

EL CRETACICO DEL CLAUSTRO ROMANICO DE SANTO DOMINGO DE SILOS

POR

FRANCISCO MINGARRO MARTÍN * y MARÍA CONCEPCIÓN LÓPEZ AZCONA **

RESUMEN

Se hace un estudio Petro-arqueológico del Claustro Románico construido entre los siglos XI al XIII. Entre los puntos que merecen destacarse están los siguientes:

Datación del entorno geológico, que comprende materiales dolomíticos desde el Jurásico al Cretácico superior.

En las litofacies dolomíticas del Maestrichtiense superior se localizan las canteras de donde se sacó la piedra para la construcción del Claustro.

Se analizan muestras de Cimacios, Capiteles, Fustes y Basas por petrografía, difracción de rayos X y análisis químicos, obteniendo una composición dolomítica, con sales de SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- de Na y K principalmente, restos deteriorados de fósiles, algún clasto de cuarzo y material arcilloso.

Se trata de una dolomitización, a partir de Aragonito, explicándose su porosidad, principalmente Móldica y en Canales.

RESUME

On étudie le Cloître Roman du point de vue Pétro-archéologique; il a été construit pendant les siècles XI-XII et XIII; a ce sujet il faut souligner.

* Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense.

** Instituto de Geología Económica, CSIC.

Les alentours géologiques qui montrent des matériaux dolomitiques dès le Jurassique au Crétacé supérieur.

Dans les litofaciès dolomitiques du Maestrichtien supérieur les carrières, où la pierre à construire le Cloître a été enlevée, se trouvent.

Echantillons des Cimaises, des Chapiteaux, des Futs et des Bases, ont été analysés au moyen de la Pétrographie Microscopique, la Difractometrie et la Chimie Analytique, ces analyses montrent une composition dolomitique avec des sels de $\text{SO}_4^{=}$ Cl^- et NO_3^- de Na et K principalement, il y a aussi des débris dégradés de fossiles, quelque grains de Quartz et de matériel argileux.

Ils présentent une dolomitization qui a affectée a l'aragonite, faisant une porosité, principalement et Moulds et en Chaux.

INTRODUCCION

El Claustro Románico del Monasterio de Santo Domingo de Silos se comenzó a construir en el siglo XI, con la llegada del Abad Santo Domingo, comenzando por las galerías norte y este, y en el siglo XII se concluyó con las sur y oeste, siendo al parecer la del oeste la última que cierra el cuadrilátero irregular que forma el Claustro. Posteriormente en el siglo XIII se añadió el piso superior.

Estudiando petrológicamente los deterioros ocasionados con el tiempo a esta joya única del Románico, así como el entorno geológico del Monasterio, con objeto de localizar las canteras de donde procedía la piedra de su construcción, se ha llegado a la conclusión de que fueron ubicadas y extraída la piedra, de los materiales carbonáticos del Maestrichtiense superior, litofacies antes denominadas como Garumniense.

La zona de Santo Domingo de Silos se localiza en el borde Mesozoico sur-occidental de la Sierra de la Demanda; en conjunto, se define un sinclinorio asimétrico con dirección NW-SE periclinal, buzando al NW, y limitado al NE por el anticlinal de Carazo, y al SW el de Peñacoba-Mamolar, ambos representados por la facies Wealdica, mientras el sinclinorio corresponde a la formación carbonática cretácica, hasta su parte más alta estratigráficamente representada por la facies llamada antiguamente Garumniense.

Prescindiendo de la base Cenomanense de naturaleza samítica con un tramo inferior concordante con el Albense, y otro superior de margas calcáreas y calizas estratificadas en capas poco potentes, la base fundamental del Sinclinorio de Santo Domingo de Silos está constituida por las litofacies carbonáticas, datadas como Turonenses-Senonenses, en las que, aún habiéndose definido diversos pisos por sus asociaciones faunísticas, litológicamente, queda constituido por

dos tramos, uno calcáreo-dolomítico bien estratificado e inferior, y otro más carbonático, esencialmente dolomítico y marino, superior, ampliamente representado al NE de Santo Domingo, pasando por tramos calco-margosos, calco-dolomíticos y calco-samíticos de poca importancia litológica, aunque sí faunística y estratigráfica; tal vez, el tramo inferior corresponda a un Turonense y el superior al Coniaciense, o como señala algún autor, se trata de un conjunto de tramos indiferenciados estratigráficamente que comprende desde el Turonense medio al Maestrichtiense inferior.

