales. Así lo indican algunos de los materiales estudiados como los correspondientes a los niveles III y IV del perfil 6 que contienen niveles de fuego cuyos bajos valores de susceptibilidad magnética parecen indicar períodos relativamente cortos

en el uso de esta zona para estos fines. Asimismo, en el perfil I, el techo del nivel III, podría representar un nivel de suelo antrópico, dada la buena selección del material y el incremento en la proporción de carbonatos (calcita).

Segunda Fase de Abandono (ca. siglos XVI al XIX)

Nuevamente el abandono del poblado produjo un deterioro en la red de desagüe y en los sistemas de protección del mismo frente a la acción erosiva de las aguas, favoreciendo el desmoronamiento de las estructuras y la acumulación de los restos en zonas deprimidas próximas.

Fase reciente de abancalamiento para cultivos (siglos XIX y XX)

La instalación de cultivos en la segunda mitad del siglo XIX cambia sensiblemente la morfología del terreno con la construcción de bancales, y sobre todo con un cambio total en las condiciones de drenaje de la zona. Los perfiles estudiados correspondientes a esta fase (P2 y P5) presentan características típicas de depósitos seleccionados antrópicamente, con niveles basales de drenaje en los frentes del bancale, acuñándose hacia la zona más alta, y materiales de relleno



■ Foto 2. Extracción de muestras de los perfiles arqueológicos

procedentes de la zona más próxima posible. En este caso los bolos de basalto utilizados para los drenajes deben proceder del barranco de Gáldar; y el material detrítico más fino para el relleno principal fue extraído del poblado y de su cobertera de alteración. La gran homogeneidad en los valores de susceptibilidad magnética y en la granulometría de la fracción fina, indican la rapidez en la instalación del material. La disposición de la parte basal de los bancales se adapta a la morfología erosionada/excavada de la toba. En general, se apoyan sobre una delgada capa de materiales de la primera fase (P2) o sobre materiales de la fase de desmantelamiento (P5), en función de la configuración del terreno en cada zona.

Conclusiones

Los estudios geoarqueológicos realizados en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar confirman, en lo esencial, las observaciones obtenidas durante los trabajos de excavación del caserío prehispánico.

Una primera fase de ocupación, fechada entre los siglos VI y XI y caracterizada por la presencia de casas semisubterráneas de pequeñas dimensiones, excavación de cuevas artificiales y áreas de uso doméstico, concluye con el abandono súbito del espacio residencial.

Tras un lapso de tiempo aún difícil de determinar, sobre las ruinas de este primitivo poblado tiene lugar una segunda fase de ocupación en la que se levantan nuevas moradas prehispánicas de mayores dimensiones cuya construcción exige, a veces, el recurso a importantes trabajos de vaciado y terraplenado. Los materiales de construcción son más elaborados y se extiende el uso de pavimentos carbonatados confeccionados a base de cal, sobre sub-bases arcillosas que permitirían un mayor aislamiento y comodidad.

El abandono del poblado, acaecido casi con total seguridad a finales del siglo XV, es seguido por un episodio generalizado de desmantelamiento y enterramiento que se ve facilitado por el desmonte intencional de los paramentos de las casas con el fin de reaprovechar sus materiales. Si exceptuamos la construcción de una vivienda de nueva planta sobre los restos del poblado prehispánico, la función residencial de este espacio desaparece por completo para ser sustituida, con el correr del tiempo, por limitados usos agrícolas y por labores de extracción de cantos. En la segunda mitad del siglo XIX se realiza una profunda transformación de todo este sector con el acondicionamiento de los bancales de cultivo que marcan la fisonomía con la que la manzana de la Cueva Pintada ha llegado hasta nosotros.

Estudio geofísico de la roca de la Cueva Pintada: despegues y fisuras

J. Clapés Boixader

Metodología aplicada

El estudio de las estructuras internas de la Tierra se viene realizando con éxito, históricamente, mediante el empleo de técnicas geofísicas. Esto es debido a que las profundidades a las que se encuentran, así como sus dimensiones, superan la resolución vertical de los métodos geofísicos empleados.

Sin embargo cuando se trata de investigaciones de las zonas superficiales del subsuelo o de estructuras de pequeñas dimensiones donde tienen lugar actividades o acciones antrópicas, la exigencia de incrementar la resolución vertical de los métodos de prospección adquiere una mayor trascendencia. Esta empresa en ocasiones no resulta del todo sencilla, siendo agravada la situación por las heterogeneidades y los fenómenos de atenuación propios de estos medios, especialmente en el estudio del primer o de los primeros metros. Un método de prospección geofísica no destructivo que permite realizar este tipo de estudios de alta resolución es el georradar.

La técnica de georradar se ha ido desarrollando y empleando durante los últimos treinta años en investigaciones superficiales de alta resolución del subsuelo o de ciertos medios en Ingeniería, Arqueología, Glaciología, etc. Las operaciones de campo con georradar son sencillas y la adquisición de datos es muy rápida. Estas mediciones se realizan desplazando las antenas de georradar en vehículos o de forma manual.

El georradar se basa en el principio de reflexión de ondas electromagnéticas que se propagan en un medio. Sus fundamentos teóricos son los mismos que los que un radar emplea en detectar un avión, pero el georradar utiliza un ancho de banda más amplio (10 MHz a 1.5 GHz), y las antenas receptora y emisora, se dirigen hacia el subsuelo u objeto a estudiar. Las mediciones se efectúan mediante la generación, por la

antena emisora de un pulso electromagnético con una frecuencia característica.

Estos impulsos son agrupados en paquetes de ondas compuestas por 1000-15 000 de ellos. Cuando mediante la antena emisora se generan dichos impulsos, estos, en su trayectoria a través del subsuelo, pueden encontrarse con un cambio de estrato geológico o cultural, oquedades, objetos, humedad o niveles freáticos, etc.; en definitiva, lo que detectan es un cambio en las propiedades eléctricas de los medios en que se propagan. Esto produce que parte de la energía se refleje y sea recogida por la antena receptora, mientras que el resto continúa su camino por el interior del subsuelo.

La antena receptora incorpora un circuito electrónico «demodulador» conectado al circuito electrónico de amplificación y recepción; una vez que las reflexiones la alcanzan, este circuito convierte el pulso electromagnético de alta frecuencia en otro de banda de audiofrecuencia que es enviado a través de un cable coaxial de 30 metros y altamente apantallado a la unidad central, donde la señal es reconstruida, procesada y almacenada.

104

La unidad central incorpora un sistema de almacenamiento masivo de datos y una pantalla de visualización en tiempo real donde se reproduce la señal que le va llegando.

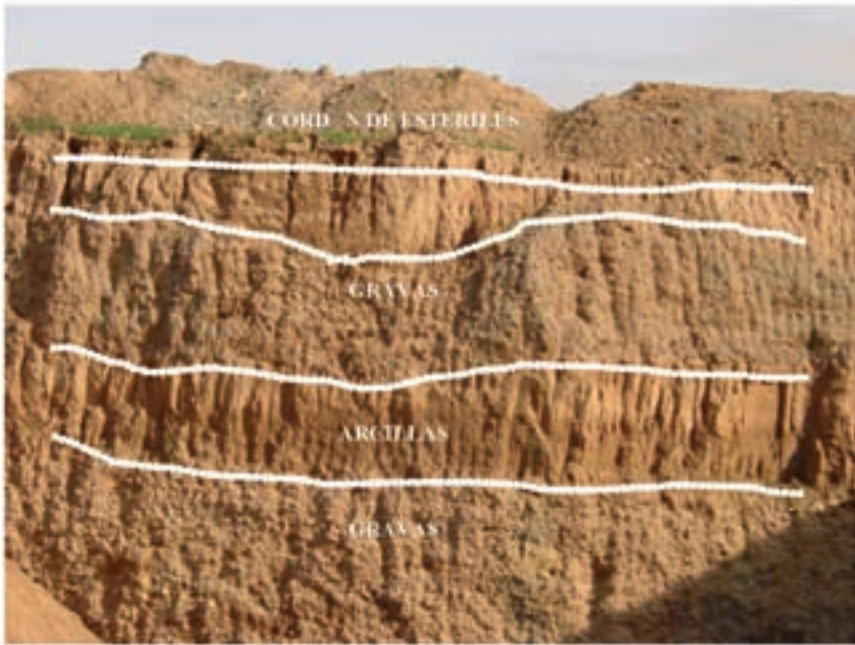
Cada impulso que se recibe se materializa en una traza con lo cual, al mover la antena sobre la superficie del terreno, se puede obtener un registro continuo que refleja la estratigrafía y/o la existencia de anomalías en el subsuelo.

Este se va propagando por el medio, hasta que alcanza una zona u objeto cuyas propiedades eléctricas son diferentes respecto a las circundantes o adyacentes, entonces, parte de la energía electromagnética se refleja hacia la superficie, mientras que el resto de la energía continúa propagándose. La onda electromagnética se recibe a través de la antena receptora y se registra para su posterior tratamiento e interpretación

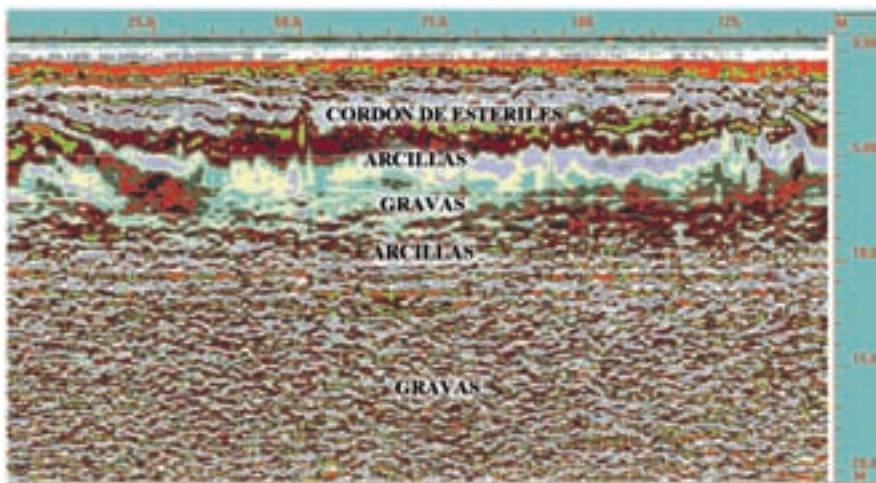
Si se determina la velocidad de propagación del medio investigado, o su constante dieléctrica, la escala vertical de tiempos se puede convertir en profundidad (metros).

La fácil movilidad, la alta resolución, carácter no destructivo y sencillez en los procedimientos de campo inherentes al georradar, lo convierten en una técnica idónea para aplicaciones geológicas y geotécnicas (ver ejemplos de su

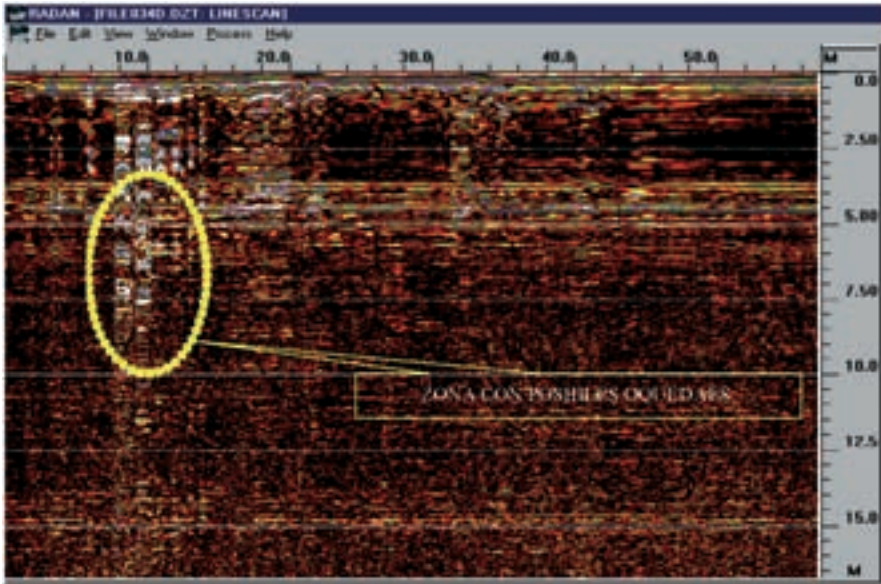
empleo en las figuras 1, 2, 3 y la foto 1), arqueológicas (ver su aplicación en la figura 4 y la foto 2) y estructurales (ver su uso en las figuras 5, 6 y la foto 3).



■ Figura 1. Ejemplo de aplicación geológica-geotécnica del georradar para la determinación de estructuras finas del terreno. Estratificación de gravas y arcillas.



■ Figura 2. El radargrama, resuelve la estratificación del subsuelo mostrada en la Figura 1.



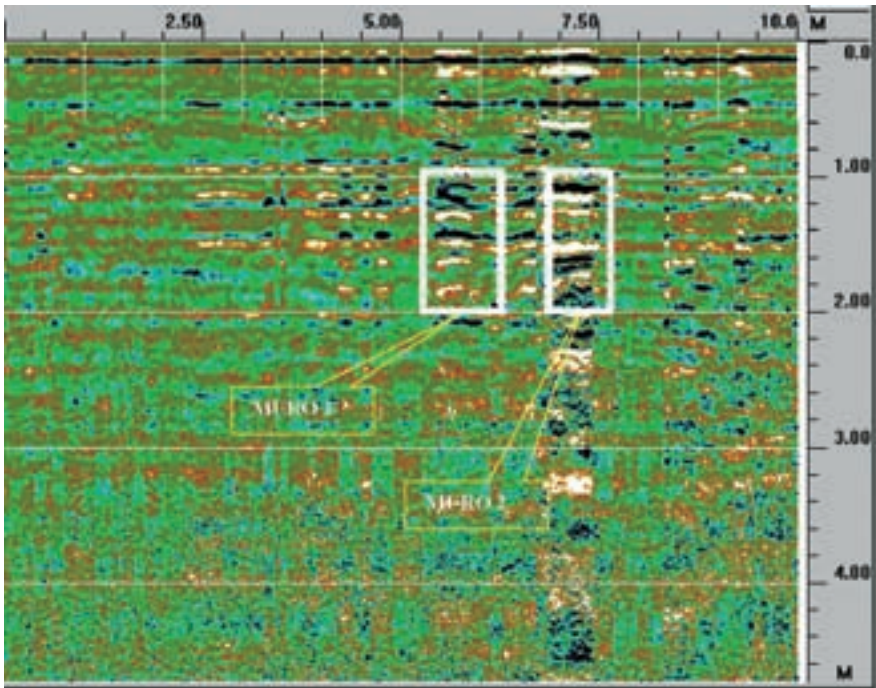
■ Figura 3. Aplicación del georradar en la determinación de oquedades en el subsuelo.



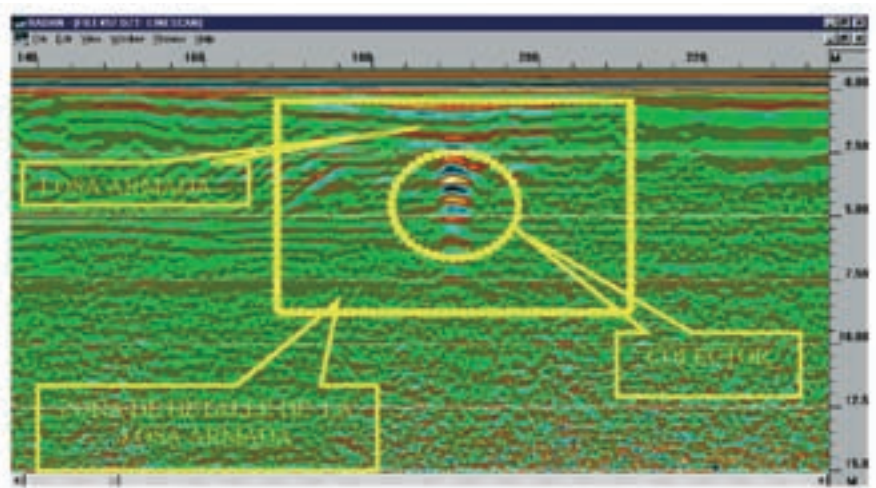
■ Foto 1. Cata efectuada en el futuro emplazamiento de un depósito de combustible, descubriendo la oquedad determinada por la prospección con georradar, mostrada en la figura 3.



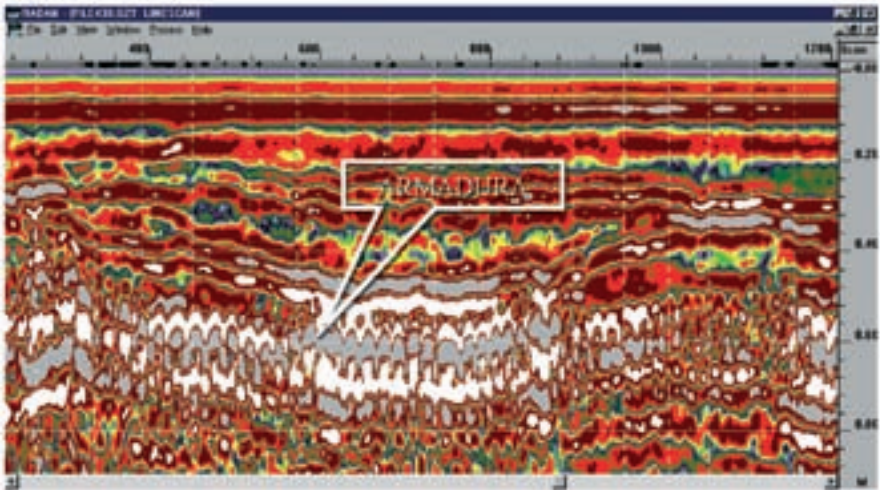
■ Foto 2. Aplicación del georradar en arqueología, para la determinación de la continuidad de muros.



■ Figura 4. Radargrama obtenido resolviendo la continuidad de los muros mostrados en la foto 2.



■ Figura 5. Localización de un colector bajo una losa armada en la ronda de Barcelona.



- Figura 6. Detalle de la losa armada (a 20 metros) instalada para la protección del colector, señalada en la figura 5. La losa armada tiene aproximadamente unos 40 cm de canto, con redondos dispuestos cada 25-30 cm y presenta deformación.



- Foto 3. Realización del perfil de georradar en la ronda de Barcelona.

Objetivos

Dentro del proyecto del Parque Arqueológico de Cueva Pintada, sito en la ciudad de Gáldar (Gran Canaria), se propusieron distintas actuaciones a fin de conocer mejor el estado de la cueva. Una de estas actuaciones tenía como objetivo conocer, con más profundidad, la importancia y la extensión del despegue existente en la bóveda, debido al deterioro que en ella se observaba. Por este motivo se aplicaron técnicas de georradar que ayudasen a conocer el grado de afectación del despegue existente en el techo de la Cueva Pintada.

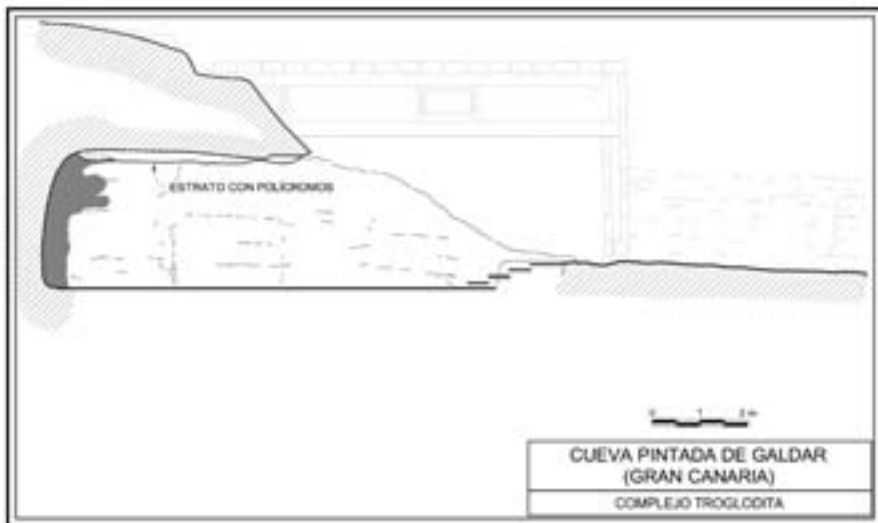
Los trabajos de campo se desarrollaron durante los días 25, 26 y 27 de noviembre de 1997 y consistieron, según la planificación efectuada previamente, en lo siguiente: a) medición de vibraciones para la determinación de los valores del ruido ambiental derivado de tránsito o actividades que lo puedan generar en la Cueva Pintada; esta medida se efectuó mediante la instalación de un sismógrafo en la cueva, provisto de un sensor triaxial (ejes Z, N-S y E-W); b) medición del nivel de vibración en distintas ubicaciones del yacimiento arqueológico, para ello el equipo de medida se ha adaptado expresamente a las condiciones peculiares de esta parte del estudio, permitiendo, por ejemplo, medir el posible efecto amplificador en el techo de la cueva; c) medida mediante técnicas de georradar del despegue existente en la bóveda de la cueva, para ello se ha aprovechado la tarima de madera lisa y horizontal instalada en su suelo, obteniéndose la máxima precisión en las lecturas de posicionamiento del georradar gracias a un sistema de medición de distancias electrónico adaptado expresamente para este trabajo.

En la figura 7 y las fotos 4 y 5 se muestran aspectos de la zona objeto de estudio.

A continuación, en la figura 8 se presenta el plano de planta de la cueva donde se han señalado los 9 perfiles de georradar efectuados, para la determinación del estado de la bóveda de Cueva Pintada.

Las fotos 6 y 7 muestran la realización de los perfiles de georradar utilizando una antena-transductor de 900 MHz acoplado a un sistema electrónico de medida de distancia.

A continuación, se presentan los resultados donde los nueve perfiles efectuados son procesados conjuntamente para ofrecer una información global; este proceso, denominado representación 3-D, permite efectuar secciones del terreno que ofrecerán la máxima información relativa al despegue y al estado de la bóveda de Cueva Pintada.



■ Figura 7. Se señala en la sección de la Cueva Pintada el estrato con polícromos objeto de esta investigación.



■ Foto 4. La fotografía muestra el techo de la cueva.



■ Foto 5. En la fotografía se puede apreciar el despegue existente en el techo pintado.



■ Foto 6. Detalle de la fisura de una de las cuevas anexas; en el centro se observa un testigo de cemento colocado el año 1980.



■ Figura 8. Planta de la cueva y localización de los perfiles de georrádar efectuados.



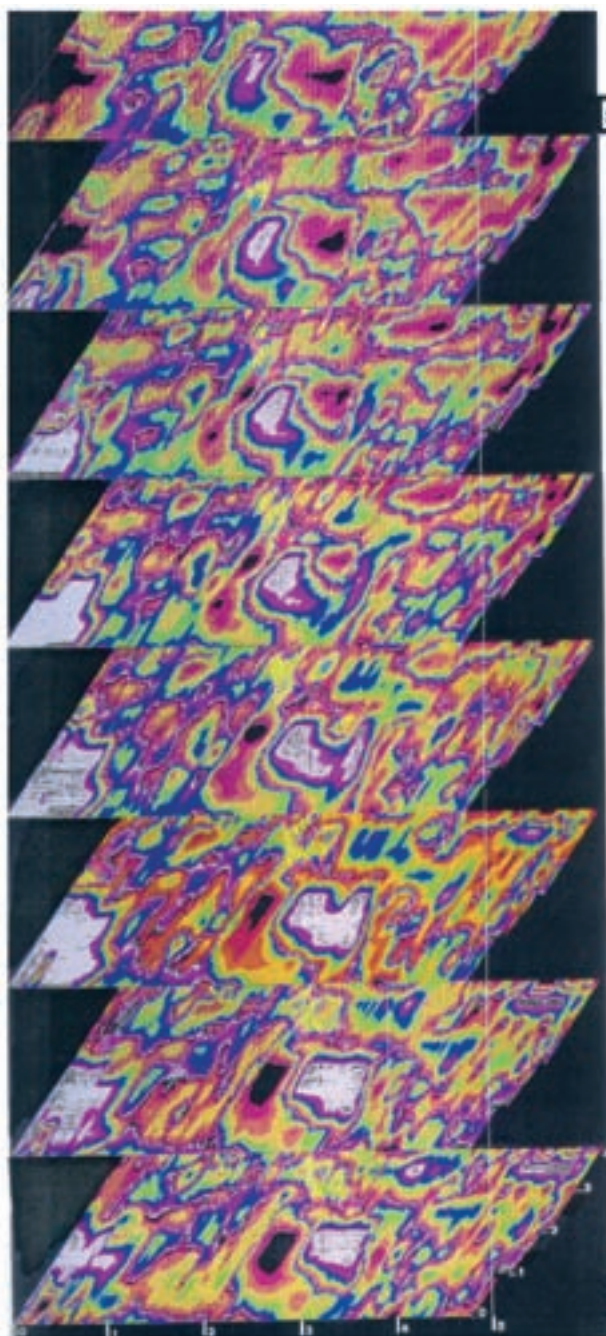
112

■ Foto 7. La fotografía muestra el testero de la cueva.

Las secciones presentadas son las numeradas desde la 95 a la 160, estas secciones investigan aproximadamente las anomalías situadas entre las profundidades de los 0.2 a los 0.8 metros, con un incremento de profundidad de investigación de un centímetro por sección la cual es comparable con la resolución fijada por la longitud de onda de la antena empleada.

De la observación de las secciones presentadas hay que destacar que, a partir de la sección 95, se observa el desarrollo de varias zonas con posibles e importantes despegues (zonas blancas y negras en las secciones); éstas son las siguientes:

- a) el área comprendida entre los metros de abscisas 0 al 1 y entre los metros de ordenadas 0 al 2
- b) el área con un probable despegue abarcando aproximadamente el área central analizada, es decir entre los metros de abscisas 2 al 4 y entre los metros de ordenadas 0.7 al 2.2
- c) el área comprendida entre los metros de abscisas 3.5 al 5 y los metros de ordenadas 3 al 4.

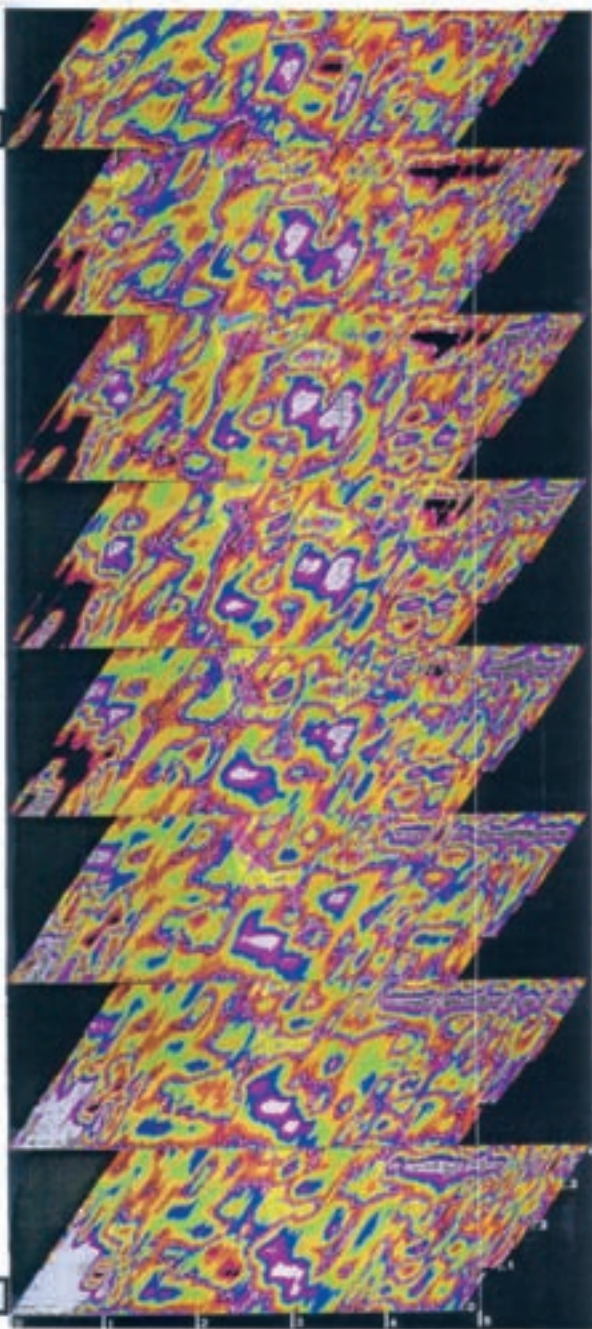


SECCIÓN 95

SECCIÓN 102

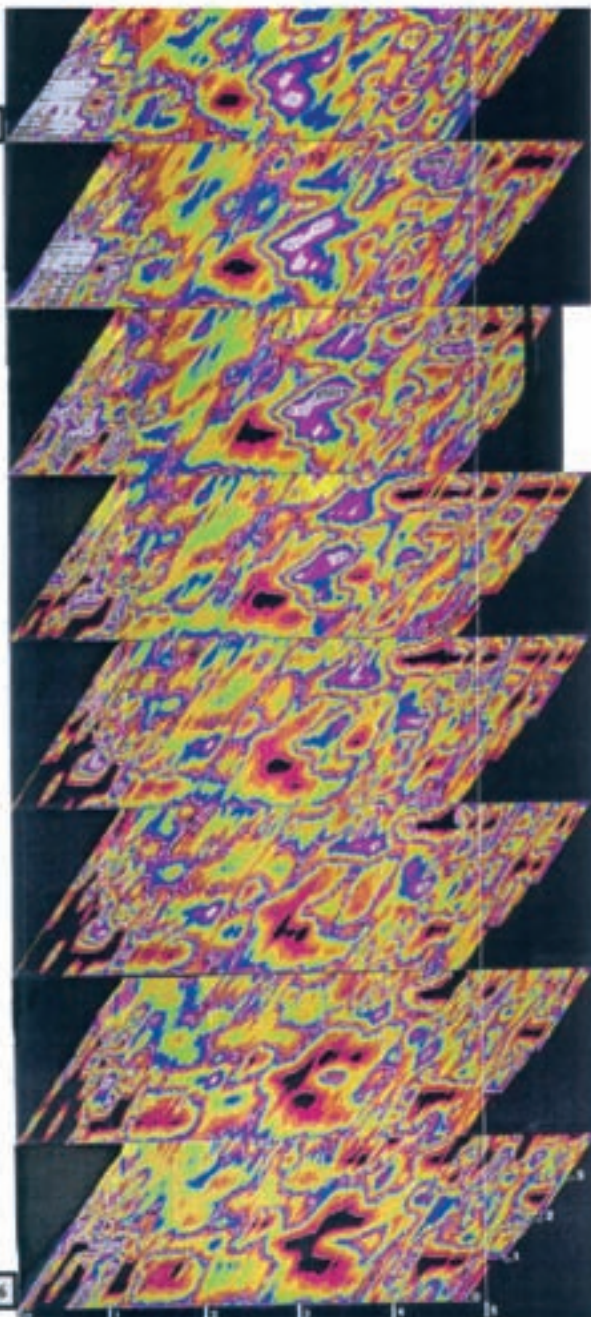


SECCIÓN 111

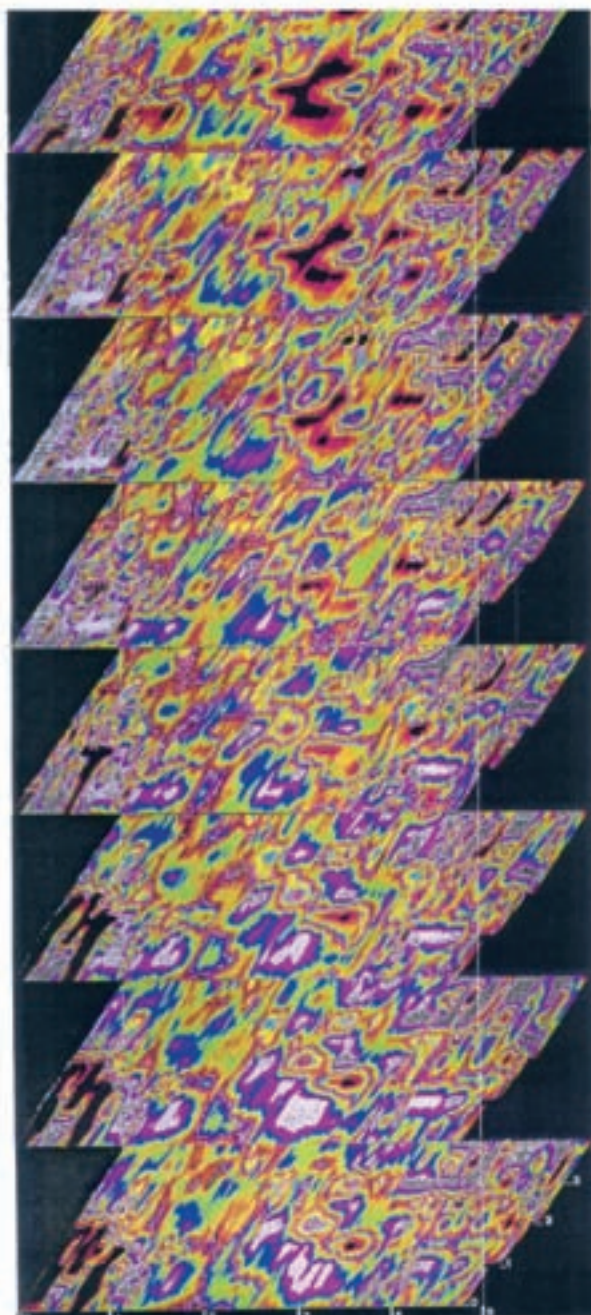


SECCIÓN 118

SECCIÓN 119

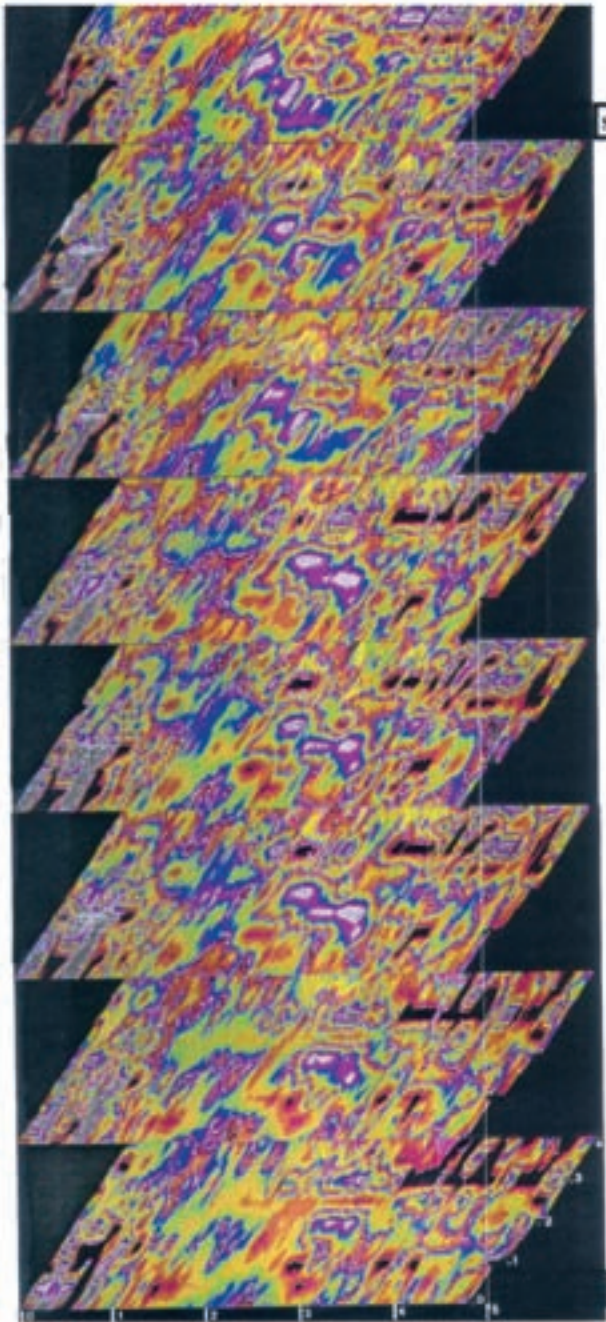


SECCIÓN 126



SECCIÓN 127

SECCIÓN 134



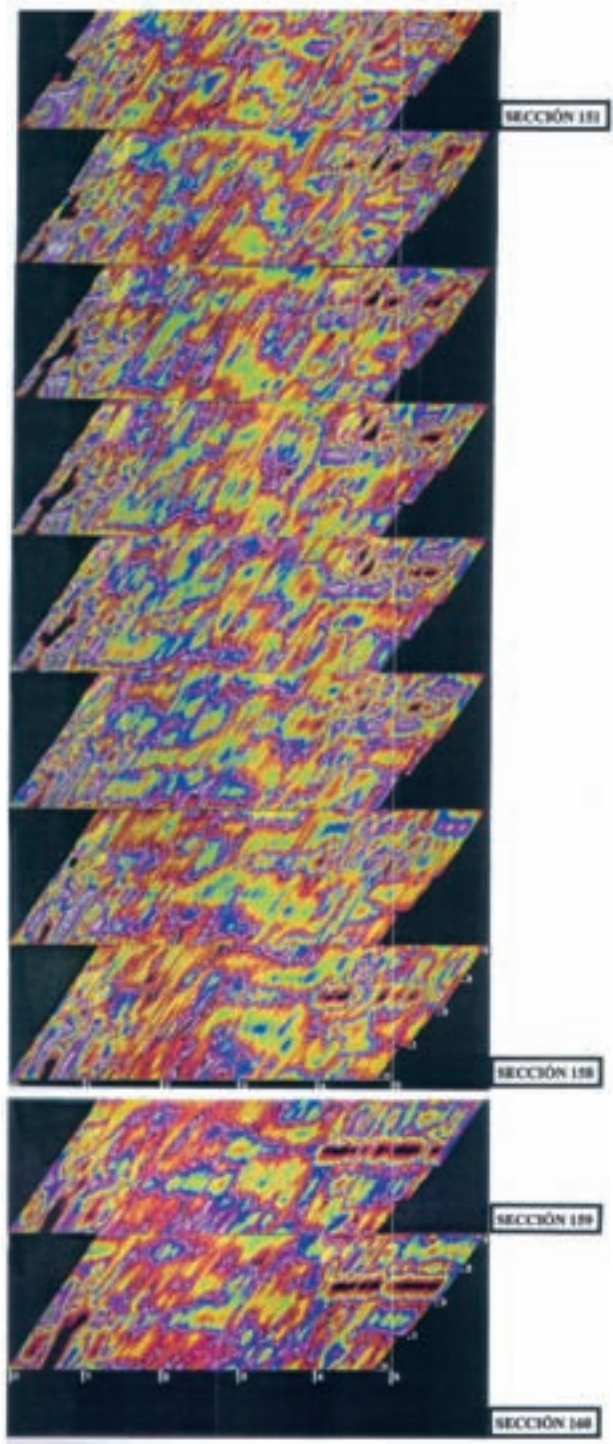
SECCIÓN 135

SECCIÓN 142



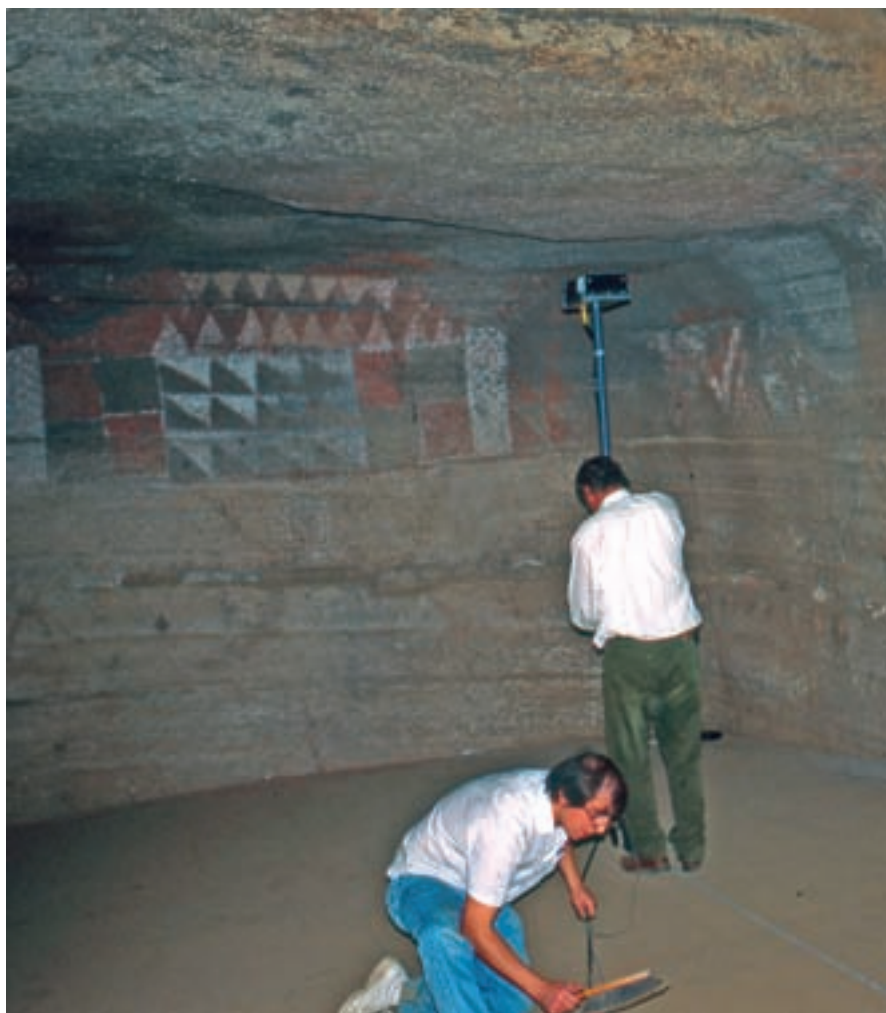
SECCIÓN 143

SECCIÓN 150



De lo expuesto se destaca:

- a) el fuerte grado de afectación que presenta la bóveda de la Cueva Pintada, más concretamente, entre las profundidades de 0.2 a 0.8 metros y entre los 1.5 a 2.5 metros; estas anomalías surgen, posiblemente, debidas a un fuerte proceso de meteorización padecido por la roca y acentuado en sus caras libres
- b) no se ha evidenciado una clara conexión entre los posibles despegues.



