



**YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE ACINIPO**

**RONDA, MÁLAGA.**

**CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**

**Enero, 2008**

## **YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE ACINIPO (RONDA, MÁLAGA) CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES**

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	3
III.	RESULTADOS	
	III.1 Difracción de Rayos X.....	12
	III.2 Microscopio de luz Polarizada. Estudio Petrográfico.....	15
IV.	CONCLUSIONES GLOBALES.....	.40

## **I. INTRODUCCIÓN**

El presente informe se emite como respuesta a la petición realizada por el Museo de Ronda, solicitando apoyo técnico y aportación en cuanto a la caracterización de Materiales presentes en el Yacimiento Romano de Acinipo para el desarrollo del proyecto de Conservación y Difusión del Yacimiento.

Para ello se realizó una toma de muestras de diferentes elementos constructivos y de diversas zonas del yacimiento y se ha realizado un estudio mineralógico-petrográfico con distintas técnicas de análisis complementarias entre ellas.

Los objetivos de la realización del estudio básicamente consisten en aportar un mejor conocimiento de la materialidad del conjunto, obtener información de valor arqueológica, y en su caso tener validez para la toma de decisiones en los criterios de intervención de la conservación del conjunto.

## **II. MATERIAL ESTUDIADO Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS.**

En la tabla 1 se recoge la descripción de las muestras estudiadas, especificándose para cada muestra las técnicas analíticas empleadas en su estudio.

Posteriormente, en las imágenes 1 a la 12 aparecen distintas imágenes de la extracción de las muestras objeto de este estudio.

**Tabla 1.** Descripción de las muestras estudiadas y técnicas empleadas

<b>Sigla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Técnicas</b>
<b>ACC-1</b>	<b>Calcarenita textura fina.</b> Bloques sueltos para probetas	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-2</b>	<b>Calcarenita textura fina</b> de "Opus africanus" en la Domus; para comparar con ACC1	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-3</b>	<b>Opus Signinum</b> en una fuente en la Domus	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-4</b>	<b>Ladrillo</b> de la atarjea de la Domus (descontextualizado)	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-5</b>	<b>Ladrillos</b> en la atarjea de la Domus (contextualizado)	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-6</b>	<b>Fragmentos de Pintura Mural</b> con mortero del Lararium (descontextualizado); tratado con Paraloid	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-7</b>	<b>Hormigón de cal</b> en la Domus, del suelo que ha deslizado	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-8</b>	<b>Roca arenítica detrítica</b> , bastante abundante. Extraída en paramento de la Domus	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-9</b>	<b>Pavimento cerámico</b> de las termas; para comparar con ACC4 y ACC5	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-10</b>	<b>Sucesión de revestimientos</b> desde el ladrillo hasta la capa superior en las Termas junto a la tubería	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-11</b>	<b>Sucesión de revestimientos</b> desde el ladrillo hasta la capa superior en los escalones de las Termas	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-12</b>	<b>Hormigón de revestimiento</b> de las Termas (Opus Signinum), <b>parte interna</b>	<b>DRX,MOP</b>
<b>ACC-13</b>	<b>Hormigón de revestimiento</b> de las Termas (Opus Signinum), <b>parte externa</b>	<b>DRX,MOP</b>

A continuación se describen las técnicas empleadas en el estudio y que resultados que se obtienen con cada una de ellas:

### ***Difracción de Rayos X (DRX)***

La DRX es una técnica que permite la identificación de los compuestos cristalinos (minerales) presentes en la muestra en estudio, triturando la muestra hasta

obtener un polvo muy fino sobre el que se hace incidir un haz de rayos X. Esta técnica facilita el conocimiento cualitativo de la composición mineralógica del total de la muestra. La intensidad de los picos diagnóstico de cada mineral es proporcional a la cantidad de ese mineral en la muestra, pudiéndose realizar una estimación semicuantitativa de los minerales mayoritarios (error posible  $\pm 5\%$ ).

En el estudio se ha empleado un Difractómetro PHILLIPS 1410 del Departamento de Mineralogía y Petrología de la Universidad de Granada, y otro de marca BRUKER perteneciente al Laboratorio de Rayos X del CITIUS de Sevilla.

### ***Microscopia Óptica de Polarización (MOP)***

Este método permite identificar minerales mayoritarios y minoritarios mediante sus propiedades ópticas, y además se puede realizar un *estudio petrográfico textural*, analizando en detalle la naturaleza de los elementos que constituyen los materiales, las formas y tamaños (absolutos y relativos) de dichos elementos, las relaciones mutuas entre ellos y sus abundancias relativas.

Para la observación de los materiales con esta técnica se requiere la preparación de láminas delgadas obtenidas por corte y métodos de abrasión. En el estudio se ha empleado un microscopio petrográfico LEICA DMLP, con objetivos de 2,5x, 5x, 10x, 20x y 63x y una videocámara para la captura de imágenes.

### ***Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con EDX***

Con esta técnica se consiguen imágenes de las muestras en estudio a aumentos difíciles de alcanzar con otras técnicas, permitiendo observar y analizar químicamente la composición elemental de zonas muy puntuales de las muestras en estudio. Esta técnica se ha empleado para el estudio de pigmentos en las pinturas murales.



**Fig. 1** Zona toma de la muestra ACC-1. Bloque para probetas



**Fig.2.** Punto extracción de la muestra ACC-2 de "Opus africanus"



**Fig.3** Zona toma de la muestra ACC-3 de Opus Signinum



**Fig.4.** Punto extracción de la muestra ACC-4 de (ladrillo Domus)



**Fig. 5** Zona toma de la muestra ACC-5 (Ladrillo Atarjea Domus)



**Fig. 6.** Punto extracción de la muestra ACC-7. Hormigón cal



**Fig. 7** Zona toma de la muestra ACC-8. Piedra arenisca paramento



**Fig. 8.** Muestra ACC-9. Pavimento cerámico de las Termas"



**Fig. 9** Zona toma de la muestra ACC-10. Revestimientos Termas



**Fig. 10.** Zona extracción de la muestra ACC-11. Escalones Termas



**Fig. 11** Zona toma de la muestra ACC-12 Opus Signinum Termas



**Fig.12.** Extracción de la muestra ACC-13, parte externa revestimientos

### III. RESULTADOS

#### III.1 Difracción de Rayos X

Los resultados obtenidos con esta técnica son los que aparecen en la tabla 2. De forma segura sólo se identifican los minerales que se encuentren en proporciones superiores al 5%.

**Tabla 2.** Composición Mineralógica expresada en %

	Cuarzo	Calcita	Feldesp	Filosil	Dolom	D-W	Gehl
<b>ACC-1</b>	6	94	-	-	-	-	
<b>ACC-2</b>	7	93	-	-	-	-	-
<b>ACC-3</b>	25	69	<5	<5	-	-	Ind
<b>ACC-4</b>	47	13	19	5	-	9	7
<b>ACC-5</b>	49	23	<5	19	-	-	<5
<b>ACC-7</b>	5	53	-	-	42	-	-
<b>ACC-8</b>	33	62	<5	5	-	-	-
<b>ACC-9</b>	45	28	5	18	-	-	<5
<b>ACC-12</b>	20	77	<5	Ind	-	-	Ind
<b>ACC-13</b>	9	85	5	<5	-	-	Ind

**Cuarzo:** SiO<sub>2</sub> **Calcita:** CaCO<sub>3</sub>; **Feldespatos, Filosilicatos:** Silicatos aluminicos con cationes de Na, K, Ca, Fe, Mg...; **Dolomita:** CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; **Diopsido-Wollastonita, Gehlenita:** Silicatos cálcicos

### ***Piedra***

A la vista de los resultados se observa que las muestras de piedra ACC-1 y ACC-2 corresponden a un litotipo calcáreo y tienen prácticamente idéntica composición, siendo esta prácticamente en su totalidad de calcita, con cantidades escasa de cuarzo. Como se verá en el estudio al microscopio ambos tipos corresponden al mismo tipo de piedra.

La otra muestra de piedra (ACC-8), aún teniendo como mineral más abundante la calcita, contiene también un elevado contenido en cuarzo, además de otros minerales en menores proporciones (feldespatos y filosilicatos), que manifiestan que esta roca tiene una importante componente detrítica.

### ***Ladrillos***

Como se observa en los resultados las muestras ACC-5 y ACC-8 presentan composiciones mineralógicas prácticamente idénticas, y que a su vez son parecidas a la mineralogía de la muestra ACC-4, aunque existen algunas diferencias significativas. Como se observa las tres muestras contienen como mineral mayoritario el cuarzo (desgrasante) y calcita. En el caso de las muestras ACC-5 y ACC-9 también aparecen cantidades importantes de filosilicatos, que indica que la temperatura de cocción no fue lo suficiente para que reaccionaran (al menos en su totalidad) y formaran silicatos de alta temperatura. En cambio, en la muestra ACC-4 la proporción es mucho menor, porque han reaccionado durante la cocción de la cerámica.

Es de destacar que en ésta última muestra aparecen cantidades importantes de diópsido y de gehlenita, que son minerales de alta temperatura que se formaron durante la cocción por reacción de las arcillas originarias. Esta muestra también contiene mayor proporción de feldespatos que igualmente pueden ser un indicador

de la temperatura de cocción, especialmente en arcillas de componente calcárea.

Todo parece indicar que el ladrillo ACC-4 fue cocido a temperaturas superiores que los otros dos, en los que sólo aparecen cantidades indicios de gehlenita, que es el mineral de neoformación que a menor temperatura comienza a formarse por reacción a altas temperaturas en arcillas calcáreas.

### ***Morteros (hormigones, revestimientos)***

A la vista de los resultado se puede concluir que todos los morteros estudiados son de cal, y además en casi todos ellos aparece de forma bastante abundante tal y como apunta el alto contenido en calcita.

En las muestras ACC-3, ACC-12 y ACC-13, tal y como se verá en el apartado de microscopia, al contener como árido fundamental fragmentos de cerámica, aparecen minerales propios de los mismos, predominando de entre todos ellos el cuarzo, que también puede aparecer aparte de los fragmentos cerámicos.

La muestra ACC-7 es completamente distinta a las demás ya que contiene una alta proporción de dolomita, que como se verá en el siguiente apartado corresponde al árido.

### **III.2 Microscopía Óptica de Polarización (MOP). Estudio Petrográfico.**

A continuación se recoge la descripción de las láminas delgadas de las muestras agrupadas por tipos de materiales.

#### ***Piedra***

##### **ACC-1 y ACC-2**

Este tipo de piedra corresponde a un tipo muy abundante en las estructuras arqueológicas del yacimiento junto a la caliza arrecifal con la que está construido el teatro, y cuya descripción se recoge en trabajos anteriores.

Las dos muestras estudiadas presentan características prácticamente idénticas por lo que su descripción se hará de forma conjunta.

Microscópicamente, y en corte fresco, las dos presentan color beige claro, y una textura que las incluye en un litotipo calcarenítico, estructura macroscópica homogénea, textura arenítica de tamaño medio de grano fino (<1mm) y clastos por general equigranulares. No se han detectado presencia de fisuras naturales.