Al E de Santo Domingo, se localiza un complejo litológico que corona las formaciones cretácicas del Sinclinario de Silos. Se presenta absolutamente concordante con el conjunto calco-dolomítico Turonense medio-Maestrichtiense inferior, mostrando el amplio sinclinal con el que se resuelve el Sinclinorio de Santo Domingo, completamente asimétrico, con el eje fallado coincidente con el Río Mataviejas, donde muestra su flanco prácticamente vertical, e incluso invertido, mientras el flanco N se tiende con buzamiento de 22° al S.

El complejo queda formado por cuatro niveles carbonáticos, alternando con otros margo-arcillosos y pelítico-samíticos de tonalidades rojizas, y que por sus características concordantes más al W con las formaciones paleógenas, se ha considerado como el tramo de facies Garumniense, pero que por sus caracteres estructurales, y según las ideas actuales mayoritarias, es preferible atribuirle una edad Maestrichtiense superior.

ESTUDIO PETROLOGICO

Sin conocer con la máxima exactitud las características petrográficas de una obra de arte y el medio ambiente en que se encuentra difícilmente se podrá abordar la adecuada tecnología de su conservación o restauración.

Una de las dificultades y peculiaridades propias de la Petrología arqueológica radica en tener que afrontar la determinación de las propiedades de las rocas con que fueron elaboradas las piezas arquitectónicas, a expensas de muestras muy peculiares, pues son múltiples las circunstancias económicas, políticas, artísticas y sobre todo propias de la misma investigación científica que impiden la aplicación de diversas técnicas analíticas a todos los ejemplares disponibles y a veces ni siquiera a aquellos ejemplares más interesantes por su deterioro o estado de conservación, por lo que ha de realizarse un análisis comparativo de los diversos resultados obtenidos con las distintas técnicas analíticas de posible aplicación a las muestras, y dichos análisis serán los que denuncien las características petrográficas de cualquier obra de arte.

Análisis micrográfico

De las 63 muestras que se tomaron para el estudio del Claustro y su entorno geológico, sólo 34 pertenecen al Claustro, están localizadas en las paredes interiores del mismo y en diversos puntos internos o externos de capiteles, fustes, basas, cimacios o en los relieves de las cuatro esquinas, etc., y las 29 restantes a materiales geológicos de los alrededores y a las identificaciones de las canteras originales tan importantes e imprescindibles para acudir a ellas cuando sea necesario realizar reposiciones de sillares, reconstrucciones de piezas, etcétera.

Al Microscopio Petrográfico sólo se pudieron estudiar 19 ejemplares del Claustro y 10 de rocas carbonáticas del entorno.

Sin entrar en una exhaustiva y detallada descripción de muestras y lugar de procedencia se puede resumir el estudio micrográfico de la siguiente manera:

A) Muestras del tramo considerado como Turonense a Maestriciense inferior.

Se trata de una roca microcristalina, de dolo-microesparita, que forma un mosaico de cristales de unos seis micrómetros. En la masa cristalina se aprecian algunas fisuras con romboedros de calcita en muy escasa proporción, así como zonas más oscuras impregnadas por óxidos férricos y minerales arcillosos, junto con algún clasto de cuarzo subredondeado. Podría definirse como una Dolomicrita pelítica carente de porosidad y restos fósiles.

B) Al NW de Santo Domingo de Silos se encuentran las ruinas del Monasterio de San Francisco, del que se han tomado sillares para alguna reconstrucción del de Silos.