■ Foto 8. La imagen muestra la realización de un perfil.

Conclusiones y recomendaciones

Mediante la aplicación de la técnica geofísica de georradar se ha determinado la existencia de despegues u oquedades en la bóveda de la Cueva Pintada. Estas zonas de despegue en la visera de la cueva se sitúan en dos zonas: a) la primera situada entre los 0.2 y 0.8 metros, y b) la segunda entre los 1.5 y 2.5 metros. Estas zonas sugieren la existencia de un proceso de meteorización de la roca acentuada en sus caras libres.

El estudio teórico demuestra que las estructuras inicialmente proyectadas –fundamentalmente los soportes para su cubrimiento– pueden generar modos con frecuencias próximas al modo propio de la visera de la Cueva Pintada.

La instalación de cualquier apoyo sobre la parte libre de la visera de la Cueva Pintada podría ser muy inadecuada ya que, además de ofrecer por sí misma una carga estática importante, añadiría una carga dinámica.

La amplificación en la zona de la visera así como el período de su modo fundamental aconseja que todo posible apoyo a proyectar en esta zona (de cualquier estructura del tipo de soporte de cubiertas) se sitúe alejado suficientemente de la cueva, siendo aceptable prever en la instalación de los apoyos más cercanos a ella, sistemas antivibratorios como el que incluye el proyecto presentado, cuya función más destacable sería la de atenuar las altas frecuencias generadas por los modos propios más elevados de las estructuras.

Se recomienda que el cerramiento de la cueva no presente una altura más elevada que la actual, ya que de este modo se minimiza la fuerza eólica, responsable de la generación de vibraciones.

La cueva está situada en pleno casco urbano de Gáldar. Esta circunstancia hace necesario tomar una serie de medidas de tipo informativo por parte de las autoridades urbanísticas municipales, aperciendo que las actividades a desarrollar (cualquiera capaz de desarrollar vibraciones), no debería representar un incremento en la vibración ambiental medida.

La instalación, por ejemplo, de equipamiento industrial en el área perimetral del yacimiento, tal como prensas, estampadoras-conformadoras de piezas metálicas, devanadoras, compresores de frío industrial, etc..., debe ser controlada para que, previamente a su instalación, se tomen las medidas adecuadas para atenuar las vibraciones generadas en la fuente, reduciéndolas en el yacimiento a las ambientales obtenidas en este estudio;

ello se puede conseguir mediante sistemas antivibratorios localizados en las posibles instalaciones a efectuar, tales como fosos antisísmicos, aisladores, atenuadores, etc... En suma, se requiere un estudio completo antes de la instalación de cualquier maquinaria o equipo capaz de generar vibraciones:

1. Mediante la aplicación de la técnica geofísica de georradar se ha determinado la existencia de despegues u oquedades en la bóveda de la Cueva Pintada.
2. Los despegues en la visera se sitúan entre los 0.2 a 0.8 metros y entre los 1.5 a 2.5 metros de profundidad, respectivamente. Estas zonas sugieren la existencia de un fuerte proceso de meteorización de la roca acentuándose en sus caras libres.
3. Se recomiendan medidas correctoras y de mejoramiento de la calidad de la roca, a fin de incrementar la seguridad de la bóveda, tales como la aplicación de bulones, el uso de inyecciones o de alguna estructura metálica de cuadro o arco.
4. Se recomienda iniciar un seguimiento de los despegues de la bóveda, mediante la instalación de testigos o de la instrumentación adecuada.
5. El sistema de cerramiento inicialmente propuesto para la Cueva Pintada así como el sistema de cubrimiento del yacimiento, pueden aportar modos propios de vibración que podrán transmitirse a la estructura de la cueva y, por ende, a las pinturas que contiene. Consecuentemente se recomienda que el proyecto se modifique de tal forma que en él se elimine cualquier estructura de cerramiento o cubrición que se apoye en la bóveda o visera de la cueva.
6. Al efectuar cualquier nuevo cerramiento se deberá aprovechar al máximo la actual cimentación. Esto minimizará buena parte de las vibraciones generadas en las labores constructivas.



124

■ Foto 9. Detalle del equipo georradar.



■ Foto 10. Instalación de sismógrafo en el exterior de la cueva.

Registro de vibraciones y análisis del fondo sísmico en el entorno de la Cueva Pintada de Gáldar

V. Soler Javaloyes, P.A. Torres González y A. P. Moure García

Introducción

La Cueva Pintada de Gáldar se desarrolla sobre la ladera de un cono de piroclastos soldados, comúnmente conocidos en Canarias como toba. Desde el punto de vista de la evolución volcanológica de la isla de Gran Canaria, este edificio, de edad plio-pleistocena, se encuadra en lo que se ha denominado como «Ciclo volcánico post Roque Nublo».

La cohesión actual de este material, originalmente suelto, se debe a un cemento de carácter zeolítico generado por alteración del propio material y por procesos de circulación y evaporación de agua.

En el entorno de la cueva, este material se presenta en estratos subhorizontales de varios decímetros de espesor. Esta disposición crea planos de fractura en el sentido de la estratificación, que sin duda han favorecido la forma plana del techo de la cavidad.

El grado de cohesión de este material varía de un lugar a otro, siendo frecuentes los sitios donde se presenta lo suficientemente suelto como para desprenderse al simple contacto de la mano.

Las pinturas se apoyan sobre este soporte a través de una capa de arcilla en algunos casos y de forma directa en otros.

La fragilidad de este material, aconsejó el estudio y seguimiento detallado de las vibraciones procedentes del entorno urbano que rodea la cueva, así como de las que se producirían con la ejecución de las obras de excavación y construcción del actual museo.

En este estudio, encaminado a minimizar los efectos adversos de las vibraciones sobre las pinturas, distinguimos tres etapas bien diferenciadas:

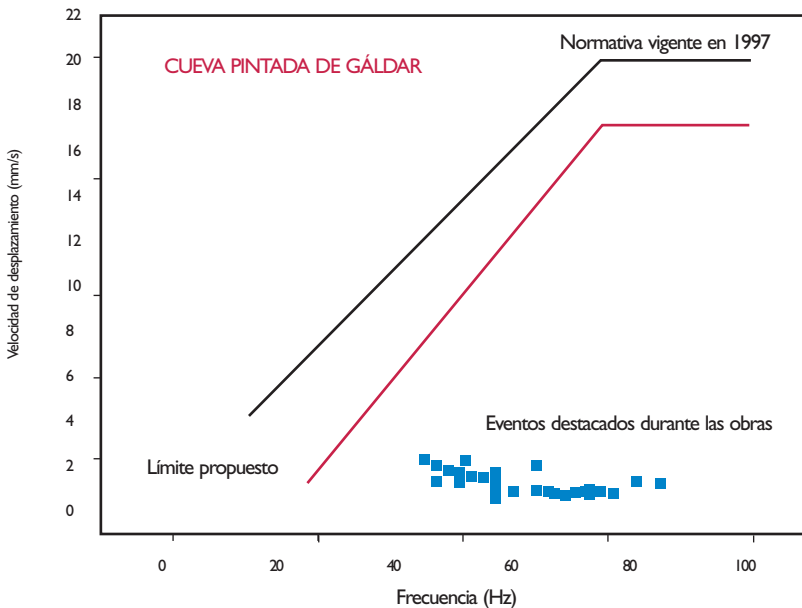
- Detección de las vibraciones directas producidas por las obras de excavación y construcción del Museo en el entorno de la cueva.
- Análisis de las posibles vibraciones inducidas por el anclaje de la cubierta en la misma formación en la que se desarrolla la cueva.

- Estudio y seguimiento, a largo plazo, del fondo sísmico natural y antrópico alrededor de la cueva y su posible variación con la evolución del entorno.

Detección de vibraciones producidas por las obras

La normativa legal vigente en nuestro país en el momento de iniciarse las obras de construcción del museo, tan sólo contemplaba en el grupo III «Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que presenten una especial sensibilidad a las vibraciones por ellas mismas o los elementos que pudieran contener». Estableciendo para este grupo un límite de velocidad de 4 mm/s para frecuencias principales de 2-15 Hz, creciendo este límite con la frecuencia hasta situarse en 20mm/s para frecuencias por encima de los 75 Hz (figura I).

A nuestro juicio, esta normativa legal tan sólo contempla de forma genérica lo que podríamos denominar restos arquitectónicos, a los que trata de proteger de daños mecánicos directos, quedando fuera del alcance de la



■ Figura I. Representación gráfica de la normativa sismorresistente en vigor en 1997, y de los límites aconsejados para las obras del museo y parque arqueológico (línea roja). Los cuadros azules corresponden a algunos de los eventos detectados durante la realización de dichas obras.

misma las delicadas condiciones que suelen concurrir en la conservación del arte rupestre. Condiciones que suelen ser específicas de cada caso.

Ante esta situación, en la que no resulta directamente aplicable el imperativo legal vigente, únicamente resta aconsejar unos límites dictados por la experiencia, y que suelen venir marcados por el fondo natural de vibración del entorno, y cuya aceptación dependerá de que se alcance un consenso entre las partes implicadas.

Como ejemplos podemos citar, por un lado el caso de la cueva de Altamira, en donde las obras de construcción de la réplica y museo se hicieron tras llegar a un acuerdo, respetando estrictamente los límites de vibración natural de la zona, con la masiva utilización de cementos expansivos en vez de explosivos y medios mecánicos pesados de excavación; y por otro la Cueva de Arenaza, en donde la vecina cantera de explotación de áridos nunca se avino a un acuerdo en cuanto al límite máximo de vibración por debajo de la norma legal.

Antes del inicio de las obras de excavación se hizo un ensayo controlado de las distintas herramientas que se pensaba utilizar; con registro en el interior y techo exterior de la cueva.

Como equipo de registro de vibraciones utilizamos un detector triaxial de la firma Instantel modelo DS-077 con rango de medida de 0.25 a 127 mm/s y frecuencias de hasta 250 Hz.

En el cuadro I recogemos los niveles de vibración detectados en la cueva por los ensayos de trabajo de las distintas máquinas en la zona de lo que hoy es el museo.

■ Cuadro I. Velocidades de vibración inducidas en la cueva por efecto de distintas actividades.

ACTIVIDAD	VIBRACIÓN (mm/s)
Persona caminando cuidadosamente sobre el techo de la Cueva	0.25 – 0.31
Cierre de la puerta de acceso (puerta de madera en 1997)	0.60 – 0.82
Martillos neumáticos manuales	0.25 – 0.52
Llegada y desplazamientos de la máquina retroexcavadora	0.25 – 0.31
Trabajos de percusión (Pica-Pica) en capa superficial blanda	0.40 – 0.82
Retroexcavadora con uña	0.50 – 1.14
Percusión (Pica-Pica) en capa mas compacta	0.40 – 1.20
Tractor de estera	< 0.9
Herramienta de corte adaptada a retroexcavadora	< 0.25

La máquina que mejor se adaptó al trabajo de excavación de la toba con un bajo nivel de vibraciones, la podemos ver en la foto 1, y fue una herramienta concebida por la empresa responsable de las obras y que consistía en un disco de corte de grandes dimensiones adaptado al extremo de una retroexcavadora.

Para la realización de la obra se aconsejó no sobrepasar el nivel de 0.9 a 1 mm/s en frecuencias inferiores a 30Hz. En la figura 1, presentamos algunos de los eventos registrados durante las realización de las obras; por fortuna la frecuencia de todos los eventos se situaba por encima de los 40hz.

Asimismo, se utilizó este equipo para analizar las vibraciones producidas por la realización de las perforaciones para el anclaje de los micropilotes del sistema de sujeción de la cubierta, obras realizadas en octubre de 2002. Únicamente fue necesario el desplazamiento de un anclaje, inicialmente previsto a unos pocos metros al oeste de la cueva. En este punto la toba es algo más compacta y debido a la proximidad a la cueva, se inducían, en ésta, vibraciones durante la perforación, por encima de 1mm/s de forma continua.

Análisis de las vibraciones inducidas por la cubierta

Como parte de la obra arquitectónica, se ha instalado, cubriendo la Cueva Pintada y el resto del conjunto arqueológico, una cubierta de 5700 metros cuadrados de superficie (foto 3).

Esta cubierta está anclada a la misma formación en que se desarrolla la cueva, mediante 16 apoyos micropilotados cada uno sobre 3 sondeos de 10 metros de profundidad.

El objetivo de este análisis es verificar que esta estructura, cuando se ve sometida a los esfuerzos de un temporal de viento, no induce en la cueva modos de vibración que puedan amenazar su estabilidad.

El equipo utilizado para el registro del fondo sísmico está compuesto por los siguientes elementos:

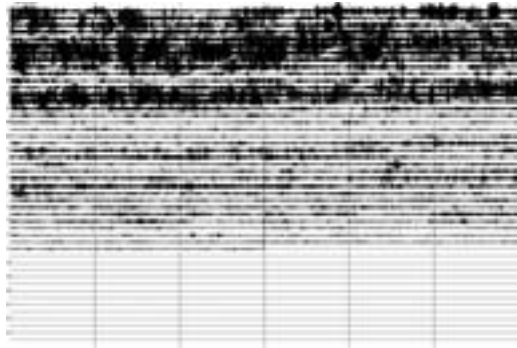
- 3 sensores sísmicos Kinematics SS-1 de 1 Hz de frecuencia natural.
- Sistema de adquisición de datos USB de la firma Computer Boards modelo PMD-1680fs.
- Ordenador portátil.

Para garantizar la detección de un amplio rango de frecuencias, todos los registros se efectuaron a razón de 1000 muestras por segundo (mps) para cada canal, lo que permite abarcar un rango de 1 a 250 Hz. En la foto 2 podemos ver los 3 sensores de registro sísmico instalados sobre la base de uno de los anclajes al este de la cueva, así como el ordenador portátil de registro sobre un pilar que sirve de apoyo a la pasarela por la que transitan las visitas.

Como elemento de referencia previa a la instalación de la cubierta se llevó a cabo un primer registro del fondo sísmico el 3 de octubre de 2002, y tras la instalación de la cubierta se realizaron 3 campañas de registro los días 2 de octubre, 24 de octubre y 20 de noviembre de 2006.

La mejor oportunidad de analizar los efectos de vibración de la cubierta sobre la cueva se presentó la noche del 24 al 25 de octubre en que coincidió un fuerte temporal de viento.

En la figura 2 podemos ver el registro del día 25 de octubre de 2006, el fuerte viento produjo máximos de vibración hacia las 3 horas de la mañana, cuya amplitud máxima para el movimiento compuesto de la partícula fue de 170 micras por segundo, con frecuencias principales de resonancia de la estructura de la cubierta alrededor de los 13 Hz (figura 3); hacia las 7 de la mañana amainó el temporal de viento.



■ Figura 2. Ejemplo de registro correspondiente al día 25/10/2006. Cada línea horizontal representa media hora de tiempo. El temporal de viento produjo máximos de vibración de 170 micras/segundo hacia las 3 de la madrugada y amainó algo después de las 7 horas.

Los niveles de vibración registrados para el movimiento conjunto de la partícula según los ejes X,Y, y Z los resumimos en el siguiente cuadro:

	VELOCIDAD PICO
Fondo natural de noche	2.5 $\mu\text{m/s}$
Fondo natural de día	9 $\mu\text{m/s}$
Fondo con tormenta de viento	170 $\mu\text{m/s}$

Seguimiento a largo plazo de la actividad sísmica en el entorno de la cueva

Tiene por objeto detectar cualquier actividad antrópica que modifique el nivel de vibraciones del entorno de la cueva y poder actuar en consecuencia con la mayor celeridad.

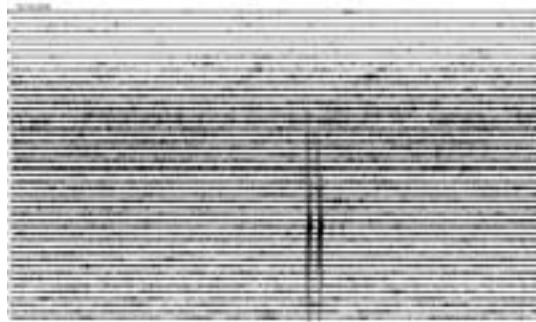
Estos trabajos se iniciaron el 30 de abril de 2003 y continúan en la actualidad, durante los primeros 3 años se utilizó un sistema de registro basado en PC, y desde el 2 de octubre de 2006 se utiliza un sistema autónomo con almacenamiento de datos en tarjeta MMC y velocidad de adquisición de 50 mps. El sensor está instalado en la cueva anexa que se sitúa a unos pocos metros al este de la Cueva Pintada, y anclado sobre una base de hormigón aislada con geotextil del suelo de toba en que se apoya.

En estos años de registro hemos podido constatar que la sismicidad natural de la zona, representada principalmente por los sismos que tienen sus origen entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, presentan una amplitud unas 10 veces superior al fondo inducido por la actividad antrópica cotidiana.

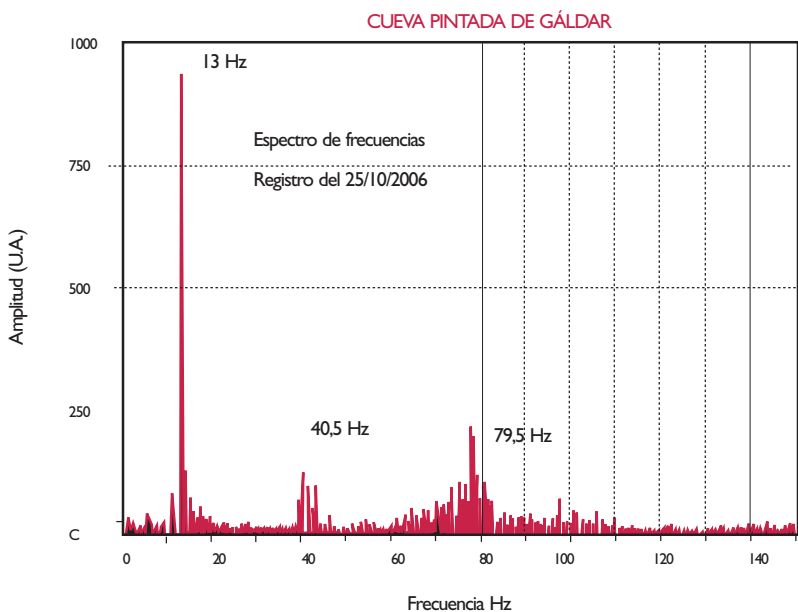
Por otro lado, este sistema nos ha permitido detectar la actividad de una cantera para extracción de áridos que efectúa explosiones aproximadamente cada semana. En la figura 4 puede verse un registro correspondiente al 14 de octubre de 2006 en donde se ve claramente uno de estos tiros.

En la figura 5 y 6 presentamos en detalle la composición de estos tiros; 4 pequeñas explosiones que alcanzan una amplitud máxima de 80 micras por segundo. La distancia P-S de 0.91 segundos nos hace pensar que el punto de tiro se encuentra a menos de 5 kilómetros de la cueva.

Aunque la amplitud de la vibración producida por estas explosiones no ha aumentado con el tiempo, es aconsejable la negociación con esta cantera de cara a lograr que se fragmenten los tiros en barrenos del menor tamaño posible.



■ Figura 4. Registro microsísmico del día 14/10/2006 en el que se aprecian claramente los tiros de la cantera próxima así como su gran amplitud relativa al fondo de vibración producido por las actividades en el entorno de la cueva.

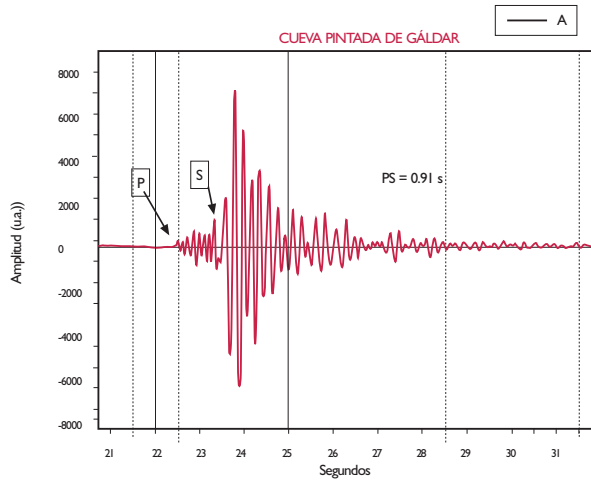


■ Figura 3. Espectro de frecuencias correspondiente al registro de la figura 2. Aunque aparecen altas frecuencias por encima de los 40 Hz, la estructura de la cubierta parece “resonar” a una frecuencia dominante de 13 Hz con picos de velocidad de 0.17 mm/s.



■ Figura 5. Detalle de los 4 tiros de cantera presentados en la figura 4, con intervalos de 10 a 30 segundos entre tiros y velocidades máximas de 0.05 mm/s.

- Figura 6. Registro del tren de ondas de uno de los tiros presentados en las figuras 4 y 5. El tiempo de 0.91 segundos transcurrido desde la llegada de la onda P a la onda S nos hace pensar que la cantera se encuentra a una distancia de la cueva inferior a 5 kilómetros.



- Foto 3. Vista general de la cubierta.



Estudio de la viabilidad de aplicación de tratamientos de consolidación sobre la toba volcánica del yacimiento arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar

C. Cirujano Gutiérrez y J.V. Navarro Gascón

Introducción

En el año 1997, fecha en la que se inicio el presente estudio, las estructuras trogloditas del yacimiento arqueológico de Cueva Pintada de Gáldar, excavadas en la toba volcánica, presentaban un deterioro progresivo y bastante acelerado con continuos desprendimientos y pérdida de material. Esta situación se debía por un lado a las características intrínsecas de la roca y por otro lado a su vulnerabilidad frente a los agentes ambientales, a los que llevaban expuestos más de veinte años desde su descubrimiento.

El proyecto museológico del conjunto contemplaba la protección total del yacimiento, por lo que se presuponía que el proceso de deterioro de la roca se frenaría. No obstante, se creyó necesario emprender una línea de investigación para evaluar la idoneidad de distintos tratamientos de consolidación del material pétreo, ante la eventualidad de que se planteara la necesidad de efectuar alguna intervención puntual.

Para conocer los efectos que, a medio y corto plazo, podían tener este tipo de tratamientos sobre el comportamiento petrofísico de la toba se programaron distintos ensayos de evaluación en laboratorio, sobre la roca sin consolidar y sobre la roca consolidada con distintos productos.

Este tipo de estudios se debe realizar sobre probetas de roca de dimensiones normalizadas y era necesario disponer de un volumen importante de material. Por ello, se decidió efectuar el estudio sobre toba volcánica inalterada procedente de una cantera de Gáldar, cuyas características son muy similares a las del yacimiento.

Los resultados obtenidos sobre piedra de cantera no se pueden extrapolar a la roca alterada. Tampoco se puede extrapolar el resultado de un ensayo efectuado sobre una probeta de tamaño limitado al que se pueda conseguir

en un área tan vasta y compleja como el yacimiento de la Cueva Pintada. Por estas razones se planteó la necesidad de realizar con posterioridad unas pruebas *in situ*, que permitieran extraer conclusiones relevantes acerca de las posibilidades reales de acometer una operación de esta envergadura.

Estudio petrográfico de la toba volcánica

Antes de iniciar la realización de los ensayos se procedió a estudiar las características petrográficas de la roca, es decir su composición mineralógica, textura, estructura y porosidad, con objeto de efectuar una estimación previa acerca del grado de penetración que podría obtenerse con un tratamiento de consolidación. Se utilizaron las siguientes técnicas de estudio:

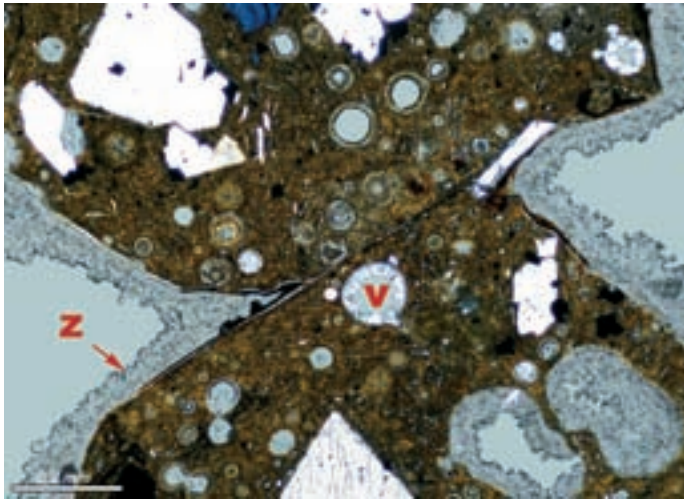
- Estudio petrográfico sobre lámina delgada mediante microscopía óptica de luz transmitida polarizada.
- Identificación de fases cristalinas mediante difracción de rayos X.
- Microscopía electrónica de barrido.
- Microanálisis mediante espectrometría de dispersión de energías de rayos X.

Como ya se ha señalado, el material pétreo utilizado para la realización de los ensayos procede de las canteras situadas en Gáldar, en el mismo edificio piroclástico en que se asienta el yacimiento arqueológico. A pesar de la similitud entre ambos materiales hay que señalar que en el yacimiento se observan algunas discontinuidades y procesos de alteración que no aparecen en el material de cantera.

La toba de Gáldar está constituida por un agregado de granos piroclásticos de lapilli cuyos tamaños oscilan entre 4 y 9 mm en las muestras estudiadas. Los granos presentan morfologías elongadas y angulosas características, con frecuentes secciones ameboidales y una textura interna vacuolar (figura 1). Este tipo de materiales se cataloga dentro de la categoría de rocas volcánicas fragmentales, generándose como consecuencia de explosiones violentas que fragmentan y expulsan fuera del edificio volcánico material, total o parcialmente consolidado, constituido por fragmentos de roca y/o vidrio o cristales, de tamaño variable (desde bombas a cenizas).

En el examen del núcleo de estos granos aparece abundante material vítreo, óxidos/oxihidróxidos de hierro, cristales microlíticos de 10-20 μm de longitud, fenocristales idiomorfos de olivino (forsteritas férricas) cuyas

dimensiones oscilan entre 250-500 μm de longitud, que pueden presentarse fragmentados o corroídos, y opacos. Son muy abundantes las vacuolas y vesículas esféricas o elongadas, consecuencia de los procesos de degasificación, que se presentan huecas o cementadas por calcita magnésica y zeolitas. Las fases cristalinas identificadas mediante DRX realizados sobre partículas extraídas del interior de los granos han sido filipsita, forsterita férrica y augita.



■ Figura 1. Detalle de la sección petrográfica de la toba de Gáldar en la que se observa el contacto entre dos granos de lapilli, la porosidad vacuolar (V) y el cemento zeolítico (Z) que los rodea.

Tanto en la disposición de los microlitos y fenocristales como en la distribución y morfología de las vacuolas se observa con cierta frecuencia una orientación preferente. El interior de los granos presenta, asimismo, un cierto bandeo caracterizado por un núcleo central de color negro y rojizo en los bordes (posible desestabilización del vidrio).

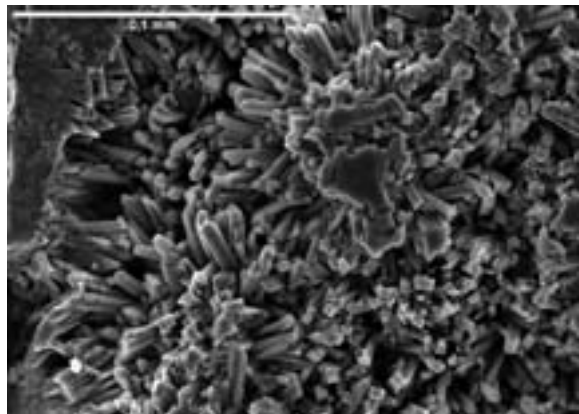
En el exterior de los granos de lapilli se observa un cortex sobre el que se asienta un cemento de color blanco-nacarado, espesor variable entre 50 y 100 μm , constituido por una densa película de cristalitos prismático-radiales, de 10-25 μm de longitud, y naturaleza zeolítica. Localmente, algunos de los granos aparecen cementados por calcita con textura fibroso-radial y aspecto botroidal, posiblemente posterior a la fase de cementación zeolítica. En el análisis mediante DRX de este cemento, el principal compuesto identificado es filipsita, acompañado por calcita magnésica.

En el examen detallado de los granos de lapilli no se observan puntos de soldaduras intergranulares, circunstancia que condiciona la baja resistencia mecánica de la roca; de hecho la coherencia del material se deriva de la existencia de la fase cementante, esencialmente zeolítica, antes señalada.

En relación con el proceso de aplicación de los tratamientos de consolidación, debe recordarse que la única vía posible de penetración de los productos es la propia estructura porosa del material que, en la toba de Gáldar, presenta las siguientes características:

- Presencia de una importante red macroporosa, intergranular, con alto grado de interconexión que permite con facilidad la percolación directa de fluidos en las muestras de roca inalterada.
- Porosidad intercrystalina asociada a las masas de cristalitos prismático-radiales de filipsita, los cuales confieren al conjunto del cemento zeolítico una superficie específica elevada.
- Ultramicroporosidad intracrystalina, asociada a los cristales de filipsita (inaccesible para los productos consolidantes).
- Porosidad intragranular, dependiente de las características individuales de los distintos granos de lapilli (porcentaje de vidrio, vacuolas, porosidad matricial...). Este tipo de porosidad puede llegar a ser muy importante, si bien por tratarse de una porosidad no interconectada, en el caso de las vacuolas de degasificación, y por la existencia de un cortex en la superficie de los granos hemos de considerar que la porosidad intragranular no será accesible a los productos de tratamiento.

■ Figura 2. Imagen obtenida mediante MEB de la superficie de un grano de lapilli totalmente cubierto por el cemento zeolítico. El objetivo de la consolidación es el refuerzo de este cemento.



A partir de los datos proporcionados por el estudio petrográfico se pudo concluir que el objetivo de los tratamientos debe centrarse en el refuerzo del cemento zeolítico.

Tratamientos de consolidación

Los tratamientos de consolidación son procesos a través de los cuales se mejoran las propiedades mecánicas de la roca alterada con la aplicación superficial de un producto líquido que penetra en su interior, en donde polimeriza o fragua. De esta forma se recupera la cohesión intergranular al tiempo que se adhieren las zonas alteradas al sustrato inalterado.

Estos tratamientos deben reunir una serie de requisitos ideales entre los que se encuentran el aumento de la resistencia mecánica y la capacidad de penetración en el sistema poroso, sin producir modificaciones ni cambios cromáticos y sin que se vea reducida la posibilidad de transferencia de humedad del material pétreo.

La roca a tratar y el producto utilizado constituyen un binomio que se evalúa conjuntamente. El cumplimiento de algunos de estos requisitos no depende única y exclusivamente de las características del producto seleccionado, sino de la aptitud de la roca que está siendo tratada para recibir dicho producto, y del método y condiciones de aplicación. Por ello también es importante que exista compatibilidad entre el producto y el soporte, tanto desde el punto de vista físico como químico.

Descripción de los productos seleccionados y metodología de aplicación

Teniendo en cuenta los requisitos antes reseñados, se optó por la elección de dos tipos de consolidantes.

El primero de ellos es un producto inorgánico, silicato de etilo, que se hidroliza en presencia de humedad dando lugar a la precipitación de sílice coloidal amorfa y liberando a su vez alcohol. Se debe aplicar sobre piedra seca y libre de sales y con unos parámetros de humedad y temperatura determinados. Su efecto está basado en que actúa como cementante ya que rellena los poros. Su afinidad química con el material silicatado es buena. Se ensayó diluido en *white spirit* (fracción ligera de destilado de petróleo) en dos concentraciones diferentes: 50% y 100%.

El segundo producto elegido es un material termoplástico, copolímero de acrilato de metilo y metacrilato de etilo. Es incoloro, con buena resistencia al envejecimiento, a los agentes químicos y a la luz y con un poder adhesivo alto. Penetra bien en los poros de la piedra, y en general mejora las propiedades mecánicas de los materiales tratados, aunque la mayor dificultad estriba en conseguir que penetre en profundidad. Se aplicó disuelto en tricloroetano en dos concentraciones diferentes: 5% y 10%.

Las probetas tenían unas dimensiones de 5 ó 7 centímetros de arista dependiendo del ensayo a realizar. La metodología de aplicación se basó en la alternancia de inmersiones en el consolidante y en el disolvente, para favorecer así la penetración y la distribución homogénea del producto en la roca.

Evaluación de tratamientos

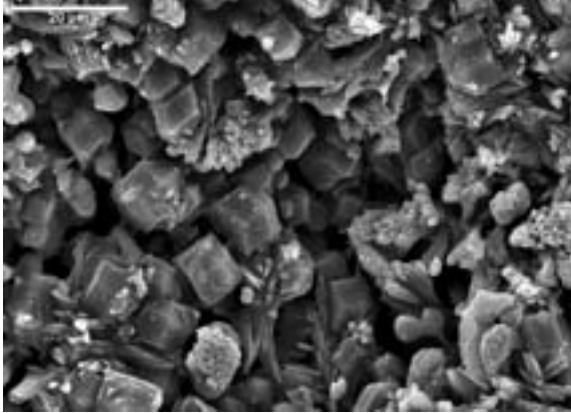
Para evaluar el resultado obtenido con la consolidación era necesario conocer la morfología de los productos depositados, el grado de refuerzo conseguido en el material cementante, las modificaciones producidas en las propiedades hídricas, el nivel de mejora de la resistencia mecánica y de la alterabilidad y, por último, constatar si se habían originado alteraciones cromáticas en el material pétreo.

Mediante el estudio con microscopía electrónica de barrido se pudo observar que todos los productos aplicados encontraban una fácil penetración por percolación en el interior de las probetas, obteniéndose un reforzamiento del cemento zeolítico.

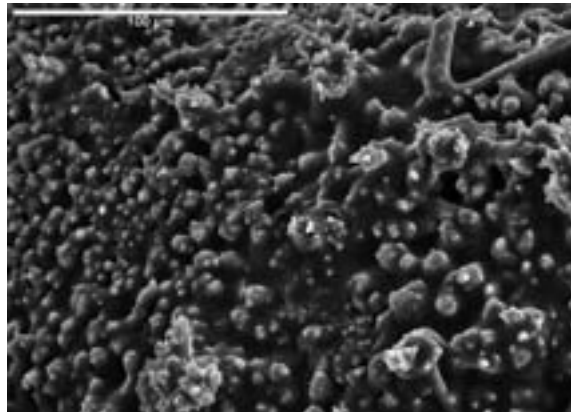
En las probetas tratadas con copolímero acrílico diluido al 5% se formaba una fina película discontinua, obteniéndose un efecto consolidante muy bajo. El mismo producto diluido al 10% formaba una película continua sobre la totalidad de la superficie del cemento. El efecto consolidante era bueno, aunque el «efecto barrera» que creaba, y por el cual se impedía la transferencia de humedad desde el interior de los granos de lapilli hacia el exterior; se valoró negativamente (figuras 3 y 4).

En las probetas tratadas con silicato de etilo diluido al 50% se conseguía un grado de consolidación alto, gracias a la formación de un depósito uniforme que permitía la transferencia de humedad hacia el exterior. Con el mismo producto aplicado sin diluir se lograba la formación de un depósito espeso de producto en el espacio poroso intercrystalino del cemento, que permitía la transferencia de humedad y que se repartía uniformemente en

la superficie del mismo. En este caso el efecto consolidante era muy alto (figuras 5 y 6).



■ Figura 3. Resultado obtenido tras el tratamiento con copolímero acrílico diluido al 5%, donde se observa la formación de un delgado depósito de carácter filmógeno que recubre todo el cemento.

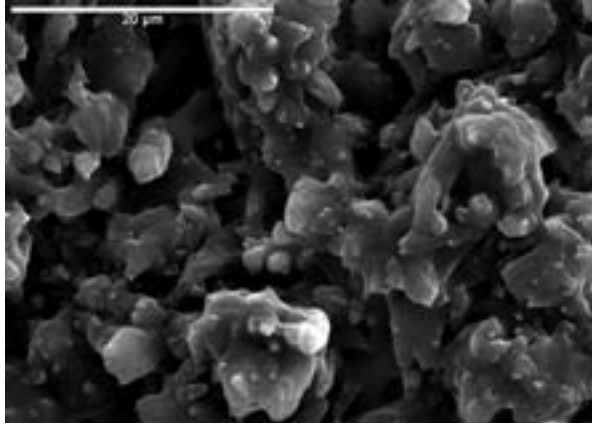


■ Figura 4. Resultado obtenido tras el tratamiento con copolímero acrílico diluido al 10%, donde se observa la formación de una película superficial al actuar como barrera frente a la transferencia de humedad.

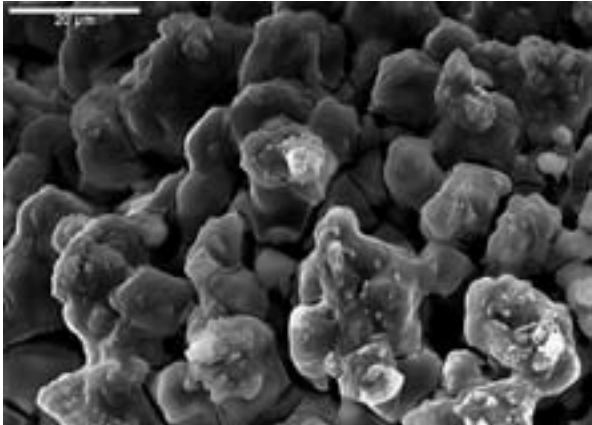
Modificaciones producidas por los tratamientos en las propiedades hídricas de la roca

Con objeto de caracterizar el comportamiento de la toba frente a la transferencia y almacenamiento de humedad y las modificaciones producidas como consecuencia de los tratamientos realizados, se llevaron a cabo distintos ensayos en probetas de 5 cm de lado, consolidadas con los diferentes productos antes mencionados y en probetas de las mismas dimensiones que no habían sido consolidadas.

- Figura 5. Aspecto de la superficie del cemento tratada con silicato de etilo diluido al 50%. Se observa la formación de un depósito heterogéneo, con textura grumelar, que ocluye, tan sólo parcialmente, la porosidad intercrystalina del cemento zeolítico.



- Figura 6. Aspecto de la superficie del cemento zeolítico tras recibir el tratamiento con silicato de etilo al 100%, donde se observa la deposición masiva del producto y la formación de un craquelado que genera una porosidad secundaria.



El objetivo del ensayo de absorción libre de agua es conocer la cantidad que absorbe la piedra a presión y temperatura ambiente; dicha cantidad está íntimamente relacionada con la configuración del sistema poroso. Para realizar este ensayo las probetas se sumergen en agua destilada a una temperatura predeterminada y se extraen a intervalos regulares, procediendo a pesarlas en cada extracción.

Del examen de las curvas de absorción libre se deducía que las probetas sin tratar y las tratadas con silicato de etilo experimentaban una evolución similar; aunque los valores finales eran menores en estas últimas. Por su parte, las probetas consolidadas con copolímero acrílico tenían un comportamiento diferente, si bien al final del ensayo la capacidad de absorción era similar a la roca tratada con silicato (figura 7).

El ensayo de desorción libre de agua permite conocer la pérdida de agua absorbida a presión y temperatura normal mediante secado en condiciones ambientales. Una vez finalizado el ensayo de absorción libre las probetas se colocan sobre una rejilla para que la evaporación se produzca por todas las caras y se mantienen en una habitación a temperatura y humedad constantes. La pérdida de peso se controla con medidas efectuadas a intervalos de tiempo programados.

Las curvas de secado indicaban una mayor dificultad para las probetas tratadas con el copolímero acrílico, debido a la formación de películas homogéneas y continuas que dificultan la transferencia de humedad hacia el exterior (figura 8).

Por último se efectuaron los ensayos de succión capilar. En este tipo de prueba, las probetas una vez secas se introducen en una cubeta con agua destilada a una altura constante. A intervalos previamente definidos se secan y pesan, interrumpiendo el ensayo al estabilizarse el incremento de peso.

El proceso de absorción de agua era muy diferente en todas las probetas pero después de 240 horas de ensayo se obtuvieron valores similares en la roca sin tratar y en la tratada con silicato de etilo.

Modificaciones producidas en las propiedades mecánicas

Para obtener información adicional sobre la eficacia de los tratamientos aplicados se realizaron ensayos mecánicos sobre probetas cúbicas de 7 cm de arista, consolidadas y sin consolidar.

