

Estudio petrográfico de los materiales de los Dólmenes de Antequera



Jesús Espinosa Gaitán
Centro de Intervención del IAPH

Introducción

El centro de Intervención del I.A.P.H. está elaborando una serie de estudios sobre el Conjunto Arqueológico de Antequera y sus hitos más sobresalientes, los Dólmenes de Menga, Viera, y Romeral. Estos estudios se inician a raíz de la solicitud de asesoramiento de la Delegación Provincial de Málaga, recogiendo en este artículo los resultados y conclusiones del estudio analítico de caracterización de los materiales existentes en dichas estructuras megalíticas y la posible relación con su estado de conservación.

Los estudios y resultados que aquí se recogen se apoyan, en cierto modo, en los realizados con anterioridad, por otros autores (García Ruz, 1987), complementándose con aspectos analíticos deseables de conocer referidos a materiales pétreos, materiales resultantes de la alteración (eflorescencias y costras),

y posible incidencia de materiales utilizados en intervenciones anteriores (morteros, revestimientos, etc).

Los materiales pétreos, han sido objeto de la realización de un estudio petrográfico, que incluye tanto una descripción macroscópica, como un estudio microscópico mediante láminas delgadas. En éste sentido se han aplicado los criterios descriptivos para materiales pétreos sedimentarios que actualmente se siguen en el centro de Intervención del I.A.P.H., basados en la ficha petrográfica propuesta en el PH Boletín 18.

Breve reseña de la geología local

Los tres elementos funerarios se encuentran próximos al casco urbano de Antequera; en su inmediaciones el de Menga y Viera y un poco más alejado el de Romeral.

Geológicamente se sitúan en el borde de la Depresión de Antequera, sobre materiales del Mioceno los de Menga y Viera, y sobre margas Trásicas el de Romeral.

Los terrenos que aparecen en las inmediaciones del conjunto están representados por materiales del Cuaternario, Mioceno, Jurásico y Trásico. De ellos se encuentran formando parte de los elementos estructurales de los dólmenes, sólo materiales del Mioceno y del Trásico.

Los materiales del Mioceno afloran en el borde de la depresión Cuaternaria, encontrándose parcialmente bajo los materiales de esa edad. Se componen fundamentalmente de calcarenitas y conglomerados con niveles arenosos.

El Trásico constituye los materiales más antiguos de la zona y está formado por materiales de muy variada naturaleza y disposición estructural. Aparecen dentro de ésta formación arcillas, yesos, ofitas, areniscas, calizas cristalinas y calizas dolomíticas; las dos últimas se encuentran en afloramientos dispersos, son de colores oscuros y aparecen en el dolmen de Romeral.

Identificación de materiales y formas de alteración

En **Menga** se han identificado al menos dos tipos de materiales pétreos texturalmente distintos entre sí. Entre esos dos tipos, que se podrían considerar extremos, existe una gran abundancia de ortostatos y losas que presentan características mixtas entre ellos. Los litotipos identificados son *calcarenitas y/o calciruditas* poco cementadas y *ruditas (brechas)* con matriz calcárea.

Las alteraciones que han sufrido los materiales se pueden atribuir tanto a causas intrínsecas a los materiales, como a causas extrínsecas a los mismos, entre las que caben destacar las alteraciones causadas por varias actividades antrópicas desarrolladas en el dolmen desde su hallazgo. Se tiene constancia que hubo un tiempo

en el que en el interior se guardaba ganado; asimismo, algunas formas de alteración evidencian que se han producido combustiones en el interior del dólmen.

Las principales formas de alteración observadas sobre los materiales han sido:

- Desarrollo de una *costra carbonatada* superficial de distribución heterogénea tanto en extensión como en grosor. El espesor medio de dichas costras es de aproximadamente 0,5 cm y suele verse más desarrollada en las calcarenitas que en las brechas. Su origen es claramente posterior a la colocación de las losas y se han formado por disolución de carbonato en el interior del material pétreo y posterior precipitación en superficie, formando una costra muy compacta



que cubre un nivel de roca bastante alterado, por lo que se podrá desprender cuando la interfase pierda cohesión. De hecho en las partes bajas donde las tasas de humedad y la erosión física son más elevadas ésta ha desaparecido prácticamente en su totalidad.

- De menor extensión, pero muy abundantes en algunas zonas, se han encontrado *costras oscuras* (casi negras), de espesor inferior a 0,5 cm. Este tipo de costras también son muy compactas y con escasa permeabilidad, y en algunas zonas, se ha desarrollado sobre la costra carbonatada mencionada anteriormente.
- Aunque de forma escasa, se ha observado el desarrollo de *eflorescencias salinas* en las partes bajas de los ortostatos.
- En numerosas zonas se han encontrado *morteros de intervención*