Se trata de una roca Dolomítica microesparítica que presenta zonas de grietas, a veces huecas y a veces rellenas de calcita esparítica o microcristalina. En algunas grietas aparecen cristales alargados transparentes, que podrían representar minerales salinos, también aparecen clastos de cuarzo micrométricos con huellas sensibles de corrosión.

Se podría definir como una Dolomita calcárea, algo pelítica, con algunos relictos que pudieron ser fósiles y con porosidad geódica o «vag» increcional.

C) Muestras del Claustro.

Prácticamente la totalidad de las muestras pertenecientes al Claustro corresponden a Dolomias con estructura esparítica, con cristales calcíticos y más o menos proporción de minerales arcillosos, siempre en cantidades muy pequeñas. Se puede decir que el componente

fundamental es la Dolomita, mientras que la Calcita se presenta como secundario o incluso escaso, mostrando sólo indicios de clastos de cuarzo subredondeado, y en menor proporción los restos de óxidos férricos y minerales arcillosos. A veces aparecen fantasmas de restos fósiles (Ostrácodos y Foraminíferos), generalmente calcificados con una cierta, aunque no muy fuerte, porosidad de tipo móldico, geódico, en canales o cavernosa.

D) Muestras de las posibles canteras.

Se localizan al NW del Monasterio de San Francisco, en el segundo tramo carbonático del complejo considerado como Maestrichtiense superior.

Se trata de una masa criptocristalina de Dolomita algo arcillosa, sobre la que aparecen restos fósiles inclasificables, por presentarse completamente transformados en masas dolomíticas criptocristalinas y a veces huecos que parecen han sido dejados por Foraminíferos o por Ostrácodos.

Los poros son esencialmente móldicos y geódicos, apareciendo una especie de fantasmas de canales donde se encuentran especialmente los cristales microesparíticos de calcita. Se podrían considerar estas rocas como Biodolomicritas o Dolomicroesparitas calcáreas, según su composición.

Análisis difractométrico

Los análisis por difracción de rayos X se realizaron sobre 10 muestras, procedentes del Claustro, de las que se puede concluir, con todas las reservas de este análisis como cualitativo, que el mineral esencial dominante es la Dolomita, seguida por la Calcita en menor proporción, seis muestras denuncian la presencia de Yeso, y prácticamente la totalidad sólo con indicios de Cuarzo; en dos ejemplares se ha identificado Halita, y en cuatro indicios de minerales de la arcilla, del tipo Illita o Montmorillonita.

De los ejemplares estudiados por rayos X, seis coinciden con los estudiados al microscopio, denuncian el carácter esencialmente dolomítico-calcáreo de esas rocas, con impurezas de cuarzo, óxidos férricos y minerales de arcilla, evidenciando el carácter salino de su medio generador la presencia escasa de sulfatos y cloruros, aunque también podría tratarse de efectos hipergénicos, que como contaminantes pudieran afectar y denunciar los deterioros presentes en estos elementos arquitectónicos; no obstante, el enclave del Monasterio en las afueras de un pequeño pueblo con poco tráfico, y ninguna industria, pone en duda esta segunda hipótesis.

Análisis químico

Sólo se pudo hacer el análisis químico de 17 ejemplares, ya que en los restantes o no se disponía de cantidad suficiente o se prefirió utilizarla en otras técnicas analíticas.

De estas muestras, nueve coinciden con las estudiadas al microscopio, y de ellas, cinco se trataron por difracción, que son las que teníamos en mayor cantidad y las coincidentes con todos los estudios analíticos, para poder realizar el tratamiento comparativo entre unas y otras.

Se determinaron los porcentajes de elementos insolubles en ácido Clorhídrico caliente, así como los de Magnesio, Calcio, Sodio, Potasio, Carbonatos, Sulfatos, Cloruros, Nitratos, y las relaciones de cal y magnesio, para la clasificación petrográfica de la roca, siguiendo los criterios tan utilizados de Frolova.