La *mineralogía* fundamental es calcita, tanto en aloquímicos como en ortoquímicos, sumando globalmente entre el 80-90%. El segundo mineral en abundancia es el cuarzo (7-15%) que aparece como terrígeno. Como minerales accesorios aparecen óxidos y oxihidróxidos de Fe (responsables de la coloración amarillenta), y de forma aislada algún feldespato.

Los *aloquímicos* (partículas carbonatadas formadas en la cuenca sedimentaria marina: fósiles, oolitos, etc) suponen entre el 50-70% de los componentes sólidos de la roca y se constituyen fundamentalmente de peloides (pellets) que son

partículas carbonatadas de tamaño arena y de estructura interna no reconocible. En éste caso las partículas tienen tamaño arena fina media (0,125-0,3 mm).

Ocasionalmente también se han observado "granos agregados", que aunque de difícil identificación por su alto nivel de micritización podrían corresponder a oolitos envueltos por una matriz fina micrítica.

Los *terrigenos* (partículas procedentes de fuera de la cuenca de sedimentación) no superan en ningún caso el 10% del total de los componentes de la roca. En su mayoría se trata de cuarzo de tamaño arena fina o muy fina (< 0,2 mm) con formas subredondeadas y subangulosas. Ocasionalmente se han observado granos de micas blancas de forma aislada.

Los *ortoquímicos* corresponden al carbonato cálcico de precipitación química, de la propia cuenca sedimentaria y/o diagenético (Dos tipos: esparita -tamaño de cristal >5 µm - y micrita tamaño cristal <5 µm). Estos suponen aproximadamente el 30-40% del total de los componentes. En su mayor parte se trata de esparita de neomorfismo, constituida durante la diagénesis, desarrollándose en algunos casos cristales de hasta 0,5 mm. En algunas zonas existe micrita singenética a los aloquímicos que aparece envolviéndolos como matriz fina, o de forma aislada. La micrita es más irregular y su abundancia menor.

La *Porosidad* de la roca (macroporosidad: poros de radio > 7 µm observables con esta técnica), se puede considerar bastante elevada (roca de alta porosidad >20%).

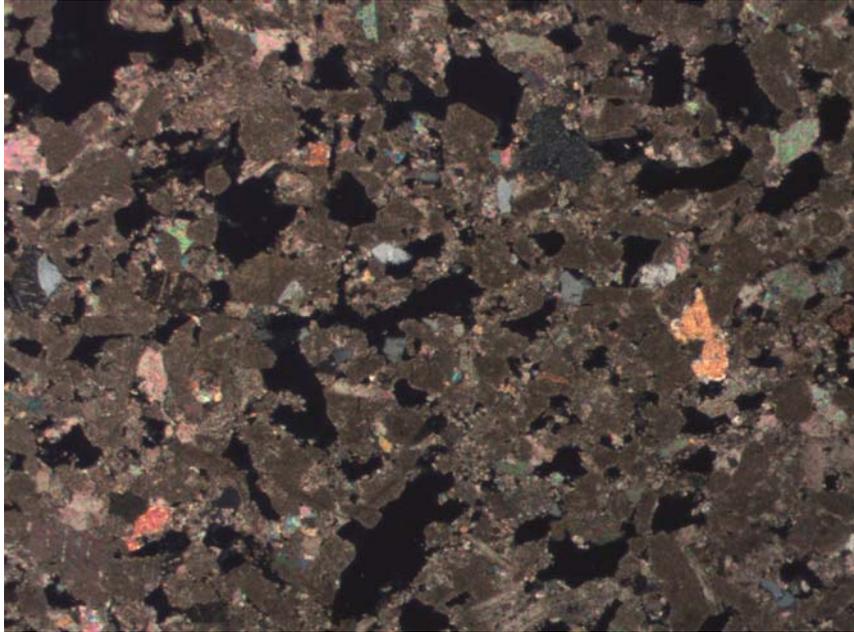
Los poros son fundamentalmente de tipo intergranular (existentes entre clastos), la cual se ha podido ver incrementada respecto a la originaria por la disolución parcial y pérdida de cemento y matriz fina carbonatada, fenómeno que se hace evidente en diversas zonas de las muestras, dónde la porosidad llega a hacerse

canalizada y además muy intercomunicada, por dónde el agua puede circular fácilmente.

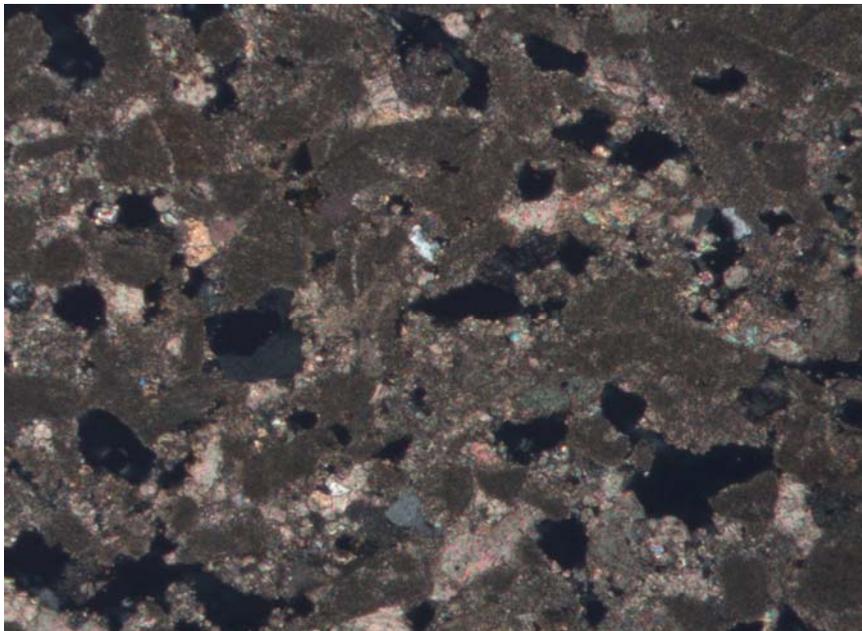
No se observa la presencia de microfisuras ni compuestos reprecipitados (sales solubles o recristalizaciones de calcita). Solamente de forma muy aislada se han encontrado escasos cristales que aparentan ser de yeso.

La *Clasificación* sistemática de la roca según la clasificación para rocas carbonatadas de Folk (1962) sería una "*Pelesparita*" ,y según Dunham (1962) un "*Packstone*"

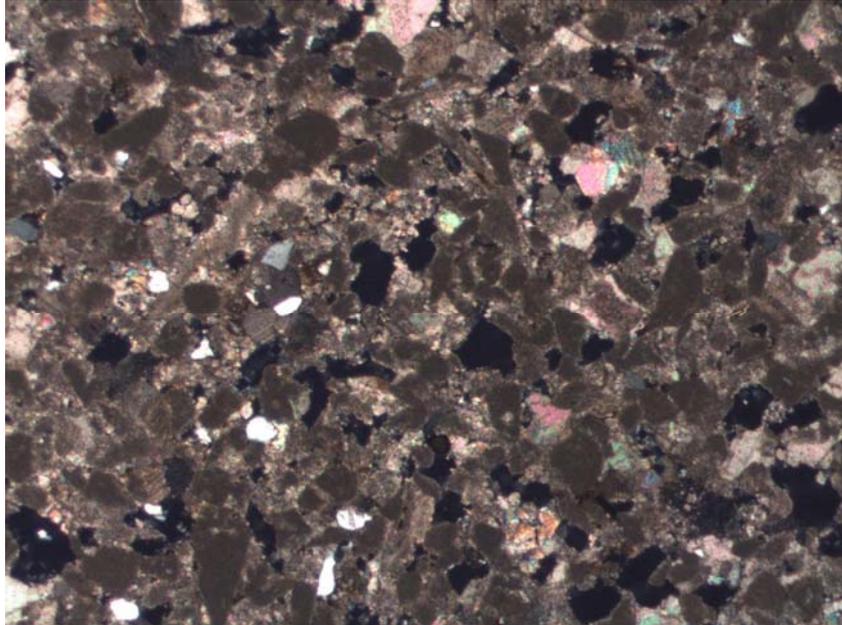
Por último mencionar que rocas de características muy similares aparece en construcciones más recientes de Ronda, como la Plaza de Toros, por lo que deben proceder de las mismas canteras o al menos de la misma formación geológica.



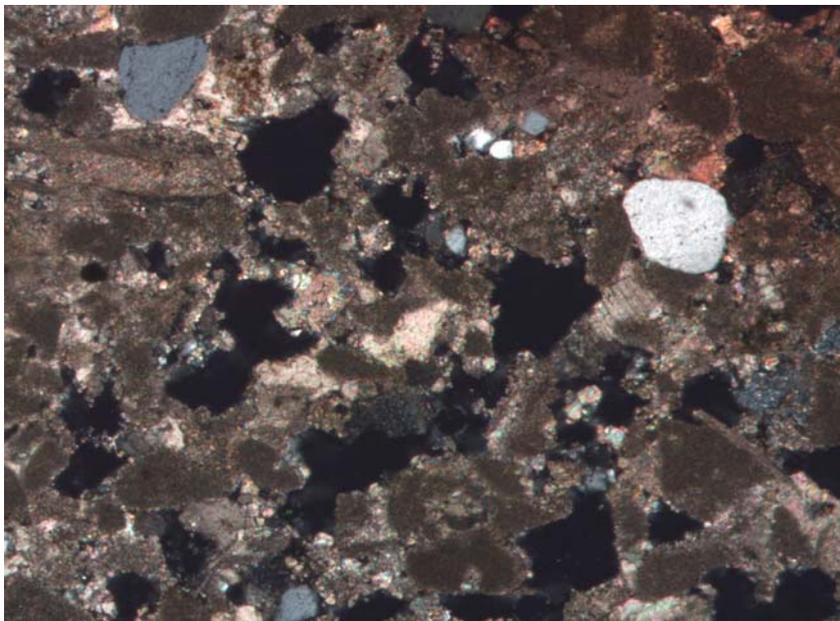
**Fig. 13. ACC-1.**Aspecto global, pellets y granos de cuarzo aislado. Cemento esparítico Objetivo 2,5 x



**Fig. 14. ACC-1.** Detalle a mayor aumento dónde se observa mejor la cementación esparítica entre las partículas de pellets. Objetivo 5 x



**Fig. 15. ACC-2.** Aspecto global, pellets y granos de cuarzo aislado. Cemento esparítico Como se observa es el mismo tipo que la muestra 1. Objetivo 2,5 x



**Fig. 16. ACC-2.** Detalle de una zona dónde se observa entre otros, la cementación esparítica y granos de cuarzo. Objetivo 5x

## ACC-8

Esta roca es distinta a la anterior aunque en apariencia y en textura tienen bastante similitud.