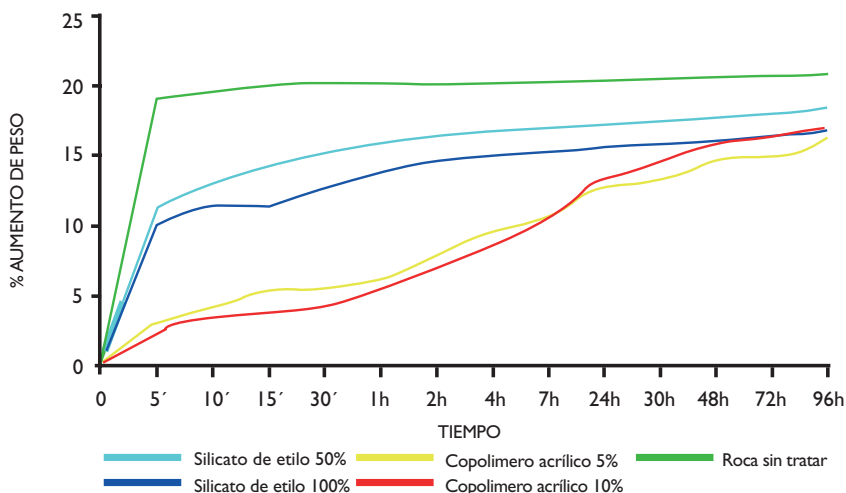
No es habitual realizar este tipo de ensayos para evaluar estos tratamientos, ya que la penetración de los productos consolidantes suele ser muy limitada. En este caso, al haberse realizado un tratamiento mediante inmersión se consideró que podrían haber variado las propiedades mecánicas.

Se estudiaron dos parámetros, resistencia a compresión simple y desgaste por abrasión, siguiendo las normas UNE.

La resistencia a compresión simple es la carga máxima por unidad de superficie que es capaz de soportar una probeta hasta que se produzca la rotura.

Para la realización de este ensayo las probetas se sumergen en agua destilada, a una temperatura de 20-25°C durante un tiempo mínimo de 48 horas y posteriormente se someten a cargas crecientes hasta que se produce la rotura.

Los resultados obtenidos muestran una dispersión importante debido a la mayor o menor presencia de cemento carbonatado con respecto al zeolítico, a su espesor o al distinto tamaño de los granos de lapilli en las probetas ensayadas.



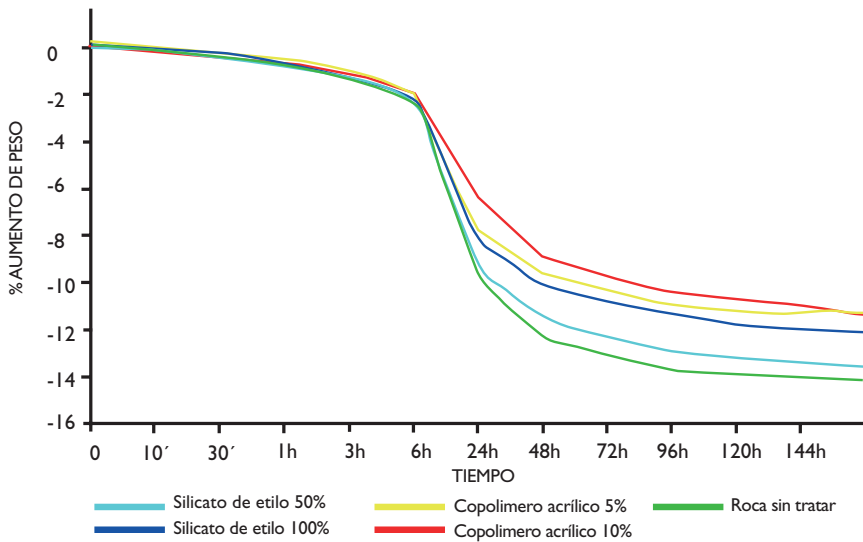
■ Figura 7. Comportamiento de las probetas tratadas y sin tratar durante el ensayo de absorción libre de agua.

En general todas las probetas tratadas mejoraban su comportamiento frente a este ensayo. Los mejores resultados se obtuvieron con la consolidación con silicato de etilo aplicado sin diluir; en este caso la resistencia a la compresión simple aumentó en un 37.06 % con respecto a las probetas sin tratar (figura 9).

El objetivo del ensayo de resistencia a desgaste por abrasión es medir la pérdida de sección sufrida por las probetas que, tras permanecer sumergidas 24 horas en agua a temperatura de laboratorio, son sometidas a un recorrido de 250 m en un dispositivo giratorio sobre el que se vierte de forma controlada agua y un abrasivo (método de la plataforma giratoria) que actúa sobre una de sus caras. Al finalizar el ensayo se mide la pérdida de espesor experimentada por cada una de las probetas.

En todos los casos los desgastes obtenidos en las probetas consolidadas fueron superiores a los que se obtuvieron en la roca sin consolidar, en una relación casi inversa a las mejoras obtenidas en los ensayos de resistencia mecánica. Los menores desgastes (2.2 %) se obtuvieron en el tratamiento con copolímero acrílico al 5%, ascendiendo hasta un 26 % cuando se utilizó silicato de etilo al 50 %.

Los resultados son, no obstante, difíciles de evaluar por la inadecuación de la normativa al tipo de material ensayado.



■ Figura 8. Comportamiento de las probetas tratadas y sin tratar durante el ensayo de desorción.

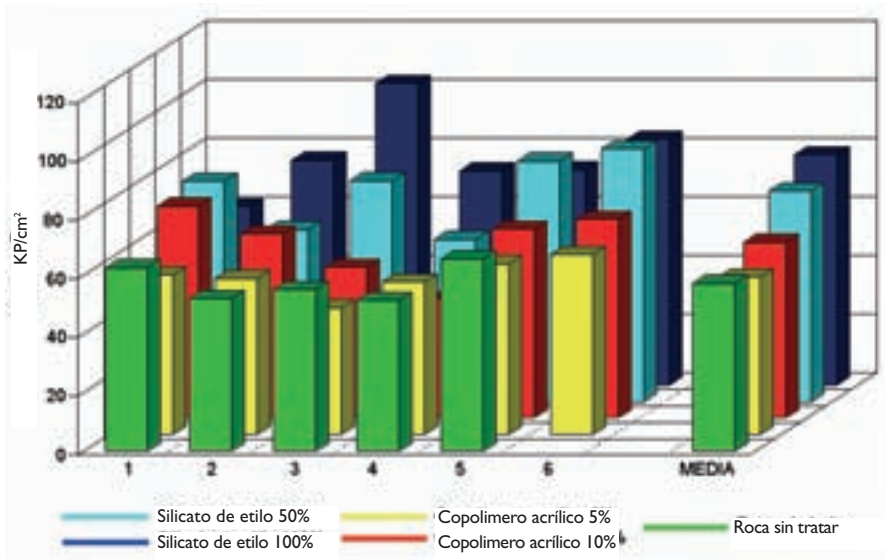
Modificaciones producidas por el ensayo de alterabilidad por cristalización de sales

El objetivo del ensayo era evaluar los daños producidos en las probetas tras ser sometidas a ciclos continuados de cristalización y disolución de sales. Se utilizó sulfato sódico decahidratado en solución al 10%.

La inmersión total de las probetas se realizó a presión y temperatura ambientales, siendo estas mismas condiciones las que se mantuvieron durante la fase de secado.

Diariamente las probetas se pesaban y se secaban, primero en estufa y posteriormente a temperatura ambiente, a continuación se sumergían en sulfato sódico en donde permanecían durante dos horas. Pasado este tiempo se introducían de nuevo en la estufa hasta completar un ciclo de 24 horas.

Los resultados obtenidos en el ensayo mostraron una evolución similar en todas las probetas, obteniéndose un incremento de peso hasta el sexto ciclo de cristalización como consecuencia de la incorporación de las sales al sistema poroso de la piedra. A partir de este ciclo la degradación de algunas probetas fue tan acusada que no se pudo continuar el ensayo.



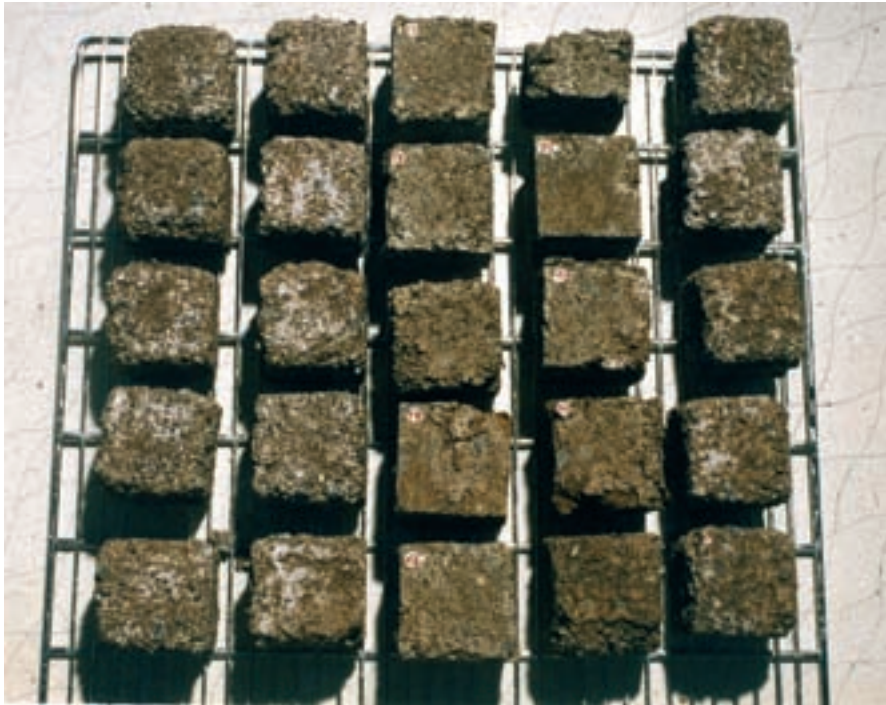
■ Figura 9. Comportamiento de las distintas probetas ensayadas en el ensayo de resistencia a compresión simple.

El comportamiento de las probetas consolidadas con silicato de etilo fue similar al de las probetas sin consolidar, produciéndose un deterioro homogéneo en toda la superficie. Las probetas consolidadas con el copolímero acrílico mostraron un deterioro completamente diferente, produciéndose el levantamiento de escamas de gran grosor e incluso provocando la ruptura de la probeta (foto 1).

Modificaciones cromáticas producidas por los tratamientos

Para el análisis colorimétrico se empleó un analizador de color triestímulo por reflexión sobre las superficies, realizándose tres tomas sobre cada muestra. El iluminante patrón empleado es el D65 y los valores se han suministrado en el sistema $L^*a^*b^*$ (CIE 1976) y las diferencias de color con la muestra patrón en DE (CIELAB).

Las muestras tratadas con los diferentes productos de consolidación viraron hacia tonos más oscuros, perdiendo simultáneamente claridad. En todas se produjo una variación de color apreciable por el ojo humano aunque desde el punto de vista cromático la menor variación la experimentó la probeta tratada con copolímero diluido al 5%.



- Foto 1. Probetas después del ensayo de cristalización de sales. La tercera y cuarta columna desde la derecha corresponden a las probetas tratadas con Paraloid al 5% y al 10%.

La percepción en lo que se refiere a la variación cromática se acrecienta cuando se trata de grandes superficies, por lo que este hecho debía ser tenido en cuenta en el momento de la valoración final de los resultados.

Pruebas de consolidación *in situ*

El estudio se completó con pruebas realizadas *in situ*. Estos trabajos se llevaron a cabo en el mes de marzo de 2002. A partir de los resultados obtenidos en la fase inicial, se decidió efectuar los ensayos de consolidación con silicato de etilo, aplicado al 100% y siguiendo en la medida de lo posible la misma metodología de impregnación.

Para efectuar las pruebas se seleccionaron dos zonas del yacimiento. La primera de ellas en una de las paredes cercana al recinto adyacente a la Cueva Pintada (sector A), orientada al sur y en la que no se aprecia la presencia de

caliches ni de estratos arcillosos entre los paquetes de toba (foto 2). La segunda pared (sector B) se encuentra en la parte superior del parque, orientada al suroeste y en una zona donde la roca presenta diversos estratos intermedios de caliches.

En primer lugar se instaló un techado para proteger de los rayos solares, y evitar en la medida de lo posible un proceso rápido de evaporación del disolvente con la consiguiente migración del consolidante hacia la superficie.

A continuación se colocó un soporte en el que se instalaron recipientes conectados a dispositivos de goteo; dos contenían disolvente y otros dos silicato de etilo (foto 3).

Se practicaron orificios oblicuos de 15 cm de profundidad en la roca, aprovechando los paquetes de toba en el sector A.

En el sector B se hicieron dos hileras de orificios separados 20 cm entre sí. La altura de la zona a consolidar fue de 167 cm (figura 10).

Comenzó a inyectarse el disolvente y el consolidante de manera alternativa en ambos sectores. Al final del proceso fue necesario pulverizar la superficie con disolvente para facilitar la distribución y penetración del consolidante.

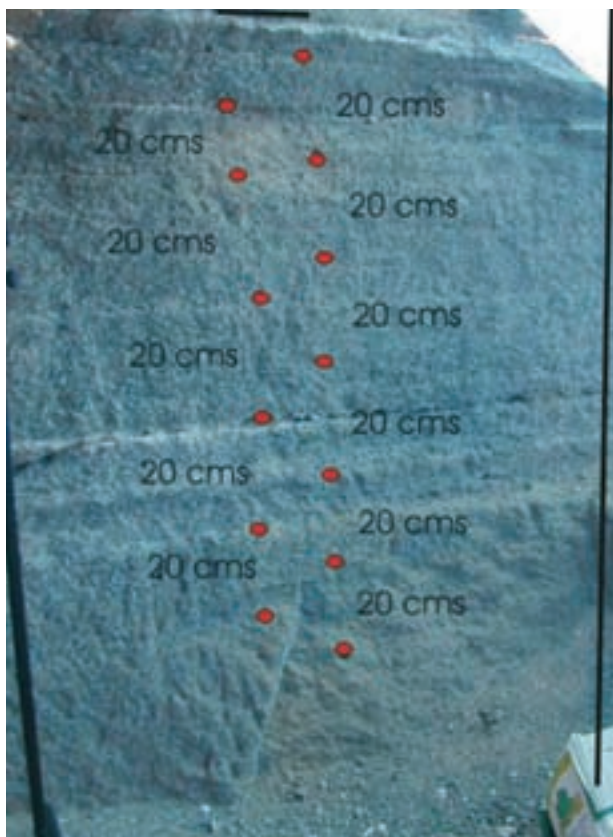


■ Foto 2. Detalle del sector A.

Conclusiones

Los ensayos efectuados en laboratorio demostraron que el efecto consolidante era mayor en las probetas tratadas con silicato de etilo, puesto que se obtenía una mayor penetración del producto en los espacios intercristalinos del cemento. Con este producto también se obtenía un mejor comportamiento de la roca frente a los ensayos mecánicos.

Al efectuar los ensayos *in situ* se pudo constatar la dificultad de efectuar una consolidación



■ Figura 10. Distribución de los orificios practicados en el sector B para proceder a la consolidación.

homogénea de las estructuras de toba y conseguir la impregnación total de la masa rocosa, no solo por el grosor y extensión de las superficies, sino también por la dificultad de percolación del consolidante, entre otras causas por el grado de alteración de los granos de la toba.

En ninguna de las zonas consolidadas se obtuvieron resultados satisfactorios, a pesar de la gran cantidad de producto que se introdujo. Posiblemente debido a esa falta de homogeneización de la impregnación, el efecto consolidante fue muy bajo y no aumentó de manera significativa la cohesión intergranular de la toba volcánica. Al cabo de dos años se ha comprobado que por simple contacto siguen desprendiéndose pequeños fragmentos, siendo mínima la diferencia con las zonas no consolidadas.

- Foto 3. Proceso de consolidación por goteo, mediante la introducción alternativa de disolvente y consolidante.



Otro aspecto a considerar, y que influye de manera evidente en el resultado de este tipo de tratamientos, es la dificultad de controlar las condiciones ambientales dentro de los parámetros de humedad relativa y temperatura necesarios para que los productos polimericen adecuadamente.

También es importante reseñar que si se planteara la necesidad de proceder a la consolidación de parte de las estructuras trogloditas, sería necesario practicar orificios cada 10-15 cm y utilizar cantidades ingentes de disolvente y consolidante sin que se pudiera garantizar un resultado satisfactorio.

De todo ello se concluye que la consolidación de la toba volcánica del yacimiento Cueva Pintada de Gáldar no es una alternativa válida y que por tanto debe desecharse cualquier intento de proceder a un tratamiento de este tipo.



■ Foto 4. Detalle de los trabajos de restauración del año 1997.

Estudio de los materiales constituyentes de muestras de los paneles polícromos de la Cueva Pintada

*S. Sánchez Moral, J. C. Cañaveras Jiménez,
E. Sanz Rubio y J. García Guinea*

Objetivos

En 1999, en el marco del convenio específico de colaboración entre el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas se procedió al muestreo y posterior estudio de los materiales constituyentes de muestras de los paneles polícromos (morteros, enlucidos y pigmentos) de la Cueva Pintada.

Los objetivos concretos de este estudio se concretaron de la siguiente forma:

- Estudio analítico de los pigmentos y «carga» de las pinturas.
- Estudio de los morteros y recubrimientos arcillosos antrópicos a modo de enlucidos o «capa base de los pigmentos» del complejo troglodita.
- Ensayo de la procedencia de los materiales estudiados, y en el caso de los materiales tipo «mortero», investigación sobre la técnica empleada para su elaboración.

Métodos

Se seleccionaron un total de 39 muestras que permitieran una caracterización completa de los materiales a estudiar. Teniendo en cuenta la diferente naturaleza de las muestras tomadas y en función de los objetivos descritos previamente, se realizó un estudio y caracterización de las citadas muestras utilizando las siguientes técnicas analíticas:

Técnicas de análisis petrográfico

El estudio petrográfico se ha basado fundamentalmente en la utilización de microscopía óptica de alta resolución. El aparato utilizado fue un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) PHILIPS XL-20 del Laboratorio de Microscopía Electrónica del MNCN (CSIC). Se estudiaron la totalidad de los pigmentos y un número seleccionado de morteros-estucos, incluyendo muestras de diferente tipo: grano (superficie rota fresca) y sección pulida. Las muestras fueron metalizadas por *sputter* Bio-Rud SC515 (20 μm de espesor de oro) y montadas en *stubs* de aluminio con pintura de plata, cinta de cobre o resinas de grafito.

Técnicas de análisis geoquímico

Los análisis geoquímicos de mayores y trazas fueron realizados por vía húmeda, utilizando un espectrómetro de absorción atómica Perkin-Elmer en los laboratorios del Departamento de Geología del MNCN (CSIC), usando soluciones de referencia Fisher Scientific adecuado para Espectroscopía de Absorción Atómica. De la misma forma, cuando la cantidad de muestra fue suficiente, los análisis geoquímicos se completaron con espectrometría de fluorescencia de Rayos-X (FRX) PHILIPS 1410/20 automatizado sobre pastillas prensadas de las muestras previamente pulverizadas. Los pigmentos de la Cueva Pintada, debido a que la pequeña cantidad de muestra que fue recolectada imposibilitaba la utilización de las técnicas anteriores, se sometieron a análisis geoquímicos semicuantativos (detector microanálisis EDAX Super UTW, modelo PHILIPS DX4i).

Técnicas de análisis mineralógico

La Difracción de Rayos X (DRX) fue utilizada como método principal de análisis de la composición mineralógica de muestras pulverizadas de morteros y arcillas. Los análisis mineralógicos se realizaron siguiendo la misma metodología que la usada para el estudio de las alteraciones de los materiales llevado a cabo con anterioridad.

Experimentación controlada para simulación de fabricación de morteros

El ensayo para la caracterización del proceso de fabricación de los morteros empleados en el complejo troglodita, incluyendo la diferenciación de las arcillas empleadas en su elaboración de las generadas naturalmente, se efectuó mediante una metodología innovadora, desarrollada por personal investigador del Departamento de Geología del MNCN (Sánchez-Moral y otros, 2002). El nuevo diseño con modernos controladores de temperatura y voltaje permiten mantener la muestra a una temperatura programada mientras que se realizan los difractogramas, tanto en forma isothermal como con temperatura variable. Brevemente, consiste en la posibilidad de realizar series de difractogramas en rampas termales con objeto de comprobar los cambios mineralógicos que sufren las muestras al ser calentadas, teniendo en cuenta que en el proceso de fabricación de un mortero dicho calentamiento es necesario para la formación del «ligante».

Caracterización de los morteros

153

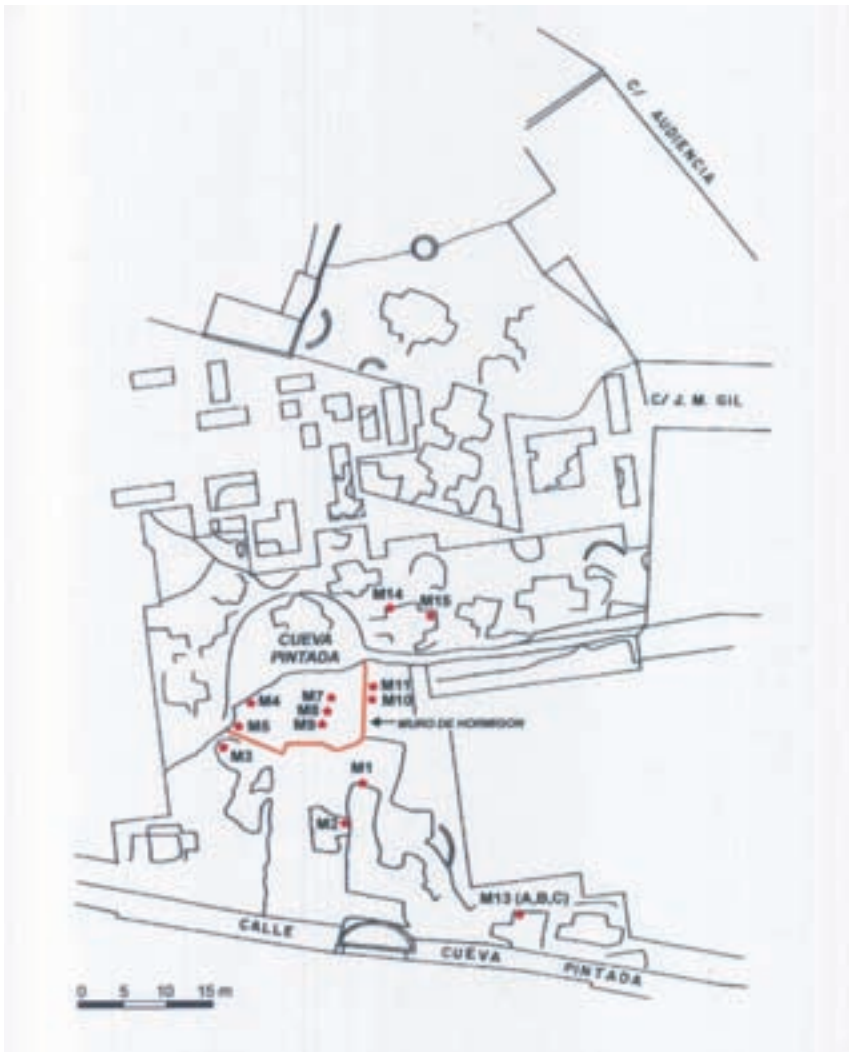
Sobre un total de 21 muestras tomadas, en este trabajo se llevó a cabo el estudio de 15 muestras de materiales representativos de todos los tipos de morteros o estucos empleados con objeto de proteger o decorar la superficie de la piedra del complejo troglodita (figura 1). Las muestras de los morteros se clasificaron en cuatro grupos (el grupo crema sólo está integrado por una muestra) dependiendo de su descripción y de los resultados obtenidos:

Mortero crema:	M-1.
Morteros blanquecinos:	M-13A, M-13B, M-13C, M-15.
Morteros cenicientos / grises:	M-2, M-3, M-5, M-8, M-9.
Arcillas usadas como enlucidos:	M-4, M-7, M-10, M-11.

Mortero crema

La muestra analizada (M-1) corresponde a un mortero en cuya composición destacó la elevada proporción de calcita (65%), apatitos (15%) y feldspatos (15%) y la ausencia de otros componentes como hematite y

olivino (piroclastos) presentes en el resto de las muestras analizadas. Estos datos parecen indicar que la elaboración de este material fue realizada de forma separada de los otros grupos y especialmente para el relleno de la oquedad en la que se encuentra, empleando material seleccionado (carbonatos con muy baja proporción de flosilicatos, 5%), cristales de feldespato y posiblemente huesos.



■ Figura 1. Localización de las muestras representativas de todos los tipos de morteros o estucos empleados con objeto de proteger o decorar la superficie de la piedra del complejo troglodita.

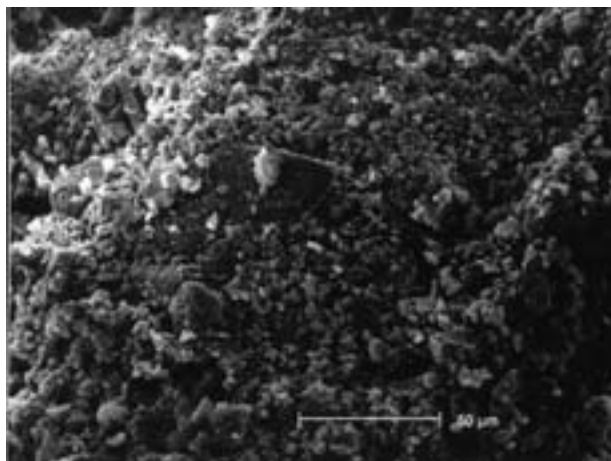
Morteros blanquecinos

Este grupo (M-13 y M-15) se distingue del resto por presentar los contenidos medios en carbonatos (calcita + dolomita) más elevados >80% y bajos contenidos en filosilicatos (5%). En su elaboración se debieron seleccionar materiales procedentes de las costras carbonatadas muy próximas al complejo troglodita. Probablemente fueron utilizados, como producto principal, los restos de las propias excavaciones realizadas por los habitantes prehispánicos para la construcción del poblado, hecho que confirman los datos mineralógicos.

Las observaciones realizadas parecen indicar, sobre todo en el caso de M-13, una mayor elaboración y cuidado en el proceso de fabricación de este mortero, que es muy similar a un cemento actual (foto 1). Los áridos empleados fueron cantos milimétricos de carbonato y algunos piroclastos y huesos y como ligante CaCO_3 con parte de $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, lo cual podría ayudar a rebajar la temperatura necesaria para la preparación de la pasta.

La relación media árido /ligante es 2/1, su grado de cohesión es elevado y la textura es más homogénea que en el resto de los grupos, lo cual parece indicar un mayor tiempo de machaqueo a la hora de la preparación del mortero. La presencia de silicatos cálcicos en forma de cristales idiomorfos, bien conservados (M-13B) y sin signos de sufrir corrosión intensa, puede ser coherente con esa mayor elaboración, si bien no es descartable el efecto de la consolidación a la que fue sometido parte de este material (M-13A).

■ Foto 1. Micrografía de MEB mostrando el aspecto general de morteros blanquecinos con una alta cohesión matriz-ligante.

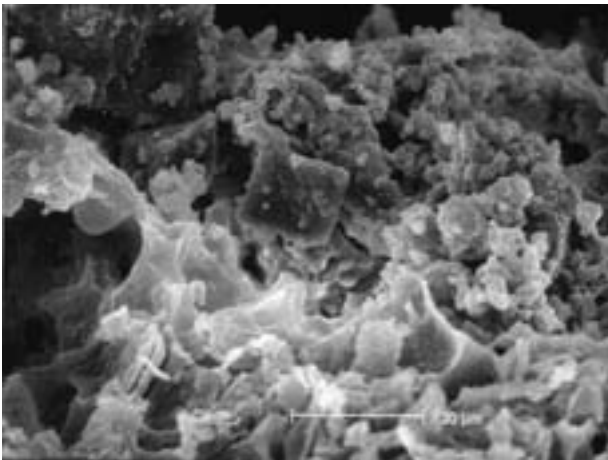


Morteros cenicientos / grises

Son los morteros más comúnmente empleados en el complejo troglodita. Presentan una composición media con una mayor variedad de componentes: contenidos en calcita relativamente bajos (56%), proporciones altas de filosilicatos-óxidos de hierro (20%) y de materiales constituyentes de los piroclastos (20%). La muestra M-3 presenta una abundante concentración de fluorapatitos probablemente relacionados con la presencia de huesos calcinados.

La muestra M-2 se incluyó en este grupo por su aspecto y color, pero sin embargo bien podría incluirse en el grupo anterior por sus características composicionales (proporción de calcita y presencia de dolomita). Se trata, como en los morteros blanquecinos, de un material en buen estado de conservación general, de textura compacta y con un mayor grado de elaboración que el resto; sin embargo, localmente presenta defectos en la cohesión árido/ligante con desprendimiento de áridos que en ocasiones se encuentran muy corroídos (foto 2).

156



■ Foto 2. Micrografía de MEB de morteros grises afectados por corrosión.

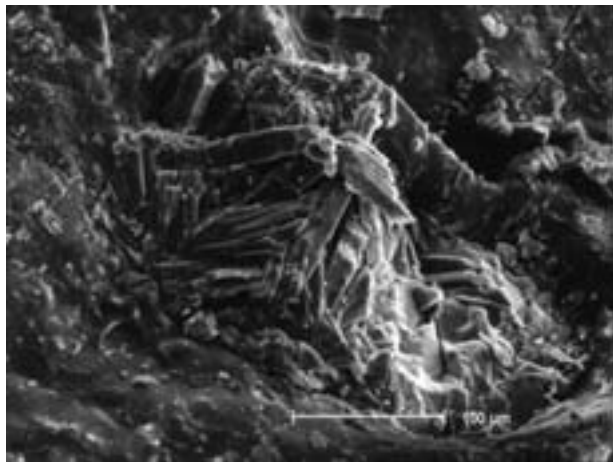
En conjunto, este grupo de morteros ceniciento-grisáceos presenta un menor grado de elaboración que los anteriores, entrando en la composición de los áridos muchos fragmentos de alteración de piroclastos, incluida una elevada proporción de filosilicatos. Este hecho favorece una menor cohesión árido/ligante y mayores fenómenos de corrosión y disolución del ligante carbonatado cálcico. Todo parece indicar que la selección del material para la elaboración de estos morteros era significativamente menos cuidada, se empleaba menos

tiempo en el proceso de machaqueo, se alcanzaban temperaturas menores en la preparación de la pasta, y la dosificación de áridos era menos seleccionada ya que la relación de estos frente al ligante varía mucho de unas muestras a otras.

Cuando las muestras lo permitieron, por haber sido tomadas en una pieza que permite la orientación interna-externa de alguna de las piezas que la componen (ej: M-2 y M-3), se ha llevado a cabo un estudio específico desde la zona externa hacia la cara interna del mortero (foto 3). A pesar de presentar características de un proceso de fabricación menos elaborado que los anteriores, estos morteros presentan normalmente una pátina externa de arcilla, mayoritariamente esmectitas (montmorillonita) y vermiculitas. La parte interna en la que se observan filosilicatos (arcillas) formando parte de la pasta, presenta una mayor proporción de illitas disminuyendo significativamente las montmorillonitas. Esto podría indicar una intencionalidad en su aplicación, bien con fines decorativos o bien como protectoras de estos morteros frente a su disgregación.

Arcillas usadas como enlucidos y sellando fisuras

Este grupo formado por cuatro ejemplares (M-4, M-7, M-IO, M-II) estaba compuesto por muestras de tonos principalmente ocre en las que los componentes fundamentales fueron los filosilicatos, en un rango desde el 55% hasta el 80%.



■ Foto 3. Micrografía de MEB mostrando un relleno arcilloso de illita en la parte interna de un mortero gris bajo la capa externa de enlucido arcilloso esmectítico.

Se observó una clara homogeneidad en la composición mineralógica de las muestras de este grupo con la illita como mineral predominante (contenido medio 48%), pero con valores elevados de montmorillonita (20%), caolinita (16%) y clorita (13%). Únicamente la muestra M-II presentó corrensita (6%) y ausencia de clorita, y la muestra M-10 indicios de la presencia de sepiolita. Esta elevada homogeneidad parece indicar un mismo nivel de procedencia del material empleado en el relleno de las fisuras, si bien dadas las características del muestreo, no pudo descartarse completamente un origen natural por percolación de niveles superiores. Dada la mineralogía identificada, el ambiente de formación de estos materiales debería presentar altas condiciones de humedad y drenaje (caolinita) con períodos de encharcamiento y relativo déficit de drenaje (esmeclita).

La estructura interna de la muestra M-7 sí presentó indicios de estar aplicada en diferentes capas superpuestas. De ser así, junto con el dato de la homogeneidad composicional, estas arcillas debieron ser tomadas de un mismo nivel sedimentario, en el que las arcillas presentarían tonos ocre y elevadas proporciones de arcillas tipo esmeclita, caolinita y clorita. Estas características son coherentes con una procedencia de niveles detríticos presentes en el Parque Arqueológico donde la textura es más arcillosa.

Experimentación sobre las condiciones de elaboración de los morteros

Para la realización de este ensayo partimos del dato de que los morteros están constituidos por una mezcla de carbonatos (media estimada 70%) y filosilicatos (5-20%) a la que se añaden áridos (fragmentos carbonáticos y piroclastos principalmente).

Para conseguir una pasta que posteriormente fragüe, debe realizarse un machaqueo de la mezcla carbonatada y someterla a calcinación (calentamiento de los minerales, especialmente los calcáreos, para eliminar el ácido carbónico y cualquier otra sustancia volátil). Una vez obtenida la «cal», se mezcla con agua («se apaga») y arena (áridos) para conseguir el producto final (mortero).

El primer ensayo (secado con solarización desde 20°C hasta 120°C, de una muestra de arcillas de los perfiles existentes en el Parque Arqueológico) nos permitió comprobar que las arcillas tipo montmorillonita (esmeclita) colapsan su estructura a temperaturas superiores a los 110°C. Este fenómeno podía ser la explicación de que en las muestras estudiadas selectivamente

desde su zona externa a la interna se haya observado una clara disminución de la proporción de este mineral hacia el interior, donde las arcillas que forman parte de la pasta son casi exclusivamente illitas (que colapsan a temperaturas por encima de los 700°C).

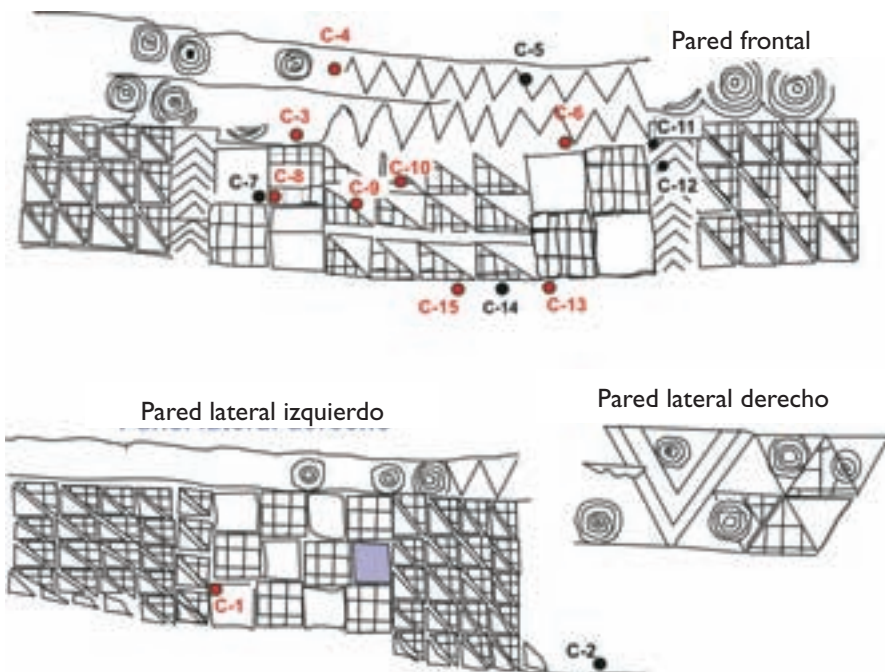
El segundo ensayo, con calentamiento de la muestra de mortero M-9 desde 40°C hasta 120°C, permitió comprobar que no sufre ningún tipo de variación debido al calentamiento, lo cual es indicativo de que en su elaboración debieron superarse las temperaturas de la experimentación.

En la preparación con machaqueo y calentamiento de la mezcla carbonato (75% de carbonatos de las costras presentes en el yacimiento) + material detrítico (25%) desde 20°C hasta 120°C, la composición de la mezcla obtenida se asemejó mucho a la de los morteros estudiados. La montmorillonita colapsó desapareciendo por encima de los 110°C. La halloysita no sufrió cambios de forma similar a lo observado en el primer ensayo. Sin embargo, la cohesión del mortero obtenido fue relativamente buena pero inferior a la de los morteros estudiados. Todo ello parece ser indicativo de que la temperatura de calentamiento alcanzada en la elaboración original de los morteros sería superior a la del experimento >120°C, suficientes como para producir una calcinación parcial de dichos minerales. Esto podría ser la razón de la presencia de silicatos cálcicos en alguna de las muestras estudiadas.

Caracterización de los pigmentos y enlucidos

Se realizó un estudio de 9 muestras de pigmentos tomados en la Cueva Pintada del complejo troglodita de Gáldar (figura 2). Las muestras de pigmentos fueron tomadas selectivamente y con alto detalle, siendo la cantidad recolectada muy pequeña, de tamaño submilimétrico, con el objeto de no dañar el conjunto de las representaciones artísticas. La metodología usada (ver apartado de metodología) en el estudio y caracterización de los pigmentos se fundamenta en su observación en Microscopio Electrónico de Barrido. Las muestras tomadas se corresponden con pigmentos de todas las variedades cromáticas diferenciables por el ojo humano, que se encuentran en las representaciones artísticas de la Cueva Pintada. Las 9 muestras estudiadas de la Cueva Pintada fueron:

3 almagres-pigmentos rojos	(C-1, C-3, C-13)
2 pigmentos blancos	(C-6, C-9)
2 pigmentos negros	(C-8, C-10)
1 pigmento anaranjado	(C-4)
1 enlucido	(C-15)



160

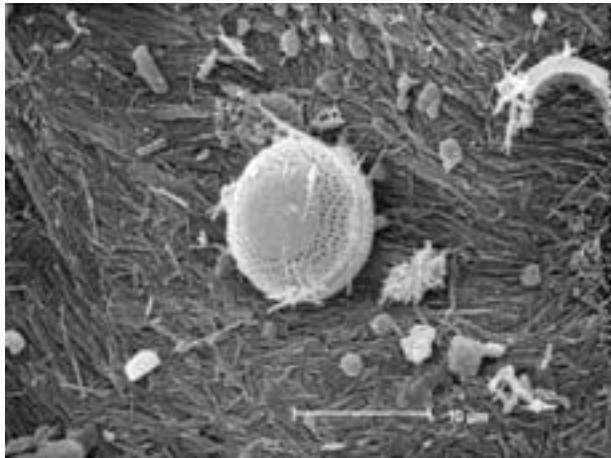
■ Figura 2. Localización de 9 muestras de pigmentos tomados en la Cueva Pintada del complejo troglodita de Gáldar. En rojo se indican las muestras analizadas: 3 almagres-pigmentos rojos(C-1, C-3, C-13); 2 pigmentos blancos (C-6, C-9); 2 pigmentos negros (C-8, C-10); 1 pigmento anaranjado (C-4) y 1 enlucido (C-15).

Rasgos generales

El conjunto de las muestras estudiadas presentó una serie de rasgos comunes:

Existencia de una capa orgánica

Todas las muestras estudiadas presentaron una capa orgánica de recubrimiento con disposición discontinua. Sin embargo, en ocasiones la capa orgánica posee un gran desarrollo, llegando a cubrir completamente el soporte (p.e. muestra C15). La capa orgánica se encuentra formada por diatomeas (organismos silíceos) y bacterias en menor grado, que pueden encontrarse ligadas mediante un mucus orgánico. Las diatomeas encontradas poseen diámetros comprendidos entre 5 y 10 μm y son características de hábitat aéreo (foto 4).



■ Foto 4. Micrografía de MEB mostrando aspecto general del pigmento blanco con un entramado de cristales halloysita sobre los que puede verse una diatomea.

Las comunidades de diatomeas pueden ser encontradas en ambientes aéreos, además de suelos y aguas. Las especies que pueden vivir en hábitat aéreos son capaces de resistir cambios ambientales más rigurosos, tanto resistir flujos de agua como una sequedad extrema o repentinos cambios de temperatura. Estas diatomeas representan un grupo pequeño especializado. La mayoría de estos grupos de diatomeas presentan formas muy pequeñas, encontrándose muy pocas de gran tamaño. Dentro de los grupos de diatomeas aéreas, existen las que se asocian a habitats húmedos (rocas húmedas, musgos, cuevas, nieve y hielo, y zonas de spray de lagos o ríos) o secos (zonas de spray secas o cercanas a masas de agua).

A modo de resumen, la colonización por diatomeas parece ser un proceso más o menos reciente, que en la mayoría de las ocasiones llega a recubrir los pigmentos, en relación con la humedad propia de cavidades. Aunque quizás las

condiciones de humedad en la Cueva Pintada ya favorecieron antiguamente la proliferación de diatomeas aéreas en las paredes, uno de los eventos que contribuyen en mayor grado a la aparición de esta capa orgánica es la construcción de bancales para la instalación de cultivos, cuando las condiciones de circulación subterránea superficial fueron modificadas sensiblemente. En ese tiempo, en la Cueva Pintada, el agua rezumaba por las paredes. La evidencia de una colonización orgánica está indicando una estabilidad relativa de las condiciones microclimáticas. Existe una excepción con las muestras de pigmentos negros, donde todos los datos parecen indicar que ha existido un retoque de las pinturas que recubre la capa orgánica, por lo que se aportan evidencias de la existencia de colonizaciones de diatomeas ya en época de los habitantes prehispánicos.

Cristalizaciones de yeso, calcita y halita

En buena parte de las muestras estudiadas se encontraron cristalizaciones tardías de yeso y calcita que son producto de la alteración de materiales propios de la toba volcánica y/o materiales añadidos antrópicamente. En cualquier caso, la aparición de estas fases minerales en los pigmentos corresponde a un producto secundario, generado posteriormente a la aplicación de los pigmentos. Los cristales de yeso y/o calcita tienen un efecto destructivo en los pigmentos, creciendo y desplazando los materiales que lo componen. La aparición de estas fases en la Cueva Pintada no posee un patrón fijo de distribución, sino que afectan a muestras dispares.