Se debe destacar, en principio, una gran homogeneidad en lo referente a la clasificación geoquímica de las rocas, pues sólo dos corresponden a Dolomías magnesianas y a Dolomías poco magnesianas, y precisamente éstas pertenecen al complejo denominado como Turonense.

Por sus relaciones de óxidos cálcicos a magnésicos, sólo un ejemplar se podría clasificar como Caliza dolomítica, mientras el resto, pertenecientes al Claustro, las Canteras, e incluso las del Monasterio de San Francisco, son Dolomías calcáreas la mayoría y Dolomías poco calcáreas, por lo que el 82,35 por 100 de las muestras se sitúan en este término, mientras el 11,75 por 100 es magnesiano y sólo el 5,88 por 100 es más calcáreo.

Los residuos insolubles resultan ser relativamente abundantes, pero sin llegar a clasificar ninguna muestra como margosa, aunque todas podrían llevar el calificativo de «pelítica». No obstante, conviene destacar que el ejemplar más magnesiano es el que menor porcentaje presenta de estos residuos con un 4,36 por 100, mientras que el de mayor porcentaje, 17,16 por 100, corresponde a la única roca clasificada como Caliza dolomítica.

Prescindiendo de estas anomalías extremas, el resto de las rocas se pueden clasificar como Dolomías calcíticas, con un promedio del 64 por 100 de Dolomita y del 25 por 100 de Calcita.

A la vista de dichos resultados, es de esperar que el resto de los componentes ha de ser muy escaso, resultando en segundo lugar el Yeso o Anhidrita, según la proporción de Sulfatos, pero que, conforme a la geoquímica observada, se deben atribuir éstos, como componente yesífero, aunque su presencia sea escasa, pues el 70 por 100 de las muestras tienen menos del 5 por 100 de Sulfatos; es decir,

menos del 8 por 100 de Yeso, e incluso, de estas muestras el 35 por 100 presentan porcentajes inferiores al 1 por 100.

Resulta interesante constatar que las muestras con mayor porcentaje de Sulfatos (hasta el 19,30 por 100) pertenecen a relieves de las esquinas del Claustro, que son los más deteriorados, aunque atribuidos al mismo autor, lo que indica que posiblemente utilizó la misma piedra y que se ha datado como de los más antiguos realizados en el Claustro.

Menos importantes son los componentes restantes, ya que sólo en tres muestras se llega a alcanzar el 1 por 100; es decir, 1,6 por 100 de Halita, si no se considera la proporción de Potasio.

Por regla general, entre Cloruro sódico y potásico, e incluso considerando la cantidad de Nitratos, no se llega a alcanzar el 1 por 100 de estas sales más solubles.

De todas formas, se ha puesto en evidencia que las muestras analizadas, pertenecientes al Claustro e incluso al Monasterio de San Francisco, presentan caracteres evidentes de identidad con las tomadas en la que hemos considerado la posible cantera que suministró los materiales para los sillares del Claustro, y que estratigráficamente se ha datado como de edad Maestrichtiense superior (facies Garumniense).

CONSIDERACIONES PETROGENETICAS

De los resultados obtenidos con el Estudio Petrológico y los análisis realizados, se pueden dar algunas consideraciones genéticas de gran interés, en cuanto al mejor conocimiento de los materiales Cretácicos utilizados en la construcción del Claustro, y muy especialmente para su conservación y la comprensión de su posible evolución con el tiempo, una vez trabajados y transformados en obras de arte.

Se denuncia, en primer lugar, que estas rocas se formaron en una cuenca marina, esencialmente carbonática, según lo determina, no sólo su composición, sino también la presencia de relictos fósiles, de posibles Foraminíferos y Ostrácodos.

La casi omnipresencia de sales, especialmente Sulfatos e incluso algunos Cloruros alcalinos, acusan hacia ciertas concentraciones salinas, que apuntan hacia escasas profundidades de la cuenca sin-genética, lo que puede favorecer una mayor concentración iónica por procesos evaporíticos.