Microscópicamente, y en corte limpio, presenta un color más grisáceo, texturalmente se incluye en un litotipo arenítico de grano fino (< 1mm); sin embargo en este caso la fracción arenítica (trama) es mayoritariamente silícea. Genéticamente se podría considerar una roca de origen mixto (entre detrítica y carbonatada) mientras que la anterior pertenece al grupo de rocas carbonatadas, La estructura macroscópica es bastante homogénea, y los clastos por lo general equigranulares.

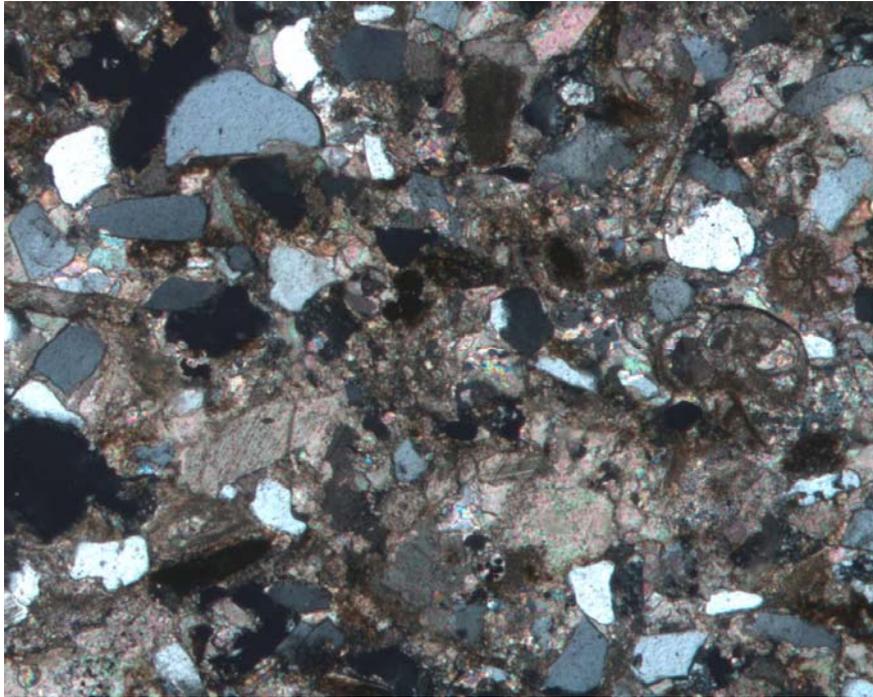
La *mineralogía* mayoritaria de la roca es de calcita, suponiendo en total el 60% de los componentes minerales (aloquímicos y ortoquímicos). El resto compone la fracción detrítica de la roca y se compone casi por completo de cuarzo (30-40%). Como minerales minoritarios aparecen micas blancas, biotita, algunos feldespatos, y ocasionalmente cloritas, óxidos de Fe y algunos fragmentos pequeños de rocas foliadas (micaesquistos). En algunas zonas de la matriz, poco frecuente, aparece yeso.

Siguiendo los criterios descriptivos de rocas detríticas, la **"trama"** de la roca supone aproximadamente el 50-60% de los componentes, y se constituye de granos de arena fina (0,25-0,5 mm de diámetro). Además de los compuestos detríticos mencionados (cuarzo, feldespatos...), se observan, de forma poco frecuente, algunos aloquímicos, fundamentalmente microfósiles (foraminíferos bentónicos), bastante removilizados, y fragmentos de conchas de difícil designación. Estos aloquímicos presentan aproximadamente el mismo tamaño que el cuarzo; en cambio las micas, cloritas y fragmentos de rocas pueden presentar tamaños mayores pero su abundancia es escasa.

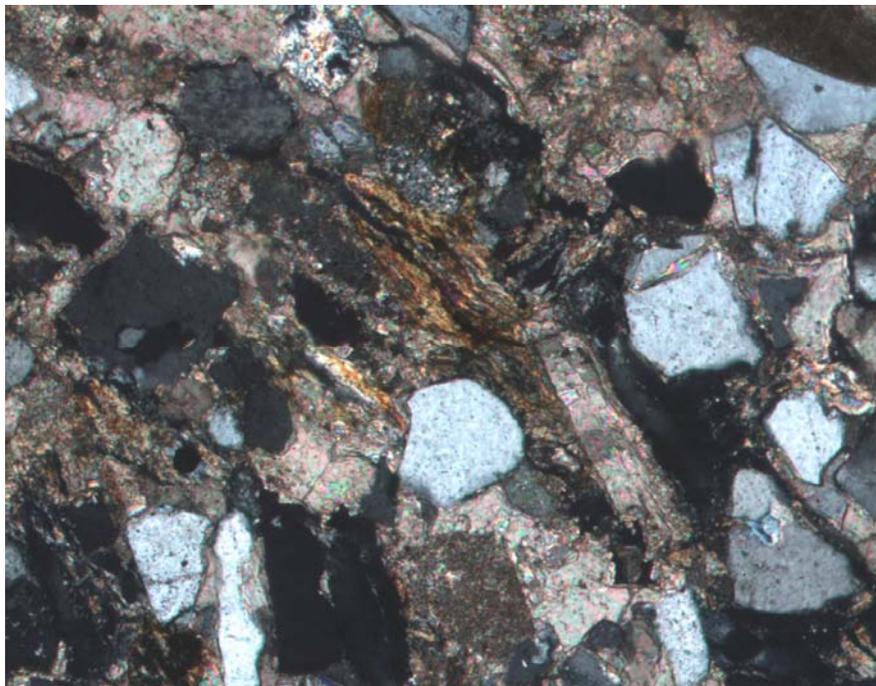
La **matriz** detrítica de la roca es muy escasa, estimándose por debajo del 5%, y su naturaleza es básicamente arcillosa. En base a esto el grado de empaquetamiento de los granos de la trama es muy escaso, considerándose de tipo flotante ya que no existe contacto entre ellos. Sin embargo existe una cementación carbonatada esparítica (calcita) de origen diagénético que es la que confiere la coherencia a la roca y su grado de compacidad. Este cemento esparítico supone aproximadamente el 50% de los componentes de la roca.

En base a estas características la roca se puede considerar genéticamente como de origen mixto entre detrítico y calcáreo, en borde de cuenca marina, con gran influencia de aporte continental, escasa matriz detrítica y muy abundante cementación esparítica, pudiéndose englobar como una "arenisca calcárea". Siguiendo la clasificación y criterios de Folk (1974) para Areniscas se incluiría en las "*Sublitoarenitas*".

La *porosidad* de la roca (macroporosidad: poros de radio  $> 7 \mu\text{m}$  observables con esta técnica), se puede considerar de intermisa a alta (15-25%), con poros de tipo intergranular (existentes entre clastos), la cual se ha podido ver incrementada respecto a la originaria por la disolución parcial y pérdida de cemento. También se ha observado en algunas zonas porosidad canalizada como consecuencia de la disolución.



**Fig. 17. ACC-8.** Aspecto global de la muestra dónde se observa la abundancia de cuarzo, algunos microfósiles, micas y cemento carbonatado. Objetivo 5 x



**Fig. 18. ACC-8.** Detalle de otra zona dónde se observan en el centro granos de micas, y el desarrollo de la cementación Objetivo 10x

## **Ladrillos**

Tras la observación de las láminas delgadas de las tres muestras se deduce que presentan texturas muy similares, y probablemente similar composición del material de partida, antes de la cocción. Las diferencias que se pueden establecer entre ellos derivan fundamentalmente de las transformaciones sufridas en la cocción, que son más notables en la muestra ACC-4, tal y como se ha visto en DRX. Aún así ninguno de los ladrillos muestra síntomas de temperaturas y transformaciones demasiado elevadas durante la cocción.

### **ACC-4**

Esta se caracteriza por mostrar una matriz que en algunas zonas muestran síntomas incipientes de vitrificación, aunque existen zonas con cierta birrefringencia que indica la incompleta reacción de las arcillas originarias, aunque no se observan filosilicatos (tipo illita) de forma aislada en la matriz.

El desgrasante se compone básicamente de cuarzo subanguloso o redondeado de granulometría media en torno a 0,3-0,4-mm de diámetro, aunque existen granos de hasta 1 mm o de 0,1 mm. También forma parte del desgrasante fragmentos de rocas micríticas que presentan ciertos síntomas de inestabilidad térmica. Aparece de forma ocasional algún fragmento de cerámica anterior (chamota) y numerosas partículas opacas diseminadas por toda la matriz. En algunas zonas menos afectadas por la cocción se insinúan moldes de microfósiles (globigerinas) que como se verá son muy abundante en las otras muestras, y en esta han desaparecido por la calcinación.

Todo indica que se trata de una cerámica procedente de una arcilla calcárea que ha sufrido una temperatura de cocción media-elevada.

Se ha observado la presencia de numerosos poros redondeados (vacuolas donde quedaban atrapados los gases en la cocción) y microfisuras con aspecto de ser de retracción tras la cocción. Ambos presentan sus bordes recubiertos de calcita secundaria (precipitada posteriormente, una vez puesto en obra el ladrillo), lo cual

indica la acción de fenómenos de disolución y reprecipitación en los poros de la calcita originaria, y una importante presencia de agua, y por tanto también de heladas en épocas estivales. Todos estos procesos son típicos en ambientes kársticos como en el que se encuentra emplazado este yacimiento arqueológico.

#### **ACC-5**

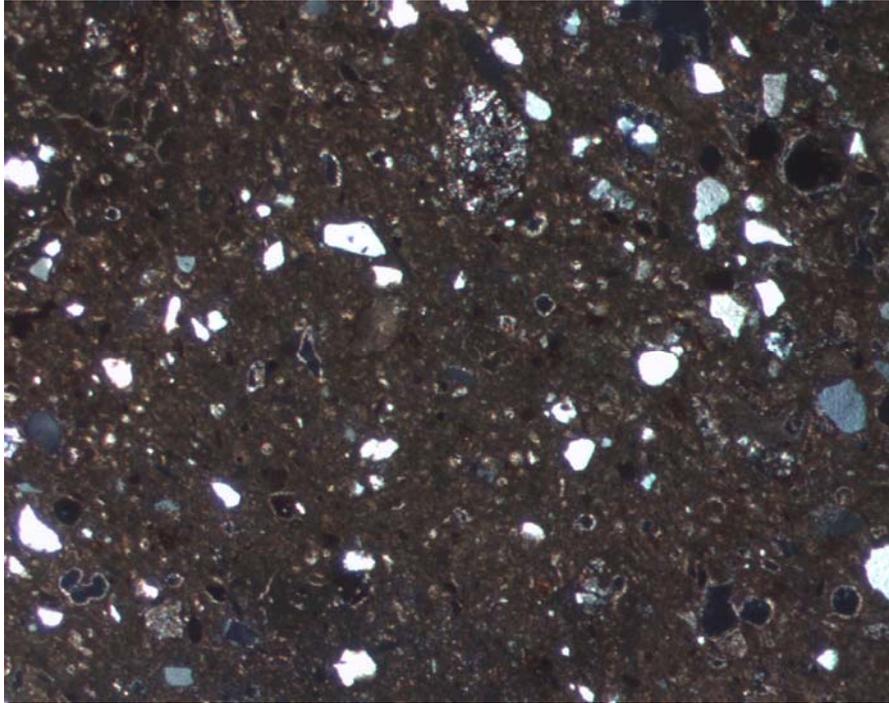
Esta muestra presenta la matriz completamente birrefringente sin síntomas aparentemente importantes de reacción de los componentes arcillosos y calcáreos. Por lo que se observa el material de partida es una arcilla muy rica en carbonatos, tanto en fracción fina como en elementos granulares, en este caso globigerinas (tamaño de 0,05 a 0,4 mm), que aparecen de forma muy abundante, distribuidas homogéneamente y sin apenas inestabilidad térmica.