Dolmen de Viera, aspecto general

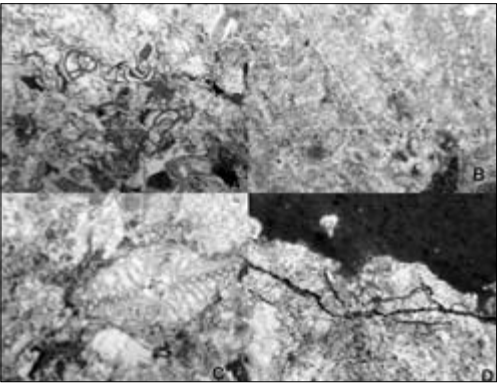
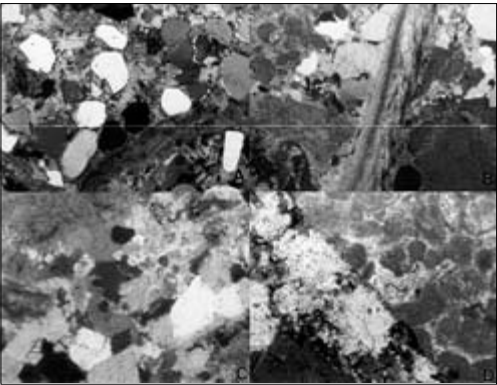
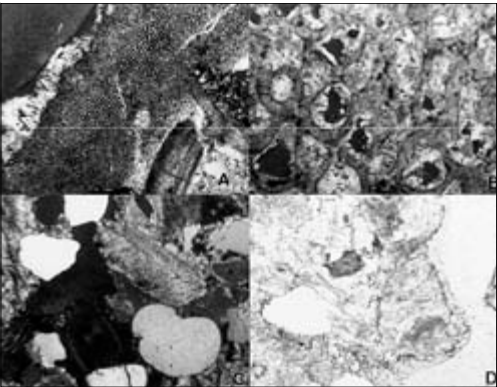
Dolmen de Menga, aspecto general y pilar con grandes pérdidas de masa intervenido con mortero de yeso

nes con diferentes aspectos y en distintos estados de conservación, parcheando o recubriendo zonas con pérdidas de masas.

Otras formas de alteración de alteración son claramente de carácter físico o mecánico, destacando:

- Pérdidas de material en las zonas de apoyo de las losas de la cubierta, quedando la zona primitiva de contacto entre las losas marcadas mediante un característico surco a lo largo de casi todo el perímetro del habitáculo.
- Pérdidas de material en las partes bajas de los muros, debidas en gran parte al roce del ganado, acrecentado probablemente por un mayor contenido de humedad en dichas zonas.

Microfotografías de lámina delgada Tipos 1, 2 y 3



• Presencia de discontinuidades naturales (lechos de estratificación sedimentarios) que en ocasiones producen fracturación en juego de diaclasas tanto en las losas de la pared como de cubierta. Los juegos de diaclasas más importantes suelen ser paralelos al perímetro de las losas, ya que su extracción se debió producir utilizando las diaclasas como elemento de debilidad.

En el dolmen de **Viera** los materiales pétreos corresponden a los mismos litotipos que en Menga. Las costras carbonatadas son de menor desarrollo, probablemente por haber sido menos habitado. A grandes rasgos la alteración es menor que en Menga, aunque la fracturación mecánica es más generalizada, sobre todo en las losas de cubierta.

Por último en el dolmen de **Romeral** existe más variabilidad en cuanto a litotipos presentes. Las

losas de cubierta se constituyen de *calcarenitas* similares a las de los dólmenes anteriores, y otro tipo de calcarenitas con cementación *más cristalina*. El comportamiento de dichas losas es similar al observado en Menga y Viera.

Las paredes del sepulcro se componen en su mayoría de lajas de piedras más compactas y resistentes que las anteriores, *calizas cristalinas* y *calizas dolomíticas*, que constituyen los mampuestos de los muros. Estas piedras son de coloraciones oscuras, de gris oscuro a negro, y en ocasiones se encuentran brechificadas naturalmente, denominándose entonces *brechas calizas*. Estas rocas son mucho más resistentes a la alteración, y se encuentran mejor conservadas que las mencionadas anteriormente.

Existen zonas en las que se han identificado morteros y probables revocos de cal de intervenciones pasadas. En ningún punto se han observado morteros grises, como en el caso de Menga.

Resultados de los análisis

Se tomaron muestras de todos los materiales pétreos identificados, de morteros, de costras oscuras y de eflorescencias; en total se extrajeron 16 muestras sobre las que se han podido realizar una o más determinaciones analíticas. Sólo se han estudiado materiales de Menga y de Romeral, ya que los observados en Viera son de similares características a los de Menga.

Las técnicas analíticas empleadas en los análisis de los materiales han sido:

- Difracción de Rayos X (DRX).
- Microscopia Óptica de Luz Polarizada
- Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con EDX.
- Espectrometría Infrarroja por Transformadas de Fourier (F-Tir).

A continuación se recogen los resultados y conclusiones de los análisis agrupados por tipos de materiales.