Si, además, se tiene en cuenta una proporción relativamente importante de residuos insolubles arcillosos y cuarcíticos, se demues-

tra su influencia con aportes de medios continentales, por lo que las aguas singenéticas corresponden a zonas marinas costeras, en que si bien las primeras dominan, las aguas continentales fluctúan cuantitativamente, proporcionando diferentes medios geoquímicos de precipitación al variar las concentraciones iónicas del medio.

En estas condiciones de relativa alta salinidad, se produce una precipitación primaria de Carbonato cálcico en un medio geoquímicamente bastante energético, por lo que se estructura en forma de Aragonito, al igual que los exoesqueletos de organismos. Al separarse el carbonato cálcico en fase sólida, el medio se enriquece relativamente en Magnesio y otros iones (Sulfatos, Cloruros, Sodio..., etc.), por lo que aquellos carbonatos rómbicos se reorganizan en fases más estables trigonales, formando calcitas magnesianas y dolomitas.

Es muy difícil establecer los momentos de transformación de los carbonatos y son muy dispares las teorías que pretenden justificar unos y otros procesos; sin embargo, termodinámicamente se demuestra la inestabilidad cristalográfica del Aragonito, por lo que pronto se ha de transformar en otros minerales trigonales, al igual que se demuestra la prácticamente imposibilidad de transformación masiva de la Calcita en Dolomita.

Todo esto justifica que al aumentar la concentración de iones Sulfato por evaporación, e incluso por descomposición anaerobia de sulfoproteínas de organismos, esto ayuda a la precipitación del Yeso, aumentando la alcalinidad y descomponiendo el Carbonato cálcico aragonítico, reorganizándolo en el Sistema Trigonal como Calcita, Calcita magnesiana, Protodolomita e incluso en Dolomita, según el nivel energético del medio y la concentración de Magnesio en el mismo.

Estas transformaciones, que algunos tratadistas consideran singenéticas, y otros como prediagenéticas o de una diagénesis precoz, llevan consigo, en el caso del Aragonito, que se dolomitice (caso más general), produciéndose una disminución de volumen de un 6,28 por 100, por lo que aparecen huecos móldicos de fósiles, cavernas e incluso geodas y fisuras, tal vez cronológicamente citadas en la evolución del sedimento; lo cual justifica dos hechos observados: uno, el que se presenten estas morfologías de poros, y dos, que sea en las muestras con fisuras o geodas donde se han reconocido las formaciones de otras sales (yesos o cloruros) más solubles.

Todas estas consideraciones petrogenéticas demuestran que la presencia de sales solubles como yesos o incluso cloruros o nitratos, nunca puedan ser justificables como consecuencia de una transformación posterior cuando la roca está en contacto con un nuevo ambiente hipergénico alterable.

No se trata de procesos de yesificación o cloruración hipergénica, sino de que éstos minerales son inherentes con la formación petrogenética de la roca.

Cualquier proceso hipergénico de alteración química de estos materiales, definibles como una yesificación de calizas, dolomías o anhidritas, lleva consigo un considerable aumento de volumen, que sólo se puede traducir en roturas y dislocaciones del material, nunca presentes en las rocas estudiadas.

Asimismo, estas consideraciones concuerdan perfectamente con las litofacies señaladas anteriormente, que se dataron como pertenecientes al Maestrichtiense superior y de las que se tomaron las muestras de Canteras.

BIBLIOGRAFIA

- SAN MIGUEL, M. (1950): Mapa Geológico de España, Hoja 314, Cilleruelo de Abajo (Burgos). Inst. Geol. y Min. de España.
- FLOQUET, M. (1979): Itinéraire Géologique et aspects paléontologiques Sédimentologiques du Crétacé Moyen dans la région de Santo Domingo de Silos (province de Burgos). *Cuadernos de Geología Ibérica*, vol. 5, pp. 227-240.
- GUTIÉRREZ, G., y ROBLES, F. (1979): Consideraciones sobre la utilización del término «Garumniense» en la Cordillera Ibérica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, vol. 5, pp. 385-405.