Texturalmente es muy similar a la muestra anterior, siendo la principal diferencia condicionada por las temperaturas (y/o el tiempo) de cocción en cada pieza. En este caso el árido sigue siendo mayoritariamente de cuarzo que aparece prácticamente en la misma abundancia, la misma granulometría, y formas subangulosas o redondeadas. También es significativo el contenido en micas de pequeño tamaño (tipo illita), las cuales al ser minerales laminares aparecen distribuidas paralelamente a la superficie externa del ladrillo, como consecuencia de la preparación de los moldes.

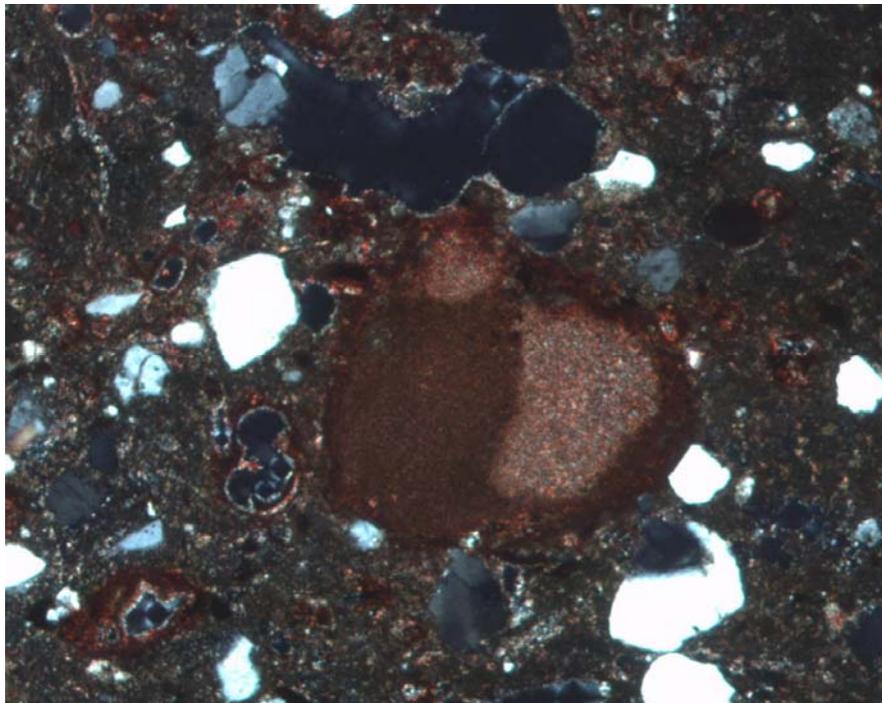
Al igual que en el caso anterior también son muy frecuentes los fragmentos de rocas carbonatadas micríticas, aunque sin síntomas de inestabilidad térmica.

#### **ACC-9**

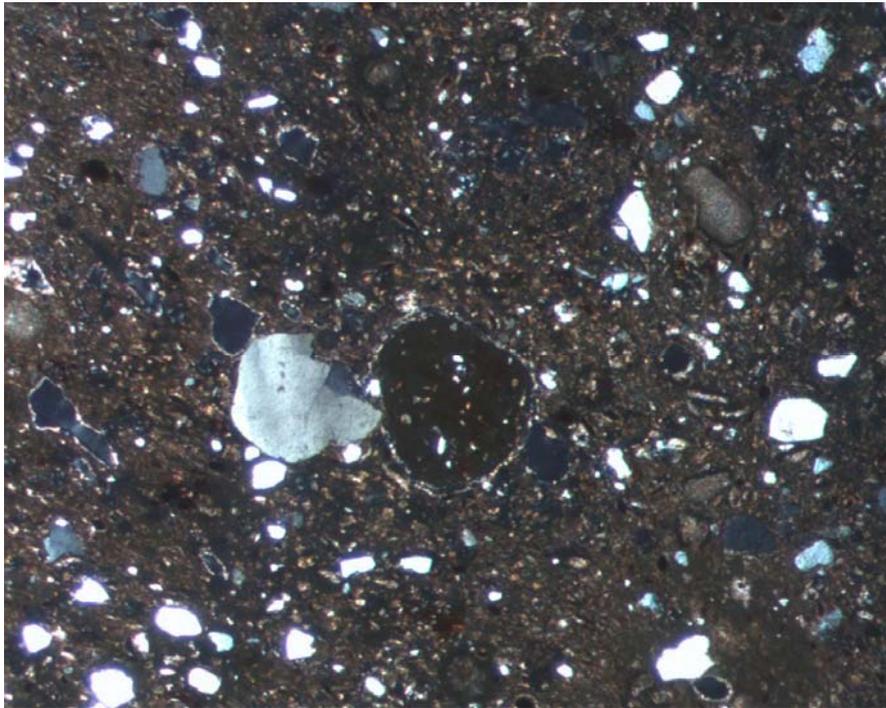
Esta muestra es prácticamente igual en todas sus características a la anterior, quizás es de resaltar que el contenido en carbonatos es mayor, tanto en fragmentos de rocas carbonatadas, matriz fina, como en el mayor contenido de globigerinas, además estas últimas parecen de mayor tamaño. También se observa algún fragmento de "chamota" aislado y algunos granos de feldspatos. Por lo demás es exactamente igual, incluso manifestando menor temperatura de cocción.



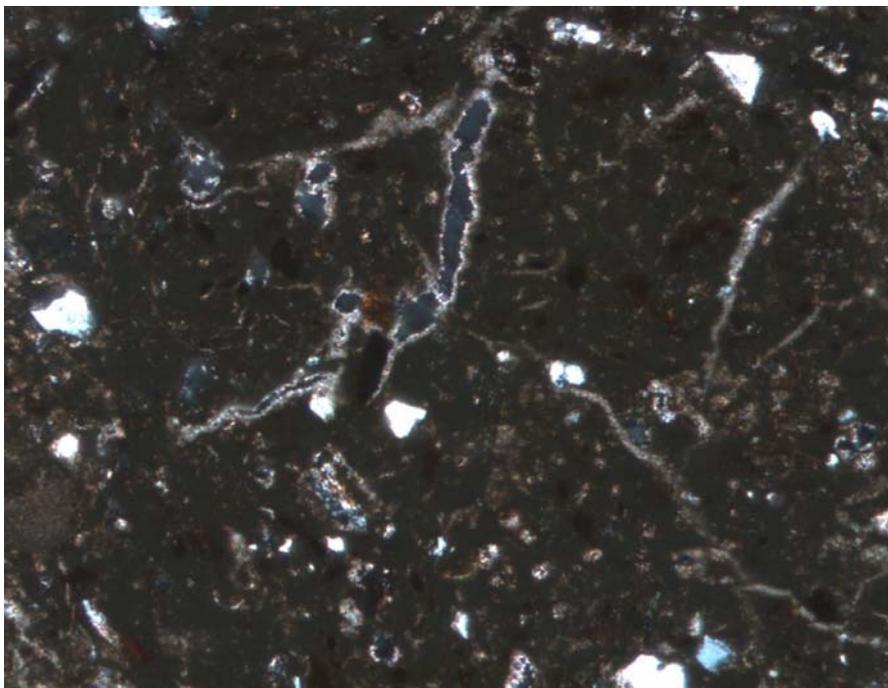
**Fig. 19. ACC-4.** Aspecto global del ladrillo. Se observa la matriz con cierta vitrificación, granos de cuarzo de desgrasante y poros redondeados. Objetivo 2,5 x



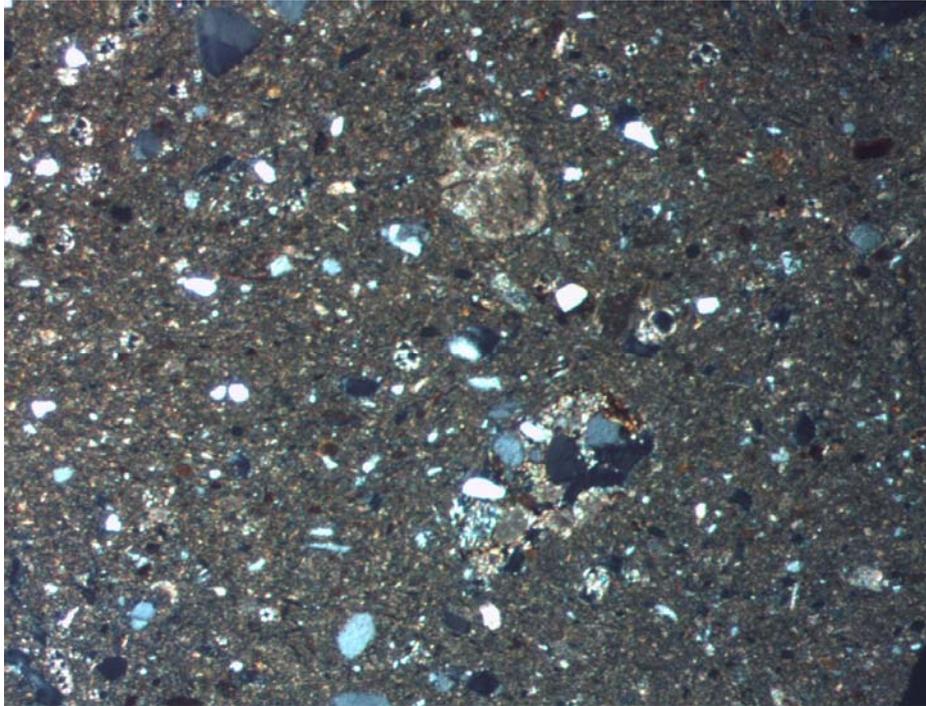
**Fig. 20. ACC-4.** Detalle fragmento roca parcialmente calcinado, se observan moldes de globigerinas, granos de cuarzo. Objetivo 5 x