Materiales Pétreos

Contrastando los resultados del análisis visual y los distintos métodos analíticos, se han podido establecer cinco tipos de materiales en base a sus características texturales, estructurales y composicionales. En la siguiente tabla se incluyen los litotipos identificados y el dolmen en el que se han encontrado:

	Litotipo	Dolmen
Tipo 1	Calcarenita y/o Calcirudita poco cementada	Menga, Viera y Romeral
Tipo 2	Rudita (brecha) con matriz calcárea	Menga y Viera
Tipo 3	Calcarenita con cementación cristalina	Romeral
Tipo 4	Caliza cristalina	Romeral
Tipo 5	Caliza dolomítica cristalina	Romeral

Los resultados de DRX manifiestan que todas las piedras poseen similar composición mineralógica, incluyéndose todas ellas, en base a su composición química, al grupo de *rocas carbonatadas* (calcita: 65-95%). La mayoría de ellas presentan además considerable porcentaje de cuarzo (5-30%).

Algunas de las rocas presentan peculiaridades mineralógicas, como es el caso de las de tipo 2, que poseen un elevado porcentaje en feldespatos, y contenidos considerables en dolomita y filosilicatos, minerales prácticamente ausentes los demás tipos. Además los elementos de la trama (de gran tamaño), son de distinta naturaleza a los existentes en las otras rocas.

Por otro lado, la caliza cristalina y caliza dolomítica, presentan aragonito, polimorfo de la calcita bastante menos estable. Este normalmente se forma en condiciones fisicoquímicas de baja temperatura, y su origen se asocia con la génesis de la roca. Además la caliza dolomítica presenta un considerable contenido de dolomita (>12%).

A pesar de la similitud mineralógica, existen marcadas diferencias petrográficas entre los distintos tipos de materiales, que se establecen en base características como: estructura, naturaleza de los elementos constituyentes, y aspectos texturales como tamaño de grano la trama, grado de cementación, compactación, etc. Estas diferencias conllevan comportamientos físicos y mecánicos distintos.

A continuación se expone la descripción petrográfica de los tipos de piedra establecidos, si bien existen casos de rocas con características intermedias entre ellos, observándose de forma más clara en las rocas del dolmen de Menga.

De forma global, los **Tipos 1, 2 y 3** se podrían considerar como rocas bioclásticas de origen en cuenca marina, constituidas básicamente por depósitos de fósiles y fragmentos de fósiles (*aloquímicos*) con distintos tamaños, con afluencia simultánea de elementos detríticos (*terrágenos*) procedentes de zonas continentales. Ambos tipos de elementos constituyen la trama de las rocas, y se hallan sujetos por una matriz fina y/o cemento carbonatados (*ortoquímicos*).

Analizando la fauna y microfauna presentes en los tres tipos de rocas, se deduce que a los tres, se les puede atribuir similar edad geológica, correspondientes al Mioceno Superior.

En sentido amplio, el origen de éstos materiales se puede atribuir a un ambiente litoral, esencialmente de tipo mareal. Sin embargo, dependiendo de si los depósitos sedimentarios son más o menos distales de la línea de costas podrá existir mayor o menor afluencia de material detrítico continental. La historia geológica simultánea al depósito y posterior al mismo es la que acabaría de configurar el estado en el que afloraron los materiales y el que se encontraban en su puesta en obra (mayor o menor cementación, compactación, cristalinidad...).

Las rocas del **Tipo 1** (*Calcarenitas y/o Calciruditas poco cementadas*) muestran un medio bastante energético, puesto de manifiesto por los bioclastos que por lo general se presentan bastante fracturados.

En corte fresco las rocas presentan color amarillento, estructura heterogénea, con discontinuidades naturales atribuibles a lechos de sedimentación, y que en muchos casos aprovechando la debilidad tensional de dichos lechos, se han producido fracturas de despegue, sobre todo en los ortostatos que reciben los esfuerzos paralelamente a los planos de exfoliación.

Se han observado fósiles y fragmentos de fósiles de diversos tamaños, en base a lo cual se establecen dos variedades texturales dentro de éste tipo; básicamente se tratan de rocas de idéntica composición, en las que únicamente varía el tamaño de grano de los bioclastos que puede ser de tamaño arena: <2 mm (calcarenita) o tamaño grava: 2-25 mm (calcirudita). Ambos tamaños coexisten por lo general, incluyéndose en una u otra variedad según el tamaño predominante. Por lo general son más abundantes las calciruditas.

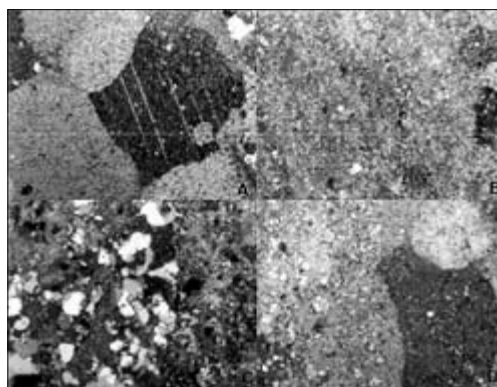
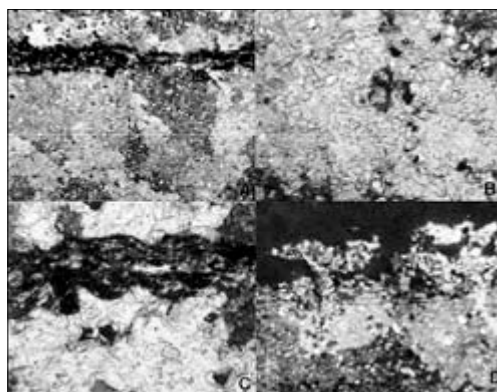
Las observaciones al microscopio de varias láminas delgadas muestran que la *mineralogía* fundamental es aproximadamente del 80% de calcita (aloquímicos y ortoquímicos) y el 20% restante es atribuible al cuarzo y otros terrígenos minoritarios.