Los cristales de yeso fueron reconocidos en las muestras C-1, C-6 y C-10, mientras que los cristales de calcita aparecen en las muestras C-3, C-4, C-10 y C-15. Los cristales de yeso, que en ocasiones alcanzan grandes dimensiones pudiendo ser observados a simple vista, son el producto de la alteración de la losa de hormigón utilizada en el cierre de la Cueva Pintada. En la Cueva Pintada las eflorescencias que aparecen de forma abundante en el frontal del techo están casi exclusivamente compuestas por sulfato cálcico (yeso), con proporciones menores de halita (NaCl). Esta diferencia composicional debe estar relacionada con la alteración de los materiales de construcción empleados para el cerramiento de la cueva, existentes en el momento del muestreo. Dicha alteración está provocada por interacción de aguas (residuales, meteóricas) con el hormigón y su encofrado. En nuestras observaciones de dos lajas de hormigón se ha observado una fuerte

corrosión de la armadura probablemente relacionada con la presencia de cloruros (posible explicación de la halita) y carbonatación intensa del hormigón. La fuerte liberación de calcio era la responsable de la precipitación del yeso.

Los cristales de calcita son el producto de una alteración-disolución de materiales carbonatados previos, tanto los pertenecientes a las costras carbonatadas que hay en la parte superior de la Cueva Pintada, como los procedentes de la propia toba volcánica. La aparición de cristales de calcita suele estar en clara relación con la existencia de la capa orgánica que recubre los pigmentos, de modo que a veces la calcita hace de ligante de las propias diatomeas, o llega a precipitar sobre las mismas, si bien, como en el caso del yeso, su cristalización puede llegar a desplazar los materiales propios de los pigmentos. Las morfologías reconocidas de los cristales de calcita son muy variadas, desde granulares, esféricas o en roseta para la muestra C-3 hasta pequeños cristales prismáticos y elongados en las muestras C-4 y C-10, cristales con morfología en «diente de perro» en la muestra C-15. En esta muestra C-15, la calcita destaca por su aparición como encostramiento sobre las diatomeas o como pequeños cristales cementantes.

Rasgos particulares de los pigmentos

En este apartado se ponen de manifiesto las características que poseen los distintos grupos de pigmentos y enlucidos:

Almagres-pigmentos rojos (muestras C-1, C-3, C-13)

Todas las muestras estudiadas presentaron los mismos rasgos principales que consisten en la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y Fe-Ti, con morfologías grumelares, que son los que confieren el color rojo a estos pigmentos. Además, se encuentran en todo caso arcillas de difícil caracterización que quedan intermezcladas con los óxidos-hidróxidos de Fe y Fe-Ti. Después de los resultados obtenidos y en función de la homogeneidad de las muestras observadas se puede decir, como conclusión, que los pigmentos rojos son el producto de la utilización de los niveles de almagre existentes en la propia toba volcánica.

Pigmentos blancos (muestras C-6 y C-9)

Las dos muestras estudiadas se componen prácticamente de masas arcillosas formadas por halloysita que suelen presentar una capa orgánica asociada con gran desarrollo. Por lo tanto la génesis de estos pigmentos se encuentra relacionada con la existencia de niveles enriquecidos en halloysita en la toba volcánica, que servirían como materia prima (foto 4).

Pigmentos negros (muestras C-8 y C-10)

Los pigmentos negros presentan una compleja caracterización ya que las muestras manifestaron una gran heterogeneidad composicional. Como rasgo más destacado en las dos muestras seleccionadas (y las correspondientes submuestras que fue necesario analizar), se encontró la existencia de capas minerales bien definidas, aunque irregularmente distribuidas sobre su soporte. Este hecho podría indicar la existencia de varios momentos de aplicación de los pigmentos negros; sin embargo, la composición de los pigmentos es totalmente heterogénea. En las muestras seleccionadas no se encontraron evidencias de carbono orgánico. La composición de las distintas capas minerales que pueden dar lugar a las tonalidades negras de estos pigmentos es fundamentalmente silicea, si bien se detectaron en diferentes capas, o incluso en diferentes áreas dentro de la misma capa, altos contenidos en Mg, Fe, o Mn (muestra C-8). En otras ocasiones, como en la muestra C-10, se reconocieron de la misma forma finas capas de recubrimiento con una composición silico-alumínica con pequeños porcentajes de Fe, Ti y K, características de flosilicatos. Ante la complejidad de la caracterización de los pigmentos, se consideró proceder a la observación de otras submuestras tomadas de la cantidad inicialmente recolectada para C-10, siendo los resultados muy dispares; se reconocieron cristales y componentes amorfos que comúnmente forman la toba volcánica tales como piroxenos y vidrio volcánico, pero en una de ellas se distinguió una capa arcillosa muy fina que recubría el soporte y que presentaba enriquecimiento en Si, Al, K y Mg.

Una vez observada la heterogénea composición química de los diferentes recubrimientos minerales que han podido ser utilizados como pigmentos, nuestros datos parecen reflejar la utilización de una mezcla de

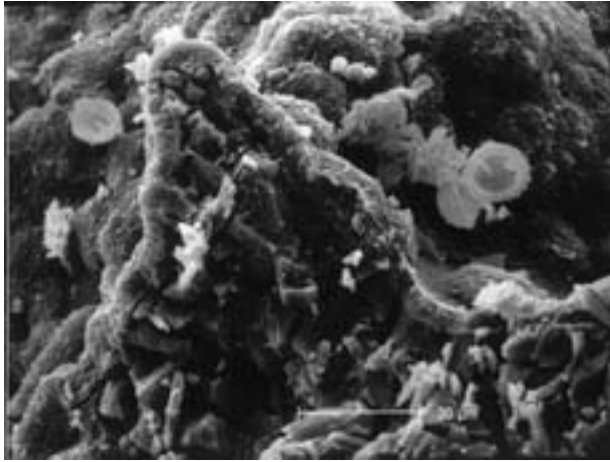
agua, arcillas y minerales y componentes oscuros propios de la toba volcánica, que hubieran podido ser aplicados en diferentes momentos a lo largo del tiempo; las anomalías en diferentes elementos indican que entre los minerales que podrían haber sido utilizados se cuenta con pirolusita (MnO_2) o con vidrio, piroxenos o espinelas todos ellos componentes habituales de la matriz de la toba.

Pigmentos anaranjados (muestra C-4)

La muestra seleccionada para su observación en MEB poseía un color anaranjado con un punteado rojizo. En ella se reconoció una capa formada por óxidos e hidróxidos de Fe y Fe-Ti que cubría el soporte y que parece corresponderse con el punteado rojizo descrito en la muestra, de la misma forma que se encontró en los almagres-pigmentos rojos. Por otra parte, la existencia de masas arcillosas, preferentemente halloysita, en asociación con una densa capa orgánica (desplazada por cristales de calcita), se correspondería con la parte anaranjada de esta muestra. En cualquier caso, presenta evidentes similitudes con la muestra C-15, donde se observaba la asociación entre recubrimiento orgánico, calcita y arcillas y, en conjunto, características mixtas entre los pigmentos blancos y rojizos.

Enlucidos (muestra C-15)

Es destacable la densa capa de colonización orgánica que se puede observar en esta muestra, de modo que el soporte queda totalmente cubierto por una capa de diatomeas que se encuentra ligada con un incipiente cemento de calcita. No obstante, también la calcita llega a encontrarse tapizando las diatomeas, como un último y tardío proceso de precipitación mineral. El material soporte para esta colonización orgánica queda dominado por agregados arcillosos con feldespatos y óxidos de Fe. La excepcional colonización orgánica puede deberse al mantenimiento de las condiciones de humedad que propician estos materiales arcillosos (fundamentalmente esmectitas, figura 5), que muy probablemente fueron tomados de niveles de carácter arcilloso existentes en el propio complejo troglodita.



■ Foto 5. Micrografía de MEB de la capa emectítica (montmorillonita) usada como base de las pinturas. Puede verse la colonización por diatomeas y otros microorganismos.

Conclusiones

Los datos de que disponemos no nos permiten establecer si existe una relación cronológica en la fabricación de los distintos materiales estudiados, pero sí indican distintos mecanismos de elaboración. Los materiales de los que se componen los morteros y pigmentos en su conjunto, están disponibles tanto dentro del complejo troglodita (carbonatos, filosilicatos con illita, esmectita y en ocasiones halloysita mayoritarias, fragmentos piroclásticos, etc.) como en sus proximidades. En cualquier caso, y sin excluir otras posibles fuentes cercanas, dadas sus características, podrían proceder perfectamente de los restos de material extraídos en las excavaciones realizadas en el terreno para la construcción del propio poblado. La presencia de yeso se limita a las muestras de morteros y pigmentos situados en las proximidades de techos y muros de hormigón. Dicho yeso no forma parte de su composición original, sino que se encuentra como agente de alteración.

Morteros

La elaboración de los morteros implicó el calentamiento de pasta carbonatada por encima de los 120°C, para su posterior mezcla con áridos. Se distinguen tres grupos y mecanismo de elaboración:

- Morteros crema: mortero de constitución especial para la utilidad que se le dio. Sus características no coinciden con las del resto de los morteros estudiados. Su composición es esencialmente calcita, apatito y feldespatos.

- Morteros cenicientos / grises: son morteros poco elaborados que se encuentran muy alterados debido a una fabricación poco trabajada, en la que se alcanzarían temperaturas de calentamiento menores a los del siguiente grupo. Están normalmente protegidos por una capa de arcilla de composición mayoritariamente esmectítica, que podría servir tanto para disimular el tono del mortero, como para protegerlo de la disgregación.
- Morteros blanquecinos: bien elaborados, en buen estado de conservación. En las capas más externas se observan algunos rasgos de alteración, pero en conjunto la cohesión árido/ligante es elevada y las temperaturas de calentamiento de los componentes carbonatados serían superiores a los del grupo anterior. Los tonos blancos son debidos a la presencia mayoritaria de calcita y halloysita en su composición.

Arcillas de enlucido

Las arcillas dispuestas en forma de mortero-estuco, presentan una clara homogeneidad composicional. La textura interna de la muestra M-7 presenta indicios de estar aplicada en diferentes capas superpuestas. Tanto las características composicionales, con una elevada proporción de esmectitas que pueden actuar como impermeabilizante en condiciones de alta humedad ambiental, como las texturales (aplicación en capas) podrían ser indicativos de haber sido aplicadas para el sellado de fisuras de interestratificación.

Pigmentos

- Almagres-pigmentos rojos: compuestos esencialmente por óxidos de hierro y hierro-titanio con proporciones irregulares de illita y esmectita. Su procedencia serían los abundantes puntos donde capas de arcillas se han visto afectadas por el paso de una colada de lava.
- Pigmentos blancos: materiales de composición halloysítica, hecho que demuestra una selección y búsqueda rigurosa en zonas próximas al Parque Arqueológico. La halloysita aparece como alteración de materiales volcánicos tipo dacita. En general muestran una capa orgánica muy desarrollada, probablemente relacionada con el agua utilizada para su preparación.

- Pigmentos negros: procedentes de la mezcla acuosa de arcillas y minerales y componentes oscuros propios de la toba volcánica, que hubieran podido ser aplicados en diferentes momentos a lo largo del tiempo. En este caso no puede hablarse estrictamente de pigmentos.
- Pigmentos anaranjados: se fabricarían mediante mezcla de pigmentos rojos y blancos.

Análisis de las pinturas de la Cueva Pintada de Gáldar en el infrarrojo próximo

V. Soler Javaloyes y A. Díaz Torres

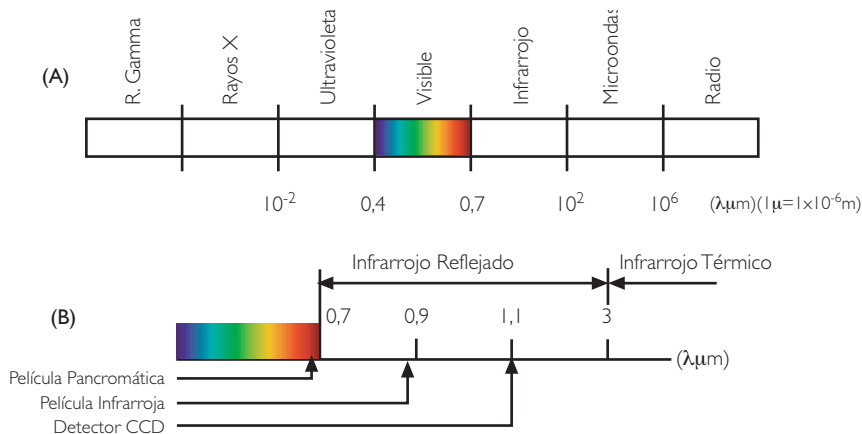
Objetivo de trabajo

En este trabajo analizamos imágenes de las pinturas en la zona visible e infrarroja del espectro electromagnético, como método para detectar la posible presencia de alguna sustancia orgánica en la composición de las mismas. Esta presencia suele manifestarse como claras diferencias en la reflectancia entre la zona visible e infrarroja del espectro, o bien, como débiles procesos de desvanecimiento y pérdida selectiva de color que suelen detectarse antes en el infrarrojo.

Introducción

El espectro visible abarca las radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda (λ) comprendidas entre 0.4 y 0.7 μm . ($1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{m}$). Hacia las longitudes de onda más cortas ($\lambda < 0.4 \mu\text{m}$) encontramos las radiaciones ultravioletas y los rayos x, y hacia las longitudes de onda más largas ($\lambda > 0.7 \mu\text{m}$) se sitúa el infrarrojo, las microondas y las ondas de radio (figura 1A).

La denominada radiación infrarroja comprende un gran abanico de longitudes de onda (de 0.7 a más de 100 micras) y tradicionalmente se subdivide este rango en otros menores que se denominan infrarrojo próximo, térmico y lejano, según se alejen más o menos de la radiación visible. Para los aspectos de inspección de obras de arte y detección de repintados o superposiciones, resulta más conveniente la división de la zona próxima del infrarrojo en infrarrojo reflejado y térmico (figura 1B). El infrarrojo reflejado es la zona en la que normalmente se trabaja, ya que en ella la emisión infrarroja esta compuesta fundamentalmente por la reflexión de la radiación recibida (iluminación).



■ Figura 1. A) Esquema simplificado del espectro electromagnético en el entorno de la radiación visible. B) Rango espectral de las películas fotográficas y detectores CCD de silicio, en relación con el infrarrojo reflejado y térmico.

Más allá se sitúa el infrarrojo denominado térmico compuesto por la emisión propia del cuerpo debido a su temperatura. Así, a la temperatura del cuerpo humano, la longitud de onda de máxima emisión se sitúa en torno a las 10 micras; es decir, que a esa longitud de onda aparecemos como objetos brillantes por nosotros mismos sin necesidad de iluminación adicional.

En la figura 1B podemos ver el alcance, en el infrarrojo hasta los 0.9 μm , de los materiales fotográficos tradicionalmente utilizados antes de la disponibilidad de detectores electrónicos. El desarrollo de los sensores de tipo CCD y sobre todo su popularización en usos industriales y su gran difusión, hace posible de forma relativamente simple configurar un sistema que alcance hasta los 1.1 μm .

Tal como podemos apreciar en esa misma figura 1B, todavía queda una franja espectral entre los 1.1 y 3 μm , no abordada en este análisis, en la que es posible y deseable continuar la investigación de estas pinturas.

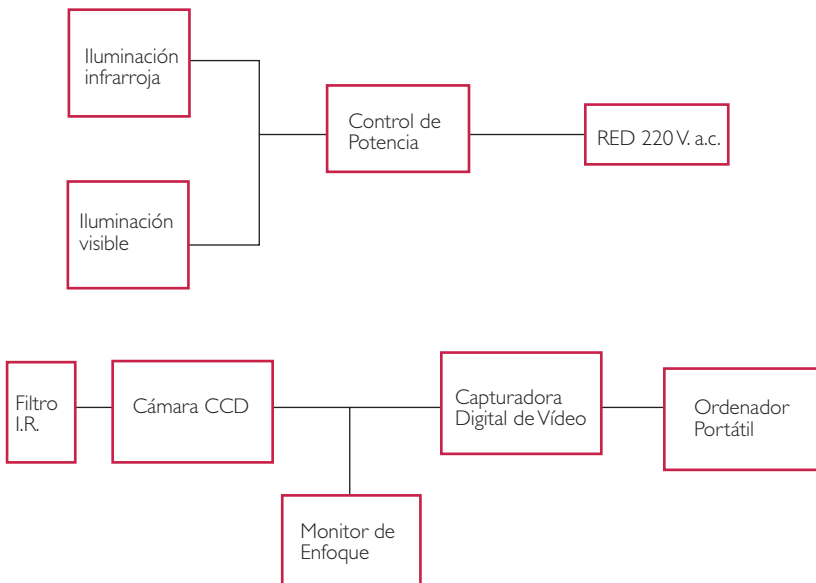
Al trabajar en una banda espectral única, en nuestro caso el infrarrojo próximo, se genera una imagen necesariamente en escala de grises, o sea en distintos niveles de densidad. Estos niveles pueden fácilmente manipularse para generar, a partir de ellos, una imagen de falso color sin más que asignar una correspondencia entre una paleta de color arbitrariamente escogida y los diferentes niveles de gris. Dado que las pinturas ya son polícromas, esta técnica nos pareció cuanto menos delicada y por ello incluimos solamente la información en escala de grises.

Equipo utilizado

En la figura 2 puede observarse la configuración utilizada en la realización de este trabajo, así como las referencias técnicas de los distintos elementos. Conviene recordar que estos trabajos se llevaron a cabo en 1998, época en la que todavía no estaba extendida la fotografía digital; hoy en día una cámara digital sustituye ventajosamente a la cadena de registro utilizada en aquella época, que consistió en: cámara CCD analógica, monitor de enfoque, capturadora de vídeo y ordenador portátil.

El elemento fundamental del sistema es una cámara CCD con un rango espectral, figuras 3C y D, que abarca hasta las 1.1 micras y una elevada sensibilidad que podemos ilustrar diciendo que equivale aproximadamente a una película fotográfica de unos 50 000 ASA.

En esta misma figura vemos que el máximo de sensibilidad de estos detectores se sitúa en la zona roja del espectro visible y por ello se hace necesario la utilización de filtros que eliminen selectivamente la luz no deseada. Estos filtros se utilizan tanto sobre las fuentes de iluminación como sobre el propio objetivo (figura 2).



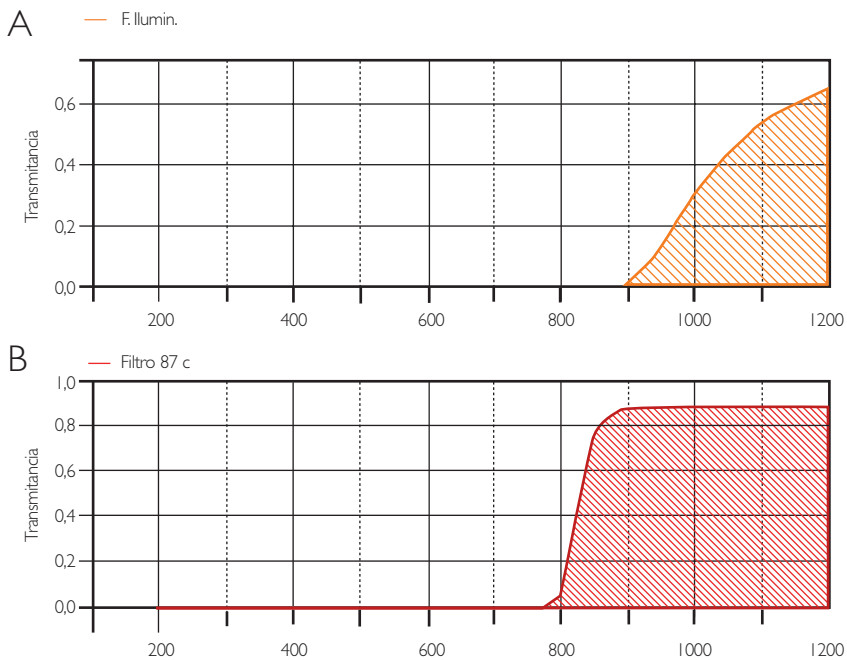
■ Figura 2. Esquema de bloques del equipo utilizado para la obtención de imágenes en la zona visible e infrarroja del espectro.

Ante la vital importancia que tienen estos filtros, a la hora de delimitar el rango efectivo de longitudes de onda de trabajo; procedimos a la obtención, mediante un espectrofotómetro de la firma Variant modelo Cary I, de las curvas reales de transmisión de cada uno de los filtros utilizados (figuras 3A y 3B).

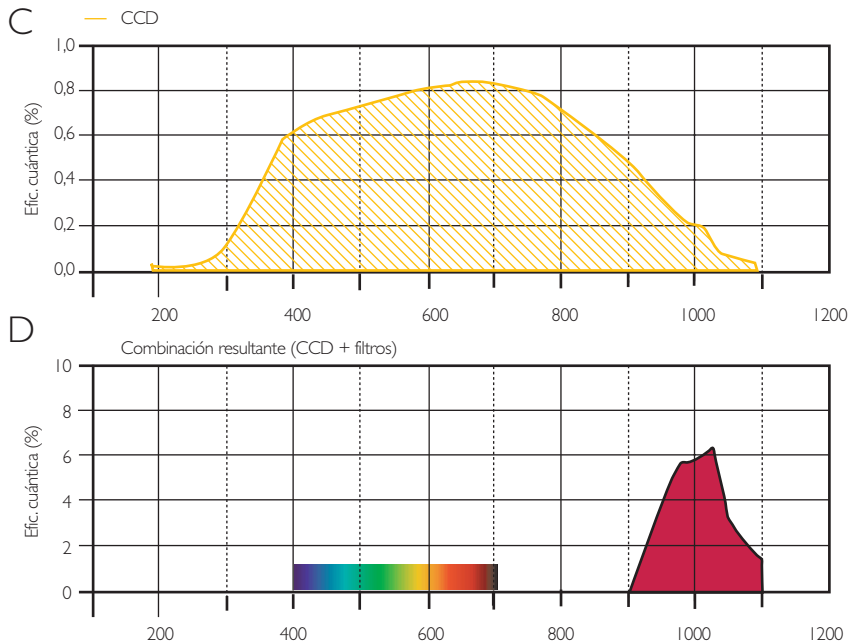
La combinación de la respuesta espectral de la cámara CCD con las bandas pasantes de los filtros, nos configura la banda resultante de longitudes de onda utilizadas en este trabajo, y que abarcan, tal como se muestra en la figura 3D, de los 0.9 a 1.1 μm .

El filtro 87C utilizado sobre el objetivo bloquea la luz proveniente de la pantalla retroiluminada del ordenador portátil y la del monitor de enfoque.

Además de la obtención de imágenes digitales infrarrojas, llevamos a cabo una inspección mediante un visor de infrarrojos que si bien alcanza sobre las 1.4 micras, no permite el registro de imágenes ya que simplemente presenta la imagen resultante, generalmente de apariencia verdosa sobre un ocular sin salida de ningún tipo.



■ Figura 3A y B. Respuesta espectral de los filtros utilizados.



■ Figura 3B y C. Respuesta espectral de la cámara CCD, y rango espectral resultante de estos elementos que se sitúan entre los 900-1100 nanómetros.

Desarrollo del trabajo

Los trabajos en La Cueva Pintada se efectuaron en el mes de junio de 1998.

Tras desplegar todo el equipo necesario, fotos 2 y 5, pudimos comprobar que la tarima de tablones de aglomerado que protegía el suelo del recinto de la Cueva Pintada producía vibraciones que limitaban la calidad final obtenible. Si bien es cierto que estas vibraciones son prácticamente imperceptibles en las imágenes de corta exposición del espectro visible, en el caso del infrarrojo, debido a la mayor duración de la exposición, no se pudieron adquirir varios cuadros de una misma imagen, técnica que permite mejorar mediante promediado la relación señal/ruido final, pero que requiere una absoluta estabilidad de todo el sistema.

Con objeto de limitar al máximo el efecto térmico sobre las pinturas, se reguló la iluminación utilizándose en todos los casos la mínima necesaria.

El trabajo se desarrolló en las siguientes fases:

- Adquisición de imágenes digitales con iluminación visible.
- Adquisición de imágenes visibles en el infrarrojo.
- Inspección con visor infrarrojo.

Debido a las reducidas dimensiones del recinto y a la conveniencia de no utilizar una excesiva iluminación infrarroja; la cobertura de los paneles de pinturas, se logró subdividiéndolos en 13 imágenes, cada una de las cuales tiene una resolución de 800 x 600 puntos.

Resultados e interpretación

La primera comprobación de que el sistema registraba, efectivamente, en la banda infrarroja la obtuvimos con el cartel que preparamos para identificar las distintas tomas (foto 1). Originariamente escrita la palabra «INFRARROJO» con impresora de inyección de tinta, esta se hizo transparente en el infrarrojo y hubo que recurrir a un rotulador Edding 2000 cuya tinta negra resulto ser opaca al infrarrojo. Es decir, que cualquier información bajo los pigmentos de la tinta de la impresora de inyección habría resultado visible.

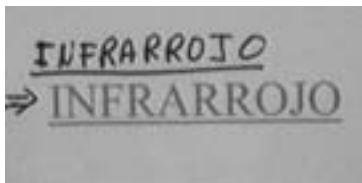
En la foto 3 podemos observar una toma de carácter general y en la foto 4, una más de detalle.

Tal como se puede ver en la figura 3, la respuesta de la cámara CCD con iluminación visible, ya incluye una porción infrarroja significativa de al menos hasta los 0.9 μm , por lo que la evaluación de los resultados la efectuamos por comparación visual de estas imágenes infrarrojas con las pinturas originales.

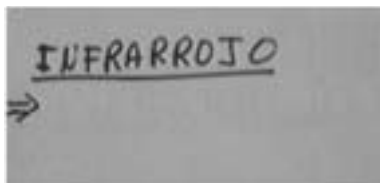
No hemos observado, en el rango espectral infrarrojo utilizado de 0.9 μm a 1.1 μm , trazos que no sean detectables en el visible, ni indicios claros de posibles superposiciones de pigmentos, o desvanecimiento selectivo de la pigmentación.

Esto hace pensar que muy probablemente no hay componentes orgánicos en la composición de los pigmentos, y que la posible merma de la superficie pintada ocurre por desprendimiento directo de los granos del soporte más que por pérdida selectiva del pigmento.

A. Visible



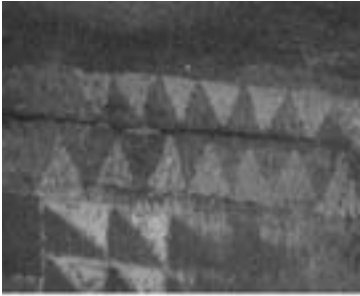
B. Infrarrojo



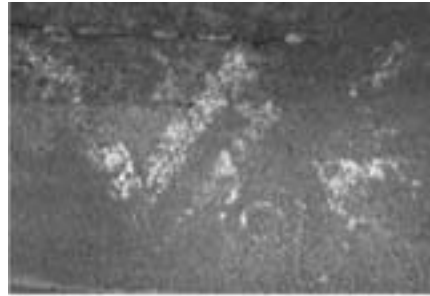
- Foto 1. Toma en el visible (superior) e infrarrojo (inferior) del cartel preparado para la identificación de las tomas. La palabra «INFRARROJO» está impresa con una impresora de inyección de tinta.



- Foto 2. Aspecto general del equipo durante la ejecución del trabajo.



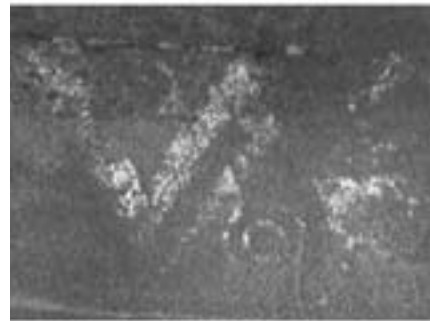
Infrarrojo



Infrarrojo



Visible



Visible

■ Foto 3. Toma general del panel frontal de pinturas en el infrarrojo (superior) y visible (inferior).

■ Foto 4. Toma de detalle en el infrarrojo (superior) y visible (inferior).



■ Foto 5. Disposición de los sistemas de iluminación infrarrojo y visible, y cámara CCD con filtro infrarrojo sobre el objetivo.

DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE ACTUACIÓN

Estudios avanzados

Registro de las características microclimáticas y de las condiciones de renovación de la masa de aire en la Cueva Pintada (2003-2007)

V. Soler Javaloyes, A. D. Moure García y P. A. Torres González

Introducción

Los procesos naturales de deterioro en cavidades con representaciones artísticas, se ven incrementados considerablemente cuando se realizan visitas de forma incontrolada. El incremento de CO₂, y de humedad del aire, combinado con las variaciones en la temperatura, pueden incidir directamente en la intensidad de los procesos de alteración. Por todo ello, el concepto de «capacidad de visita» es primordial para la gestión de cualquier recurso patrimonial y debe estar amparado en un exhaustivo conocimiento del bien cultural a preservar y difundir.

De cara a determinar la influencia del régimen de las visitas que la cueva podrá soportar a raíz de su apertura al público, se dispuso de un sistema de registro continuo sobre las variaciones climáticas (temperatura, humedad y ventilación) en la cueva y en su entorno desde el mismo momento en el que se iniciaron las visitas a la cámara decorada.

Con la intención de disponer de esos datos de forma precisa y a lo largo de un período de tiempo lo suficientemente significativo, desde hace varios años se viene realizando un registro sistemático de dichos parámetros climáticos de este ámbito arqueológico y de su entorno más inmediato. Este proyecto de investigación y control climático se vio considerablemente mejorado, por lo que se refiere al proceso de adquisición de parámetros microambientales mediante la instalación, desde finales de 2002, de un equipo de registro microclimático de alta resolución, con almacenamiento de datos en soporte electrónico.

La principal ventaja de este sistema, frente al registro tradicional en papel, radica en la posibilidad de analizar de forma sencilla y con gran detalle un gran rango espectral de variaciones que abarca períodos que pueden oscilar de minutos a varios años de duración (foto 1).

La instalación de este equipo venía aconsejada porque en aquellos años se tenía previsto acometer las obras de acondicionamiento de la zona arqueológica, entre cuyas principales intervenciones se encontraba la instalación de una cubierta en toda la superficie del yacimiento arqueológico; obras que iban a modificar sustancialmente las condiciones en las que había permanecido la cueva hasta ese momento. La superficie total de esta cubierta es de unos 5700 m², y la Cueva queda prácticamente en el centro de esta enorme superficie (foto 3).

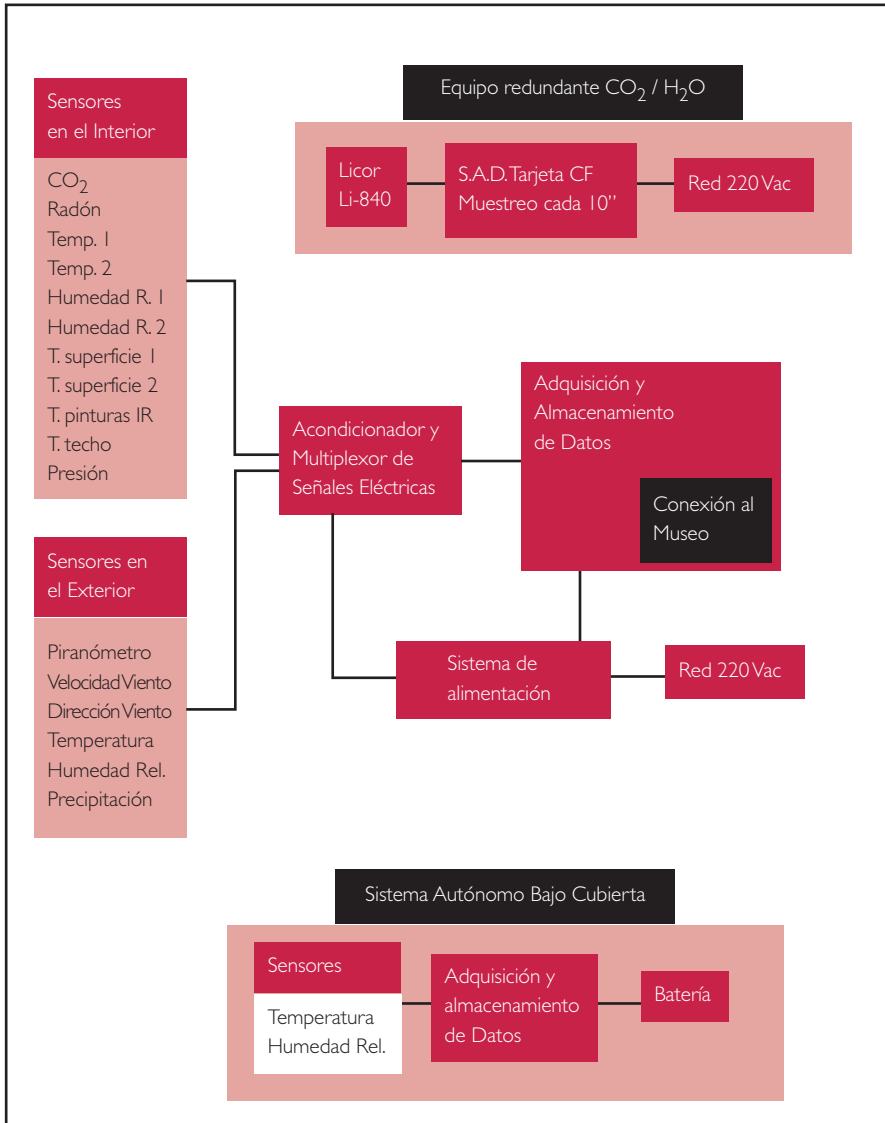
Para la caracterización microclimática utilizamos distintos tipos de sensores de temperatura, humedad relativa, presión, radiación solar; etc., y para el monitoreo de las condiciones de ventilación, recurrimos a la medida de la concentración de anhídrido carbónico (CO₂) y radón (²²²Rn).

El posible aumento o acumulación de CO₂ estaría directamente relacionado con la actividad humana, sobre todo de las visitas en el entorno de la cueva, mientras que la concentración de ²²²Rn está directamente ligada al ritmo y condiciones de renovación de la masa de aire en el interior de la cueva.



■ Foto 1. Detalle de los equipos de microclima, al fondo el antiguo, en primer plano el nuevo.

Las características climáticas de la cueva, anteriores al período aquí estudiado, se recogen en el artículo del Dr. D. Felipe Fernández García, publicado en este mismo volumen.



■ Figura 1. Composición del equipo de medida de parámetros microclimáticos. Al equipo inicialmente instalado (bloque central) se le fueron añadiendo otros sistemas, conforme lo fueron aconsejando las obras de acondicionamiento y la apertura al público.

Equipo de registro

En la figura 1 presentamos, en forma de diagrama de bloques, los distintos elementos que componen el equipo. Las características técnicas de todos estos elementos se recogen en la tabla 1.

Tal como se aprecia en las fotos 1 y 2, hay un grupo de sensores para el registro de las condiciones en el interior de la cueva y otro en el exterior; de forma que se pueda analizar la propagación hacia el interior de la cueva de las oscilaciones climatológicas exteriores.

La instalación de la cubierta sobre el yacimiento creó un nuevo espacio con características propias entre el exterior y la cueva. Por ello se consideró necesario la instalación de sensores de temperatura y humedad relativa con un equipo autónomo de registro, en esta enorme superficie que ha quedado protegida por la cubierta y por el sistema de cerramientos laterales (foto 3).

La previsión de apertura al público junto a la importancia de no someter las arcillas que sirven de soporte a las pinturas a un fuerte gradiente de humedad relativa, aconsejó la instalación de un equipo redundante de medida del agua total presente en la atmósfera del interior de la cueva. Este equipo (parte superior de la figura 1) consta de un medidor LiCor LI-840 que envía la información digitalizada cada 10 segundos a un sistema de almacenamiento masivo de datos en tarjeta



■ Foto 2. Colocación del sistema de monitoreo en el exterior de la Cueva.

de 1 gigabyte de capacidad. La metodología de medida utilizada tanto para el H_2O como para el CO_2 es la espectroscopia no dispersiva de infrarrojos, por lo que resulta totalmente independiente de los sensores convencionales de humedad relativa. Los datos de vapor de agua total combinados con la temperatura, nos permiten calcular el porcentaje de humedad.

Desarrollo de los trabajos

La instalación en la cueva se llevó a cabo en diciembre de 2002, y tras un período de ajuste y calibrado de los distintos sensores, en febrero de 2003 dio comienzo el registro que ha continuado de forma prácticamente ininterrumpida hasta hoy.

En la modalidad de trabajo elegida, se toma y almacena una medida de todos los sensores cada 5 minutos; para algunos sensores como la irradiación, velocidad y dirección del viento se hace un promedio estadístico, previo al almacenamiento de datos, con lecturas cada 10 segundos. Este ritmo de trabajo otorga al equipo una autonomía de 48 días, transcurridos los cuales se descarga la memoria desde un ordenador instalado en el Museo.



■ Foto 3. Vista del nuevo cerramiento de la Cueva Pintada bajo la cubierta general.

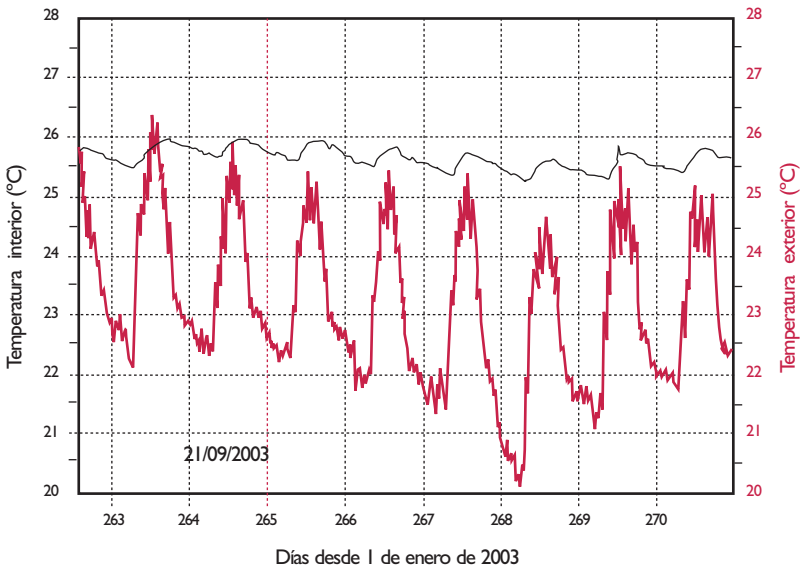
	Ciclo Anual	Ciclo Diario	
Exterior cueva	10° C	5° C	
Interior cueva	5° C	0.5° C	
Soporte pinturas	2.5° C	0.15° C	

■ Cuadro I. Atenuación de las variaciones de largo y corto período producido por la cueva.

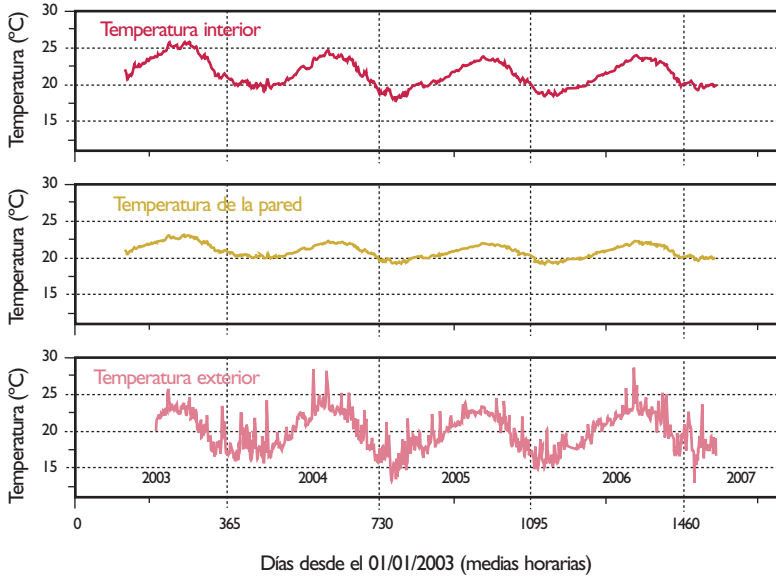
Con motivo de la apertura al público del Parque Arqueológico y la visita a la cueva, en julio de 2006, se incrementó temporalmente el ritmo de muestreo a una medida cada 2 minutos. Tras comprobar que no se detectaban variaciones rápidas asociadas a las visitas, en noviembre de 2006 se volvió al ritmo inicial de una medida cada 5 minutos.

Resultados

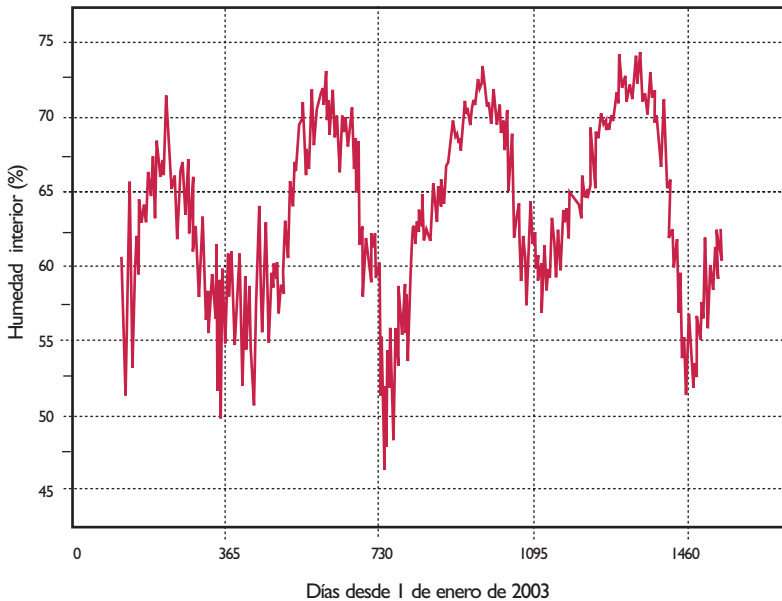
A continuación, presentamos los resultados obtenidos durante los casi 5 años que van de abril de 2003 a marzo de 2007.