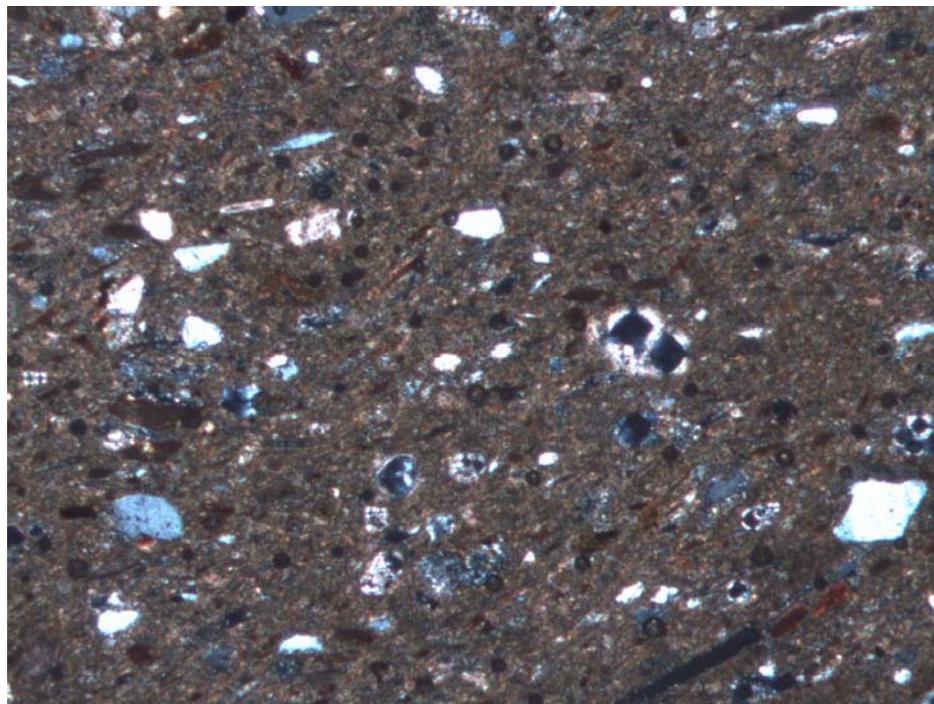
**Fig. 21. ACC-4.** Detalle donde se observa abundancia de cuarzo, en el centro fragmento de "chamota". Objetivo 5 x



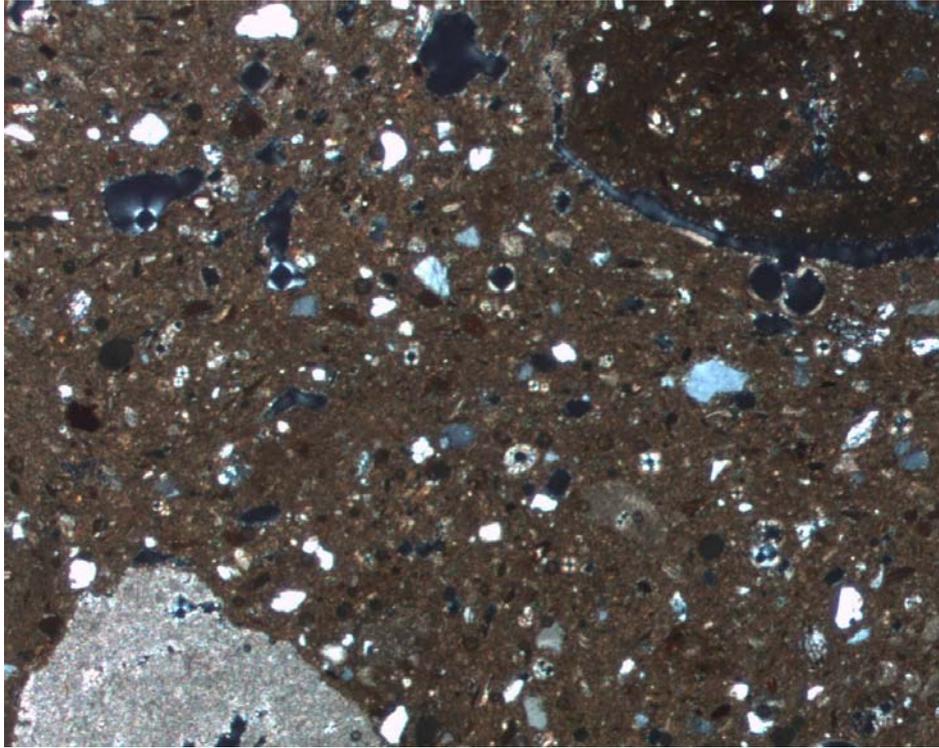
**Fig. 22. ACC-4.** Detalle zona de mayor vitrificación por la cocción, con grietas de retracción con orlas de calcita reprecipitada Objetivo 5 x



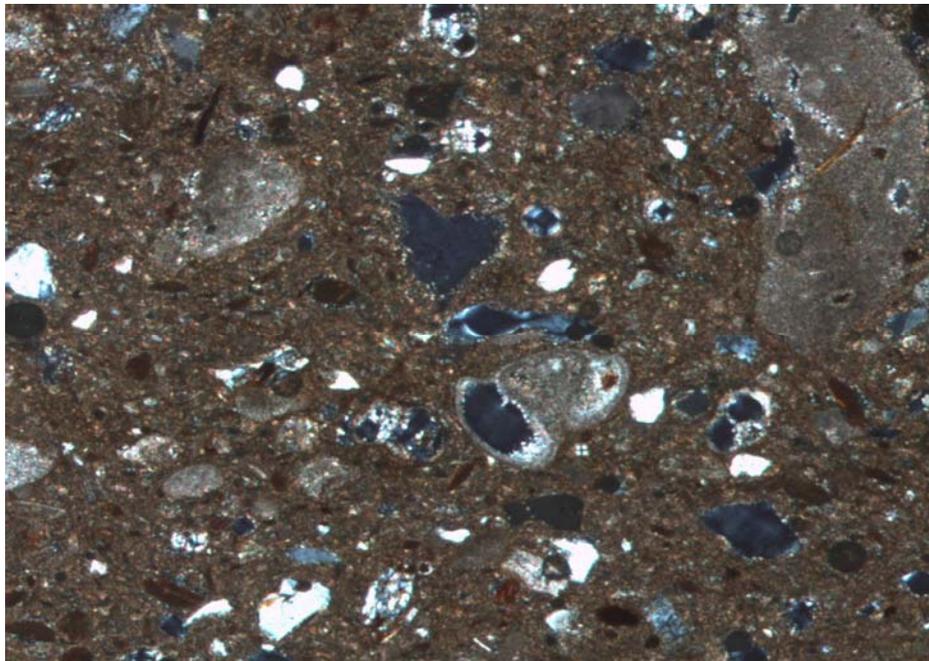
**Fig. 23. ACC-5.** Aspecto global del ladrillo dónde se observa mayor birrefringencia, en la matriz, nada de vitrificación, Fragmentos de roca, cuarzo y globigerinas. Objetivo 2, 5 x



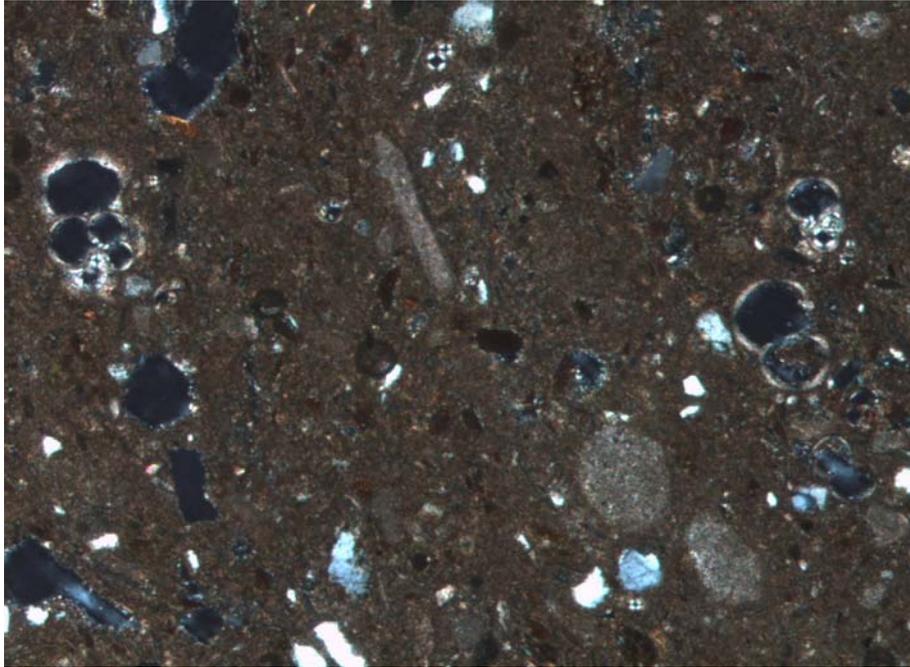
**Fig. 24. ACC-5.** Detalle zona donde se observan globigerinas y micas de pequeño tamaño. Orlas de calcita en los poros. Objetivo 5 x



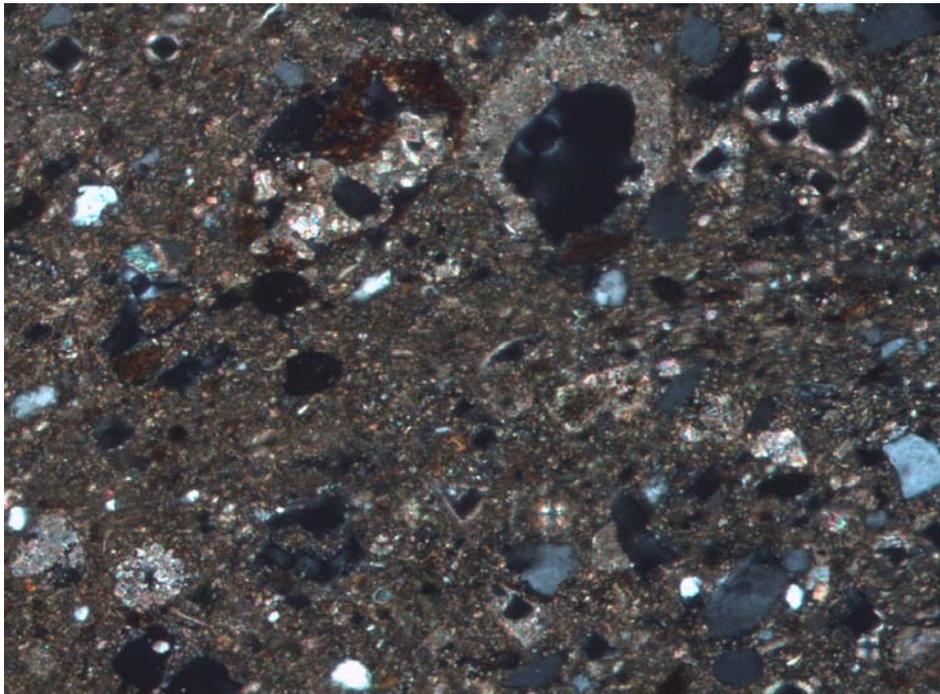
**Fig. 25. ACC-9.** Aspecto global donde se observa matriz birrefringente, cuarzo fino, fragmento de roca caliza y chamota. También globigerinas. Objetivo 2,5 x



**Fig.26. ACC9.** Zona rica en carbonatos (fragmentos de rocas y globigerinas). Matriz muy rica en carbonatos. Objetivo 5x



**Fig.27. ACC-9.** Zona rica en globigerinas y carbonatos. Objetivo 5x



**Fig.28. ACC-9.** Detalle de una zona de carbonatos con reprecipitación. También fragmento de roca con óxidos de Fe. Objetivo 5x

## **Morteros, Revestimientos y Hormigones**

### **ACC-3**

Esta muestra corresponde al típico "Opus Signinum" romano, es decir un hormigón de cal que presenta como árido un entramado de fragmentos de cerámica.