Los *aloquímicos* se componen en su totalidad por bioclastos de medio marino somero. Por orden de abundancia, se han identificado, fragmentos de lamelibranquios, algas rojas y briozoos. Ocasionalmente se observan braquiópodos y espículas de equinoides.

Los *terrágenos* se componen casi exclusivamente de cuarzo, con tamaño que oscila entre 0,25-1 mm y formas redondeadas o muy redondeadas. Ocasionalmente se observan óxidos de Fe (hematites) y glauconita.

Los *ortoquímicos* son muy escasos, lo que explica la escasa cementación de la roca. La fracción fina micrítica está prácticamente ausente, encontrándose la trama sujeta por una escasa cementación esparítica, posterior al depósito, cristalizada en espacios vacíos, y que sirve de sujeción al armazón.

Microfotografías de lámina delgada Tipos 4 y 5



Los espacios vacíos en la roca son muy abundantes. Se podría incluir en el grupo de rocas de alta porosidad ($> 20\%$). Los poros son de tipo intergranular, intragranular y mólido. Se podría considerar una roca fundamentalmente macroporosa con poros bien intercomunicados.

El nombre de la roca según la clasificación de Folk (1962) para rocas carbonatadas, sería *Bioesparita cuarzoarenosa* y/o *Bioesparudita cuarzoarenosa*. Según Dunham, en ambos casos sería un *Grainstone*.

Los niveles de rocas del **Tipo 2 (Brecha con matriz calcárea)**, estuvieron muy influenciados por el aporte continental de terrígenos, y así lo manifiesta la abundancia de material detrítico, constituyendo prácticamente toda la trama de la roca. Esta fracción detrítica se constituye en su mayoría por fragmentos de rocas más antiguas (identificables como del Tríasico y del Jurásico), fundamentalmente calizas oolíticas, rocas silíceas, rocas metamórficas (pizarras) y margocalizas. Estas últimas son de fácil alteración y dejan su oquedad en forma de alveolos cuando se desmoronan, como se ha observado en algunas losas y ortostatos.

El tamaño de las partículas de la trama es muy inequigranular, comprendiendo tamaños desde *arena media* hasta *grava* (cantos de hasta 5-7 cm de diámetro). Hay que indicar que dentro de la fracción de la trama más fina se incluye, además de las partículas detríticas, aloquímicos tamaño arena o grava fina procedentes de la cuenca. Todo ello se halla englutido en una matriz y/o cemento carbonatados.

El color de la roca en corte fresco es amarillo grisáceo. Atendiendo a aspectos composicionales, texturales y genéticos la roca se podría incluir en un litotipo mixto entre detrítico (rudita) y calcáreo.

Las secciones obtenidas en lámina delgada se han limitado a la matriz y fracción más fina de la trama, dejando la identificación de los elementos más gruesos a la inspección visual.

La *mineralogía* que se observa en las muestras estudiadas se compone aproximadamente de un 70% de calcita, un 15% de cuarzo, y un 10% de feldespatos, además de otros minerales minoritarios.

Los *aloquímicos*, refiriéndose a la globalidad de la roca, pueden suponer un 30% del total de elementos sólidos; y los observados al microscopio, básicamente son fragmentos de lamelibranquios, algas rojas y briozoos.

Los *ortoquímicos* aparecen en alta proporción, encontrándose la roca bien cementada. Posee mayor contenido en micrita que la anterior; y esparita muy bien cristalizada, sellando gran parte de los espacios vacíos. Existen algunas zonas donde los cristales están muy bien desarrollados, indicando recrystalizaciones y, por tanto, mayor grado diagenético que las rocas del tipo anterior.

Los *terrígenos*, considerando todas las fracciones de tamaños, suponen una alta proporción, cercana al 40%. La fracción más fina se compone básicamente de cuarzo, ocasionalmente glauconita y óxidos de Fe. Los cantos más gruesos (identificados visualmente) son de naturalezas variadas, en general fragmentos de rocas anteriores: margocalizas, calizas oolíticas, rocas plutónicas feldespáticas, pizarras...

Debe aclararse que la mayoría de los terrígenos (a excepción del cuarzo), presentan formas angulosas o subangulosas, de ahí la denominación de brecha.

Los *espacios vacíos* son relativamente escasos en la matriz, gracias al sellamiento esparítico producido durante la diagénesis; sin embargo existen macroporos, observables a simple vista (alveolizaciones y cavernizaciones), producidos por la pérdida mediante disolución parcial de la matriz y por desprendimiento y/o disolución de ciertos cantos de la trama de mayor tamaño (sobre todo margocalizas). De forma global se podría estimar que la roca posee una porosidad intermedia (5-20%), siendo en su mayoría macroporos.