■ Figura 3. Detalle de la atenuación de la variación térmica diaria exterior, de 3 a 4 grados, hacia el interior de la cueva donde apenas alcanza los 0.5 grados.

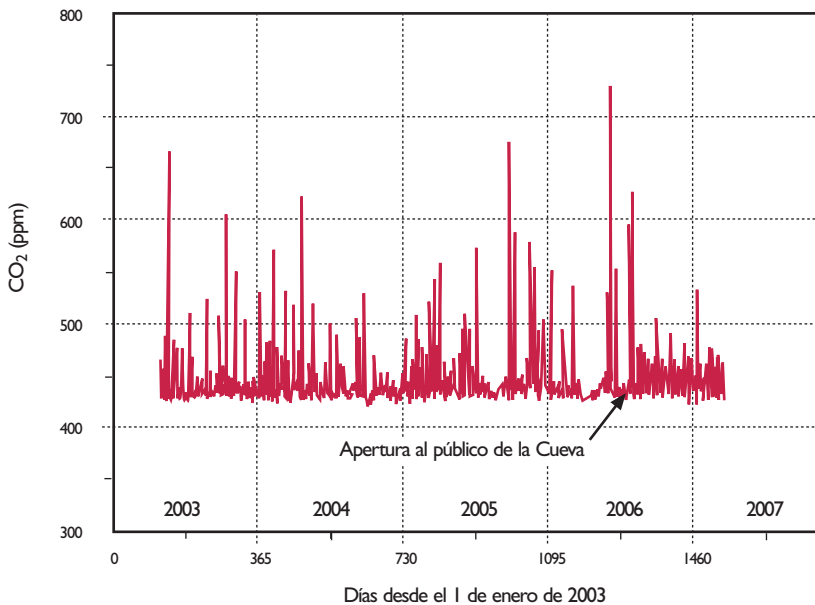


■ Figura 2. Ciclos anuales de variación de temperatura en el interior, en la pared y exterior de la Cueva Pintada de Galdar. Los tres a la misma escala. Es de resaltar el acusado efecto de filtrado de las variaciones rápidas hacia el interior de la cueva.



■ Figura 4. Ciclos anuales de variación de la humedad relativa en el interior de la cueva, con mínimos en invierno y máximos en verano. Estos máximos no han alcanzado el límite superior del 75% aconsejado para la correcta conservación del soporte de las pinturas.

En el análisis de esta información, que consta de 431 433 medidas válidas para cada sensor, hacemos especial hincapié en los aspectos que más inciden en las condiciones de conservación de la cueva. Así, por ejemplo, algunos parámetros como la pluviometría, la velocidad del viento o la irradiancia no los hemos incluido, ya que la actual cubierta con su sistema de bajantes y paños laterales protege a la cueva y su entorno de estos agentes meteorológicos.



- Figura 5. Registro de la concentración de CO_2 durante el periodo 2003 a 2007. La apertura al público del Parque Arqueológico y la visita a la cueva, han creado un ciclo diario de variación del CO_2 , que no existía con anterioridad.

Temperatura y humedad relativa

Uno de los resultados que primero hemos podido constatar, es que la temperatura de las pinturas, medida a distancia por un sensor infrarrojo sin contacto, coincide con la temperatura del aire de la cueva y sigue fielmente las variaciones de esta (foto 5).

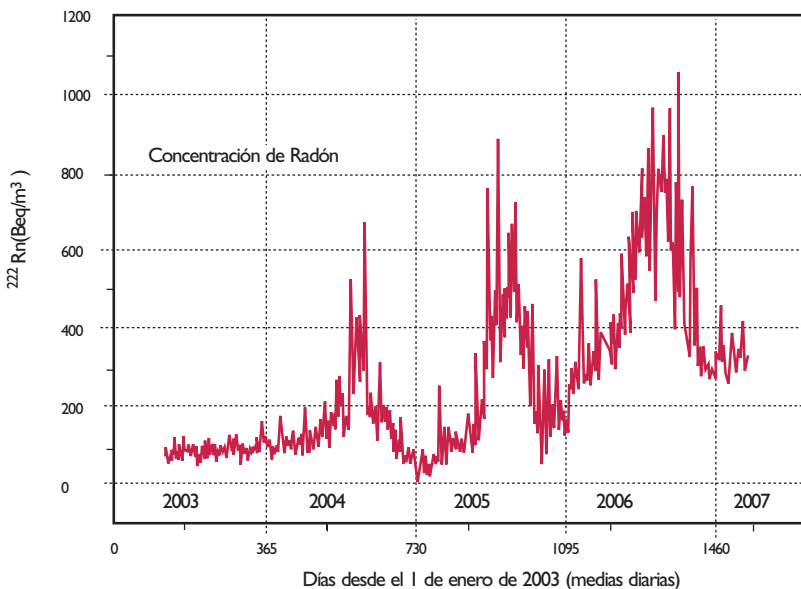
Por otro lado la temperatura del soporte, medida a unos 3 centímetros de profundidad, presenta, como era de esperar, una notable atenuación respecto a la temperatura de la cueva.

En la figura 2 representamos los promedios horarios de la temperatura de la cueva, la pared y el exterior. En ella podemos apreciar cómo, debido a sus reducidas dimensiones y a su proximidad a la superficie, prácticamente no existe desfase apreciable entre la temperatura de la cueva y el exterior; con mínimos sobre el mes de febrero y máximos en agosto y septiembre.

También se aprecia un fuerte filtrado de las variaciones rápidas exteriores, que casi no se detectan en el interior de la cueva; este efecto lo podemos ver con más detalle en la figura 3. Sin embargo las variaciones estacionales, de más largo período, se transmiten perfectamente hacia el interior:

Esta atenuación selectiva la podemos cuantificar con los valores medios expresados en grados centígrados que se pueden consultar en el cuadro I de este artículo.

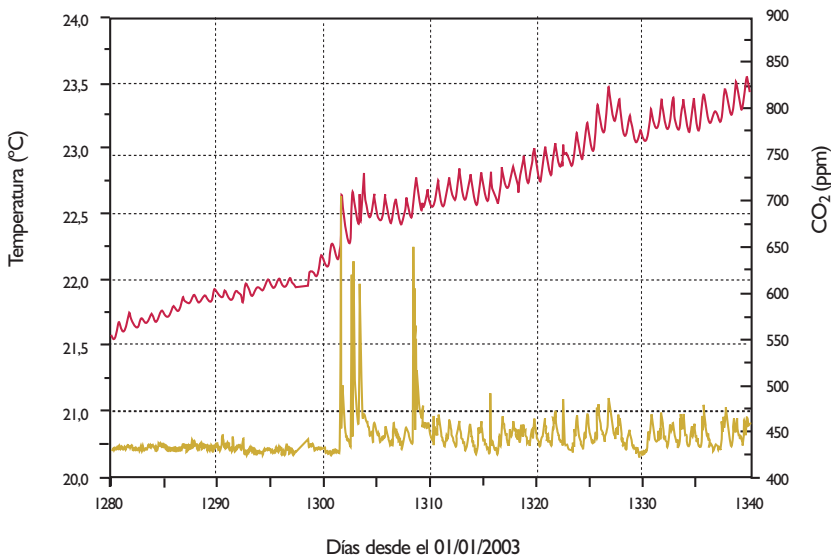
Las variaciones de humedad relativa siguen a las de temperatura con mínimos sobre el 50% en invierno y máximos, que no alcanzan el 75% en verano. Conviene recordar que, tal como se expone en el estudio del Dr. Sergio Sánchez Moral, este valor del 75% es el máximo que se aconseja no alcanzar de forma sistemática y continuada para garantizar la estabilidad estructural de las arcillas que sirven de soporte a las pinturas.



■ Figura 6. Evolución de la concentración de Radón (^{222}Rn). Además de aumentar la concentración máxima alcanzada, la instalación de la cubierta y los cierres laterales, han creado un ciclo anual que no existía en 2003.

CO₂ y Radón

La concentración de CO₂ en el interior de la cueva, figura 5, permanece estable alrededor del nivel de 430 ppm con picos de amplitud variable asociados a las visitas y trabajos puntuales de distinta índole; estos picos no sobrepasan, la mayoría de las veces los 600 ppm. Se detecta claramente en la concentración de este gas la fecha de la apertura al público de Parque Arqueológico, que se manifiesta en forma de un fuerte ciclo diario asociado a la presencia humana en el entorno de la cueva y en la «burbuja» que permite la observación directa de las pinturas.



■ Figura 7. Los efectos mas inmediatos y notables de la apertura al público sobre el microclima de la cueva, fueron el incremento de la variación diaria de temperatura y la aparición de un ciclo diario de CO₂.

Por otra parte la concentración de gas Radón (²²²Rn) nos muestra el tránsito de un sistema perfectamente ventilado sin ciclo anual en 2003 a un sistema en el que cada vez se acentúa la amplitud y duración de un ciclo anual con máximos en verano coincidiendo con los de temperatura.

Es de destacar que el mínimo absoluto que se produce en los meses de enero-febrero de 2005 coincide con las obras de acondicionamiento de los accesos a la cueva, momento en el que se dan las condiciones más favorables de ventilación del interior de la cueva.

○ sea que el conjunto de obras acometidas para la protección y exposición de la cueva han acabado por imponer, en lo que a la renovación de la masa de aire se refiere, un ciclo de variación anual propio de cavidades mucho más aisladas, donde antes no existía.

La apertura al público

El 26 de julio de 2006 se abrió a la visita pública el entorno de la cueva, y la observación directa de las pinturas a través de una «burbuja» de cristal prácticamente incrustada en el centro de la cueva. Esta estructura consigue evitar la interacción directa de las visitas con las pinturas, tal como ocurría en muchas cuevas que fueron visitables durante las últimas décadas del siglo pasado.

La visita diaria a la cueva, se realiza en forma de 10 grupos de entre 25 a 30 personas, distribuidas en horario de 9.30 h a 18.00 h de martes a domingo, con descanso los lunes. A su llegada a la puerta de la cueva, cada grupo se subdivide en subgrupos de 8 a 10 personas que entran en la «burbuja» para contemplar las pinturas, permaneciendo en ella de 3 a 4 minutos, mientras tanto los restantes miembros del grupo permanecen en las inmediaciones de la cueva.



■ Foto 4. Detalle de la estación meteorológica instalada en el Museo.

Esta «burbuja» cuenta con un sistema de evacuación de aire para reducir la concentración de CO_2 creada en su interior y evitar que se difunda hacia la cueva. Desafortunadamente los registros ponen de manifiesto que el punto de evacuación de estos gases se encuentra demasiado próximo a la cueva, ya que se detecta perfectamente, en el interior de la cueva, la presencia de estas visitas.

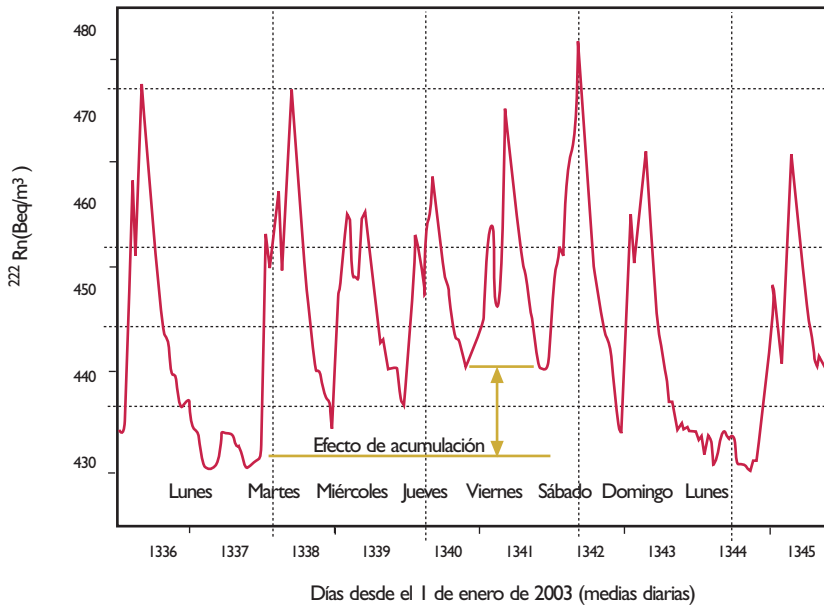
Los efectos más inmediatos en el microclima de la cueva producidos por la apertura al público lo podemos observar en la figura 7 y los podemos resumir de la siguiente forma:

- Aumento de la amplitud del ciclo diario de temperatura, tanto del aire como de la pared.
- Inicio de un ciclo diario de CO_2 y humedad relativa, que no existía anteriormente
- Pequeño efecto acumulativo del CO_2 durante el ciclo de visitas de martes a domingo.

En la figura 8 presentamos un ejemplo detallado del ciclo diario y del efecto acumulativo del CO_2 , los descensos que se observan el sábado y domingo son debidos a un incremento en la velocidad del viento en el exterior, y el de los lunes por ausencia de visitas, ya que es el día que se cierra al público.

Dado que la cueva no está saturada en vapor de agua, la oscilación diaria de CO_2 de entre 430 a 500 ppm no nos parece preocupante, aunque sí indicativa de la necesidad de mejorar las actuales condiciones de la ventilación de la «burbuja», así como el tiempo de permanencia del público en el entorno más próximo a la cueva.

Otro tanto ocurre con los ciclos diarios de temperatura que, si bien es cierto que están por debajo de la oscilación anual de la cueva, habría que mantenerlos tan pequeños como sea posible para evitar su efecto sobre el soporte de las pinturas.



■ Figura 8. Detalle del ciclo diario de CO_2 creado por efecto de las visitas que se efectúan de martes a domingo. Este ciclo desaparece los lunes que es día de cierre. En condiciones de calma, se observa un pequeño efecto acumulativo de 10 ppm entre el martes y el sábado; este efecto desaparece el domingo (3/9/2006) coincidiendo con un fuerte viento en el exterior.



■ Foto 5. Detalle de la instalación y conexión de los distintos sistemas de registro.



■ Foto 6. Detalle de la calibración de los sistemas de registro instalados en la Cueva Pintada.

Determinación de rangos microclimáticos óptimos para minimizar los procesos de deterioro de soporte y pinturas de la Cueva Pintada de Gáldar

*S. Sánchez Moral, J. C. Cañaveras Jiménez,
D. Benavente García, S. Cuezva Robleño,
L. Láiz Trobajo, J. M. González Grau y C. Sáiz Jiménez*

Objetivos

El conjunto de los estudios de conservación realizados desde 1997, especialmente encaminados a la caracterización de los materiales que componen el Parque Arqueológico y ya detallados en anteriores capítulos de este libro, se completó tras un nuevo período de investigación en el que se llevó a cabo el análisis de las condiciones microambientales de la Cueva Pintada, desde el momento previo al inicio de las obras de acondicionamiento de la zona arqueológica en julio de 2003, hasta su práctica finalización en abril de 2005.

En cavidades con representaciones artísticas, como la Cueva Pintada de Gáldar, la experiencia acumulada ha demostrado que los procesos naturales de deterioro de las representaciones artísticas y su soporte, se ven incrementados considerablemente debido a un régimen de visitas masivo o incontrolado. Es suficientemente conocido que cada uno de los visitantes que acceden a un ambiente cerrado o semicerrado produce en el microclima interior del mismo una serie de variaciones debidas a su propio metabolismo: emisión de calor por radiación a través de la piel, producción de CO_2 y vapor de H_2O , así como consumo de O_2 por la respiración. El efecto combinado del incremento en CO_2 y humedad del aire, junto con las variaciones de temperatura, inciden directamente en la intensidad de los procesos de alteración (condensación y corrosión parietal, disolución selectiva, expansión-retracción de arcillas) tanto de la roca soporte como de los materiales que constituyen las pinturas.

En el caso de la Cueva Pintada, además del efecto de las futuras visitas, debían tenerse en cuenta las modificaciones de las condiciones

microambientales que serían provocadas por las obras de acondicionamiento del nuevo Museo. Por ello era necesario evaluar dichos cambios mediante la comparación de los datos registrados antes del comienzo de las obras, con los que se fueran obteniendo a medida que avanzaran los trabajos, hasta la instalación final de la cubierta.

En función de estas premisas se firmó un nuevo convenio de colaboración entre el Cabildo de Gran Canaria y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas con los siguientes objetivos parciales:

1. Observación detallada del estado de conservación del panel y muestreo de materiales enfocado a este problema, tanto en la Cueva Pintada como en sus proximidades, incluyendo muestras de los materiales arcillosos que sirven de pre-soporte a los pigmentos, y muestras de materiales del entorno con características similares. El muestreo fue muy selectivo, ya que el conjunto de materiales (rocas, arcillas, morteros, sales) ya fue caracterizado en los estudios que con ese fin se llevaron a cabo en años anteriores.
2. Estudio e interpretación de los datos microclimáticos de la Cueva Pintada, durante un período de 21 meses (julio 2003- abril 2005) en el que se incluyen los efectos iniciales de las obras de acondicionamiento. Evaluación del efecto de dichas obras y estimación previa de los rangos óptimos para la conservación, a falta del estudio petrográfico y experimentación.
3. Caracterización petrofísica de las muestras: sistema poroso, propiedades hídricas y propiedades mecánicas. El estudio del sistema poroso mediante técnicas de porosimetría de mercurio, adsorción de nitrógeno y tratamiento de imágenes proporciona información básica sobre los procesos de alteración del material expuesto y sobre los mecanismos de condensación-secado, procesos de transporte en la roca, presiones de cristalización de sales, etc. Las propiedades hídricas determinan el comportamiento de las rocas frente al agua, cuantificando la cantidad máxima tanto de agua líquida como vapor que soportan los materiales, así como la velocidad en su transporte (permeabilidad y capilaridad). El estudio de las propiedades mecánicas dinámicas permite evaluar el grado de alteración de los materiales de forma no destructiva.
4. Simulación en laboratorio (cámara climática) del efecto de los cambios ambientales sobre soporte y pigmentos-estucos y elaboración de un

modelo integrado microclimático-petroológico-geoquímico-petrofísico de los cambios observados. Obtención de resultados precisos sobre la interacción microambiente / roca / pigmentos-estucos. Esta actuación conlleva la identificación y cuantificación de los cambios producidos en las muestras de soporte / pigmentos / estucos sometidos a diferentes condiciones ambientales, con objeto de definir las más apropiadas para la minimización de los procesos de deterioro.

El objetivo final era determinar los rangos microclimáticos adecuados para el mantenimiento de unas condiciones internas estables, que favorecieran tasas de intercambio moderadas con el exterior. Con ello se pretendía evitar la acción perjudicial de modificaciones microambientales intensas que pudieran provocar la inestabilidad de los materiales que componen los paneles decorados. De esa forma podrían fijarse las condiciones ambientales óptimas que evitaran, en la medida de lo posible, que los flujos de energía creados por las visitas y los cambios provocados por las obras de acondicionamiento generaran modificaciones perjudiciales para el mantenimiento del actual estado de conservación.

Métodos

Caracterización microambiental

El sistema de monitorización microambiental fue diseñado, instalado y puesto a punto por el Dr. V. Soler del IPNA-CSIC durante los primeros meses del año 2003. La estructura final del sistema y sus características técnicas, así como la ubicación de los elementos sensores fueron determinadas por el citado investigador y su equipo, y están descritas con todo detalle en este mismo libro.

El registro de parámetros microambientales comenzó a modo de pruebas el 30/04/2003. El día 15/07/2003 comenzó el registro estable e integral con todos los elementos sensores instalados y calibrados, y a partir de esa fecha se realizó un registro completo cada 5 minutos hasta la última descarga de datos realizada el día 25/04/2005.

Técnicas mineralógicas y petrográficas

Las técnicas empleadas fueron similares a las empleadas en los estudios previos con gran detalle en la identificación de minerales de la arcilla.

Técnicas petrofísicas

Las técnicas petrofísicas empleadas se enfocaron a la caracterización del sistema poroso y del comportamiento hídrico y mecánico de los materiales que constituyen la roca soporte de la Cueva Pintada. Mediante estas técnicas se cuantificó la cantidad máxima de agua/vapor que soportan los materiales así como la velocidad en su transporte (permeabilidad y capilaridad), se valoraron los mecanismos de condensación-secado de vapor de agua para diferentes condiciones microclimáticas y se evaluó la estabilidad mecánica de los soportes. Las distintas técnicas empleadas para la caracterización petrofísica de la roca encajante del complejo Cueva Pintada fueron: porosimetría de mercurio; adsorción de nitrógeno; picnometría de helio; ensayo de capilaridad; ensayo de carga puntual; ultrasonidos.

196

Experimentación en Laboratorio y Cámara climática

Las experimentaciones fueron específicamente diseñadas para este trabajo de investigación con muestras procedentes del Parque Arqueológico con el objetivo de obtener resultados de máxima fiabilidad. En función de los datos microambientales y la caracterización petrológica, mineralógica y petrofísica, se establecieron las siguientes condiciones de experimentación en ambientes controlados:

Ensayos de laboratorio:

- Experimento LAB-1: cuantificación de la máxima adsorción de vapor de agua que pueden experimentar los dos tipos principales de soporte, toba y arcilla, a diferentes humedades relativas (7-100%) y temperatura constante (20°C).
- Experimento LAB-2: cuantificación de la máxima cantidad de agua líquida que puede captar cada tipo de material y observación de la evolución de sus propiedades mecánicas.

En estos experimentos se cuantifica la cantidad de agua (vapor y líquida) máxima que pueden incorporar los materiales, para diferentes condiciones de humedad relativa y temperatura y para tiempos de exposición muy largos (meses). El proceso de adsorción (física) de agua cuantifica la cantidad de vapor de agua que se deposita sobre la superficie de los poros de la roca, mientras que el proceso de absorción mide el agua líquida que puede albergar la roca entre sus poros. El proceso de adsorción se basa en introducir las muestras en recipientes herméticos con diferentes disoluciones saturadas, las cuales definen una humedad relativa constante en su interior. El material se encuentra en equilibrio con una determinada humedad relativa cuando la variación de masa es constante. Dicho proceso se realiza durante un intervalo de tiempo que puede oscilar entre 2-3 meses.

Ensayos en cámara climática

Experimento

- CM-1: simulación del comportamiento de los materiales bajo cambios cíclicos de las condiciones de temperatura o humedad.
- CM-1a: Humedad relativa constante (62.5%), temperatura variable (15-30°C).
- CM-1b: humedad relativa variable (40-95%), temperatura constante (20°C).

Experimento

- CM-2: Simulación del comportamiento de los materiales y estudio de su permeabilidad y del desgaste (fatiga) que sufren a largo plazo, bajo cambios cíclicos y extremos de las condiciones termo-higrométricas.

Estos ensayos se basan en cuantificar la velocidad con la que se producen los procesos de condensación por la rápida variación de la humedad relativa y de la temperatura, así como la reversibilidad del proceso. Es decir; permiten conocer la cantidad de agua que se condensa o evapora sobre los materiales cuando las condiciones ambientales cambian fuertemente, en ciclos de 12 horas (simulación día/noche). De esta forma se puede evaluar si el material mantiene sus propiedades iniciales de forma reversible, o si por el contrario, se produce un deterioro irreversible sobre ellos (fatiga).

Características de las condiciones microambientales

Rangos de variación de los principales parámetros

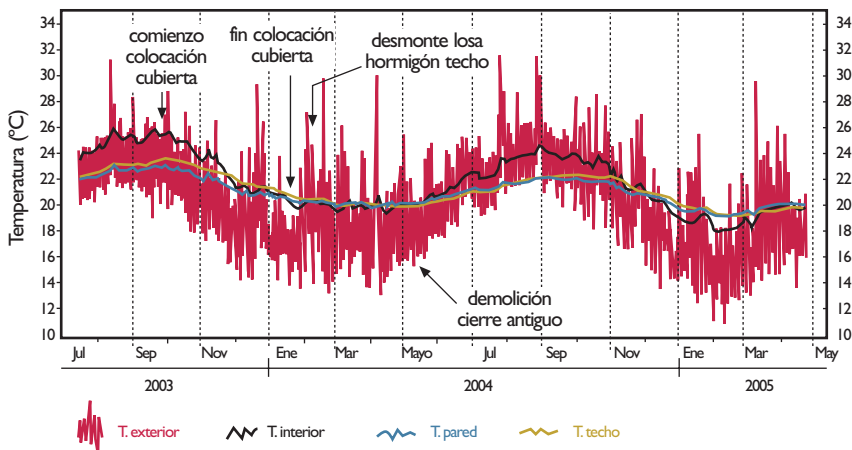
De todos los parámetros monitorizados se procedió al estudio de detalle de aquellos considerados fundamentales para la conservación de los materiales que constituyen los paneles de pinturas del interior de la Cueva Pintada.

Temperaturas

En la figura 1 queda representado el registro completo de las temperaturas de aire exterior (Text), aire interior (TI), pared (TSI) y techo (Ttecho) durante todo el período de monitorización (15/07/03 a 25/04/05).

La zona de Gáldar presenta un clima templado-cálido con una Temperatura media anual exterior de 19,9°C y un rango de oscilación térmica moderado. La pauta de evolución de los valores de la temperatura exterior controla y determina las pautas de variación térmica del techo, paredes y aire del interior de la Cueva Pintada. En este sentido, lo más destacado del estudio fue comprobar que el aire interno está más caliente que la roca que lo encaja, siendo mayor la diferencia con las paredes que con el techo. La causa de este sobrecalentamiento era la existencia de una losa de hormigón sobre el techo de la cueva y del muro de ladrillos que constituía el cierre antiguo hasta su retirada en mayo de 2004.

198



■ Figura 1. Registro completo de las temperaturas de aire exterior, aire interior, pared y techo de la Cueva Pintada durante todo el período de monitorización (15/07/03 a 25/04/05).

La colocación de la cubierta de 5700m² sobre todo el yacimiento redujo la irradiación solar, disminuyendo el calentamiento de los muros y techos externos artificiales y con ello su efecto radiante. A consecuencia, el enfriamiento del ambiente interno fue inmediato y se vio reforzado con la retirada de la losa de hormigón del techo. A partir de la instalación de la cubierta, la diferencia entre la temperatura interna y externa mostraba una tendencia progresiva a la disminución, y al final del período de registro el desequilibrio se había reducido en aproximadamente 1°C.

Humedad Relativa del Aire

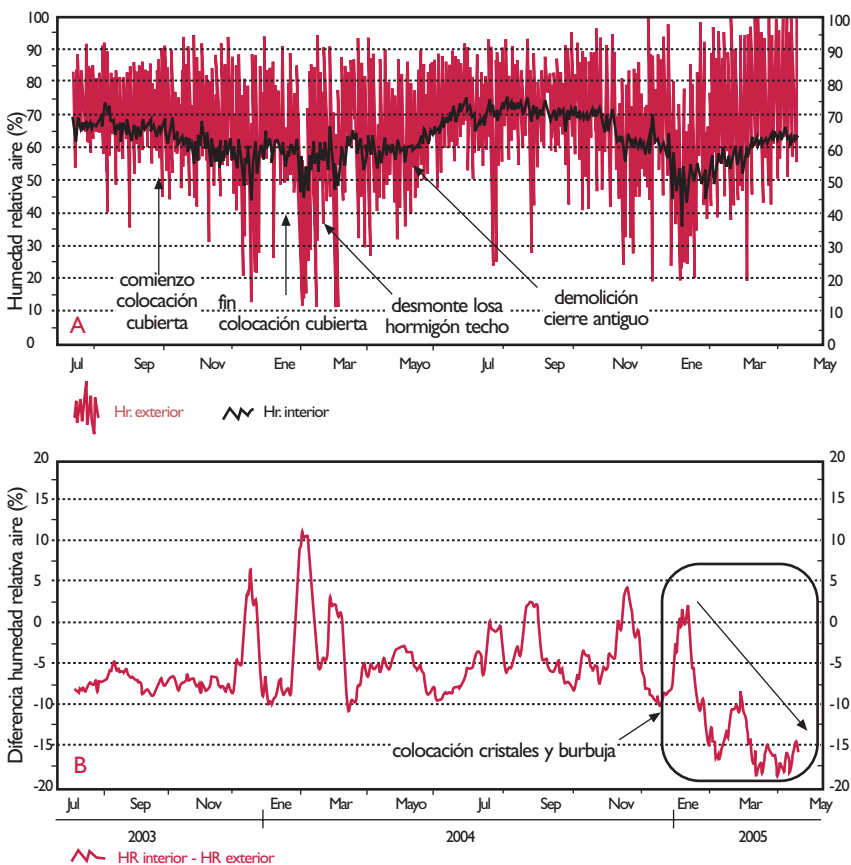
En la figura 2 está representado el registro completo de los valores de humedad relativa del aire exterior (HR_{ext}) y aire interior (HR₂ prácticamente idéntico a HR₁) durante todo el período de monitorización.

El estudio de las variaciones de humedad durante los 21 meses de registro, nos permitió comprobar que la desaparición del cuerpo radiante constituido por el muro de ladrillos externo provocó oscilaciones de humedad que previamente no se producían. Además, al ser sustituido el muro por un cierre provisional de madera, desapareció el efecto aislante que ejercía frente a las variaciones externas, de manera que las fuertes caídas que sufría la humedad exterior durante el invierno 2004-2005 se reflejaron en fuertes descensos de la humedad interior; probablemente debido a la gran capacidad de absorción de la madera instalada. A partir de febrero la humedad exterior aumentaba de forma significativa, sin verse reflejado ese hecho con la misma intensidad en la pauta de evolución de la humedad relativa interior. Este fenómeno, que queda reflejado claramente en la figura 2B mediante un fuerte descenso de la diferencia entre la humedad interior y la exterior; podía relacionarse con la instalación del cierre acristalado definitivo a finales de diciembre de 2004, y deberá ser tenido en cuenta en futuras revisiones de los datos microambientales.

Concentración de CO₂ en el aire interior

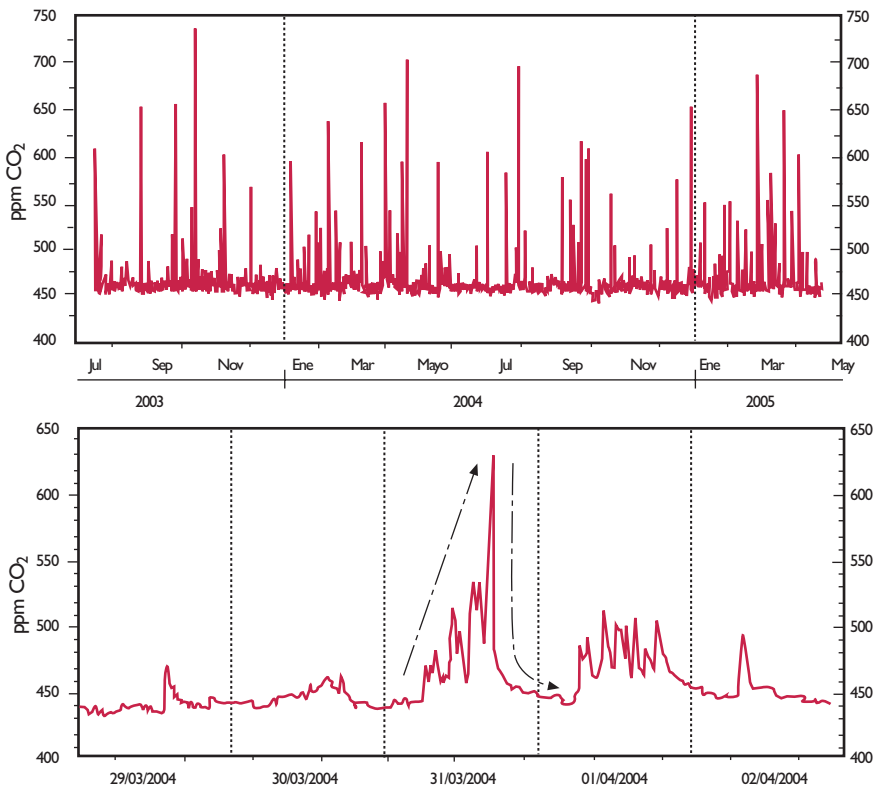
Los valores medios registrados (433 ppm, partes por millón) fueron sólo ligeramente superiores a los valores medios de la atmósfera exterior que actualmente rondan las 360-370 ppm. Su rango de oscilación también era muy bajo, con un valor mínimo de 414 ppm y un máximo de 725 ppm (figura 3).

El estudio detallado y completo del registro indicó que este valor máximo y todos aquellos valores superiores a las 460 ppm eran causados por las entradas en el recinto para la realización de los trabajos de fabricación del cierre, fotogrametría, etc. En la figura 3B puede verse un ejemplo de las modificaciones provocadas en este parámetro, como consecuencia de la entrada de personas al recinto. En ella se observa que, tras los incrementos provocados por las entradas de los días 31 de marzo y 1 de abril de 2004, el aire recupera los valores previos una vez transcurridas 10 horas. Este tiempo de recuperación puede estimarse como un valor alto e indica que, a



- Figura 2.
 - A) Registro completo de los valores de humedad relativa del aire exterior y aire interior durante todo el periodo de monitorización (15/07/03 a 25/04/05).
 - B) Evolución de la diferencia entre humedad interior y exterior.

pesar de la alta tasa de intercambio con el exterior; el reducido tamaño del recinto puede ser un factor perjudicial y hace de él un ambiente frágil para asumir los cambios provocados por visitas continuas. En cuanto al efecto de las obras, se observó una muy leve tendencia a la disminución tras la construcción de la cubierta, debido a la disminución de la tasa de infiltración directa de aguas meteóricas (principal vehículo de transporte del CO_2 al subsuelo) que conllevó dicha instalación.



■ Figura 3.

- A) Registro completo de los valores de concentración de CO_2 en el aire interior durante todo el periodo de monitorización (15/07/03 a 25/04/05).
- B) Variaciones provocadas por visitantes, con tiempos de recuperación próximos a las 10 horas.

Concentración de Radón (^{222}Rn) en el aire interior

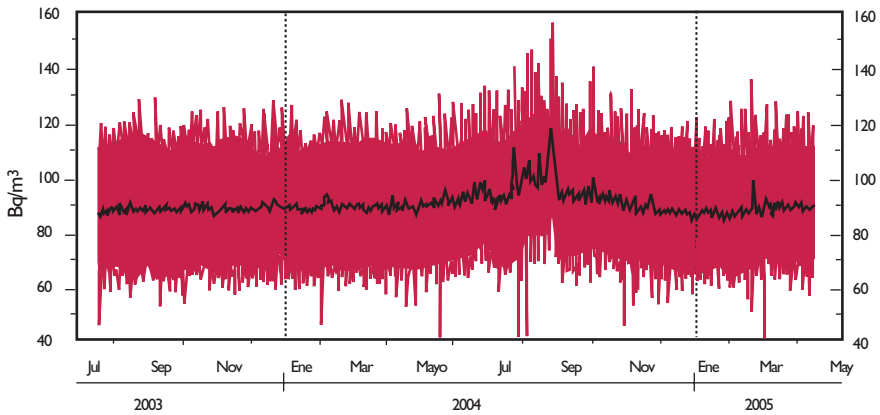
La evolución de la concentración de este gas es uno de los mejores índices cuantitativos de la tasa ventilación en ambientes confinados (altas concentraciones indican baja ventilación y bajas concentraciones denotan alta ventilación). El estudio del registro completo mostró un valor medio de ^{222}Rn en el aire interior de 91Bq/m^3 y un bajo rango de oscilación, indicando una alta tasa de intercambio de aire entre el interior (Cueva) y el exterior (figura 4). El hecho más destacable fue un aumento leve, pero significativo, justo después de la demolición de la fachada del cierre antiguo de mampostería (mayo de 2004), alcanzándose el máximo valor el 29 de agosto de 2004 (158Bq/m^3). Este incremento reveló una ligera disminución de la tasa de ventilación de la Cueva frente al exterior que representaba una modificación de las condiciones microambientales internas, cuantitativamente menor, pero importante desde el punto cualitativo. Durante ese período, como también hemos visto previamente, la humedad relativa del aire interior experimentó un incremento considerable y alcanzó y mantuvo sus máximos valores por encima del 72%. Este fenómeno de relación inversa entre la humedad y la tasa de renovación del aire interior, podría estar relacionado con procesos de condensación de agua sobre la interfase roca/aire. Esto provocaría el relleno parcial del sistema poroso de la roca/toba que confina el ambiente interior, favoreciendo la acumulación del gas en el interior. La comprobación de esta hipótesis era uno de los principales objetivos de la fase de experimentación en cámaras climáticas ya que, de ser ese el mecanismo controlador, las características petrofísicas de la roca confinante deberían permitir y favorecer que la condensación se produjera por debajo del nivel de saturación (100% de humedad relativa).

202

Caracterización petrofísica de los materiales soporte de las pinturas

Las propiedades físicas de las rocas (sistema poroso, propiedades hídricas y mecánicas) son indicadores directos de su calidad como material de construcción, estado de conservación y durabilidad. La caracterización del sistema poroso y del comportamiento hídrico de cada roca, cuantifican la cantidad máxima tanto de agua líquida como vapor que soportan los materiales,

así como la velocidad en su transporte a través de ellas (permeabilidad y capilaridad). Por otro lado, su estudio aporta información básica sobre los mecanismos de condensación-secado de vapor de agua, tanto en toba como en arcilla, bajo condiciones microclimáticas variables.



■ Figura 4. Evolución de la concentración de gas Radón (^{222}Rn) en el aire interior durante todo el período de monitorización (15/07/03 a 25/04/05). Curva de evolución suavizada en negro.

Asimismo la caracterización mecánica es esencial para poder evaluar la estabilidad mecánica de los soportes y, por lo tanto, la integridad de las pinturas, tanto en equilibrio con vapor de agua como en saturación de agua líquida.

En resumen, las propiedades petrofísicas de la roca soporte del Complejo Arqueológico de Gáldar son las siguientes:

Las rocas (tobas piroclásticas), que constituyen los soportes, se caracterizan por tener un sistema poroso complejo y una muy baja resistencia mecánica contrastada mediante métodos destructivos y técnicas no destructivas (ultrasonidos).

En conjunto presentan altos valores de porosidad y una distribución de tamaño de poros polimodal, condicionada por las características texturales de la roca. La caracterización mineralógica y petrológica refleja una gran cantidad y variedad de piroclastos, una matriz arcillosa, constituida principalmente de illitas, óxidos-hidróxidos de Fe y carbonatos, y un cemento compuesto por carbonatos y ceolitas.

Por lo tanto, este tipo de rocas presenta una distribución de tamaño de poros que prácticamente abarca todo el rango de tamaños:

- Los poros de mayor tamaño corresponden a una alta porosidad interpartícula (inter-piroclastos). Este tipo de poros son causantes de la alta porosidad conectada que oscila entre el 25 y el 33%, de la baja densidad de conjunto (entre 1,24 y 1,75 g/m³) y de la gran permeabilidad y coeficientes de capilaridad que presentan estos materiales.
- Los poros de menor tamaño se asocian principalmente a la matriz arcillosa y confieren a la roca una alta superficie específica (entre 66.9 y 82.2 g/m²) favoreciendo una elevada capacidad para la condensación de vapor de agua, además de contribuir a su baja resistencia mecánica.

Las arcillas, que actúan como base de las pinturas y forman parte de la matriz de la roca, presentan una alta fracción de poros de pequeño tamaño definido por la porosidad interpartícula (entre arcillas y agregado de arcillas) e intrapartícula. Este tipo de porosidad es causante de la gran superficie específica y de la alta capacidad de adsorción de vapor de agua que presentan las muestras, tanto las arcillas como las tobas volcánicas, dados los rellenos arcillosos (5-20%) que presentan en su sistema de poros. Esto se traduce en una alta capacidad de condensación para ambos materiales.

Asimismo, otro factor importante que condiciona la cinética del transporte de vapor de agua en este tipo de rocas es la relación entre los poros de gran tamaño (intergranular) y los de menor tamaño (matriz arcillosa). Los poros de gran tamaño definen una alta permeabilidad al vapor de agua, por lo que el agua se mueve y penetra con facilidad en el interior de la roca. Esto hace que la mayoría de las arcillas de la matriz (dispersas en la roca) estén en contacto con el vapor de agua presente en el aire y, por lo tanto, favorezca una cinética de condensación más rápida que si se compara con las muestras de arcillas puras. El comportamiento de los materiales frente a las variaciones de humedad

relativa del aire es un aspecto fundamental del estudio ya que, como hemos visto, los fenómenos de condensación/evaporación pueden ser un factor decisivo en las variaciones de la tasa de renovación del aire interior.



■ Figura 5. Aspecto de los tapices microbianos desarrollados sobre la toba bajo condiciones de humedad del aire en saturación.

Experimentación bajo ambientes controlados

Ensayos de laboratorio

Experimento LAB-I:

Las principales conclusiones que se extrajeron de este ensayo son las siguientes:

- La arcilla representativa de la empleada como base de las pinturas adsorbe, en valores absolutos, una cantidad de agua mucho mayor que las diferentes muestras roca/toba soporte, debido a las características de su sistema poroso (microporosidad) con altos valores de superficie específica.
- De forma similar; y respecto a las diferencias entre las tobas analizadas, se observa que aquellas que presentan mayores valores de superficie específica y, por tanto, un radio de poro menor muestran una mayor capacidad de captación de agua que las de mayor tamaño medio de poro.
- En ambos materiales se observa que la cantidad de agua adsorbida aumenta ligeramente o se mantiene, hasta que se sobrepasa un valor del 75% de humedad relativa del aire, momento en el que se produce un incremento brusco en la adsorción de agua por parte de los diferentes materiales. Dicho comportamiento es aún más pronunciado en las muestras de arcilla que en las de toba.