La *cal* que presenta el mortero se presenta bastante compacta y homogénea, sin que aparezcan nódulos de cal mal apagados ni con falta de carbonatación. Esto indica que es una cal de buena calidad, como suele ocurrir con la mayoría de morteros de cal romanos, y más cuando se mezcla con cerámica que les confiere hidraulicidad y los hace morteros más resistentes y duraderos.

El *árido* se constituye de fragmentos de cerámica de aproximadamente 0,5 cm y entre ellos aparece también, mezclados con la cal, algunos granos de cuarzo redondeados (sílice) de diámetro en torno a 0,2-0-4 mm, y muy ocasionalmente plagioclasas.

Los fragmentos cerámicos corresponden básicamente a los mismos tipos de cerámica de los ladrillos estudiados, es decir arcillas muy ricas en cal y abundante contenido en foraminíferos planctónicos (globigerinas). Solo reseñar que aparecen con distintos grados de cocción indicando que proceden del machaqueo de distintas piezas.

La *porosidad* no es muy elevada y tampoco se detectan fenómenos de disolución de la cal importantes, salvo en algunas zonas que se observan recristalizaciones en los bordes de algunos de los poros.

### **ACC-6**

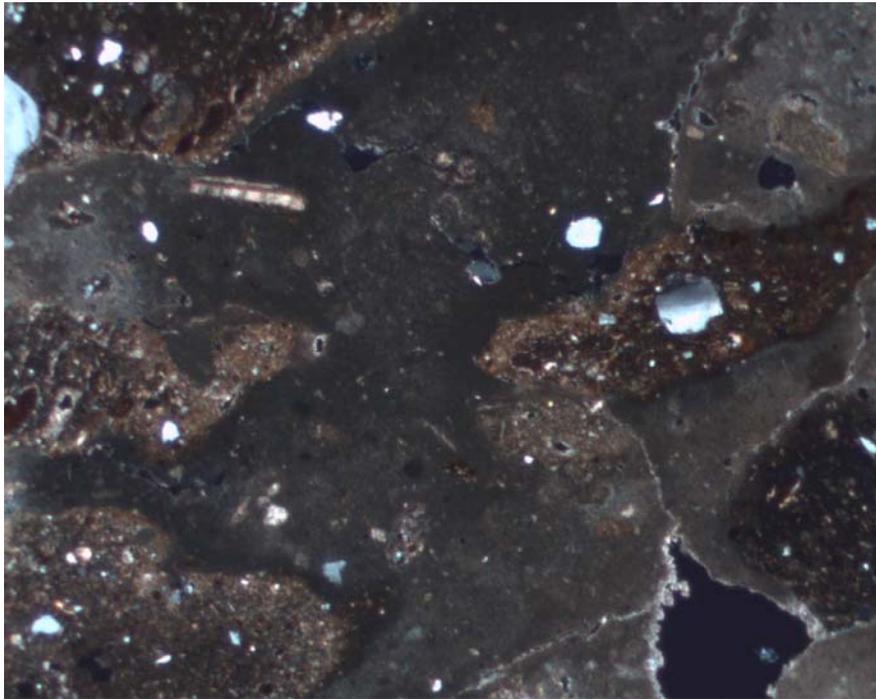
Esta muestra corresponde a una sucesión de capas de mortero que acaban con la capa de color de la pintura mural. Desde el interior al exterior se pueden diferenciar cuatro capas:

- **Capa 1:** esta capa tiene un espesor desconocido pues es desde dónde arranca la pintura mural. Se trata de un mortero o base de preparación en la que, al menos en la muestra estudiada, se ha perdido prácticamente todo el aglomerante, aunque por su coloración en algunas zonas, podría tratarse de una mezcla de cal y yeso, o una cal de poca calidad, razón por la que se puede haber perdido por disolución. El árido es bastante grosero, pudiendo ser de hasta 3 mm de grosor. Se compone mayoritariamente de fragmentos de rocas bioclásticas y algunos granos de cuarzo.

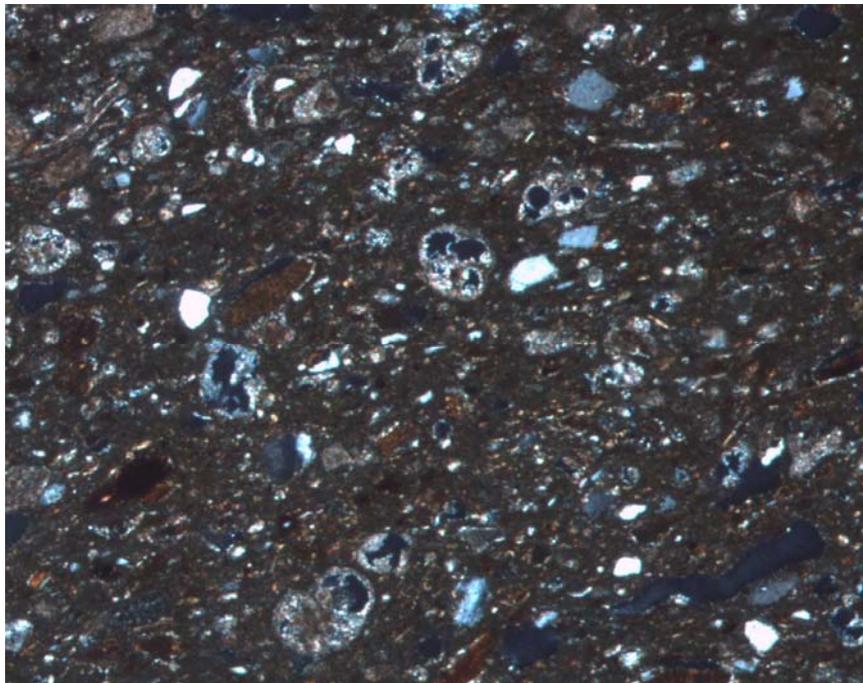
- **Capa 2:** esta presenta un grosor aproximado de 3 mm, aunque sus límites son difusos con la capa anterior y la posterior. Se trata de un revoco de cal que presenta un árido de granulometría muy variable, desde 0,2 mm hasta 2, 5 mm. Este árido se compone mayormente de marmolina (granos de mármol obtenidos por machaqueo, de formas angulosas), que suele ser el que presenta los tamaños mayores, aunque también los hay de tamaño pequeño. En menor cantidad aparecen también granos de cuarzo muy redondeado y de tamaños entre 0,2-0,8 mm. Ocasionalmente aparecen pequeños fragmentos de rocas. Esta capa aunque no tiene tanta pérdida del aglomerante, también manifiesta fenómenos de disolución y pérdida de la cal.

- **Capa 3:** esta corresponde a la capa de preparación sobre la que se encuentra la pintura mural. Se trata de un nivel de un grosor aproximado de 1 mm, y que se compone de cal casi en su totalidad, con muy escaso árido de cuarzo. Aparece bastante compacta con escasos macroporos y sin demasiada manifestación de pérdidas por disolución. Si se observan algunas pequeñas microfisuras perpendiculares a la superficie, por dónde habrá circulado el agua al exterior.

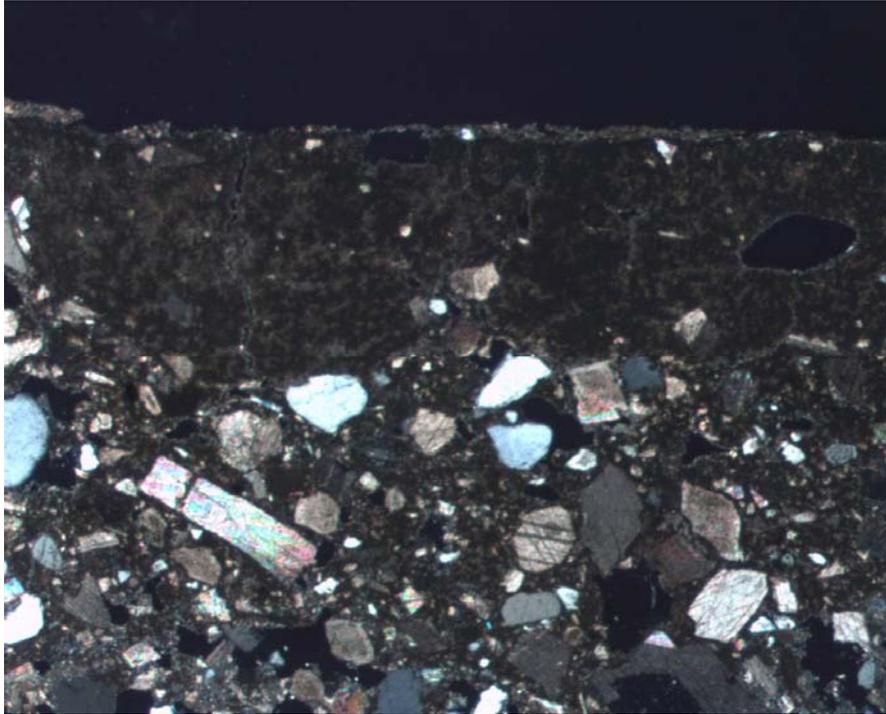
- **Capa 4:** corresponde a la última capa (capa de coloración), que puede alcanzar un espesor de hasta 0, 3 mm. El aglutinante de esta capa es también de cal. Contiene también granos de cuarzo de aproximadamente 0,1-0,2 mm de diámetro. Además aparecen abundantes granos de un mineral de coloración azulada con nicoles paralelos que aportan la pigmentación. Estos pigmentos se ha confirmado mediante microanálisis de **SEM-EDX** que son de Azurita  $-Cu(OH)_2 \cdot 2(CuCO_3)-$