Para la clasificación sistemática de esta roca, al ser una roca genéticamente intermedia entre detrítica y carbonatada, se pueden seguir criterios mixtos de clasificación. Siguiendo criterios de rocas detríticas la roca se denominaría *Brecha Poligénica Calcárea* de origen costero. Sin embargo atendiendo a los criterios de Folk (1962), se podría considerar una roca carbonatada impura, ya que el contenido en terrígenos es inferior al 50% y posee matriz y cemento calcáreo; concretamente la roca se denominaría *Bioesparudita Brechoide (poligénica)*. Según Dunham (1962) se podría considerar un *Packstone*.

Las rocas del **Tipo 3 (Calcarenita con cementación cristalina)**, se caracterizan por la práctica ausencia de terrígenos, y la presencia de microfósiles (foraminíferos) no observados en los otros tipos, y que coexisten en la roca con los macrofósiles que aparecían en los tipos anteriores pero en menor abundancia.

En corte fresco presenta color marrón claro y estructura heterogénea (con una marcada laminación). Aunque externamente la roca presente aspecto calcarenítico, en corte fresco presenta textura mixta entre cristalina y bioclástica, ya que a pesar de que presenta aloquímicos con tamaño arena, éstos se encuentran englutidos por una matriz y cemento muy cristalino, que le confiere alta compacidad a la roca. Existen zonas donde se podría considerar totalmente cristalina. El tamaño medio de grano está entre fino y medio ($< 2\text{mm}$).

Esta textura de alta cristalinidad probablemente se deba a una alta grado diagenético, que produjo modificaciones en la roca, compactandola, y recrystalizando matriz, cemento y parte de aloquímicos; por lo que éstos últimos en muchos casos aparecen como "sombras", insinuándose únicamente su morfología originaria. La diagénesis, también pudo

ser responsable de la laminación tan marcada que presenta la roca.

Las observaciones al microscopio y resultados de DRX ponen de manifiesto que la *mineralogía* casi en su totalidad es de calcita (90%), presentándose el cuarzo en proporciones siempre inferiores al 10%. Ocasionalmente óxidos de Fe.

Los *aloquímicos* suponen el 30% de los componentes sólidos; aunque originariamente su porcentaje sería mayor; parte de ellos han recrystalizado. De los que se pueden identificar en su mayoría son: restos de lamelibranchios muy fracturados, restos de algas rojas y algunos briozoos (muy escasos). Además se han identificado foraminíferos (miliolitos, nummulites y discociclinas), no observadas en los tipos anteriores. En todos los casos es difícil su identificación ya que están muy recrystalizados.

Los *ortoquímicos* suponen el resto de la fracción carbonatada; en su mayoría se trata de una matriz microesparítica ($<10\ \mu\text{m}$) o micrítica de origen primario, con zonas de cemento esparítico. Existen zonas donde existen grandes cristales de calcita, producto de recrystalizaciones diagenéticas.

Los *terrígenos* son muy escasos, siempre inferior al 10%. Se componen de granos cuarzo de tamaño arena fina-media muy redondeados.

Gracias al grado diagenético alcanzado los espacios vacíos son escasos. La diagénesis ha favorecido la compacidad, tanto por reajuste de elementos, como por recrystalizaciones y sellaciones esparíticas. La roca se podría incluir en el grupo de rocas de baja porosidad con valores que se pueden estimar por debajo del 10%. Los poros son fundamentalmente de tipo intergranular y ocasionalmente móldicos.

Un rasgo a destacar en las muestras estudiadas es la existencia de una costra superficial de alteración con fisuración paralela a la superficie externa, que tiende a desprenderse. Dentro de esas fisuras se concentran óxidos de Fe removilizados.

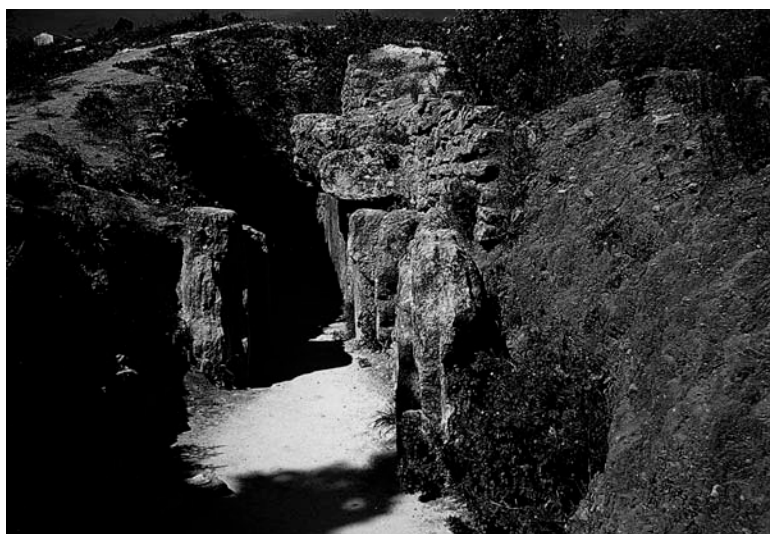
Según la clasificación de Folk para rocas carbonatadas se trataría de una *Bioesparita*. Según Dunham sería un Wackstone.