Este dato coincide con el obtenido en el estudio microambiental y parece confirmar la hipótesis inicial: los procesos de captación de agua debidos a fenómenos de condensación natural sobre la toba que confina la Cueva Pintada y la arcilla que la cubre parcialmente en el panel, tienen lugar en torno a valores del 75% de humedad relativa. El agua rellena parcialmente el sistema poroso de la membrana limitante del ambiente interior que constituye la roca/arcilla, reduciendo la tasa de intercambio de gases con el exterior y, por tanto, la tasa de renovación del aire interno.

- En las muestras de toba y arcilla sometidas durante 2 meses a una humedad relativa del 100% (saturación) y una temperatura del aire de 20°C (similar a la real de la Cueva), se ha observado el desarrollo de tapices de microorganismos que fueron debidamente muestreados (figura 5).

En los cultivos (TSA y agar malta) realizados en los laboratorios del IRNAS-CSIC de Sevilla se aislaron bacterias, principalmente del tipo actinobacteria y hongos. Los géneros encontrados entre las actinobacterias fueron *Nocardia*, *Streptomyces*, *Nocardiosis*, *Amycolaptosis*, *Kocuria*, *Ammoniphilus* y *Arthrobacter*. Asimismo se identificaron bacterias del tipo *Firmicutes*, representadas fundamentalmente por el género *Bacillus*, aerobios heterótrofos (como las actinobacterias) generalmente capaces de formar esporas. El tercer grupo bacteriano representado en estos cultivos fue el de las Alfa-Proteobacterias con representantes de los Rhizobiales (*Rhizobium* y *Mesorhizobium*). Entre los hongos aislados se identificó *Clathrospora diplospora*, cuyo anamorfo es *Alternaria alternata*.

La rápida aparición de estos microorganismos y la complejidad composicional de los biofilms desarrollados en condiciones de laboratorio, alertan sobre el grave peligro que supondría una fuerte elevación de la humedad relativa del aire interior:

Experimento LAB-2

Se comparó la variación de la resistencia mecánica de las tobas cuando están sometidas a saturación hídrica (caso más desfavorable). Los resultados obtenidos mostraron que en el caso de las muestras con una porosidad conectada muy alta (33.44%) sus propiedades mecánicas disminuyeron en un 65%, a diferencia de las muestras con menor porosidad (27.96%) cuya capacidad de captación de agua es también menor; y cuya resistencia a compresión disminuyó un 33%.

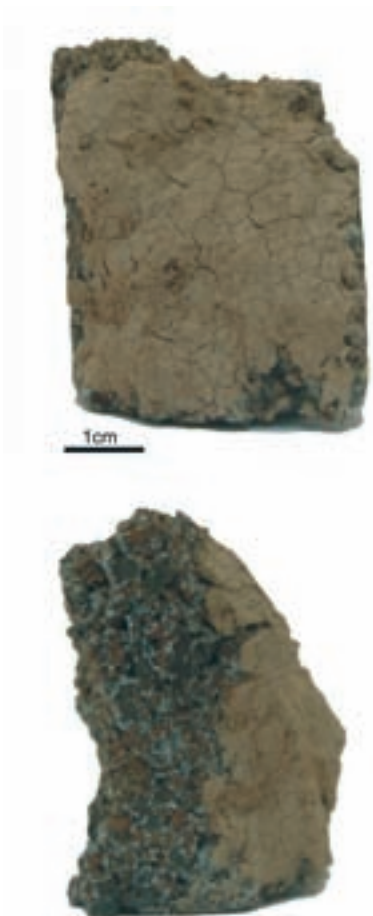
Como conclusión, es importante destacar que estos materiales tienen una alta cinética de absorción de agua (cuantificado por el coeficiente de absorción capilar) por lo que la presencia de agua en el Complejo Arqueológico produciría una disminución rápida y drástica de la integridad de los soportes, como ha pasado en períodos anteriores. Este problema parece haberse evitado de forma casi definitiva con la instalación de la cubierta.

Ensayos en cámara climática

Experimento CM-I

Se seleccionaron muestras de tobas piroclásticas características del Complejo Arqueológico, correspondientes a la toba que sustenta las pinturas pero siempre en niveles situados en el exterior de la Cueva Pintada.

Para la disposición de la capa de arcilla sobre la toba, simulando su situación real como soporte y base de las pinturas (figura 6), se tomó una pequeña cantidad de arcilla y se añadió lentamente agua hasta su máxima absorción, adquiriendo capacidad para su moldeado. La cara de la toba se humedeció para que se produjera una mejor adherencia con el barro y se recubrió con una capa homogénea de arcilla, quedando un espesor de 1-2 mm. Se cubrió toda la superficie de la roca simulando la forma más desfavorable que se pueda encontrar en la cueva. El secado se realizó lentamente en condiciones de laboratorio (25°C y 40%) durante una semana.

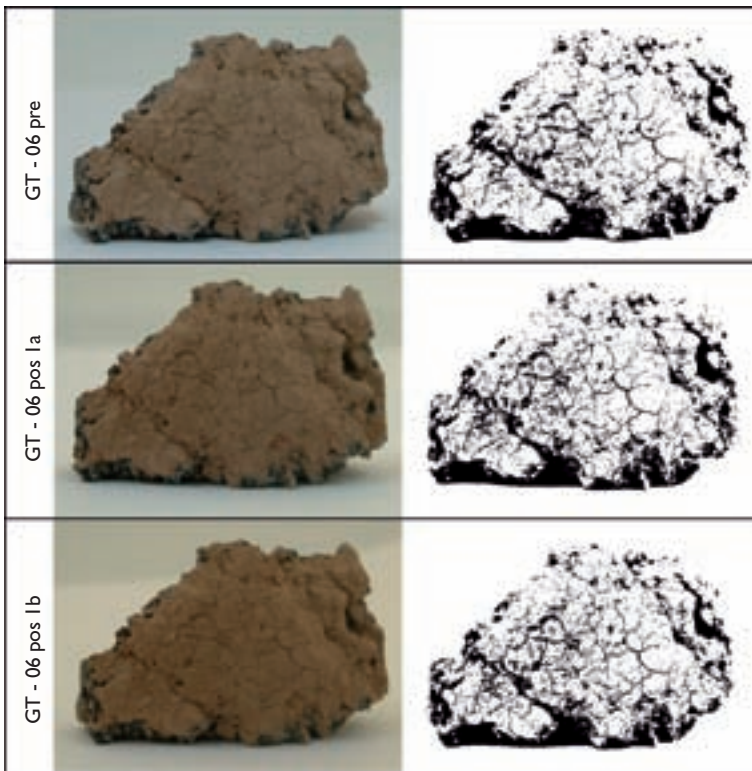


■ Figura 6. Imágenes de la muestra GPC-02 con capa de arcilla. Preparación previa a experimentación.

Una vez preparadas, las muestras se introdujeron en la cámara climática y se realizaron las simulaciones indicadas en el apartado de métodos. Los resultados y conclusiones más destacadas de ambos experimentos son las siguientes:

- El proceso de secado de la capa milimétrica de arcilla, una vez dispuesta sobre la toba, provocó su agrietamiento inmediato y previo a cualquier cambio drástico de las condiciones de experimentación (figura 7, GTC-06-pre). Este hecho indica que las grietas de retracción que presenta actualmente la capa de arcilla base de las pinturas del panel principal, pudo producirse en los tiempos de su disposición original por los habitantes prehispánicos. Esta conclusión es de gran relevancia puesto que descarta el hecho de que las condiciones microambientales recientes y actuales sean las responsables directas de dicho proceso.

- No se observaron pérdidas de material en la capa de arcillas, ni nuevos agrietados en ninguna de las muestras. Se puede considerar que las arcillas se han mantenido estables en las condiciones agresivas del experimento. En la figura 7 se pueden observar diferentes imágenes de una de las muestras (GTC-06), antes y después de los experimentos.
- La variación de masa en las arcillas sueltas fue significativamente mayor que en las muestras de toba + arcilla, debido a su mayor fracción de microporosidad, lo que también se traduce en una mayor superficie específica.



■ Figura 7. Evolución de la muestra GTC-06 durante los experimentos Ia y Ib. A la derecha imágenes transformadas a blanco y negro mediante un modo de conversión lineal (umbrales variables: 70-85).

Experimento CM-2

Para poder evaluar la variación del transporte de vapor de agua producido por la presencia de arcilla, se llevó a cabo el aislamiento de los laterales de la

muestra GPC-02 con parafina, dejando libre una sola cara, la cual actúa simulando la pared de la cueva. De esta forma se comparó la permeabilidad de la roca sin confinar y confinada. Una vez confinada se comparó la variación del movimiento de vapor de agua por la presencia de la capa de arcilla (estuco), mediante su monitorización en cámara climática (figura 8), en dos tipos de ciclo con intervalos de cambio de 2 horas indicados en el apartado de métodos. Se realizaron medidas de masa en continuo, cada 10 segundos con una precisión de 0,01g con un tiempo máximo de experimentación de 866 horas.

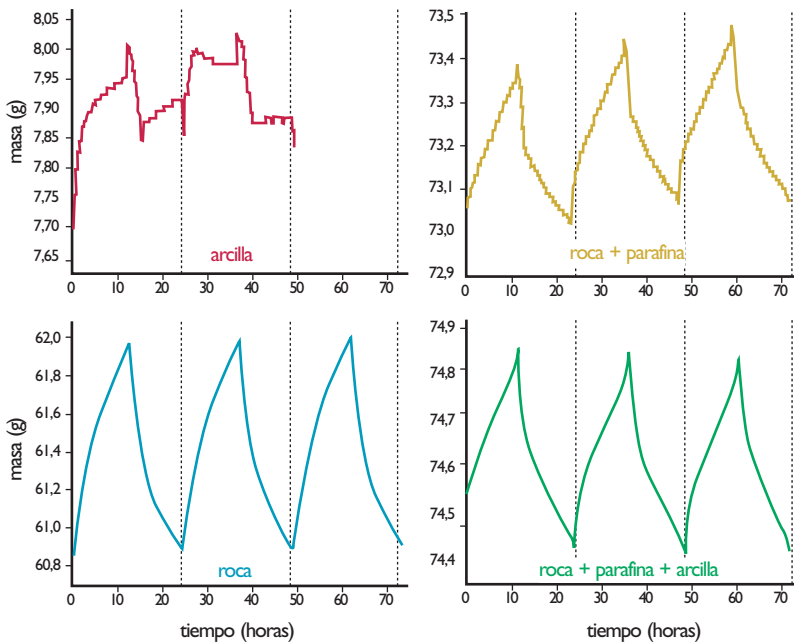


■ Figura 8. Monitorización en experimento CM-2.

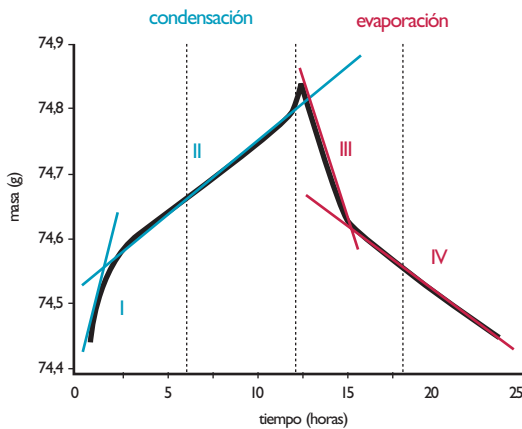
Resultados

- Estudio de la permeabilidad:
 - En la figura 9 se muestra la monitorización de los incrementos de masa sufridos por los diferentes materiales ensayados a lo largo del experimento. En esta figura se observan claramente los ciclos de condensación- evaporación que sufren las muestras y la gran capacidad de condensar y evaporar agua (alta permeabilidad) que presenta la toba en comparación con la arcilla.
 - En la figura 10 se ilustra un único ciclo diario de evaporación- condensación para la muestra de roca confinada y con arcilla. Se observa como, tanto el proceso de condensación como el de evaporación tienen un comportamiento similar, aunque opuesto.

- En el proceso de condensación se muestran dos fases: I y II. La fase I corresponde al cambio producido en las condiciones de temperatura y humedad relativa ($A \leftrightarrow B$), el cual dura 2 horas. Esta zona se podría asimilar a fenómenos de anochecer de un ciclo diario o a la salida de visitantes. En la fase II, las condiciones de temperatura y humedad relativa son constantes (15°C y 90% HR), y se caracteriza por producirse la mayor cantidad de transporte de vapor de agua y, por lo tanto de condensación.
- En el proceso de evaporación, se diferencian otras dos fases. La fase III corresponde al cambio producido en las condiciones de temperatura y humedad relativa ($B \rightarrow A$, 2 horas). En la fase III, las condiciones de temperatura y humedad relativa son constantes (35°C y 40% HR), y se caracteriza por producirse la mayor cantidad de transporte de vapor de agua hacia el exterior (evaporación).



■ Figura 9. Comportamiento de las diferentes muestras a lo largo del experimento CM-2.



■ Figura 10. Ciclo de condensación y evaporación simulado en cámara climática en el experimento CM-2.

- Comparación de permeabilidades (transporte de vapor de agua):
 - La permeabilidad (facilidad para que se condense o evapore el agua) es similar entre la roca con arcilla y sin ella. La variación de masa entre arcilla y toba por condensación inducida es muy similar; a pesar de las grandes diferencias existentes entre sus sistemas porosos. Las grandes grietas de retracción presentes en las arcillas pueden actuar como grandes poros (canales) haciendo que el comportamiento hídrico de ambos materiales se igualen a corto plazo, una vez dispuestas las arcillas sobre la toba.
 - Las arcillas estudiadas tienen una mayor capacidad de adsorción de vapor de agua para tiempos infinitos que la toba, debido a su gran capacidad de retención en su sistema microporoso.
- Fatiga de los materiales:
 - Tanto las muestras con arcillas de simulación preparadas para este experimento, como las del experimento CM-1 soportan las variaciones de humedad relativa y temperatura sin que se produzca una disminución de su estabilidad (integridad). No se observan fenómenos de histéresis ni fatiga. La acumulación de agua tras los ciclos de estrés de 12 horas es despreciable.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones del estudio de las características microambientales

El estudio del registro microclimático durante un período de 21 meses (15/07/2003 a 25/04/2005), nos ha permitido observar los cambios producidos en el microambiente interior como consecuencia de las diferentes obras de acondicionamiento. Algunas de estas modificaciones se encontraban en período transitorio y, por lo tanto, es fundamental continuar con la monitorización y la revisión periódica de los datos de los meses siguientes.

Las principales conclusiones que se han obtenido del estudio de los datos microambientales son las siguientes:

Campo de temperaturas

La colocación de la cubierta de 5700 m² sobre todo el yacimiento y especialmente la eliminación del cierre antiguo de ladrillos, que actuaba como cuerpo térmico radiante, han provocado una disminución progresiva de la temperatura del aire y de las superficies de roca del interior de la cueva y con ello una tendencia al equilibrio con la temperatura media exterior:

- A partir de la instalación de la cubierta y la retirada del techo y los muros artificiales, la diferencia entre la temperatura interna y la externa muestra una tendencia progresiva a la disminución, y al final del período de registro el desequilibrio se ha reducido en aproximadamente 1°C.
- La temperatura de la roca en la pared y en el techo tienden a equilibrarse con la de la atmósfera interna, equilibrio que prácticamente se ha establecido entre la pared y el techo de la cueva al final del período de registro.

Estas modificaciones pueden considerarse beneficiosas para la conservación de la cueva pero se encuentran aún en estado de transición y adaptación a las nuevas condiciones originadas por las obras.

- El aire y la superficie de la roca en el interior de la cueva muestran una elevada oscilación térmica anual, factor negativo para la conservación de los paneles de pinturas y su soporte, ya que favorece los procesos mecánicos de dilatación-retracción, aumentando la inestabilidad mecánica de los diferentes materiales.

Recomendación

Debe evitarse sobrepasar los actuales rangos de oscilación térmica anual (Taire: 8°C; Troca: 4°C), e incluso tenderse a su disminución. Cualquier modificación que experimente el microambiente de la cueva, derivada de su acondicionamiento para ser visitada, debe tener en cuenta esta limitación.

Humedad relativa del aire

- La desaparición del cuerpo radiante constituido por el muro de ladrillos externo ha provocado un mayor rango de oscilación de los valores de la humedad relativa del aire en el interior de la cueva. En conjunto, se produce una menor atenuación de las variaciones interiores frente a las exteriores.
- A partir de junio de 2004, y coincidiendo con la demolición del cierre antiguo, el rango de oscilación se ha visto incrementado con un claro cambio de la curva de variación. Durante el período estival de 2004 la humedad se mantiene en valores por encima del 70%.
- Durante el invierno 2004-2005 se produce un fuerte descenso de la humedad interior. A partir de febrero la humedad exterior aumenta de forma significativa, sin verse reflejado ese hecho con la misma intensidad en la pauta de evolución de la humedad relativa interior. Este fenómeno puede estar relacionado con la instalación del cierre acristalado definitivo a finales de diciembre de 2004, y debe ser tenido en cuenta en la futura revisión de los datos microambientales.
- Los datos indican que fuertes variaciones de humedad pueden cambiar las condiciones de intercambio de aire entre el exterior y el interior, reflejadas en modificaciones significativas de la concentración de gas Radón. Se ha observado que, en los períodos en los que la humedad relativa interior alcanza y mantiene valores por encima del 70%, la tasa de renovación del aire disminuye. Por el contrario, en períodos secos con valores inferiores al 45%, esa tasa de renovación aumenta respecto a los valores medios anuales.

Recomendación

No es aconsejable que la humedad relativa del aire supere y mantenga durante un período largo valores por encima del 70%, ni debe mantener valores por debajo del 45%.

En cualquier caso, debe evitarse totalmente que el ambiente alcance niveles de humedad próximos a la saturación.

Concentración de CO₂ en el aire interior

- Los datos acumulados durante los 21 meses de registro, indican un rango muy bajo de oscilación de este parámetro.
- Se ha comprobado que las obras de acondicionamiento han provocado una muy leve tendencia a la disminución progresiva de la concentración de este gas.

Ambos fenómenos son favorables para la conservación de la roca/arcilla soporte y de los pigmentos.

214

- Las estimaciones sobre el tiempo de recuperación de los valores naturales en la Cueva Pintada, tras la entrada de grupos de visitantes, se aproximan a las 10 horas.
- Un rango de oscilación natural bajo y las limitadas dimensiones del recinto, hacen de la cueva un ambiente frágil frente a la entrada de visitantes.

Recomendación

No es aconsejable que la concentración de CO₂ en el aire interior supere y mantenga durante un período largo, valores muy diferentes a los observados en el rango de oscilación natural, que actualmente se estima en 400-500 ppm.

Conclusiones de los estudios petrofísicos y experimentación bajo ambientes controlados

Las principales conclusiones obtenidas de los estudios petrofísicos y experimentación bajo ambientes controlados, son las siguientes:

- El proceso de secado de la capa milimétrica de arcilla, una vez dispuesta sobre la toba, provocó su agrietamiento inmediato y previo a cualquier cambio drástico de las condiciones de experimentación. Este hecho indica que las grietas de retracción que presenta actualmente la capa de arcilla base de las pinturas del panel principal, pudo producirse en los tiempos de su disposición original por los habitantes prehispánicos. Esta conclusión es de gran relevancia puesto que descarta el hecho de que las condiciones microambientales recientes y actuales sean las responsables directas de dicho proceso.
- En los experimentos de variaciones cíclicas termo-higrométricas no se ha observado fatiga sobre la capa de arcilla. Los experimentos realizados han demostrado que un incremento fuerte de la temperatura y humedad durante 12 horas no provoca un deterioro notable en las arcillas representativas de las existentes en el panel de pinturas.
- En los ensayos con toba y arcilla, se observa que la cantidad de agua adsorbida aumenta ligeramente o se mantiene, hasta que se sobrepasa un valor del 75 % de humedad relativa del aire, momento en el que se produce un incremento brusco en la adsorción de agua por parte de los diferentes materiales. Dicho comportamiento es aún más pronunciado en las muestras de arcilla que en las de toba. No obstante, se ha observado que si las modificaciones de las condiciones microambientales de la Cueva Pintada son rápidas y de corta duración, los materiales no sufrirían una alteración importante. Es decir, los materiales recuperan sus características iniciales de forma rápida y reversible bajo variaciones microambientales de corto plazo.

Este dato coincide con el obtenido en el estudio microambiental y parece confirmar la hipótesis inicial: los procesos de captación de agua debidos a fenómenos de condensación natural sobre la toba que confina la Cueva Pintada, y la arcilla que la cubre parcialmente en el panel, tienen lugar en torno a valores del 70-75% de humedad relativa, siempre y cuando se mantengan durante períodos suficientemente largos.

En las muestras de toba y arcilla sometidas durante 2 meses a una humedad relativa del 100% (saturación) y una temperatura del aire de 20°C (similar a la real de la cueva), se ha observado el desarrollo de tapices de microorganismos.

Recomendación

Coincidiendo con lo concluido a partir del estudio microambiental, no es aconsejable que la humedad relativa del aire supere y mantenga, durante un período largo, valores por encima del 70% para rangos de oscilación térmica natural como los empleados en los ensayos.

LAS INTERVENCIONES

El proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico de la Cueva Pintada: una intervención para la conservación

L. Zarandieta Núñez, J. M. Sosa Pérez y J. Feduchi Benlliure

Para los técnicos, cuyo trabajo es conducir la ejecución de una obra, pensar en los inicios de la misma, que hay que tener un cuidado especial porque debajo hay algo que puede deteriorarse a causa de esas labores, es empezar con demasiadas precauciones la construcción de un edificio.

Es evidente que la conciencia que teníamos sobre este trabajo se vería inmediata y drásticamente cambiada, y esta modificación de la conducta de los agentes intervinientes en la construcción del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada, debemos reconocer que tardamos mucho en hacerla definitivamente efectiva y en asimilarla.

Que un solar hubiera que, casi cortarlo, como si fuera una tarta, con una sierra circular; para constatar que las vibraciones no afectarían a la «Cuevas» y de paso, que sirviera de junta abierta para evitar, en lo posible, la transmisión de las oscilaciones, no estaba mal como primera declaración de intenciones en la relaciones de los dos «lobbys» del momento y del lugar: la arqueología y la arquitectura.

La experiencia fue satisfactoria. Pudimos compaginar un trabajo rudo y pesado como es la excavación de sótanos en terreno semicompacto con máquinas excavadoras percutoras, con el silencioso, tranquilo y reposado de los arqueólogos con sus brochas, palustres, etc.

Y también fue precursora de tomas de decisiones muy importantes, que hicieron de este proyecto la gran OBRA ABIERTA y flexible que se materializó en el proyecto arquitectónico diseñado por encargo del Ministerio de Cultura en el año 1993.¹

¹ Parte de este proyecto se publicó en *Canarias Restaura. Exposición Itinerante* por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes en el año 2001 (Hernández Gutiérrez, A. S., 2001).

Un proyecto lo define la Real Academia de la Lengua como: «primer esquema o plan de cualquier trabajo que se hace a veces como prueba antes de darle la forma definitiva». Una magnífica definición que, desgraciadamente, se olvida y se da de lado con demasiada frecuencia.

Cuando empezamos la obra contenida en el proyecto se había contado con la presencia de los restos arqueológicos, pero se tenía un dilema interior que, como olas yendo y viniendo, nos hacían unas veces estar muy pendientes de ellos y otras no tanto.

Como decíamos, no tardamos en darnos cuenta que, aunque habíamos empezado por ese primer esquema cuya realidad era clara, es decir, un edificio para uso definido, y cuya forma definitiva parecía que no iba a cambiar; los condicionantes específicos del conjunto de todas las obras convertiría nuestro trabajo en un cúmulo de esquemas y planes en constante movimiento y flujo de ideas.

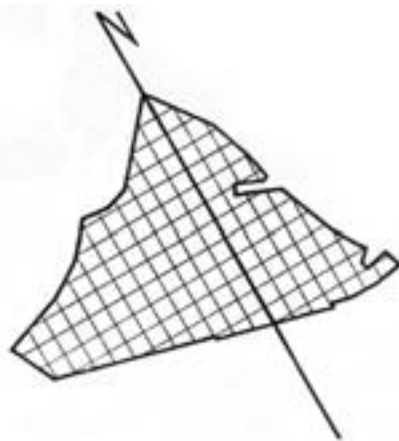
Metimos las máquinas para demoler primero, para excavar después, para abrir un agujero de casi siete metros de profundidad, justo al lado de un resto arqueológico extremadamente frágil. Novedosamente «cortamos» la tierra para que las vibraciones producidas, unos cincuenta metros más arriba, no provocaran una catástrofe inimaginable en lo que se trataba de poner en valor:

Definido inicialmente lo que se pretendía, se contaba con un documento en firme como es el proyecto de 1994, que se componía de varias actuaciones sobre todos los espacios de la parcela en cuestión. Por aquella época, todavía era temprano para que sectores del proyecto como el tratamiento del *Templum* (la cueva en sí), o del *Deambulatorium* (la zona arqueológica propiamente dicha) estuvieran madurados o su concepción traspasara los límites del mismo.

Antes de continuar merece la pena que se exponga que este proyecto desde su principio, pasando por modificaciones y complementos, hasta su final, es un trabajo respetuoso porque ha considerado, mantenido y tenido en cuenta, aspectos imprescindibles como:

- Adaptarse desde el interior de sus límites, a los valores de las edificaciones singulares de la antigua capital de Gran Canaria, enmarcando aquellos elementos descontrolados «que corrompen la visión de continuidad del Parque sobre el paisaje rural y urbano», según se indicaba en la memoria de 1994.

- Preconizar como uno de los retos importantes del proyecto el llegar a cambiar la fisonomía de estas casas.
- Asumir las fachadas de piedra de Gáldar y Arucas, o en cualquier caso del lugar, como en diversos edificios señoriales del siglo XIX.
- Como si de un hermanamiento entre disciplinas universitarias se tratara, utilizar la cuadrícula arqueológica de diez por diez metros, como base del trazado del Parque en la planimetría del proyecto arquitectónico, lo que hace posible que el desarrollo de éste no interfiera en las campañas de excavación, asegurando el carácter de obra abierta. La excavación va abriendo camino a la arquitectura.
- Introducir, en consonancia con las edificaciones contiguas, el volumen edificatorio estableciendo el lenguaje arquitectónico con los edificios más representativos de la ciudad, escalado de forma cuidada.



■ Figura 1. Ubicación del Parque. Implantación de la cuadrícula arqueológica.

El proceso de protección de las excavaciones realizado por el Área de Arqueología del Parque, así como las campañas de nuevas prospecciones facilitan en ese momento el detenido estudio sobre la cubrición del *Deambulatorium*, y la toma de decisión más controvertida, dura y dulce a la vez, para la Arquitectura, como es cambiar la forma de la cubierta y, al mismo tiempo poder ampliar el ámbito de protección de la zona en cuestión, desplegable, ampliable, vivo en definitiva: ahora y después.

¿De qué hablamos? Para los que no conozcan este proyecto desde los inicios allá por el año 94 del siglo pasado, se componía de varios espacios diferenciados por usos previstos.

En particular, los que se situaban en la zona arqueológica o cuyo contenido y fin tenían por objeto este espacio, eran:

- El *Deambulatorium*, ya mencionado, sin superficie definida, que consistía en un recorrido peatonal a base de pasarelas y caminos sobre las excavaciones realizadas.
- El *Templum*: la cámara, la cueva, que se acondicionaba y «cerraba» con una superficie tratada de 600 m².
- Protegiendo todas las zonas se proyectaba un original y novedoso sistema de paraguas invertidos que abarcaba unos 500 m², distribuidos en cinco módulos de 10 x 10 metros, bajo el que se construía un contenedor de 150 m², con la reproducción de la Cueva Pintada.
- Una torre mirador que se denominaba «Roma», con algún tipo de analogía etimológica en la elección de los nombres.
- Un edificio de instalaciones ubicado en una zona donde no se preveían nuevos descubrimientos arqueológicos.



■ Figura 2. Implantación de ejes y cuadrícula arqueológica para la protección.

Decisiones de toda índole, pero sobre todo de carácter político-económico, provocan un cambio brusco, durísimo, llegando a pensar en el abandono e incluso en la muerte del proyecto.

Todo esto acontece con las obras del Museo o *Anticuarium* en pleno proceso constructivo. Fruto de estas vicisitudes, y de forma totalmente afortunada, se consigue que aun siendo traumático se anulen ciertas ejecuciones proyectadas y en la correspondiente modificación se introduzca la idea cada vez más sólida y madurada de convertir la zona arqueológica en la verdadera razón de futuro, cuyo culmen escénico sigue siendo la Cueva Pintada.

Fijándonos exclusivamente en este territorio, una vez modificado el proyecto adaptándolo a los nuevos logros o conquistas de los interesados realmente en que saliera adelante, se pasó de no tener nada, en un momento dado, a conseguir:

- Proteger la Cueva Pintada.
- 3000 m² de cubrición superior del yacimiento.
- Proyectar casi 480 metros de caminos, rampas, recintos, pasarelas, escaleras, etc.

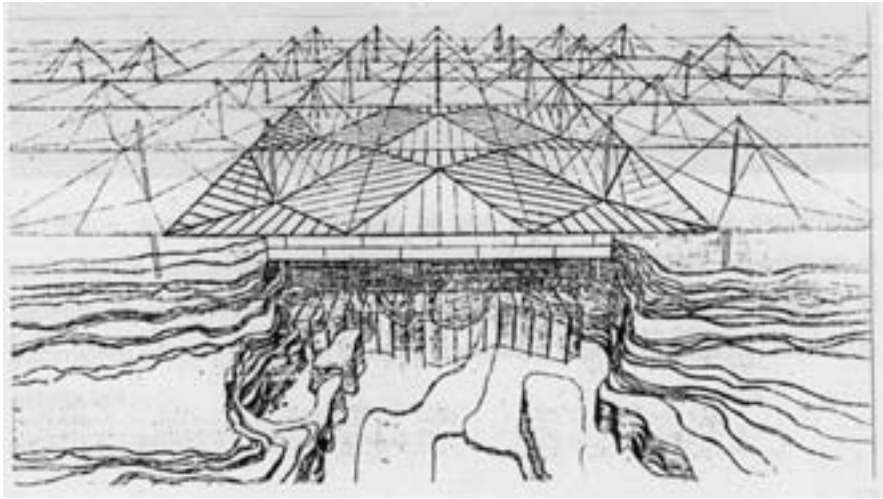
Lo que pasó por la mente de los responsables del proyecto en esos momentos en los que tuvo que asumir la decisión del cambio, sólo lo conocemos los autores.

La cubrición de la zona arqueológica

Centrándonos en la cubrición, que el proyecto denominaba «cerramientos», explicaremos, cronológicamente, los pasos y soluciones que se tuvieron en cuenta desde el primer diseño hasta la forma definitiva que se adopta como procedimiento adecuado y que, posteriormente, se construye.

Las Áreas de Arquitectura y Arqueología por el año 1993 acuerdan el diseño de un sistema respetuoso con la base científica del proyecto, ya que plantea, como se ha dicho, varios paraguas invertidos, inclinados y permeables, con una superficie unitaria de 100 m², conformando las ya mencionadas cuadrículas de 10 x 10 metros, sustentados en un solo pilar y, a veces, en menos.

Significativo es que la cimentación de esos pilares se plantea mediante un formato tradicional de pozos de hormigón armado, «arriostrados» mediante zanjas y zunchos ejecutados con igual material.



■ Figura 3. Perspectiva de la cubrición de la zona arqueológica en los anteproyectos de 1994.

Sin entrar en opiniones sobre el valor estético reconocido posteriormente por alguna parte, esta solución daba versatilidad a la protección de las excavaciones, incluso pudiéndose ampliar su número y disposición, en cierta manera.

Pero dado que, a la hora de montar los esquemas de proyecto, los trabajos arqueológicos estaban en una fase primaria, se presuponía que no iba a haber problemas para «tocar» el suelo o el soporte.

Los cambios y la importancia que va tomando el proceso arqueológico son conocidos por los actores intervinientes, pero tenidos en cuenta de pasada por uno de ellos, la arquitectura. Esta estaba inmersa en una construcción que se modificaba, obligando a hacer un nuevo proyecto, en el cual ya es el momento de pensar en una solución definitiva de la cubrición. O al menos, eso se ordenaba desde las instancias económico-legales.

Final e irrevocablemente se desechan los paraguas, por no obtener una adecuada protección del espacio a preservar, a nivel de insolación, lluvia, viento, etc., y además se iban conociendo poco a poco, durante el avance de las excavaciones, las que denominamos zonas rojas o prohibidas del Parque Arqueológico, es decir, islas de terreno en las cuales no es posible intervenir arquitectónicamente en forma alguna.

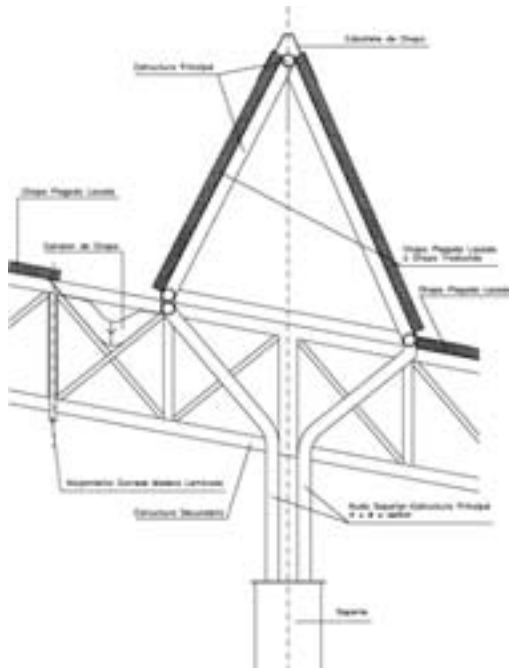
Con fijación lineal, se plantean unos ejes que atraviesan el yacimiento ortogonalmente, como base de unos esquemas de cubrición constituidos

por pilares que soportarían grandes vigas de madera laminar de hasta 20 m, de luz y gran canto, que a su vez soportarían una secuencia de correas y esparavanes de igual material. Se complementarían con una cubrición de chapa metálica, con cierta protección fónica.

El procedimiento constructivo, casi imposible de llevar a cabo por las dimensiones de las vigas ya que se precisaba maquinaria pesada de grandes dimensiones para el transporte y montaje, obliga a desechar este sistema que era muy del agrado del Área de Arquitectura.

Basado en una solución intermedia y un poco más flexible, dado el cambio de material que se propone, se plantea la ejecución de una estructura de concepto similar al anterior pero con perfiles metálicos.

Básicamente consistía en sustituir las grandes vigas de madera por elementos resistentes, modulares, con un montante económico más asequible, a base de perfiles de acero.



■ Figura 4. Solución mediante cubrición metálica lineal. Nervio longitudinal.

Ya en esta solución, igualmente excluida, se consolidan aspectos técnicos y decisorios como la recogida de agua, la ubicación de pilares con definición de ejes, y aparece la cubrición de la Cueva Pintada como una doble protección del complejo troglodita.

Ahora, los autores asociamos las excavaciones de Pompeya con la protección de grandes espacios como las «estufas frías» de Portugal o la protección del primer proyecto Eden de St. Austell en Inglaterra, y pensamos en un sistema análogo, pero en la línea de los que se habían estudiado y desechado.

- Fotos 1 y 2. Proyecto Eden. St. Austell. UK Sir Nicolas Grimshaw & Partners.



Más que pensar, conocemos la solución de una excavación arqueológica abierta, viva, grande, avanzando y evolucionando.

Y tanto que evoluciona: de los primeros 3000 m², ya estábamos por los 4135 y subiendo, ya que las brochas arqueológicas, paradójicamente, iban más rápidas que la maquinaria constructiva y administrativa.

Pero había algo que al proyectista no le gusta de estas soluciones, y es la potencia de una estructura que podría agobiar más de lo que le atosiga el látigo de los «puntos rojos».



■ Figura 5. Zonas prohibidas. Los puntos rojos.

Tras muchos viajes, donde menos te lo esperas, salta la idea: mirar por la ventanilla del avión, ver el mar de plástico de los invernaderos, bajarse del aparato, mirar al techo, madurar lo visto, comentar con los técnicos lo que se estaba pensando, e ir y plantearlo en la reunión a la que estábamos citados: el cielo del poblado, del complejo troglodita, se cerró con una cubierta espacial.

Pero todo estaba aún por venir: las decisiones, los cálculos, buscar quién la ejecutaría, ejecutarla y encontrar apoyo económico para llegar hasta donde pudiéramos.

No había que pararse. Contactamos con una de las empresas con patente en este tipo de construcción y con autorización de Propiedad y Constructora, planteamos al calculista la definitiva solución.

Se programa un número variable de pilares, cimentados en las escasas zonas libres de actuación, cuyas luces o separación entre ellos podría llegar hasta los 40 metros, para soportar una cubierta opaca de unos 5700 m², y unos cerramientos laterales a base de telones.

- No se puede cimentar en las zonas rojas.
- No se puede transitar por el 90% del yacimiento, y las máquinas tienen restringidos los accesos.
- La ejecución de la cimentación no debe producir vibraciones a la Cueva Pintada.
- No interesa que haya demasiados pilares, con vistas al trazado del *Deambulatorium* o a la visita del Complejo Arqueológico.
- Todo el sistema constructivo debe ser susceptible de modificación durante la ejecución y en función de las campañas de prospecciones arqueológicas programadas.
- Como punto principal: la cubierta y sus cerramientos laterales deben tener una gran versatilidad de manera que pueda ser fácilmente ampliable para permitir la continuación activa y abierta de los trabajos de prospecciones arqueológicas durante las obras y con posterioridad a las mismas.
- Los cerramientos laterales deben permitir las actuaciones anteriores, además de facilitar la ventilación interior; evitar la entrada de aves, y hacer posible su desmontaje y montaje dentro de las labores de mantenimiento, limpieza, etc.
- Que el agua que recoja la cubierta se lleve superficialmente hasta los puntos de evacuación.
- Y que sea factible de construir; que estéticamente sea compatible con lo que se pretende, y que no cueste mucho.

Podemos imaginarnos las dificultades técnicas de esta solución, pero han sido muy inferiores a cualquier otra de las desechadas. De ello su elección.

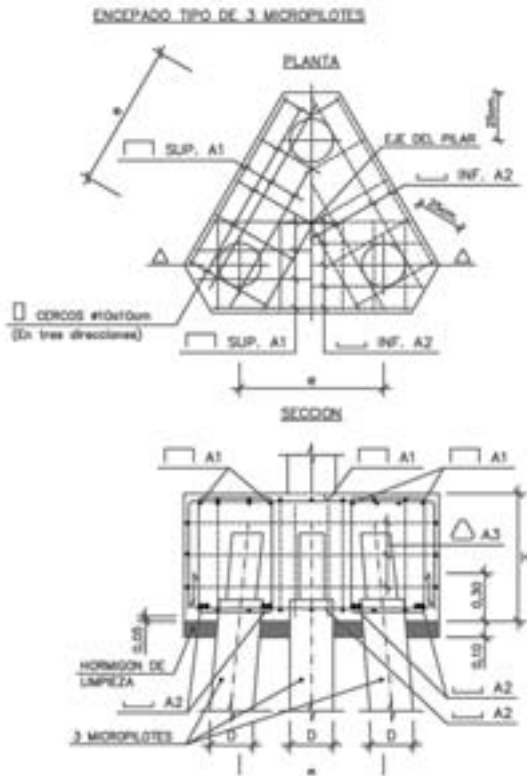
Una vez más la insistencia y la paciencia de los que han intervenido en este proyecto (propiedades, constructora, técnicos, y cantidad de gente anónima) lo han hecho posible.

La cimentación de los pilares que debíamos pinchar en el espacio arqueológico protegido, debido a la falta de arriostamiento entre elementos de cimentación, se proyectó mediante conjuntos de micropilotes, dada su versatilidad, pequeño tamaño y posibilidad de aportar pocas vibraciones durante su ejecución.

Los calculistas, como todos, en sus primeros datos nos aportan soluciones incompatibles con el medio. Limando asperezas técnicas conseguimos taladrar lo menos posible el terreno.

No fue fácil así contraponer esta solución técnica frente a opiniones, algunas de ellas interesadas y otras no tanto, de que este sistema constructivo, globalmente, carecía de solvencia a nivel de resistencia eólica, y de algo que va más allá de la tecnología como era el diseño de esta cubrición.

La dirección facultativa lo tenía claro: después de todo lo que habíamos madurado esta parte del proyecto con más de siete soluciones diferentes sopesadas, dibujadas, explicadas y expuestas, salvadas las reticencias técnicas y, sobre todo, cumpliendo en el 85% los condicionantes de uso, no se debía dar marcha atrás.



■ Figura 7. Sección de los encepados de los micropilotes.

Se colocaron encepados que anudan los micropilotes, denominados así porque su dimensión es sensiblemente inferior a sus hermanos mayores: los pilotes. Con ello se obtenía una mayor facilidad a la hora de su hincada, dadas las dimensiones de la máquina perforadora.

El dimensionamiento y la ejecución de pilares y de la estructura hiperestática, fue ya una labor continuada, dentro de lo que cabe, hasta lograr proteger el yacimiento, con el fin de llegar a determinar qué se iba a hacer con el *Templum*.