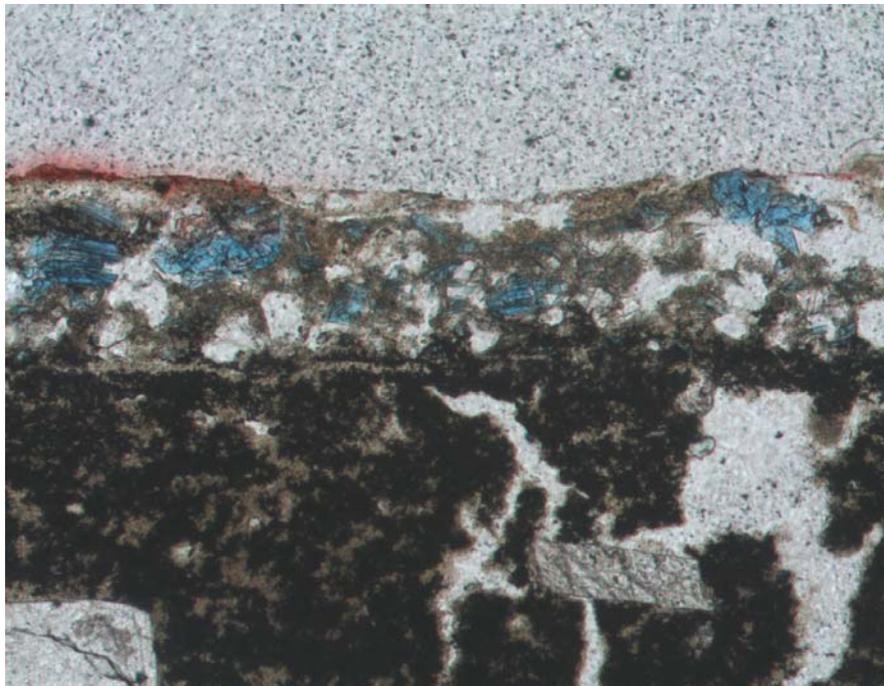
**Fig. 29. ACC-3** Aspecto global Opus Signinum en zona con pequeños fragmentos de cerámica. Objetivo 2,5 x



**Fig. 30. ACC-3** Aspecto global de uno de los fragmentos de cerámica del Opus Signinum., muy rico en globigerinas. Objetivo 2,5 x



**Fig. 31. ACC-6** Aspecto global de las tres últimas capas de la pintura mural. Capa 1 rica en árido /marmolina, Capa 2 de cal y Capa 3 muy fina. 2,5 x



**Fig. 32. ACC-6** Detalle de la última capa (capa de color) de la pintura mural, en la que se observan partículas azuladas (azurita). Nícoles paralelos, Objetivo 10x

### **ACC-7**

Se trata de una muestra de hormigón de cal, en el que la cal aparece en buen estado de compactación aunque existen zonas de carbonatación irregular.

El *árido* se constituye en su mayor parte de fragmentos de grava angulosos (que manifiesta que son de machaqueo), de una **roca dolomítica** cristalina de textura microesparítica, cuyo origen se desconoce pero probablemente debe estar próxima al yacimiento. El tamaño de estos fragmentos de roca puede alcanzar hasta 1 cm de diámetro en la muestra estudiada. Además, de forma poco importante aparecen granos de arena cuarzo, de formas redondeadas y de tamaño en torno a 0,4-0,7 mm de diámetro.

La porosidad no es muy elevada y fundamentalmente son macroporos redondeados, sin acumulaciones de material precipitado en sus bordes.

### **ACC-10**

Esta muestra corresponde una sucesión de tres capas distintas de revestimiento. Desde el interior al exterior son las que se describen:

- **Capa 1:** se constituye de un mortero de cal de espesor aproximado de 1 cm en la muestra estudiada. La cal no es de muy buena calidad, apareciendo nódulos que manifiestan un apagado irregular. Además presenta notables síntomas de pérdida de material por disolución, existiendo una porosidad notable y frecuente porosidad canalizada. El *árido* que es bastante abundante, se compone mayoritariamente de granos cuarzo (o de agregados policristalinos de cuarzo) de formas redondeadas y subangulosas, y tamaños que varían entre 0,2 y 1 mm de diámetro. También aparece como parte de *árido*, y de forma tan abundante como el cuarzo, fragmentos de rocas calcáreas fosilíferas, que podrían corresponder a la caliza arrecifal sobre la que se asienta el teatro. Esta aparece con tamaños mayores, entre 2-3 mm o incluso mayores.

- **Capa 2:** se trata de una capa de límites difusos y de espesor variable entre 0,5-

0,8 mm. Por su color más grisáceo que las anteriores podría contener algo de yeso mezclado con la cal, aunque tiene un tamaño de partículas tan fino que es difícil de confirmar. El árido de esta capa es muy escaso, constituido de pequeños granos de cuarzo aislados. También aparece en varias zonas con síntomas de disolución

- **Capa 3:** esta última capa es exclusivamente de cal y de muy fino espesor, en torno a los 0,2-0,4 mm. Puede ocurrir que parte de esta capa se perdiera por disolución.

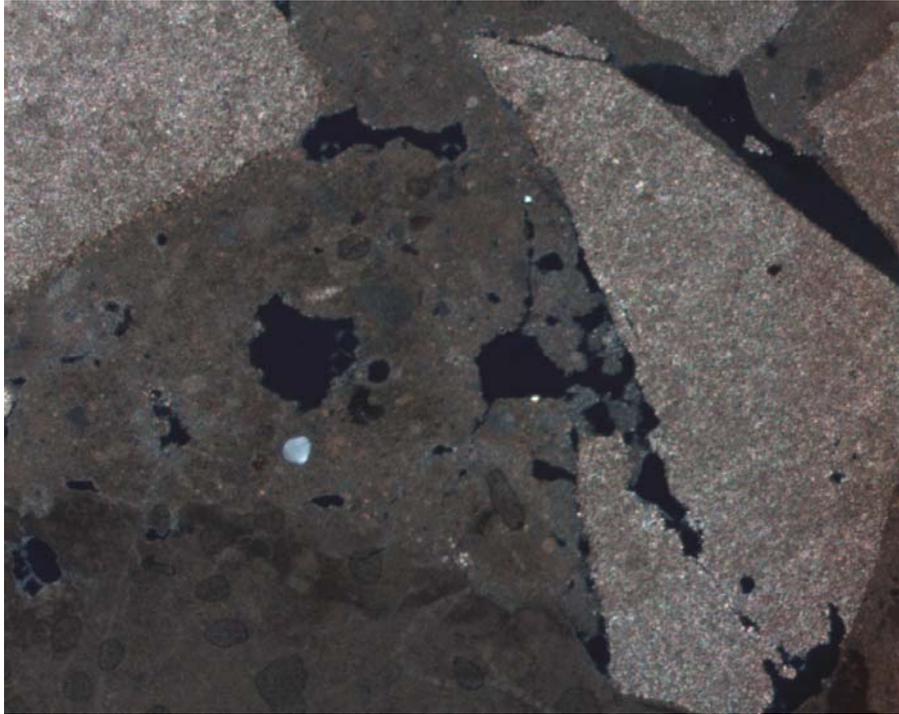
### **ACC-11**

Esta muestra presenta una sucesión de dos capas distintas de revestimiento. Desde el interior al exterior son las siguientes:

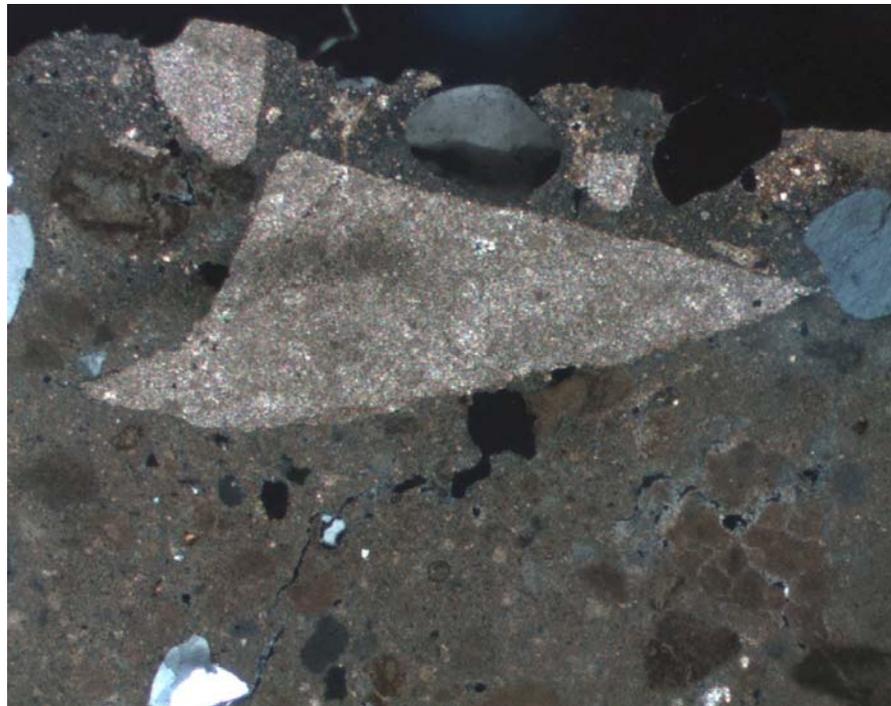
- **Capa 1:** se constituye de un mortero de cal muy similar a la capa 1 de la muestra anterior, con la salvedad de que este se encuentra en bastante mejor estado y la cal aparenta ser de mayor calidad. Además formando parte del árido, aparte de los granos de cuarzo, agregados policristalinos y fragmentos de roca arrecifal, todos ellos de las mismas características al anterior, aparecen fragmentos de cerámicas elaboradas con las mismas arcillas que los ladrillos estudiados. El espesor de esta capa en la muestra es de aproximadamente 1 cm.

- **Capa 2:** esta capa se presenta en la lámina delgada completamente separada de la capa anterior, lo que manifiesta la falta de adherencia entre ellas, aunque pudo separarse durante la preparación de la muestra. Esta capa tiene un espesor aproximado de 0,8 mm, y corresponde a un revoco de cal con árido en su totalidad de marmolina obtenida por machaqueo, con formas muy angulosas y con gran variabilidad en su granulometría, desde 0,2 a 3 mm de diámetro. Esta capa aparece en buen estado sin notables síntomas de pérdidas por disolución, con una porosidad no muy elevada y poros de formas redondeadas.