Los **Tipos 4 y 5**, son rocas que nada tienen que ver con las anteriores, ni en edad geológica, ni en textura, ni estructura. Estos materiales pertenecen al Trias, y a grandes rasgos se caracterizan por ser calizas muy recrystalizadas (micríticas y/o esparíticas), con texturas a veces nodulosas y muy compactas. A menudo aparecen dolomitizadas o parcialmente dolomitizadas.

Presentan síntomas de haber sufrido gran actividad tectónica sin llegar a metamorfizar. La deformación tectónica queda reflejada en la microestructura de las rocas, y en que a veces aparecen muy brechificadas, denominándose en ese caso brechas calizas o dolomíticas. Esta brechificación se ha observado en muchas lajas de piedra en las paredes del dolmen de Romeral.

Los dos tipos de rocas presentan similares características, tanto macroscópicamente como microscópicamente; seguramente pertenezcan a una misma formación geológica aunque con distintos grados de dolomitización.

En cualquier caso, dada la gran variedad con las que se presentan las rocas de esta formación triásica, puede que la descripción que se van hacer de las muestras extraídas no sean las más representativas, pero en cuanto a la durabilidad de los materiales



Dólmen del Viera,
aspecto general

eso no plantea ningún problema ya que exceptuando las brechificadas, su comportamiento debe ser muy similar.

Las rocas del **Tipo 4 (Caliza cristalina)** presentan en corte fresco color gris oscuro. La estructura es claramente heterogénea, con un marcado bandeo perpendicular a los esfuerzos de deformación. La textura global de la roca es secuencial (cristalina), con tamaño medio de grano *muy fino* (micrítico) y equigranular.

La *mineralogía* se compone de calcita en un 70-80%, cuarzo aproximadamente en un 15%, y óxidos de Fe y filosilicatos que no suman el 10%.

No se han identificado *aloquímicos*, por lo que la roca se compone mayoritariamente de *ortoquímicos* en forma de micrita, que abundantemente forman nódulos con indicios de recrystalización para formar grandes cristales. Incrustados en esta matriz micrítica existen repartidos de forma homogénea, cuarzo (*terrígeno*) de tamaño muy homogéneo y muy fino ($< 50\ \mu\text{m}$).

La estructura es bandeada, existiendo una alternancia de bandas de gran espesor (0,5 cm), con textura fina (descrita hasta ahora), con bandas de fino espesor ($< 0,2\ \text{mm}$) donde se concentran preferencialmente filosilicatos (micas blancas) y óxidos de Fe.

Los *espacios vacíos* son muy escasos. La roca se incluiría en el grupo de baja porosidad ($< 5\%$).

Según Folk, la roca sería una caliza impura, denominándose *Micrita Cuarzoarenosa*, parcialmente recristalizada (dismicrita). Cuando se encuentra brechificada se denominaría *Brecha Tectónica Caliza*. Según Dunham la roca se incluiría dentro de Wackstone.

Las rocas del **Tipo 5 (Caliza dolomítica cristalina)** corresponden a un litotipo mixto calcáreo-dolomítico. En corte fresco presenta un color gris muy oscuro, casi negro, estructura heterogénea con un bandeoado aún más marcado que en el caso anterior, en el que se alternan bandas de distinta textura y/o composición. La textura global es secuencial (cristalina), con zonas de mayor recristalización que otras y por lo general bastante inequigranular.



Dólmen del Romeral,
cámara central

Las observaciones al microscopio manifiestan de forma muy clara la microestructura bandeada, alternándose bandas en torno a 0,5 cm de espesor compuestas de carbonatos, fundamentalmente calcita, pero también dolomita y aragonito, muy bien recristalizados, con cristales esparfíticos muy bien desarrollados aparentando los de un mármol.

Estas bandas de buena recristalización se alternan con bandas, de similar espesor, compuestas por carbonatos micríticos, poco recristalizados. Ambos tipos de bandas se alternan a su vez con bandas de menor espesor (0,1-0,2 mm) compuestas fundamentalmente de cuarzo con tamaño de grano variable y formas subangulosas. Toda esta microestructura indica una gran deformación tectónica, llegando a límites de metamorfismo.

Además la roca presenta síntomas de una brechificación tectónica, puesta de manifiesto tanto por fisuras macroscópicas, como por fisuras microscópicas perpendiculares a las bandas, de tipo transgranular. La mayoría de dichas fisuras se encuentran selladas por cristales esparfíticos de calcita.

La *porosidad* de la roca es muy baja incluyéndose en el grupo de baja porosidad (<5%).

No todas las lajas presentan brechificación, por lo que para la clasificación de la roca en términos generales ésta se desconsidera, denominándose la roca según Folk, *Dismicrita Dolomítica Cuarzoarenosa*. Cuando se encuentra brechificada se denominaría

Brecha Tectónica Caliza. Según Dunham la roca se incluiría dentro de Wackstone.

Eflorescencias y Costras

Las escasas **eflorescencias** existentes en el interior del dolmen de Menga en el momento de la toma de muestras, presentan una composición mayoritaria a base de nitrato potásico (nitro: KNO_3) identificado con DRX y F-Tir.