Nuestros amigos arqueólogos y conservadores, en connivencia con la Arquitectura aprovecharon la ocasión para continuar sus trabajos, ahora sí, al abrigo de una cubierta, tras años soportando las circunstancias e inclemencias de todo tipo.

A modo de reseña, exclusivamente, la protección final del poblado y del complejo troglodita se ha ejecutado con un sistema consensuado que cumple en un gran porcentaje las premisas imperativas de cubrición, defensa, abrigo y cobijo del *leitmotiv* del proyecto.

La ejecución material del sistema constructivo ha sido un conjunto de acciones coordinadas y planificadas que tuvieron su punto de partida en la ejecución de los micropilotes mediante la preparación de caminos, que, convenientemente trazados, cumplen la doble misión de proteger la superficie sobre la que se construyen y de posibilitar el acceso de las máquinas y sus accesorios para realizar la cimentación especial de que se trata.

A la misma vez, de acuerdo con la empresa fabricante de la cubierta, se plantea un esquema de trabajo de manera que se montaran módulos con un peso máximo limitado por la ubicación en la altura y la longitud del brazo de la grúa.



■ Foto 3. Grúa posicionada y pilares colocados sobre encepados.

También la ubicación de dicho aparato de elevación es problemática, dado que la entidad tanto en altura como en capacidad portante hizo preciso su situación en zonas libres de puntos rojos, y exentas de futuras actuaciones arqueológicas.

Una vez más hubo que esperar a que se tuviera la certeza de que la ubicación de este elemento cumpliera esos requisitos, lo que vuelve a aportar retrasos en las ejecuciones.

No es difícil comprender que gran parte de la obra ha sido ejecutada siempre a la espera de resolver dudas o enigmas guardados bajo el terreno natural sobre el que se proyecta. Indicios, presunciones o posibilidades de encontrar elementos arqueológicos de interés, hacen que unidades de obras proyectadas puedan llegar a hacerse interminables e incluso a no ejecutarse.

La ejecución de la cimentación o la simple colocación de un medio auxiliar como es una grúa, ha sido sometida a toda una serie de deliberaciones para determinar el grado de idoneidad y la correspondiente autorización de montaje, con lo que ello conlleva de irremediable lentitud en el proceso consultivo.

Se debía contar no sólo con la plataforma de ubicación de la grúa, sino con espacios lo suficientemente amplios que permitieran el montaje a cota de terreno de los diferentes módulos de que consta la cubierta.

Paralelamente, se ubican los pilares circulares de acero situados sobre los encepados, con una labor meticulosa de topografía aplicada, dado que los márgenes para el montaje de la cubierta en los capiteles de dichos pilares eran de no más de 150 mm.

El plano inclinado de la cubierta posee su línea de máxima pendiente de forma lineal y uniforme, discurre de norte a sur, con una pendiente próxima al 18%, mientras que la superficie del terreno, evidentemente irregular, tiene una pendiente, de este a oeste, de un 10%.

El borde sur del Parque lo constituye un muro de hormigón y mampuestos de piedra del lugar ejecutado en 1990, a partir de un proyecto diseñado y dirigido por los arquitectos Ángel Melián García y Miguel Saavedra Pérez. Su cabecera se encuentra nivelada pero, dado que constituye el límite de una parcela urbana, no es ortogonal ni posee paralelismo con elemento alguno de nuestra construcción.

Por lo tanto el plano que hemos tratado de describir de forma gruesa, y que conforma la cubierta, provoca que haya pilares de muy diferentes alturas.

El proyecto toma como punto de partida la cota del plano de cubierta la altura mínima a mantener en la terraza del edificio Museo o *Anticuarium*,

discurriendo hasta su punto inferior más bajo situado en el vértice sureste de la parcela y, por lo tanto, de la zona arqueológica.

Hubo de contar no solamente con la grúa torre ubicada sobre una plataforma realizada *ex profeso* para soportarla, sino que se dispuso de grúas móviles que entran a la obra por el único sitio posible, ubicado en el actual acceso de vehículos junto al Aula Didáctica.

Según el planeamiento de montaje, el proceso se completa mediante la ejecución, como se ha dicho, sobre el terreno de la estructura hiperestática, que está compuesta de barras cilíndricas y esferas de acero macizo en los extremos, vértices y nudos, conformando una doble piel.

La imposibilidad material de arristrar a nivel de cimentación los encepados, obliga a colocar barras en cruces de San Andrés entre pilares, convenientemente indicados por los calculistas.



■ Foto 4. Primeros pasos del montaje de la estructura de cubierta.

Evidentemente, antes de proceder a subir la cubierta, se prevén piezas especiales para ubicar los canalones de recogidas de agua, por debajo de la futura línea de cubrición.

Una vez colocada sobre los pilares, las diferencias de asiento fueron mínimas, y perfectamente corregibles.



■ Foto 5. Vista elevada del proceso constructivo: cubrición, canalones, estructura y grúa en montaje.

Se procede de inmediato a colocar los paneles tipo sándwiches, compuestos por dos láminas de aluminio con aislamiento de espuma de poliuretano entre ellas, fijadas a los elementos superiores o correas de la cubierta.

Como dijimos en su momento, el proyecto hablaba del cielo del yacimiento. Aunque parezca una frivolidad, se pretendía que esta cubierta se asemejara al elemento azul que se conforma en la atmósfera, por eso el color cerúleo de su cara interior o intradós. También se consigue con esta tonalidad otro de los requisitos impuestos, o por imponer, por la museología que se avecinaba: aportar oscuridad, según se predicaba.

Hablamos en su momento de inspirarse en los diversos mares de plástico que conforman los invernaderos en las islas. De ahí el color de la chapa de la cubierta que se ofrece al exterior:

Es evidente, y recientemente lo hemos podido constatar, que existen opiniones de todo tipo, compartidas unas, comprensibles otras, y no asumibles las menos, pero lo que no se puede negar es que se ha tratado de ser lo más respetuoso posible con el medio en el que se ubica este yacimiento, con su inevitable impacto visual, teniendo que mantener los requisitos pretendidos.



■ Foto 6. Vista dentro del alzado urbano de la cubierta completa.

Teniendo en cuenta que los laterales de los espacios cubiertos también tienen que cumplir unas exigencias de contenidos muy dispares, surge la necesidad de contar con unos cerramientos verticales que se ajusten a ellas y, sobre todo, aseguren el cumplimiento de requisitos técnicos, funcionales y decorativos.

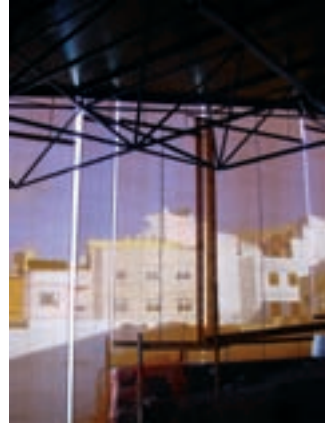
Entre los primeros, y para nosotros los más importantes, se encuentran aspectos que restan flexibilidad, y por lo tanto aportan rigidez a las soluciones planteadas.

Téngase en cuenta que el material llamado a cubrir estos espacios, algunos de más de 10 m de altura, debe dejar pasar el aire, pero no totalmente. Debe contar con un sistema de tensado que permita su movimiento, debe soportar y absorber la componente horizontal del viento sin que se desprenda de sus soportes, debe ser transpirable pero semiimpermeable, debe resistir la acción de los rayos ultravioletas, debe adaptarse al terreno y a la cubierta y, por último, cumplir con las normas de accesibilidad y emergencias exigibles en el interior de los espacios que cierra.

Por si todo ello no fuera suficiente, debe cumplir la función de proteger el interior del yacimiento, debe ser susceptible de montaje y desmontaje, debe proteger de la visión hacia el exterior de ciertas medianeras, a la vez que aportar oscuridad, y finalmente «no desentonar» con el conjunto constructivo.

Volvemos a encontrarnos con la misma problemática, es decir, una ingente cantidad de condicionantes y requisitos que vuelven a reducir el ámbito de elección del material.

■ Fotos 7 y 8. Los cerramientos laterales.



El material elegido y colocado ha cumplido, hasta ahora ampliamente, con las necesidades que se tenían.

236

La versatilidad de las telas laterales, su perfecta adaptación al medio, su flexibilidad, etc., aseguran la idoneidad de la elección.

Los límites de la cubierta de forma irregular, unidos al igualmente anómalo perímetro del yacimiento a cubrir, añaden una vez más un factor de complejidad a este elemento constructivo. En efecto, dicho perímetro de cubrición no es coincidente con la base que se pretende proteger y, además, mientras

■ Foto 9. Los cerramientos laterales. Absorción de diferencias orográficas y de nivel.



que el límite superior es inclinado pero lineal, el inferior es desigual, variable, y hasta caprichoso.



■ Foto 10. Salidas de evacuación o emergencia.

Se han procurado perforaciones reguladas y ordenadas donde se ubican las salidas de emergencia.

En el contexto general del conjunto constructivo que conforman la estructura hiperestática y los cerramientos laterales a base de telones como elementos, sobre todo estos últimos, de gran flexibilidad, se debe indicar que:

La ductilidad, característica opuesta a la fragilidad, es la capacidad de un material de alcanzar grandes deformaciones antes de la rotura, lo que lleva a que, antes de que una estructura ceda, se produzcan importantes desplazamientos que permiten absorber energía y suponen un valioso aviso previo a un colapso. Pero más importante es

el que unida al hiperestatismo o redundancia (traducción literal de la denominación anglosajona más autoexplicativa), la ductilidad dota a la estructura de cierta capacidad para repartir sus esfuerzos de forma que, en el preagónico estado límite último previo a un colapso, elementos más liberados de una estructura bien diseñada puedan llegar en «ayuda» de los que se encuentran próximos a la rotura (Serna García-Conde y Rui-Wamba Martija, 2006).

Esta larga pero adecuada explicación del funcionamiento estructural, es un colofón suficientemente ilustrativo de por qué los materiales utilizados, y especialmente las telas, son los más idóneos, ya que caso de originarse una indeseada fractura del conjunto, la quiebra estará controlada y se producirá en el sitio y sobre el material previsto.

Por ello, estos cerramientos, y en definitiva el conjunto estructural de la cubierta de la zona arqueológica, puesto en duda por algunos por su idoneidad, ha superado y sobrevivido pruebas que van más allá de las normalizadas y de los pronosticados controles, diríamos que por encima de las fuerzas de la naturaleza, como fueron los restos de la tormenta tropical Delta, a su paso por las islas, confirmando la aptitud de las soluciones adoptadas.

El cerramiento de la Cueva Pintada

Siendo lo principal, la protagonista de esta historia también es lo primero que se mira pero lo último que se toca.

Como no puede ser de otra manera, se preserva hasta tal punto que todos los intervinientes hemos cuidado hasta las palabras cuando hablamos de ella.

Ha mantenido su rudimentaria protección hasta los últimos momentos.

Pero como parte integrante de un proyecto abierto, y sirviendo de pretexto al mismo, tampoco se ha librado de opiniones diversas, marchas adelante y marchas atrás, sobre la forma definitiva de su protección, de manera que, aun siendo visitada, descansara.

Si en la construcción del Museo o el *Deambulatorium*, la arqueología llevaba unos puntos por encima de la arquitectura, en esta parte del proyecto se comprueba que ésta última estuvo, está y estará al servicio de aquella ciencia.

Inicialmente se protegía hasta tal punto que se acondicionaba en el interior del Parque Arqueológico un habitáculo especialmente adaptado para contener una réplica. Nos viene a la memoria Altamira, donde muchos de los técnicos

que han sido arte y parte de su tratamiento lo son también de este proyecto.

Pero, como debemos recordar, este planteamiento o solución en otros espacios arqueológicos tampoco resistió el envite económico.

El primer proyecto, aparte de contemplar su reproducción no lejos de su establecimiento real y actual, pretendía igualmente su protección. No hay más que rememorar la pequeña historia de los paraguas invertidos.

La dura y clara realidad es que el estado de los techos y muros protectores de la cámara a simple vista era inaceptable e inaguantable en el más puro sentido de la palabra.

Mientras las obras estaban lejos de la influencia sobre ese espacio, lo más que se hizo fue tratar de delimitar y separar las zonas.

De las reuniones mantenidas por los expertos en diversas disciplinas, se desprende que los forjados o losas que se construyeron para proteger en su día a la cámara, cumplieron ya su misión, por lo que sería conveniente demolerlos; sencilla palabra que se refiere a derribar, deshacer o arruinar, si no fuera porque sobre lo que hay que trabajar, es intocable.

Después de muchas idas y venidas se observa que realmente no existen dos forjados, en el sentido estricto del término constructivo, sino uno primitivo sobre el que se construye en 1981 una losa de hormigón sobre chapa ondulada de fibrocemento, que con toda seguridad se hizo así para evitar la entrada de agua durante los años que ha estado a la intemperie todo este elemento.



■ Fotos 11 y 12. Cámara entre el primer y segundo forjado del antiguo cierre de la cueva.

Fruto de esta contingencia es el mal estado del forjado primitivo que se encuentra apoyado en la visera natural de la cueva y en la fábrica de ladrillo blanco.

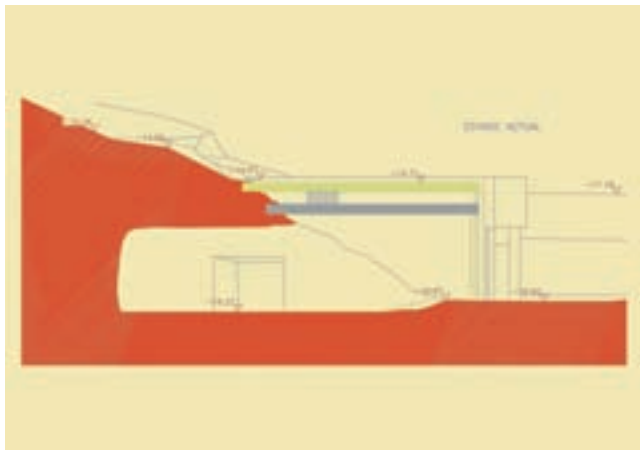
Estando en el reino absoluto de la Arqueología, la opinión de los técnicos no especialistas es fundamentalmente de apoyo y encauzamiento de las iniciativas y propuestas de los conservadores.

Pero en fase de redacción de propuestas de proyecto, recopilando opiniones y poniendo las nuestras encima de la mesa, recogimos la modificación de ese mastodonte de ladrillo y hormigón que pesaba como una losa sobre el yacimiento.

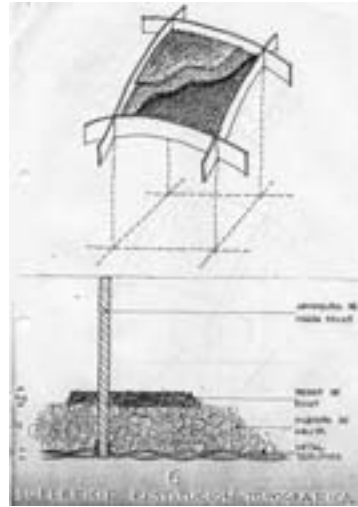
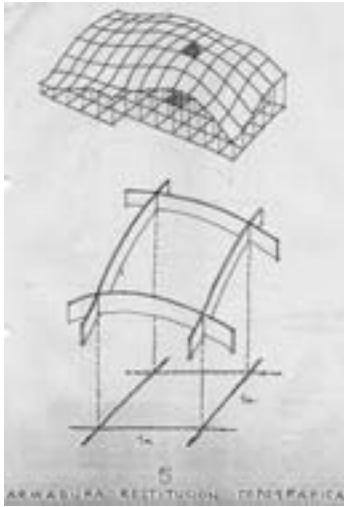


■ Foto 13. Cierre arquitectónico de la Cueva Pintada entre los años 1972 a 2005.

Se pretendía inicialmente y una vez habiendo modificado el proyecto de 1994, dotar de una cubierta con piel, como segunda protección, al espacio antesala y sobre la misma cueva. Se trataba de adaptar dicha epidermis a un hipotético y antiguo terreno natural, con formación de líneas vistas tridimensionalmente e intentando volverse a encontrar con la cuadrícula arqueológica perdida y abandonada por exigencias constructivas.



■ Figura 8. Sección de la cueva antes de la intervención.



■ Figuras 9, 10 y 11. Proyecto de protección del complejo troglodita.

Las explicaciones recibidas por los expertos analistas y conservadores de la cueva, permiten que, a la hora de ejecutar el viejo sueño de remodelar el *Templum*, las actuaciones sean más acilatadas y ajustadas a la realidad del estado arqueológico del conjunto.

Los principales dilemas en este apartado son:

- Imposibilidad total e incondicional de actuar con máquinas percutoras de gran porte en el desmontaje del primer techo por lo que, losa, chapas de fibrocemento y bloques de hormigón se desmontarían a mano, con cuidado de que la demolición fueran lenta y minuciosamente realizada.
- Prohibición absoluta de demoler en su totalidad el forjado siguiente.
- Que en ningún caso se pudiera agredir activa o pasivamente a las cuevas del subcomplejo troglodita.

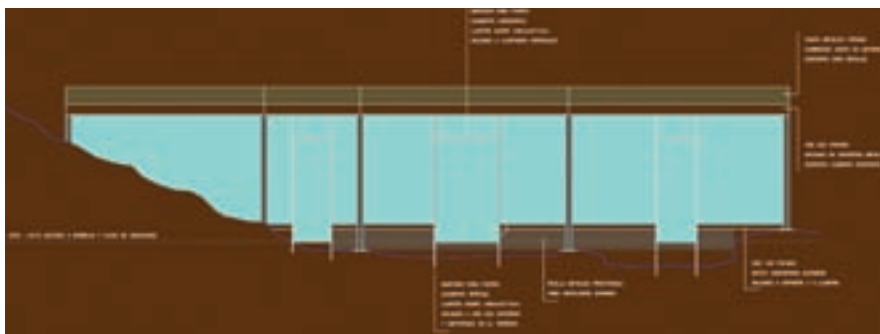
Tres breves imposiciones, pero pesadas como una losa.

Manteniendo el primer boceto realizado en el primer proyecto, que era un gran pórtico que sostenía este forjado, pasamos a ser absolutamente respetuosos con la gran idea de aliviar estructuralmente a la roca y, una vez protegido el conjunto, ordenar de la manera más eficaz la exposición al público del monumento máspreciado.

Aceptada la forma que, aunque con diferencias, no es más que una adaptación a las nuevas ideas del planteamiento del proyecto inicial y del modificado, la Arquitectura se pone en marcha para construir lo diseñado, algo que no está exento de precauciones, controles y, por qué no decirlo, mimos.



■ Figura 12. Pórtico soportante del forjado que sustituye a la antigua fachada.



■ Figura 13. Frontal del nuevo pórtico.



■ Fotos 14. Demolición controlada del forjado superior.



■ Fotos 15. Detalle del desmonte de la fachada.

Mientras se estudian técnicamente estas ejecuciones, el avance de la cubierta general de la zona arqueológica permite cubrir la vertical de la cueva, por lo que se puede trabajar con cierta tranquilidad debajo de ella protegidos de la lluvia y de otro tipo de inclemencias climatológicas.

Este progreso facilita la anulación de la segunda cubrición a la que nos referimos con anterioridad, con toda su estructura hiperestática, piel, y una vez más, la famosa cuadrícula arqueológica. Bien es verdad que esto también se cancela por las penurias económicas a las que se ve sometido el componente arquitectónico del Parque Arqueológico.

Una vez planificado el procedimiento, se acomete la ejecución del pórtico de acuerdo con los siguientes hitos:

- Demolición a mano de la primera cubrición, hasta llegar al forjado original, entre comillas, de la cueva.
- Colocación de un tabique de madera lo más estanco posible tras el cerramiento actual de ladrillo, con ventilaciones para que la roca respire.



■ Foto 16. Apuntalamiento y construcción del pórtico.

- Apuntalamiento por delante de este tabique protector del forjado, dado su mal estado por la entrada continuada, en su día, de agua, así como otras posible patologías.
- Demolición de las fábricas de ladrillo y de cualquier elemento con los que no se iba a contar para la terminación del *Templum*.
- Reparación de las zonas de techo que se encuentran en pésimo estado, resanando elementos y dotándolos de refuerzos que apoyen en la nueva estructura.
- Apuntalamiento del borde de dicho forjado, de forma que permita la ubicación de la estructura metálica que servirá de marco al nuevo cerramiento.
- Planteamiento del pórtico metálico que será la nueva fachada, cerramiento y soporte de todo el forjado ahora apuntalado, con accesos, vidrios especiales, rejillas respiraderos ocultas, etc.
- Ejecución del pórtico metálico y planteamiento de la ejecución de la «burbuja».

¿La «burbuja»? A todos los técnicos a pie de proyecto les agrada la idea de intentar hacer algo novedoso, pero cómo, porque la cueva es intocable, inrozable, irrespirable, etc. Surgieron esquemas que iban desde los más novedosos hasta los más simples, como era el de procurarle un cerramiento adecuado, y que el visitante no se acercara a la cámara de las pinturas, como se planteaba inicialmente.

Surge el ingenio: una burbuja que penetrando por ese pórtico nos deje introducirnos en la cámara sin permitir a nada ni a nadie tocar los paramentos, y evitando que nuestro halo de vapores perturbe las condiciones medioambientales, que no transmita vibraciones, que podamos observar el monumento, y que la cueva siga viviendo protegida, incluso mejor que antes.

Esto, que es lo que se pretende, plantea la problemática de que mientras ejecutáramos las obras, las condiciones imperativas de protección se mantendrían inalterables.

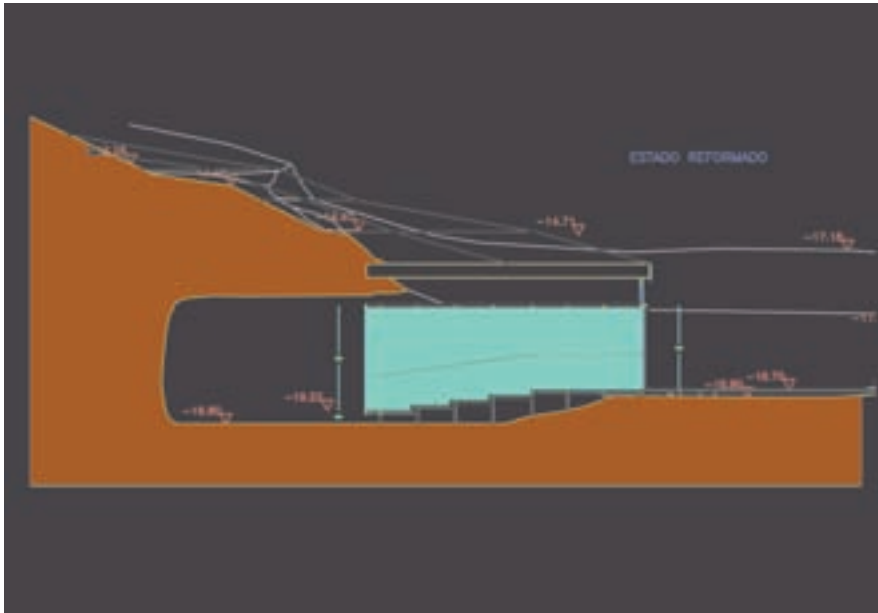
Se pensó en un modelo de cristal de una sola pieza que permitiera la visión completa del interior; pero no se tardó en descartar la solución por el primer principio: el de no agresión al medio, a parte de su ejecución y montaje dentro de la cámara, su estabilidad, su coste económico, etc. El metacrilato solucionaba el problema dimensional, pero no el de la resistencia a rayado de su superficie, y el estructural entre otros.

Tras reuniones de los expertos se concluye como más adecuada la solución de un elemento constituido por una estructura metálica simplemente apoyada sobre el suelo protegido de la cueva.

No se debe olvidar que si en otras ejecuciones del Parque Arqueológico se han tenido en cuenta casi medio centenar de condicionantes, aquí, donde se encuentra lo más frágil, estos requisitos se ven ampliados en su grado de exigencia, lo que nos lleva a trabajar de forma más cuidadosa y lenta si cabe, con vigilancia especial y expresa de sismógrafos, aparatos que aportan datos científicos, etc.

Por ello, consolidado estructuralmente el espacio, manteniendo la protección provisional, se realiza un detallado plan de trabajo de manera que las actuaciones en esta zona no tengan incidencias no deseadas que hicieran inviable la ejecución.

Puestas manos a la obra, el proceso se desarrolla de acuerdo con las siguientes fases:



■ Figura 14. Sección de la cámara con la «burbuja».

- Ejecutar una «burbuja» de madera igualmente sellada, con ventilaciones, como los tabiques instalados con anterioridad, que aisle a trabajadores y sus labores de la cámara.
- Una vez preparado el espacio, ejecutar la «burbuja» dentro del contenedor de madera, con todas las previsiones de dotaciones técnicas como son soportes regulables en altura; amortiguadores; estructura, suelo y techos metálicos; posterior colocación de los vidrios especiales antirreflejantes y con cámara de aire; ventilación y renovación de aire específica e independiente de la cueva; iluminación e instalaciones especiales.
- Había que terminar elementos tales como suelo no orgánico, pinturas, etc., asegurándonos de que todas las nuevas ejecuciones eran perfectamente estancas, y estaban controlados los flujos de luz, vapores, humedad etc., de manera que hasta que no estuviese todo terminado no se procedería a desmontar los cerramientos provisionales.
- Finalmente el camino fue recorrido por todos con grandes dosis de tolerancia, lo que no significa transigencia, sino que se han podido

mantener intactos los aspectos conservatorios, arquitectónicos, económicos, y en definitiva, de todo tipo.



■ Figura 15. Planta de la cámara con la «burbuja».



■ Fotos 17 y 18. Replanteo de la «burbuja» dentro del cierre de madera provisional.





■ Foto 19. Estructura completa de la «burbuja».



■ Foto 20. Detalle de la instalación de la estructura de la fachada del cierre de la cueva.

El resultado final del cerramiento de la cueva es una fachada diáfana acorde con los requerimientos arqueológicos y museológicos, integrada arquitectónicamente dentro de un conjunto de actuaciones que contiene un cúmulo de sensaciones, cuyo elemento principal tiene un sistema que ofrece y acerca las pinturas al visitante, sin menoscabar su protección.



■ Foto 21. Visión desde el interior de la «burbuja» terminada.



■ Foto 22. Vista parcial una vez concluido el nuevo cierre.



■ Foto 23. Vista de la fachada del edificio del Museo.

Trabajos de restauración de las estructuras arqueológicas del yacimiento Cueva Pintada

M. Á. Núñez Villanueva, P. Prieto Angulo y J. I. Sáenz Sagasti

Como se ha visto en los capítulos precedentes, la cámara policromada y el complejo rupestre en el que se incluye fueron objeto de un programa específico de actuaciones de carácter preventivo. En consecuencia, el texto que sigue sólo hace referencia a los trabajos de restauración y consolidación que se llevaron a cabo en el poblado que rodea el citado conjunto y que está compuesto por casas de planta fundamentalmente cuadrangular, con una o dos dependencias laterales a modo de alcobas, y un paramento exterior de tendencia circular. La roca sobre la que se asientan ha sido parcialmente excavada y recortada para servir de apoyo a los muros, y también se explanan para acondicionar el piso, que estaba cubierto de tierra apisonada y, en ocasiones, de morteros coloreados con almagre. Los materiales empleados en la construcción de estas casas proceden todos de las cercanías, distinguiéndose tanto piedras de basalto como sillares de toba tallados, que se combinan en la elaboración de los paramentos. Estos elementos suelen estar calzados con lajas de basalto y unidos con una argamasa de barro. Sobre estas paredes se conservan restos de un mortero que cubre los intersticios entre las piedras a modo de un llagueado, y de pintura roja (almagre) que formaría un zócalo que cubriría prácticamente la totalidad de las paredes de las alcobas laterales y de la habitación principal.

Las intervenciones

En el yacimiento se han realizado a lo largo del desarrollo del proyecto, y sobre todo desde el año 1990, diferentes campañas de restauración ejecutadas por diversos equipos de profesionales (fotos 1, 2 y 3).

La mayoría de las intervenciones han tenido un carácter preventivo y no de restauración propiamente dicho. Este carácter preventivo consiste en paralizar o reducir el ritmo de alteración de los diferentes materiales, aplicando para ello todos los medios posibles, externos al bien cultural.

En el año de 1997 se llevó a cabo un proyecto de gran envergadura consistente en la consolidación temporal y la protección de las estructuras habitacionales. Esta intervención consistió básicamente en la consolidación superficial de los morteros de barro con resinas acrílicas acompañada de engasados para reforzar el efecto. Los restos de enlucidos, rejuntados y almargres se fijaron con resinas sintéticas reversibles. Todos los alzados de los muros y los suelos se recubrieron con una malla cosida de geotextil adaptada a la morfología de las estructuras. Debajo de esta malla y sólo en los muros se colocaron también planchas de poliespán. Los interiores de las estructuras se rellenaron con grava angulosa de roca dura en un espesor variable (fotos 1, 2 y 3).

Con posterioridad a este trabajo se llevaron a cabo en los años 2000 y 2001 varias campañas de reposición y cambios de las mallas de geotextil que en

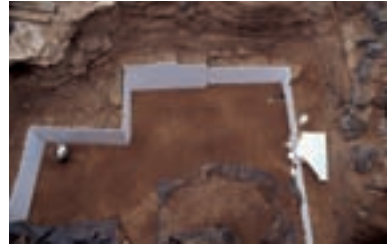


■ Foto 1. Vista general de las intervenciones del año 1997.

distintas zonas del yacimiento se observaba que estaban muy deterioradas y dejaban a la vista los paramentos de las casas, con las consecuencias, desde el punto de vista de conservación, que ello acarrea. También en este momento se procedió a proteger los suelos del complejo troglodita. La intervención final tuvo lugar en el año 2005 (foto 4).

Metodología y criterios de intervención

Los trabajos efectuados han consistido en restauración y conservación. La conservación es el conjunto de operaciones y técnicas que tienen como objetivo prolongar los bienes culturales. Para conservar los bienes hay dos vías: la prevención del deterioro (conservación preventiva o preservación) y la reparación del daño (restauración). Ambos se complementan, pero la restauración es consecuencia de medios preventivos suficientes. La conservación plantea como finalidad mantener las propiedades, tanto físicas como culturales de los bienes para que pervivan en el tiempo con todos sus valores, y para ello debe cumplir las siguientes premisas:



253

■ Foto 2. Muros protegidos por planchas de poliespán.



■ Foto 3. Estructura cubierta con geotextil.

- La intervención debe ser reconocible siempre y con facilidad; pero sin que por ello haya que llegar a romper esa unidad que precisamente se pretende recomponer.
- La intervención facilitará eventuales intervenciones futuras. Debemos tener presente que en un futuro no muy lejano es posible la aparición de nuevos tratamientos más apropiados.
- Reversibilidad de tratamientos y materiales. Tan sólo y, en casos extremos, y ante una pérdida rápida y segura, se puede aplicar un tratamiento relativamente irreversible en la actualidad.
- Mantener la veracidad de la obra, eliminándose la invención o recreación innecesaria.



■ Foto 4. Vista de la estructura cubierta por geotextiles.

Materiales del yacimiento

El yacimiento arqueológico está compuesto por materiales de diferente composición y se presentan con un aspecto y estado de conservación diferenciado (fotos 5, 6 y 7). Los tratamientos a desarrollar están condicionados por estos dos aspectos: composición y estado de conservación.

- Materiales geológicos no modificados: conformados por el terreno natural existente donde se construyeron tanto las casas como las cuevas. En

numerosos casos este terreno natural funciona como elemento arquitectónico como es el caso de las cuevas y algunos suelos.

- **Materiales constructivos:** transportados e instalados por la acción humana directa. Son los materiales que forman los muros y otros elementos constructivos. Presentan alteraciones desde el mismo momento de la realización de la construcción.
- **Materiales de arrastre y depósito:** consistentes en rellenos de tipo sedimentario generados por la acción combinada de la naturaleza (que generan derrumbes de las propias estructuras) y las intervenciones humanas como son los rellenos para la construcción de los bancales agrícolas que cubrieron el yacimiento.

Todos los materiales son del entorno y de composición silícea y origen volcánico, como es lo habitual en la isla de Gran Canaria. De acuerdo a su composición hemos identificado los siguientes tipos:

- **Toba:** es una roca de origen volcánico y forma gran



■ Foto 5. Estructura excavada en la toba.



■ Foto 6. Muro de toba, basalto y argamasa de barro.



■ Foto 7. Restos de almagre sobre sillares de toba y basalto.

parte de la estructura interna del subsuelo del yacimiento. En esta roca están excavadas las cuevas del complejo troglodita, la Cueva Pintada y otras más pequeñas situadas en otras estructuras. Numerosos paramentos de las casas son de este material. Compuesta de diferentes minerales de grano muy visible de gran porosidad y ligero peso. La cohesión entre los diferentes granos es poco intensa con lo cual es un material que se descompone con facilidad. Es muy poroso y absorbente y, a veces, tiene presencia de sales transportadas desde otros puntos y que luego se ven depositadas en zonas más porosas. Es un material frágil y sensible con lo cual se producen descomposiciones granulométricas constantes con formación de depósito de material, fisuras, grietas, etc.

- **Caliche:** es una roca de grano fino en general bien cementado. De composición básicamente calcárea (carbonatos), está formada por sedimentos que forman costras o capas de diferente grosor; de colores blanquecinos y ocreos. Se presenta en capas de relativa dureza, algo exfoliable a costras pulverulentas. Es un material sensible al agua que se transforma fácilmente en otros compuestos como bicarbonatos, sulfatos, etc. Se presenta en el terreno natural formando capas que se entremezclan en las zonas más exteriores de la toba y con los materiales terrosos.
- **Basalto:** es una roca de composición silícea y que se utiliza en sus formas naturales (bolos) en la construcción de muros, a modo de mampuestos y calzos. Es de estructura de grano muy fino a veces con incrustaciones y muy bien cementado, lo que le trasmite una gran dureza. Está compuesto principalmente de feldespatos y piroxena con estructura a veces prismática. Es visible en numerosos casos la cristalización de los componentes minerales. El estado de conservación de este material es muy bueno y ofrece una gran resistencia a los agentes de alteración. La absorción de humedad y sales es muy reducida y tan sólo presenta a veces fisuras y grietas.
- **Argamasas:** es el barro que se utilizó en la construcción de los muros. Son de composición terrosa y ricas en elementos malacológicos, huesos y algún elemento cerámico.
Al tratarse de material terroso y grano fino presenta grandes problemas de conservación ya que éste es muy sensible a la humedad y a las fluctuaciones, en combinación con las sales solubles y semisolubles. Es un material absorbente, lo cual genera un proceso continuo de descomposición al perder la humedad de cohesión. Además en estas

tierras habitan y nidifican numerosos insectos e incluso reptiles que aceleran la destrucción. También favorece el enraizamiento de plantas de diferente tipología y tamaño.

- **Morteros de argamasa:** aparecen en el interior de varias casas y en algunos paramentos en la toba natural tallada que forman las cuevas. Por el tipo de estructura, hay uno de grano medio y más basto que se utiliza para rellenar las juntas exteriores de las piedras de los muros y otro de grano más fino y decantado, de color más claro para utilizar en el enlucido de las superficies de muros interiores de alguna estructura. Presenta en algunos sitios fracturas y fisuras que conllevan desprendimientos puntuales.
- **Almagres:** son pigmentos que se utilizan para pintar zonas del interior de algunas casas y, a veces, del suelo. La composición es de grano muy fino y decantado, de origen arcilloso y colores característicos rojizos. En algunos sitios todavía es visible la pigmentación en las piedras, pero en general el estado de conservación es muy variable y se ha perdido en grandes zonas, manteniendo restos en los puntos más resguardados, sobre todo en la toba. Es un producto muy sensible a cualquier tipo de alteración y especialmente a la luz.

Causas de alteración

Entendemos como alteración la modificación o transformación de las características de un bien cultural debido a su envejecimiento, exposición a ciertas condiciones ambientales, o factores humanos, que ocasionan la posible degradación del mismo (fotos 8 y 9). Hay alteraciones no recuperables, como, por ejemplo, la transformación química de ciertos pigmentos, o la mineralización de ciertos materiales ante agentes corrosivos. Otras alteraciones (pulverulencia, mutilaciones, desprendimientos, etc.) son sometidas a tratamientos en orden a la conservación de los bienes.

En el momento de la intervención final, el yacimiento arqueológico se encontraba expuesto a unas condiciones ambientales muy particulares ya que estaba totalmente cubierto. Las estructuras se encuentran actualmente aisladas de los agentes meteorológicos más perjudiciales como pueden ser las lluvias intensas, el sol directo, etc. Sin duda es un gran avance a la hora de la conservación pues, con el nuevo estatus, es mucho más fácil el control de las causas de alteración y sobre todo de sus consecuencias.

Debido a la situación de las estructuras y a la composición de los materiales constructivos, son muchos los factores que dan lugar a las alteraciones observadas que se dividen en causas internas y externas.



■ Foto 8. Problemas de alteraciones en un muro.



■ Foto 9. Ejemplo de degradación en una estructura.

Las causas internas

La descomposición de los materiales puede ser física o química. A veces es una mezcla de las dos, que se puede acelerar por causas biológicas. La descomposición física es la causada por la descomposición de los componentes terrosos (a causa de los cambios de humedad), la fragmentación de elementos pétreos a causa de presiones internas, desprendimientos, descomposiciones, el peso, etc. La descomposición química es la generada con la transformación de los componentes de los diferentes materiales, tanto los naturales como los fabricados o transformados por la gente que habitaba el yacimiento, por ejemplo la transformación de los carbonatos en bicarbonatos, etc. La acción biológica, que es una causa externa, se combina con las dos anteriores acelerando el ritmo de transformación.

Las causas externas

La climatología

Es el agente que más influye en el estado de conservación de un conjunto monumental, ya que se combina con otra serie de causas erosivas y corrosivas. Hay que tener en cuenta que estos agentes afectaron sobre

todo en el período en el que el yacimiento se encontraba expuesto al medio climático y no una vez construida la cubierta.

Como consecuencia de los cambios climatológicos se producen cambios constantes en la humedad y la temperatura. La combinación de ambos motiva todos los defectos de acción-reacción en el ámbito de la alteración.

Es la humedad, en combinación con la salinidad marina y del terreno, la causa principal de alteración, por ello la identificación y la eliminación de las mismas son los primeros pasos a adoptar antes de llevar a cabo el tratamiento. La humedad puede clasificarse en dos tipos dependiendo de su origen:

1. Humedad por capilaridad: el mismo material absorbe la humedad normalmente del suelo, transmitiéndose por los paramentos de abajo arriba.
2. Humedad por condensación: es la producida en ambientes húmedos y sobre superficies frías, pudiendo englobar las humedades de los rocíos, nieblas y en especial la humedad proveniente del mar, donde la condensación es mayor a primera hora de la mañana. Al haber salinidad acumulada en las piedras el efecto de condensación aumenta, por ser el cloruro de sodio un compuesto higroscópico, es decir, que absorbe humedad.

Los procesos de la alteración debidos a la humedad y la sal, constituyen la principal causa de degradación porque inician procesos que favorecen reacciones secundarias concurrentes a la desintegración. La migración y recristalización de las sales solubles por la acción del agua constituyen la causa más activa de alteración y se pueden distinguir tres aspectos:

- a) **Evaporación superficial y cristalización:** las diferentes superficies y materiales presentan diferentes reacciones a los cambios de humedad, la superficie es muy vulnerable porque constituye la interfase a través de la cual se produce el intercambio continuo de humedad entre la pared y su entorno. Es en la superficie o inmediatamente debajo de ella donde la evaporación, la condensación y el simple flujo del agua producen la desintegración. El agua disuelve las sales transportándolas y depositándolas en otros lugares. Estas sales provenientes del interior del muro, del suelo y del exterior se concentran donde la evaporación es más elevada.
- b) **Desintegración causada por la cristalización de las sales:** son las tensiones creadas por el crecimiento dentro de las porosidades. Algunos cristales crecen de forma deshidratada, hidratándose cuando las condiciones

le son favorables, ejerciendo una gran presión. En ambos casos existe una competencia de fuerzas entre cristales y el material, teniendo que ceder uno de ellos; si el material es más resistente, los cristales sobresalen como florescencias; si por el contrario las paredes de los poros son más débiles se rompen produciendo la desintegración.

- c) **Procedencia de sales:** Se originan en el suelo procediendo de las alteraciones que los microorganismos producen en el nitrógeno del suelo y estos forman nitratos que emigran a los muros. También proceden de la atmósfera como el cloruro de sodio (influencia marina) y los sulfatos (polución). Hay que tener en cuenta que el yacimiento se encuentra en un área urbana, con lo cual la presencia del tráfico rodado origina contaminación atmosférica.

Los agentes contaminantes artificiales

Son los procedentes de las actividades humanas, el principal y más dañino es el dióxido de azufre procedente de la combustión. Se oxida formando trióxido de azufre que con la humedad se transforma en ácido sulfúrico, el cual en contacto con ciertos materiales es capaz de transformarlos en sulfato de calcio cambiando rápidamente su aspecto.

260

Los agentes biológicos

Los microorganismos como son los hongos, algas, líquenes y plantas de mayor tamaño, que se desarrollan gracias a la humedad y temperaturas elevadas. A partir de la construcción de la estructura la presencia de estos organismos vivos ha desaparecido prácticamente.

Los animales

Otros ataques biológicos son los producidos por animales, principalmente aves e insectos que producen una importante acumulación de excrementos. El mayor daño es la presencia de nidificaciones que van desde simples orificios de insectos a grandes perforaciones originadas por otros animales que producen graves daños en los muros de barro. Hay presencia de animales de mayor envergadura como son gatos y pequeños roedores que dejan rastros y perforaciones.

La luz

Tiende a ser un agente blanqueante por la acción de los rayos ultravioleta; asimismo acelera el cambio de temperatura de la superficie debido a los rayos infrarrojos. Hoy en día, y en el momento de la intervención final, no existe el problema de la luz directa al desaparecer prácticamente la incidencia de los rayos solares.