Los nitratos son sales solubles poco habituales en construcciones históricas. Su origen suele estar asociado a soluciones salinas que ascienden por capilaridad, relacionadas con la acción de microorganismos sobre desechos orgánicos. Éstos desechos orgánicos son comunes en zonas de asentamientos humanos u otros seres vivos, donde el sustrato se puede ver enriquecido en nitratos. Si se tienen en cuenta las diversas actividades antrópicas que se han desarrollado en la historia reciente del dolmen, entre las cuales hubo un tiempo en el que se guardaba ganado, queda clara la posible procedencia de éstos aniones.

El microanálisis con SEM-EDX ha puesto de manifiesto la existencia, además de los nitratos, de cloruros (Cl^-), en cantidades minoritarias aunque significativas. Estos cloruros siempre se han detectado acompañado de los cationes K y Na y pueden tener también origen antrópico.

La cristalización de ambos tipos de sales en las partes bajas de la pared, pueden haber contribuido, además del propio roce del ganado, a la pérdida de material que se aprecia en dichas zonas.

Las **costras oscuras**, además de los componentes de la piedra (que aparecen en cantidades mayoritarias), presentan sulfato cálcico (yeso: $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hasta en un 35%. Ya que en la piedra no se ha detectado la presencia de sulfatos, su origen se relaciona con la acumulación de SO_2 , probablemente procedente de la combustión en el interior del dolmen de algún tipo de combustible (madera, carbón...) que posteriormente haya reaccionado con la roca carbonatada, formando finalmente yeso.

Al microscopio electrónico se observa como los cristales de yeso intercrecen entre los elementos texturales de la piedra con distintos hábitos y tamaños. Además, en las costras negras, existen otras sustancias minoritarias, también de carácter nocivo, que son las que las ennegrecen.

Por otro lado, parte de la calcita presente en dichas costras, se puede atribuir a concreciones de carbonato cálcico fruto de la disolución del carbonato original y posterior migración hacia la superficie, precipitando simultáneamente en la misma. Similar origen se le otorga a la otras costras superficiales endurecidas que tienen un desarrollo muy extendido, alcanzando grandes espesores.

Morteros

Las muestras estudiadas de **Menga** corresponden todas a morteros de intervención. Los morteros grises analizados, que aparecen parcheando algunas losas o tapando huecos, tienen similar composición mineralógica cualitativa y cuantitativamente. La composición corresponde a la que habitualmente presentan los morteros de cemento portland, con proporciones importantes de calcita (50%), silicatos y aluminatos del cemento portland, y yeso en proporciones variables, como conglomerantes. Como árido presenta cuarzo (15%) y minoritariamente feldespatos alcalinos.

Las observaciones al microscopio óptico, permiten atribuir parte de la calcita a fragmentos de rocas carbonatadas utilizadas como árido. El conglomerante se compone de cal intermezclado con yeso y silicatos del cemento. Aunque la porosidad del mortero no es muy elevada, ya que se presenta muy compacto, se han observado en algunas zonas cristales de yeso recrystalizando en su interior, lo que manifiesta removilización por disolución tras su puesta en obra.

En otras zonas del dolmen, recubriendo las partes bajas de un pilar central de piedra, con grandes pérdidas de masa, se ha aplicado un mortero con un elevado porcentaje de yeso (40%) y de filosilicatos (arcillas: 25%), además de carbonato cálcico (20%) y cuarzo como árido (10%). El contenido tan alto en yeso puede favorecer el aporte de sulfatos a la piedra, sobre todo teniendo en cuenta que se encuentra en una zona baja, dónde el contenido en humedad puede ser importante. Si a ello se le une que se encuentra muy disgregado y parcialmente desprendido, lo recomendable sería eliminarlo.

Los morteros de unión de los mampuestos estudiados del **Romeral**, presentan como conglomerante únicamente cal y como árido cuarzo, por lo que no plantean problemas para la conservación.

La presencia de una costra de color pardo claro, de fino espesor, que recubría parte de las paredes y losas de cubierta del pasillo de acceso a la primera cámara del dolmen, hacía dudar de si se trataba de una costra carbonatada natural o de alguna intervención. La presencia de indicios de yeso e hidróxido cálcico (portlandita), podrían confirmar que se trata de la aplicación de una lechada de cal en tiempos pasados.

CONCLUSIONES GLOBALES

Piedra

Aunque mineralógicamente todas las rocas se podrían considerar similares, tras el estudio petrográfico, se han podido establecer cinco litotipos básicos, de los cuales los tres primeros tipos están muy relacionados entre sí (existiendo casos intermedios entre los extremos descritos), al igual que ocurre con los dos últimos litotipos, que aparecen exclusivamente en el Romeral.

De todos ellos los más susceptibles a la alteración química por disolución son las calcarenitas y calciruditas del tipo 1, que son los materiales más abundantes en Menga y Viera. Ello se debe a su elevada porosidad y escasa cementación. Estos factores también propician que mecánicamente trabajen peor que los otros tipos de rocas, debido a su escasa compacidad. A su vez en los ortostatos con lechos de sedimentación bien definidos, y que además estén dispuestos paralelamente a la acción de los esfuerzos el problema mecánico se agrava, por la tendencia a producir fracturas de despegue, como se ha observado en algunos casos.

Los tipos 2 y 3, gracias a su mayor cementación, son rocas más masivas y por tanto menos susceptibles a la alteración. En el tipo 2 (brecha caliza), el problema más acuciante es la presencia de algunos elementos en la trama (margocalizas) que tienden a desmoronarse provocando cavernizaciones, sin que ello tenga que afectar demasiado a la compacidad de la roca. En el tipo 3, rocas más cristalinas que los casos anteriores, el problema puede estar en la presencia de laminación, que puede suponer planos de debilidad mecánica.

Los tipos 4 y 5 corresponden a las rocas más cristalinas y compactas. En su superficie se puede producir fenómenos de disolución, sin llegar a ser preocupante en ningún caso. El único problema podría estar en el caso de rocas brechificadas, ya que las fracturas de brecha (aún estando selladas por recrystalizaciones) pueden suponer una debilidad mecánica.

Eflorescencias y Costras

Las eflorescencias detectadas en el Dolmen de Menga son indicativas de la existencia de sales solubles en el interior de los muros, cuyos efectos pueden ser peligrosos para la conservación de la piedra (cristalización y disolución cíclica). En principio se pensó que dichas sales podrían estar asociadas a un mortero de intervención cercana a ellas, pero por su naturaleza (nitratos y cloruros), parecen tener su origen en actividades orgánicas de microorganismos que liberan nitratos, relacionados con las excreciones del ganado que allí se guardaba en épocas pasadas y/o de los propios humanos.

No se conoce a ciencia cierta el contenido de dichas sales en los muros, ni el efecto que han podido tener en el deterioro de las partes bajas de la pared. En cualquier caso en el momento de la toma de muestras se observaron de forma localizada.

Las costras negras desarrolladas en algunas zonas de Menga, dada su composición, parecen tener similar origen a las costras negras desarrolladas en áreas urbanas de alta contaminación. Estas deben haberse formado a causa de la combustión en el interior de algún combustible que libere SO_2 , en alguna de las numerosas actividades que parecen haberse desarrollado en épocas pasadas. Al ser un lugar cerrado se favoreció la rápida deposición de los productos resul-

tantes de la combustión, los cuales reaccionaron con la piedra carbonatada en presencia de humedad, formando finalmente la costra muy rica en yeso, que junto a otros elementos pesados la endurecen y ennegrecen.

La presencia de la costra es nociva, ya que disminuye en la superficie la permeabilidad de la roca, y puede provocar la arenización hacia el interior, provocando finalmente que ésta se desplace arrastrando parte de los compuestos de la piedra, dejándola con una superficie descohesionada.

Morteros

Los morteros estudiados de Menga corresponden todos a intervenciones recientes poco afortunadas. Los morteros grises corresponden a los típicos de cemento portland, dónde además de los componen-

tes del cemento (que pueden liberar álcalis), existe yeso en gran abundancia. Su estado de conservación es bueno, pero su composición puede ocasionar a corto plazo, en presencia de humedad, la formación de sales solubles, peligrosas para la conservación del material pétreo.

El mortero que recubre las partes bajas de uno de los pilares centrales, compuesto fundamentalmente de yeso, y que se encuentra muy disgregado, sería recomendable eliminarlo, ya que además de que actualmente no cumple la función deseada, puede estar aportando sulfatos a la piedra.

Todas las muestras estudiadas de Romeral presentan composición fundamentalmente carbonatada. El mortero entre aparejos corresponde a un mortero de cal de alguna intervención pasada, y la costra fina superficial se puede atribuir, por su composición, a una lechada de cal.

Ficha técnica

Estudios Analíticos y Redacción

Jesús Espinosa Gaitán, Geólogo

Análisis Químico por Transformadas de Fourier (F-IR)

Francisco Gutiérrez Montero, Químico

Referencias bibliográficas

ADAMS A. E., MACKENZIE W. S. & GUILFORD. C. (1984): *Atlas of sedimentary rocks under the microscopy*. Longman Scientific & Technical.

CHOQUETTE, P. W AND PRAY, L. C (1970): *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 54, pp: 207-250.

DUNHAM, R. J (1962): *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. In W. E. Ham (Ed), *Classification of carbonate Rocks*. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., 1, pp: 108-121.

ESPINOSA GAITÁN, J. (1997): *Propuesta de normalización para la descripción petrográfica de materiales pétreos*. Boletín del I.A.P.H nº18 pp:77-81.

FOLK, R. L., (1962): *Spectral subdivision of limestone types*. In W. E. Ham (Ed), *Classification of carbonate Rocks*. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., 1, pp: 62-84.

GARCÍA RUZ, L. (1987): *Reconocimiento geológico del conjunto dolménico de Antequera*. En Proyecto de Consolidación del Dolmen de Menga. Conjunto dolménico de Antequera (Málaga). Inédito.

GROSSI C. M., ESBERT, R. M (1994): *Las sales solubles en el deterioro de rocas monumentales. Revisión Bibliográfica*. Materiales de Construcción, Vol 44, nº 235.

I.G.M.E: *Mapa geológico de España. Hoja 1023- Antequera*.