El polvo

Como ya hemos mencionado, con el viento, el polvo se acumula en partes muy concretas. Tan sólo en combinación con sales y humedad se forman costras y películas de suciedad duras, a veces higroscópicas que se ven frenadas con la actual sequedad, siendo, en la mayoría de los casos, un problema estético. En la actualidad se genera una alteración leve y estética al producirse una entrada de polvo arrastrado por el viento que se introduce por los espacios entre las telas que forman el cierre lateral.

Estado de conservación

La problemática a nivel de alteración más importante y característica es el cambio drástico sufrido por las estructuras tras permanecer numerosos siglos enterradas o semienterradas en unas condiciones relativamente estables, y exponerlas rápidamente a otras nuevas condiciones ambientales más agresivas y totalmente diferentes tras las excavaciones arqueológicas. Tanto este repentino cambio del medio como su situación, expuesto a unas condiciones agresivas, produce un elevado grado de alteración.

Posteriormente, y tras estar expuesto el yacimiento a la climatología de la zona, se ha producido un nuevo cambio en las condiciones ambientales. Con la cubrición del yacimiento, la incidencia meteorológica directa es mínima, pero en cambio se inició un proceso de secado del área, proceso que se ha visto ya culminado.

Las estructuras habitacionales se encontraban en un estado de alteración relativamente estable, gracias a los sucesivos tratamientos preventivos, pero, al iniciar la intervención final era inminente una descomposición generalizada, sobre todo en los morteros a causa de la extrema sequedad existente

que generaba la pérdida de la cohesión de las partículas terrosas que forman los morteros.

Los suelos presentan una degradación muy variable, dependiendo de su composición. En los suelos de toba, que forman a la vez parte del terreno natural, la alteración es activa ya que se manifiesta en la descomposición de los granos que forman la roca. Los suelos de tierra se encuentran en general protegidos por una capa de resina acrílica de los tratamientos preventivos anteriores, pero donde este tratamiento no se llevó a cabo hay descomposición aunque no pérdida. Los restos de almagres que se conservan en algunos suelos se encontraban, gracias a la consolidación preventiva, en muy buen estado, sin sufrir apenas alteraciones.

En algunas estructuras, y correspondiendo a sus partes inferiores, se conservan niveles arqueológicos sin excavar de diferentes dimensiones. Estos rellenos arqueológicos se conservan en general bien, salvo unos pocos de grandes dimensiones. Tanto los rellenos grandes como pequeños presentan una gran sequedad con lo cual se observa una disgregación de las tierras. Esto sólo crea problemas en los grandes perfiles, pues ha generado derrumbes salvo en los que tenían estructuras de contención del tratamiento anterior:

En cuanto al estado del terreno natural, este es generalmente malo. La sequedad ha supuesto una contracción generalizada de los materiales, sobre todo en los rellenos terrosos, de caliches y arcillas, que posteriormente generan fracturaciones irreversible. Hay abundantes capas de tierra suelta producidas por la sequedad y que además aumentaron de grosor a causa del uso diario de la gente con los trabajos llevados a cabo en el yacimiento. La roca de toba y de caliches en algunos sitios se encuentra rota intencionadamente a causa de las instalaciones museológicas.

Además todas estas tierras y arcillas sueltas han generado un grave problema de alteración, pues son focos constantes de producción de polvo que es transportado continuamente por el aire a las estructuras.

En cuanto a la composición y al estado de conservación de los diferentes materiales que forman las estructuras es:

- Basalto: Debido a su poca porosidad no es un material sensible a la salinidad ni a los daños provocados por enraizamientos. En cuanto a los muros, el estado de conservación es en general muy variable. La sequedad externa ha descompuesto zonas aisladas y puntuales de los barros del mortero y aunque hay una fina lamina de resina acrílica, ésta no presenta la resistencia suficiente para soportar el peso del

mortero descompuesto, y se forman espacios por donde escapan materiales del interior. También se producen perforaciones de insectos y animales.

- Toba: al tratarse de un material poroso y granulometría grande y poco cementada presenta descomposición de material sobre todo en las zonas más angulosas, redondeado las formas de los sillares. Tiene fisuraciones y fracturas aunque en general no muy peligrosas para la integridad del sillar. Por tratarse de un material poroso, hay acumulación de tierra y polvo en sus perforaciones y, lógicamente también, mayor presencia de perforaciones de insectos.
- Morteros: el mortero de barro existente se corresponde con el utilizado como relleno de la construcción de muro y de suelos. Aparece en estado de progresiva descomposición en focos puntuales donde hay perforaciones y en las zonas no consolidadas previamente. Debido a la gran sequedad existente, parte de la consistencia del mortero se ha perdido y el existente se disgrega con suma facilidad, presentando muy poca resistencia mecánica a la erosión. En estos casos, ha perdido en gran parte su principal función, que es la de unión ligante entre las piedras. Este proceso de desintegración se encuentra más agudizado en aquellas zonas no consolidadas previamente. El estado de conservación del mortero gris y blanquecino es muy bueno en las estructuras al haber recibido anteriormente un tratamiento de consolidación y un engasado superficial de gasa y papel celulósico.
- Almagres y enlucidos: se conservan en un estado excelente, pues ya habían sido fijados y limpiados con resina reversible en los trabajos de prevención anteriores.

Tratamiento realizado: procesos generales de intervención

El tratamiento aplicado tiene como fin el restaurar y preservar las estructuras del yacimiento Cueva Pintada con la idea de hacerlo visitable al público ahora que se ha convertido en un parque arqueológico. Esta cuestión condiciona las intervenciones a realizar, centrándose principalmente en la consolidación. Las reconstrucciones y reposiciones de elementos arquitectónicos se realizaron en sitios muy concretos donde hay partes más frágiles y de interés tipológico.

El tratamiento realizado se basó en la utilización de resinas orgánicas sintéticas que actúan en los morteros formando una película superficial que frena la descomposición, sobre todo en el momento presente donde el mortero está completamente seco. El problema del mortero terroso y arcilloso es que no existe en la actualidad un tratamiento idóneo. Las resinas que se utilizan tienen el problema de que no son lo suficientemente transpirables, lo cual puede generar la aparición puntual de pequeños embolsamientos en ambiente húmedo. Por suerte, la cubrición y musealización del yacimiento favorece tanto la estabilización de las resinas, como del mortero por un tiempo considerable.

Todos los productos son de baja o nula toxicidad para las personas, para los materiales y para el medio ambiente. Algunos productos se emplearon a pesar de su dificultosa reversibilidad, aunque sólo en casos necesarios, sin sustitutos alternativos y para tratamientos donde dicha reversibilidad es secundaria. En estos casos se ha realizado una ejecución de tratamiento reversible, como es mediante la aplicación de películas de separación con resinas reversibles. Es necesario aclarar que en ciertos materiales, como pueden ser los morteros, el término reversibilidad es muy relativo, pues aunque se apliquen productos consolidantes reversibles, estos, en la práctica, son difícilmente extraíbles, por no decir de imposible extracción. De todas formas, ante el dilema de tratamiento relativamente irreversible o destrucción total, la única alternativa es la primera. Hay que pensar que con el tiempo pueden surgir tratamientos novedosos de mayor efectividad.

El tratamiento de restauración constó de diversas fases que se describen a continuación de forma generalizada:

Limpieza superficial

La limpieza es la acción dirigida a suprimir la suciedad o aditamentos que desvirtúan el aspecto o integridad de la obra original (fotos I0 y I1). El tratamiento es una operación delicada, irreversible, ya que todo lo que se elimina nunca podrá ser restituido. Después de la retirada de las cubriciones de geotextil de las estructuras se procedió a un primer tratamiento de limpieza. Se realizaron una serie de pasos:

- Desherbización: se retiraron manualmente y con sumo cuidado, para evitar daños, las plantas con raíces. Estas plantas salieron con facilidad

pues las raíces no profundizaron mucho gracias a la presencia de mantas de geotextil.

- Retirada de tierras y polvo del interior de las estructuras, así como de acumulaciones terrosas y de polvo que se localizan mayormente en áreas resguardadas y en zonas donde hubo perforaciones.
- Limpieza en seco que permite eliminar las partículas sólidas tanto fijas como depositadas. Es la realizada sobre los materiales pétreos y morteros que forman muros y elementos de uso (morteros, molinos, etc.). En ningún momento hubo que emplear aparatos mecánicos y tan sólo en sitios puntuales se utilizó instrumental como bisturí, con diferentes hojas, espátulas y barras y lápices de fibra de vidrio, para extraer costras de sales duras, excrementos de animales endurecidos, etc.
- Limpieza con disolventes que ablanda o solubiliza el producto a eliminar, completándose con el arrastre mecánico. Fue básicamente en húmedo (agua) y consistió en el lavado superficial con cepillos, brochas y gasas de algodón. En algunos sillares, al estar un poco deleznable, el agua se mezcló con etanol al 40% para evitar una mayor penetración de la humedad.

Los muros que presentan almagres, enlucidos y morteros grises y blanquecinos se limpiaron con los mismos productos, pues no hay riesgo de pérdida al estar la zona fijada previamente. De todas formas, en algunas zonas se insistió en la fijación con el mismo tipo de resina, ya aplicada en el



■ Foto 10.
Comienzo de
limpieza en seco.



■ Foto 11. Procedimiento de limpieza en húmedo.

tratamiento preventivo. Esta resina es reversible y de composición etil-metacrilato y se aplicó en disolución de xileno y acetona al 50%, y en un porcentaje del 4%. Una vez finalizada la limpieza de los almagres se eliminaron los excesos de brillo con la aplicación de hisopos bañados en alcohol etílico.

Limpieza de restos biológicos

Son las manchas generadas por seres vivos, tanto vegetales como animales. Dentro de los vegetales están incluidos las generadas por líquenes, musgos y hongos.

En las escasas manchas producidas por restos muertos de musgos o líquenes, se realizó una limpieza mecánica y química con cepillos de cerda dura y con la aplicación de un producto biocida, que ayuda en la limpieza ablandando los restos característicos. Este agente biocida se aplicó añadiéndolo al 2% en etanol. Posteriormente se realizó una limpieza en húmedo, como en el resto de las piedras, con agua y detergente neutro.

En cuanto a las manchas generadas por organismos vivos, hay una presencia puntual a causa de focos de humedad de una colonización de hongos en algunos sillares de toba. Para la eliminación de los mismos se empleó el biocida en disolución de etanol al 2%, con aplicación de sucesivos baños. Una vez muerta la colonia se procedió al cepillado y posterior limpieza en húmedo con una disolución de agua desmineralizada y alcohol, a partes iguales, en un porcentaje del 2% de tensoactivo.

Desalinización

Es la eliminación de las sales que se han formado en las estructuras por efecto de los cambios de humedad. Puntualmente nos encontramos con la presencia de sales, unas solubles que son más abundantes y mayoritariamente de origen marino (cloruros), y otras insolubles o semisolubles como son los carbonatos.

Es un tratamiento que se aplicó de forma puntual y no generalizada pues la presencia de sales no es llamativa, y, dada la sequedad existente, se encuentran estabilizadas, con lo cual no producen daños secundarios ni existe el problema de su reparación.

Consolidación

Tratamiento destinado a devolver la cohesión o consistencia a los materiales existentes, perdida por diferentes causas, y que se puede manifestar por su estado degradado (fotos 12, 13 y 14). Se entiende por consolidación la aplicación de productos adhesivos. Se han diferenciado los tratamientos según el material a tratar, pues los consolidantes usados varían en función del problema y de la composición del material. La consolidación es, pues, el tratamiento que consigue la transformación del conjunto de los materiales constitutivos de un sistema inconsistente en una materia consistente. Es transformar un sistema mecánicamente frágil en otro más resistente.

Los consolidantes se pueden aplicar total o parcialmente, dependiendo del problema o material. Es el tratamiento más importante a la hora de conservar las estructuras existentes en el yacimiento, pues de él depende el mantenimiento en pie de las estructuras.

Los consolidantes son productos o sustancias que sirven para rellenar, en mayor o menor medida, los poros o espacios vacíos y así devolver la resistencia mecánica o la estabilidad perdida. Para la elección del consolidante se tuvo en cuenta su capacidad de penetración (viscosidad, tensión superficial), tiempo de secado, contracción, compatibilidad con el material, reversibilidad, apariencia (brillo, color) y envejecimiento.

De los materiales existentes, el mortero de barro necesitaba un tratamiento más intenso, ya que estaba en un proceso muy avanzado de alteración. Este se ha disgregado anteriormente, siendo las zonas más afectadas las localizadas en los huecos entre las piedras de paramentos verticales, en especial en zonas inferiores, lo cual provoca una lenta pero continua pérdida de materiales, y como consecuencia riesgo de derrumbes.

La única solución tras la eliminación de la tierra suelta, es una consolidación lenta y superficial pero insistente, con resina acrílica de copolímero de esteres acrílicos y baja viscosidad en emulsión acuosa, en proporción adecuada en función de la disgregación.

Las resinas vinílicas no llegan a penetrar todo lo necesario, sobre todo en los paramentos verticales. Este tipo de resina forma una película superficial mezclada con la tierra, que aporta dureza mecánica a la argamasa. Tiene el problema de que es un producto relativamente impermeable con lo cual a veces produce zonas de posibles embolsamientos, pero es el único tratamiento



■ Foto 12. Trabajos de consolidación sobre basalto.



■ Foto 13. Consolidación de una estructura.



■ Foto 14. Consolidación y amorterado de una estructura.

posible hoy en día en morteros terrosos, y sirve como capa de prevención a la erosión, sobre todo la mecánica.

Gracias a la cubrición del yacimiento y al aislamiento del medio ambiente climático más agresivo, la aplicación de estas resinas es la única solución, pues al no haber humedades en el interior, no hay movimientos ni presiones de agua ni sales, evitándose la posible aparición de bolsas y descomposiciones en la capa de resina.

Los suelos que presentan restos de almagre se trataron de una forma más particular. El suelo donde no hay almagre se consolidó con los mismos productos utilizados en los demás suelos de mortero de barro, y en las zonas del almagre se aplicó una consolidación con resina reversible de copolímero acrílico en disolución del 10% en xileno y acetona, a partes iguales. Este tratamiento se aplicó dos veces hasta conseguir una consolidación óptima. Finalmente, se realizó una aplicación sobre el almagre de un producto hidrofugante para evitar posibles ataques del medio ambiente en periodos húmedos.

Por otro lado los sillares de toba hubo que consolidarlos con resina acrílica de copolímero de esteres acrílicos en emulsión acuosa, en proporción adecuada en función de la disgregación. Normalmente se ha utilizado en un porcentaje de entre 10 y 12% en agua mineral. En algunas tobas el tratamiento fue más insistente al ser de mayor fragilidad.

Fijación de almagres y enlucidos

La fijación definitiva se realizó sobre los almagres y enlucidos ya limpios y consolidados previamente en el tratamiento preventivo del año 1997 (fotos 15, 16 y 17). En la intervención final lo que se hizo fue la limpieza de las nuevas suciedades, y sobre todo una retirada de los engasados de gasa de algodón y papel celulosa existentes en puntos del almagre y en prácticamente toda la superficie de los enlucidos. Al estar los engasados fijados con resina reversible, esta se eliminó con sucesivas aplicaciones de acetona hasta la retirada total de los engasados.

Aplicación de agente herbicida

Para evitar o retardar la aparición de plantas en los morteros y en los suelos se aplicó un herbicida a base de glifosato ácido en zonas donde hubo

mayor presencia de vegetales con raíz. El producto no es dañino para el medio, pues se degrada al poco tiempo. Se diluyó en agua al 10% y se aplicó por aspersión.

Reposición de nuevo mortero

Este tratamiento también es de vital importancia para la conservación de las estructuras pues aumenta la resistencia de los muros (foto 18). En los huecos, zonas de pérdidas y nidificaciones, se hizo necesario rellenar los espacios existentes aplicando en sitios muy puntuales, y siempre para dar consistencia, un nuevo mortero para evitar así posibles y futuras pérdidas de algunos elementos pétreos.

El nuevo mortero se elaboró con una mezcla de arena y tierra tamizada a partes iguales, con el añadido de la misma cantidad de cal hidráulica. A la mezcla se le añadió un 15 % de resina acrílica en emulsión y amasada con agua hasta conformar una pasta de plasticidad adecuada. El acabado final o exterior visible se consiguió con una capa de arena tamizada con color aproximado al del mortero original. Con este acabado arenoso se logra una diferenciación



■ Foto 15. Fijación de almagres.



■ Foto 16. Retirada de los empapelados que protegían las paredes de toba.



■ Foto 17. Retirada de engasados sobre enlucidos.

discreta en textura y en color. Este tratamiento se aplicó de forma manual y evitando en todo momento que las superficies pétreas se mancharan.



■ Foto 18.
Amorteroado y reintegración
de un muro de basalto.

Restitución de muros

272

El criterio ha sido conservar la ruina en el estado en el que ha sido encontrada, por ello se ha optado por restituir tan sólo muros que presentan problemas serios de sustentación, o bien cuyo estado impediría una buena comprensión de la ruina por parte de los visitantes (fotos 19, 20, 21 y 22). En concreto han sido:

- Derrumbes recientes. Son muros que, a pesar de las precauciones tomadas en su momento, se derrumbaron en estos últimos años y de los que existe una documentación exhaustiva de dibujos, planos y fotografías. En estos muros se han producido derrumbes donde el material pétreo se encuentra caído y localizado en el sitio, y es reconocible y fácilmente recolocado en el sitio original. Se optó por una reconstrucción invisible pues es como pegar un fragmento de la misma pieza en una cerámica. Para esta reconstrucción se fabricó una argamasa con nuevo mortero que se elaboró con una mezcla de arena y tierra tamizada a partes iguales con el añadido de la misma cantidad de cal hidráulica. A la mezcla se le añadió un 15 % de resina acrílica en emulsión y amasada con agua hasta conformar una pasta de plasticidad adecuada. El acabado final es de una capa fina de tierra tamizada y consolidada con consolidante acrílico. Este mortero sirvió de unión al material pétreo existente.

- **Reconstrucción.** Tan sólo en una estructura se decidió reconstruir una esquina de la zona del testero ya que está muy próxima a la visión del público, y se optó por la realización de una reconstrucción reconocible pero no diferenciada estéticamente del original. Para evitar una falsificación, la zona reconstruida se realiza con materiales sintéticos, de mayor durabilidad en el tiempo, evitando de esta forma futuros problemas y alteraciones (resina de poliéster y fibra de vidrio con acabados naturalistas). Aunque el acabado es similar al original se evita la confusión al tratarse de un material artificial.

Pegado

Es el tratamiento que devuelve la unión a un bien fragmentado y separado. En los sillares rotos se procedió al pegado de los fragmentos a veces utilizando pernos metálicos. Se ha utilizado una resina de tipo epoxídica de dos componentes y carga de color; con aplicación directa en ambas caras a adherir; con inyección y espátula. La capa exterior se le añadió un 10% de carga arenosa, para dar un acabado adecuado. El color final es de un color parecido al original, pero rebajado en tonalidad cromática en un punto para diferenciarla del original.



■ Foto 19. Realización de molde de silicona.



■ Foto 20. Reintegración del muro.



■ Foto 21. Reconstrucción de muros.



■ Foto 22. Delimitación entre material original y reconstruida.

Reforzamiento de muros

En el yacimiento existen dos muros de grandes dimensiones que presentan el problema de un elevado peso estructural y con un vencimiento que amenaza ruina (fotos 23 y 24). Estos dos muros ya fueron tratados con un reforzamiento de tipo pantalla, con apeos metálicos y de madera. Incluso uno de ellos se reforzó con un mortero de cal y fragmentos de bloques en su parte interna. Los trabajos que se realizaron para reforzar dichos muros fueron:

- Vaciado de la zona posterior de los muros. Se realizó una zanja de una profundidad aproximada de 1.5 m que se vació para dejar visible la parte posterior de los sillares del muro y así poder reforzarlo.
- Colocación de anclajes. En esta zanja se colocaron y, a la vez, se anclaron en el terreno natural numerosas barras metálicas de al menos 7 cm de grosor así como acero corrugado (B400S), de unas dimensiones de 1 a 2 m de longitud y 1 ó 2 cm de grosor.
- Aplicación de poliéster. Para dar una consistencia máxima al muro se aplicó en toda la parte posterior de los sillares varias capas de poliéster mezclado con manta de fibra de vidrio. Estas capas de gran adhesión y



■ Foto 23. Reforzamiento de muros.

resistencia se aplicaron al material pétreo y a los anclajes metálicos, para así formar una capa uniforme a modo de único bloque que anula cualquier posibilidad de un desprendimiento parcial o total del muro.

- Relleno de la zanja. La parte que aún se conserva vacía de la zanja se rellenó con un mortero de tierra y cemento gris, a partes iguales en agua.
- Cubrición del relleno de mortero, con tierra y posterior consolidación con la misma resina utilizada en la consolidación de la zanja.
- Reconstrucción puntual de fragmentos de muro. Para reforzar los muros laterales se recrecieron con sillares sintéticos de toba y basalto a partir de moldes de silicona. Estos sillares y bolos son de resina de poliéster y fibra de vidrio, elaborados de forma similar a los realizados en la reconstrucción de muros. Estos nuevos sillares de poliéster se recibieron con una obra realizada con bloques de cemento, ladrillo y mortero de yeso. Una vez colocados se dispuso una banda de tela asfáltica para diferenciarlo de la obra original.
- Rejuntado. Tanto en el muro consolidado como la zona reconstruida se rellenaron las juntas donde existía pérdida de material, con un mortero de cal y arena a partes iguales y añadido de resina acrílica ACRIL 33 y agua a partes iguales.



■ Foto 24. Reforzamiento posterior de un muro con poliéster y fibra de vidrio.

Aplicación de agente biocida

Para evitar la aparición de nuevas colonias de microvegetales y hongos (líquenes, musgos, etc.) se utilizó un agente activo biocida 2% en una disolución de agua. Se aplicó con pulverizador sobre los materiales pétreos situados tan sólo en zonas próximas a la caída de agua de lluvia. En el resto del yacimiento no es necesario gracias a la extrema sequedad del terreno y el medio ambiente.

Saneamiento del entorno de las estructuras

Uno de los mayores problemas existentes es el de la falta de consistencia de los terrenos que engloban todas las estructuras (fotos 25, 26 y 27). Son terrenos en avanzado estado de descomposición, en parte debido al continuo tránsito de personal durante las obras, que estaba generando una elevada producción de polvo en suspensión. Para el saneamiento de estas zonas se realizaron una serie de intervenciones:

- Consolidación de perfiles del terreno natural. Son perfiles de toba, caliches de diferente tipología y tierras a veces muy arcillosas. El estado de conservación es en general pésimo pues con la pérdida de humedad se está disgregando a un ritmo muy acelerado. Frenar este proceso tan sólo se puede conseguir con un engasado rígido y consistente. Este engasado se aplicó en la mayoría de los perfiles de gran inclinación y en alguno de los fosos de cimentación de alguna estructura. Se utilizó para el engasado manta de geotextil sobre el terreno, previamente consolidado con resina acrílica en emulsión al 10% en agua. Para disimular la presencia de esta malla se le añadió, estando húmeda, una capa de tierra tamizada consolidada posteriormente con la misma emulsión anterior. Esta consolidación se repitió varias veces.
- Asentamiento de tierras. Las tierras que se encuentran en su mayor parte muy descompuestas se asentaron para así frenar la generación de polvo. Toda la superficie se preparó previamente con un alisado sobre el que se aplicó una capa de emulsión consolidante al 10% en agua, para formar una película superficial con el fin de asentar a las partículas y evitar su disgregación.



■ Foto 25. Trabajos de restauración en su fase final.

278



■ Foto 26. Limpieza final de estructura y entorno.



■ Foto 27. Limpieza final.

PRODUCTOS UTILIZADOS	
ACETONA	Del grupo de las cetonas. Disolvente orgánico muy volátil.
ACRIL 33	Resina acrílica pura en dispersión acuosa de gran resistencia a los álcalis, ideal como ligante hidráulico. No tiene disolventes. Se utiliza para mezcla de morteros y consolidante.
AGUA MINERAL	Agua con menor presencia de sales que el agua corriente local. Al tratarse de estructuras con tierra es innecesario el uso de agua desmineralizada. Se emplea como disolvente de las resinas de emulsión y para la limpieza en húmedo.
ARENA SILÍCEA	Hidróxido de silíceo. Arena del Sáhara compuesta de grano fino. Utilizada para mezcla de morteros.
BIOTÍN N	Preparado concentrado de agente activo compuesto de amonio cuaternario y estaño. Se utiliza para la eliminación y prevención de hongos, bacterias y algas. Se disuelve en disolventes volátiles, alcoholes, etc.
CAL HIDRÁULICA	Se trata de óxido de calcio con impurezas. La cal hidráulica contiene silicatos hidráulicos que aumentan el fraguado en contacto con el agua. Se utiliza para realizar argamasa o morteros de cal, arena y agua. A veces se le añade emulsión acrílica.
CEMENTO	Mezcla de cal, arcillas y compuestos de silicatos hidráulicos que forman pastas duras que fraguan en contacto con el agua y el aire. Se ha utilizado para endurecer zonas de paso.
DISERBELLO	Herbicida líquido soluble a base de glifosato. No daña el medio ambiente y se utiliza como herbicida de baja intensidad.
ESPUMA DE POLIURETANO	Polímero sintético de dos componentes de estructura flexible. Se utiliza como relleno de muros.
ETANOL	Alcohol etílico que se utiliza como disolvente. Disolvente orgánico volátil.

PRODUCTOS UTILIZADOS

METATIN N	Preparado concentrado de agente activo compuesto de amonio cuaternario y estaño. Más fluido que BIOTÍN N.
MOWILITH DM 760	Resina acrílica de dispersión copolímica fina en agua a base de esteres acrílicos, exenta de plastificantes. Se utiliza como consolidante.
PARALOID B 72	Resina acrílica a base de etil metacrilato. Se disuelve en hidrocarburos volátiles, cetonas y alcoholes. Se utiliza como consolidante y fijador.
RESINA EPOXIDICA EPO 121	Adhesivo epoxídico tixotrópico con endurecedor K122. Se utiliza como adhesivo de piedra.
RESINA POLIÉSTER S 1119	Se trata de resina líquida de media viscosidad con activador PEREXTER. B18. Mezclado con fibra de vidrio se utiliza en las reproducciones.
SILICONA PLASMABLE (SILICAL 110)	Es silicona de masilla tixotrópica de reticulación por condensación. Reacciona con activador SILICAL 115. Se utiliza para realizar los moldes.
TEEPOL	Detergente neutro. Es un tensoactivo no iónico. Se disuelve en agua y alcoholes y es utilizado en la limpieza en húmedo.
TOLUENO	Metilbenceno. Hidrocarburo aromático volátil. Se emplea como disolvente.
TWEEN 20	Detergente neutro. Es un tensoactivo no iónico derivado del óxido de etileno. Se disuelve en agua y alcoholes y es utilizado en la limpieza en húmedo.
VINAVIL NPC	Dispersión acuosa de un homopolímero acetovinílico de media viscosidad. No tiene disolvente.
XILENO	Dimetilbenceno. Hidrocarburo aromático volátil. Se emplea como disolvente.

ANEXO

Informes sobre la conservación de la Cueva Pintada

1. Octubre 1969: «Estado actual de conservación de las pinturas. Estudio Técnico nº 1004-B». Julio Moisés. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol.II, doc.7.
2. Julio 1980: «Cueva Pintada de Gáldar: Memoria». Juan Carratalá Fuentes. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 18.
3. Octubre 1980: «Informe presentado por D. José M^a Cabrera, Director del Instituto Central de Restauración, y D. Celso Martín de Guzmán, arqueólogo supervisor de las obras a realizar en la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria, acerca del Proyecto de Restauración de dicha Cueva, del Arquitecto Juan F. Carratalá». José María Cabrera y Celso Martín de Guzmán. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 20
4. Septiembre 1981: «Informe sobre los controles de recuperación ambiental de la Cueva Pintada de Gáldar». Celso Martín de Guzmán. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 26.
5. Enero 1982: «Breve informe sobre la Cueva Pintada de Gáldar, en proceso de restauración ambiental». Celso Martín de Guzmán. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 29.

6. Marzo 1984: «Informe sobre la velocidad de desprendimiento de los materiales de las paredes de la Cueva de Gáldar y datos higrotérmicos durante el periodo enero 1983-1984». José M. Hernández Moreno y Antonio Rodríguez Rodríguez. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 40.
7. Abril 1987: «Informe de estado de conservación». M^a del Carmen Rallo Gruss. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 51
8. Julio 1987: «Informe del trabajo realizado en la Cueva Pintada de Gáldar (Las Palmas de Gran Canaria) durante los días 21, 22, 23 y 24 de julio de 1987». Felipe Fernández García. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 55.
9. Diciembre 1987: «Informe sobre la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria)». Alfonso Muñoz Cosme. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 62.
10. Enero 1988: «Informe sobre la visita efectuada a la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria) durante los días 25, 26, 27 de enero de 1988». M^a del Carmen Rallo Gruss y Concepción Cirujano Gutiérrez. Recopilado en *Cueva Pintada. Anteproyecto de actuación en el Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar, Gran Canaria*. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura. Madrid-Las Palmas, mayo de 1988. vol. II, doc. 65.
11. Septiembre 1992: «Análisis climático del Parque Arqueológico de Gáldar». Felipe Fernández García. Universidad Autónoma de Madrid.

12. Marzo 1995: «Proyecto Parque Arqueológico Cueva Pintada. Área de Conservación. Estado de la cuestión a marzo de 1995». Jorge Onrubia Pintado. Universidad de Castilla-La Mancha.
13. Septiembre 1995: «Informe sobre el estado de conservación y propuesta de tratamiento para el proyecto de conservación y restauración del yacimiento del parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar: Gran Canaria». Altrama.
14. Enero 1997: «Estudio de los materiales y pigmentos de la Cueva de Gáldar como base para su conservación, (convenio de 1989)». José Manuel Hernández Moreno, Antonio Rodríguez Rodríguez y Julio de la Nuez Pestana. Universidad de La Laguna.
15. Mayo 1997: «Proyecto Parque Arqueológico Cueva Pintada. Área de Conservación. Estado de la cuestión a mayo de 1997». Jorge Onrubia Pintado. Universidad de Castilla-La Mancha.
16. Junio 1997: «Ensayos de comprensión simple y desgaste por abrasión en rocas tratadas con consolidantes». Aepo S.A.
17. Julio 1997: «Actuación urgente de consolidación y protección de las estructuras arqueológicas del Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar». Gabinete de Documentación y Conservación S.L.
18. Septiembre 1997: «Informe sobre el clima de la zona arqueológica de la Cueva Pintada de Gáldar (1993-1997)». Felipe Fernández García. Universidad Autónoma de Madrid
19. Noviembre 1997: «Estudio de los tratamientos de consolidación sobre probetas de toba volcánica de Gáldar (Gran Canaria)». Concepción Cirujano Gutiérrez y José Vicente Navarro Gascón. Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Ministerio de Cultura.
20. Noviembre 1997: «Registro y análisis en la Cueva Pintada de Gáldar de las vibraciones producidas por las obras de cimentación del centro de acogida y casa de sitio de la Cueva Pintada». Vicente Soler Javaloyes. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC.
21. Enero 1998: «Informe sobre las alteraciones de los materiales volcánicos encajantes del Complejo Troglodita de Gáldar (Gran Canaria)». Manuel Hoyos Gómez, Sergio Sánchez Moral, Enrique Sáenz Rubio y Juan Carlos Cañaveras Jiménez. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.
22. Enero 1998: «Aplicación de técnicas geofísicas para el estudio de problemáticas en la Cueva Pintada y en el yacimiento arqueológico de

Gáldar (Gran Canaria)». Jaime Clapés Boixader. Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña.

23. Enero 1998: «Consolidación y protección de las estructuras arqueológicas del Parque Arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar». Miguel Ángel Núñez Villanueva. Gabinete de Documentación y Conservación S.L.
24. Diciembre 1998: «Registro digital de imágenes de la Cueva Pintada de Gáldar en el infrarrojo próximo». Vicente Soler Javaloyes. Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC.
25. Noviembre 1999: «Proyecto Parque Arqueológico Cueva Pintada. Área de Conservación. Estado de la cuestión a noviembre de 1999». Jorge Onrubia Pintado. Universidad de Castilla-La Mancha.
26. Diciembre 1999: «Informe sobre el estudio de muestras de pigmentos, estucos y eflorescencias salinas de la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria)». Sergio Sánchez Moral, Enrique Sanz Rubio, Juan Carlos Cañaveras, David Benavente García, Soledad Cuezva Robleño. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.
27. Julio 2002: «Estudio geoarqueológico de los materiales de relleno y cobertera del parque Arqueológico Cueva Pintada de Gáldar». Sergio Sánchez Moral, Juan C. Cañaveras Jiménez, Javier Lario Gómez y Vicente Soler Javaloyes, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.
28. Marzo 2004: «Informe sobre las pruebas de consolidantes *in situ* realizadas en el yacimiento de la Cueva Pintada de Gáldar». Concepción Cirujano Gutiérrez. Instituto del Patrimonio Histórico Español, Ministerio de Cultura.
29. Julio 2005: «Determinación de rangos microclimáticos óptimos (temperatura, humedad y anhídrido carbónico) para minimizar los procesos de deterioro de soporte y pinturas de la Cueva Pintada de Gáldar». Sergio Sánchez Moral, Juan Carlos Cañaveras, David Benavente García, Soledad Cuezva Robleño. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.
30. Junio 2006: «Restauración de las estructuras del yacimiento de la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria)» Miguel Ángel Núñez Villanueva y Arqueocanarias.

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

BALCELLS, R.; J. L. BARRERA y M. T. RUÍZ GARCÍA (1990): *Memoria del Mapa Geológico de España 1:25000. Arucas*. ITGE., 114 pag.

BATLLORI y LORENZO, J. (1900): «Mi última tentativa. La “Cueva Pintada”», *El Museo Canario*, IX, pp. 117-123.

CHIL y NARANJO, G. (1876): *Estudios históricos, climatológicos y patológicos de las Islas Canarias I*, Isidro Miranda, Las Palmas de Gran Canaria.

HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, A. S. (2001): «La Cueva Pintada», en *Canarias Restaura*. Gobierno de Canarias. Islas Canarias, pp. 19-36.

NESBITT, H. W. y G. M. YOUNG (1982): «Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites». *Nature*, 299, pp. 715-717.

NESBITT, H. W. y G. M. YOUNG (1989): «Formation and diagenesis of weathering profiles». *Journal of Geology*, 97, pp. 129-147.

ONRUBIA PINTADO, J. (1986): «El complejo arqueológico de la Cueva Pintada de Gáldar (Gran Canaria). Estudio preliminar de los materiales exhumados en 1970». *Noticiero Arqueológico Hispánico*, 28, pp. 243-285.

ONRUBIA PINTADO, J.; Á. RODRÍGUEZ FLEITAS, C. G. RODRÍGUEZ SANTANA y J. I. SÁENZ SAGASTI (2000): *Ídolos canarios. Catálogo de terracotas prehistóricas de Gran Canaria*. El Museo Canario, Las Palmas de Gran Canaria.

ONRUBIA PINTADO, J.; C. G. RODRÍGUEZ SANTANA J. y J. I. SÁENZ SAGASTI (2004): «El Proyecto Cueva Pintada y la arqueología prehistórica de Gáldar (Gran Canaria). Balance y perspectivas de dos décadas de investigaciones», *Anuario de Estudios Atlánticos*, 50, II, pp. 705-730.

PÉREZ-TORRADO, F. J. y **J. MANGAS** (1990): *Libro de las excursiones científicas. Gran Canaria*. VI Simposio Enseñanza de la Geología, Universidad de La Laguna.

RIPOCHE, D. (1883): «Carta de París. La cueva pintada de Gáldar», *El Liberal* (Las Palmas de Gran Canaria), nº19 (4 de diciembre).

SÁNCHEZ-MORAL, S.; J. GARCÍA-GUINEA; E. SANZ RUBIO; J. C. CAÑAVERAS y J. ONRUBIA (2002): «Mortars, pigments and saline efflorescence from Canarian pre-Hispanic constructions (Gáldar, Gran Canary Island)». *Construction and Building Materials*, 16, pp. 241-250.

SERNA GARCÍA-CONDE, J. y **J. RUI-WAMBA MARTIJA** (2006): *Los puentes del tren*. Fundación Esteyco. Madrid.

STONE, O. M. (1995): *Tenerife y sus seis satélites II*. J. Allen Hernández ed. y J. S. Amador Bedford trad. y ed., Ediciones del Cabildo Insular de Gran Canaria [1ª edición en castellano a partir de la edición original en inglés de 1887], Las Palmas de Gran Canaria.

VERNEAU, R. (1889): «Habitations, sépultures et lieux sacrés des anciens canariens», *Revue d'Ethnographie*, VII, pp. 221-272.

Relación de autores

David BENAVENTE GARCÍA. Profesor de Petrología y Geoquímica. Laboratorio de Petrología Aplicada. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Especialista en petrofísica.

Juan Carlos CAÑAVERAS JIMÉNEZ. Profesor titular de Petrología y Geoquímica. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. Especialista en petrología sedimentaria, geomicrobiología y ciencias del karst.

Concepción CIRUJANO GUTIÉRREZ. Restauradora. Instituto del Patrimonio Histórico Español, Ministerio de Cultura. Especialista en tratamientos de restauración aplicados a la piedra.

Jaime CLAPÉS BOIXADER. Jefe del Laboratorio de Geofísica Aplicada. Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña. Especialista en técnicas de geofísica superficial.

Soledad CUEZVA ROBLEÑO. Geóloga. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Especialista en procesos microambientales en medios kársticos someros, aplicado a conservación del patrimonio.

Alberto DÍAZ TORRES. Jefe de delineación técnica. Instituto de Productos Naturales y Agobiología, CSIC. Especialista en instrumentación mecánica.

Javier FEDUCHI BENLLIURE (†). Arquitecto. Autor y miembro de la dirección facultativa del proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

Felipe FERNÁNDEZ GARCÍA. Catedrático de Geografía Física. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid. Especialista en climatología urbana y aplicada y cambio climático.

Javier GARCÍA GUINEA. Profesor de investigación. Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Especialista en mineralogía y material de construcción.

Juan Miguel GONZÁLEZ GRAU. Científico titular. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en fisiología, biología molecular, genómica y ecología de microorganismos.

Manuel HOYOS GÓMEZ (†). Investigador científico. Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Especialista en geoarqueología y geología del karst.

Leonila LAÍZ TROBAJO. Científico titular. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en ecología microbiana.

Javier LARIO GÓMEZ. Profesor titular de Geodinámica. Facultad de Ciencias, UNED. Especialista en geología del Cuaternario: geomorfología, sedimentología, geotectónica y geoarqueología de ambientes litorales y continentales.

Ángel David MOURE GARCÍA. Físico. Estación Volcanológica de Canarias, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en instrumentación electrónica.

José Vicente NAVARRO GASCÓN. Geólogo. Laboratorio de análisis de materiales, Instituto del Patrimonio Histórico Español, Ministerio de Cultura. Especialista en análisis de materiales pétreos.

Miguel Ángel NÚÑEZ VILLANUEVA. Restaurador. Especialista en trabajos de arqueología y director de los trabajos de restauración del poblado y de los materiales arqueológicos del yacimiento Cueva Pintada

Jorge ONRUBIA PINTADO. Profesor titular de Prehistoria, Departamento de Historia, Universidad de Castilla-La Mancha. Director del proyecto del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

Patricia PRIETO ANGULO. Restauradora. Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada, Cabildo de Gran Canaria. Especialista en trabajos de arqueología y miembro del equipo de restauración del yacimiento Cueva Pintada.

Carmen GLORIA RODRÍGUEZ SANTANA. Conservadora de museos. Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada. Cabildo de Gran Canaria. Coautora del proyecto museológico y didáctico del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

José Ignacio SÁENZ SAGASTI. Conservador de museos. Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada, Cabildo de Gran Canaria. Coordinador del proyecto de conservación del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

Cesáreo SÁIZ JIMÉNEZ. Profesor de investigación. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en biodeterioro del Patrimonio, microbiología ambiental y geoquímica orgánica.

Sergio SÁNCHEZ MORAL. Científico titular. Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Especialista en la interacción ambiente/roca/agua en medios subterráneos.

Enrique SANZ RUBIO. Geólogo. Proyecto Río Tinto Minerals, León. Especialista en petrología de rocas carbonáticas y evaporíticas, sedimentología y análisis de cuencas, y exploración de minerales industriales.

Vicente SOLER JAVALOYES. Científico titular. Estación Volcanológica de Canarias, Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en instrumentación geofísica aplicada a la vulcanología y al monitoreo medioambiental.

José Manuel SOSA PÉREZ. Arquitecto técnico. Miembro de la dirección facultativa del proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

Pedro A. TORRES GONZÁLEZ. Físico. Estación Volcanológica de Canarias, Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, CSIC. Especialista en análisis de series temporales.

Luis ZARANDIETA NÚÑEZ. Arquitecto técnico. Miembro de la dirección facultativa del proyecto arquitectónico del Museo y Parque Arqueológico Cueva Pintada.

**ESTE TOMO SE HA COMPUESTO
EN GILLSANS, CUERPO 11 INTERLINEADO 14;
IMPRESO EN PAPEL SYMBOL MATT DE 150 GRAMOS Y
CARTULINA SYMBOL MATT DE 300 GRAMOS EN LA CUBIERTA.
IMPRESIÓN EN OFFSET EN CUADERNACIÓN RUSTICA
CON HILO VEGETAL, CUBIERTA PLASTIFICADA MATE.
SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EL 8 DE DICIEMBRE DE 2007,
EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA.**