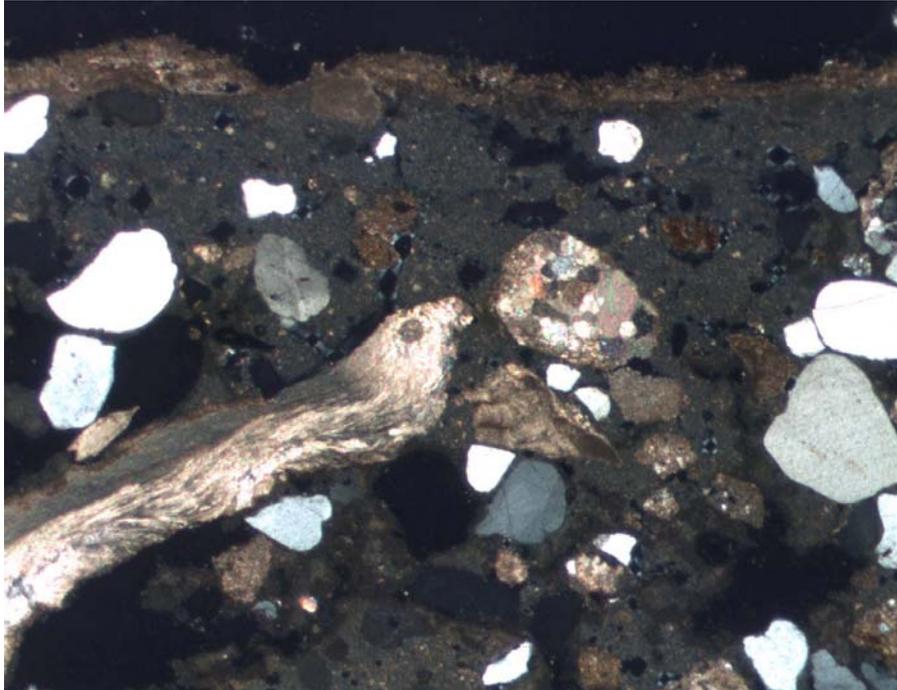
En algunas zonas de la lámina se observa lo que podría ser una capa superior, compuesta de cal. Puede que existiera una capa de acabado más fino sobre este revoco (similar al que aparece en la pintura mural) y que se perdiera.



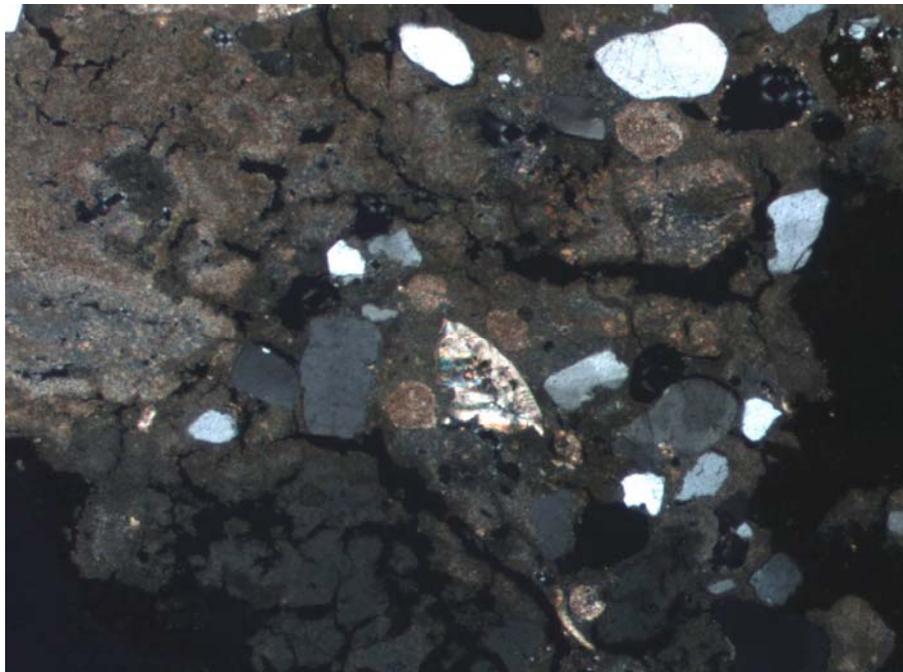
**Fig. 33. ACC-7** Aspecto global del hormigón dónde se observa la cal y los cantos angulosos de roca dolomítica. Objetivo 2,5x



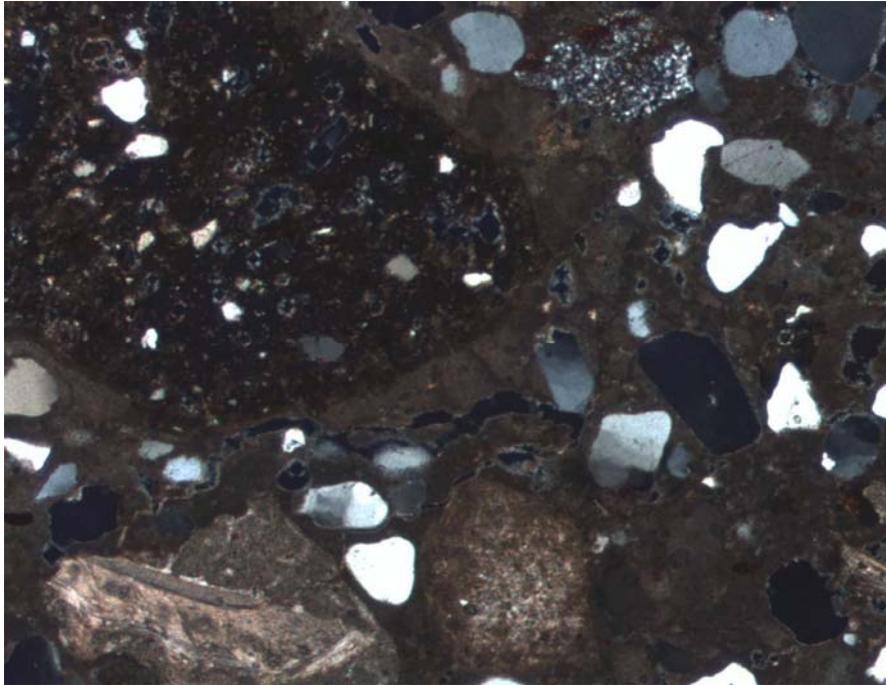
**Fig. 34. ACC-7** Otro aspecto en el que se observa la irregular carbonatación de la cal y algún árido de cuarzo redondeado además del dolomítico. 2,5 x



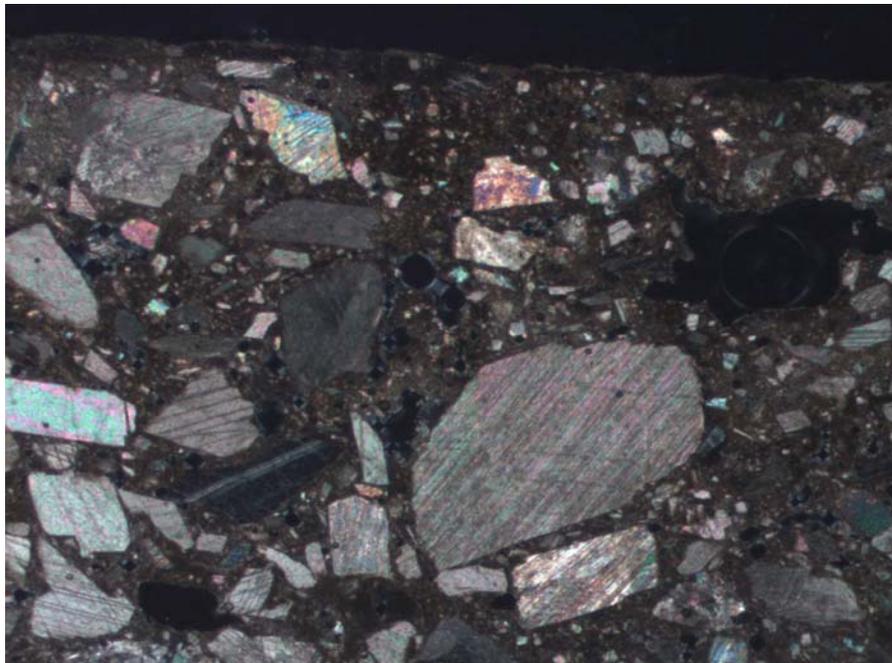
**Fig. 35. ACC-10** Aspecto global sucesión revestimientos, desde abajo que se observa la capa más interna y grosera hasta la más superficial de cal. Objetivo 2,5x



**Fig.36. ACC-10.** Detalle de una zona de la capa 1 (más interna) en las que se observa porosidad canalizada y pérdidas de cal. Objetivo 5x



**Fig. 37. ACC-11** Aspecto que presenta la capa 1 mejor conservada que en la anterior. Fragmento cerámica de rocas y cuarzo de árido. Objetivo 2,5x



**Fig. 38. ACC-11** Aspecto que presenta la capa 2 en la que todo el árido es de marmolina con formas angulosas. Objetivo 2,5x

### **ACC-12**

Esta muestra es igual a la muestra ACC-3 de "opus signinum", es decir un hormigón de cal con árido de tamaño grava, constituido por fragmentos cerámicos elaborados con arcilla de la misma procedencia.

Es de resaltar que en este caso el mortero se encuentra peor conservado, apareciendo una mayor porosidad, que en algunas zonas se debe claramente a disolución con la pérdida de material que conlleva. Por otro lado aparecen acumulaciones de calcita precipitada a modo de sucesivas concreciones en determinados poros canalizados (o fisuras). Todo ello indica una importante acción del agua en el interior de este material.

### **ACC-13**

Al igual que la muestra anterior, por su composición también es equivalente a un "opus signinum", constituido por cal y fragmentos de cerámica, en este caso de granulometría más fina. Los tamaños mayores de cerámica observados en la muestra están en torno 3-4 mm de diámetro.

Estos fragmentos se constituyen de la trituración de piezas cerámicas que han sufrido distintos grados de cocción, apareciendo algunos con evidencias de vitrificación y otros sin ellas, pero todos ellos elaborados con el mismo tipo de arcilla rica en globigerinas. Algunos de estos fragmentos muestran síntomas de reacción con la cal.

En este mortero la cal no es de tan buena calidad como en la muestra ACC-3 ya que aparecen nódulos de carbonatación irregular, que pueden deberse a anomalías en el apagado o en la calcinación. Quizás debido a esta menor calidad de la cal y/o por la ubicación y función que tuvo este mortero, presenta signos de alteración más importantes que la muestra ACC-3, con notables pérdidas de cal e incremento de la porosidad en algunas zonas, así como recristalizaciones de calcita, tanto en forma de concreciones, y que aparecen especialmente en poros canalizados, o como en agregados cristalinos esparíticos.

También es de destacar en este sentido la formación de una costra superficial de carbonatación de aproximadamente 1 mm de grosor, que intercala capas en forma de concreción con otras en forma de cristales, y que se ha ido acumulando en la superficie por la movilización de la cal disuelta desde el interior, precipitando en superficie.

#### **IV. CONCLUSIONES GLOBALES**

##### ***Ladrillos***

Las tres muestras de ladrillos (ACC-4, ACC-5 y ACC-9) han sido elaborados con arcillas de partida similares, muy ricas en cal, que por sus características y abundancia en globigerinas se podrían atribuir a la *Formación de la Mina*, formada por margas y limos arenosos, y datada en el Tortoniense-Messiniense.

Estas cerámicas también llevan añadidas, en distintas proporciones dependiendo de las piezas, fragmentos de rocas calcáreas y a veces fragmentos de cerámica anteriores "chamota". Las diferencias más sustanciales entre ellas están en el grado de cocción. La muestra ACC-4 presenta síntomas de haber sido cocida a temperaturas elevadas, suficientes para la formación de silicatos cálcicos de altas temperaturas, aunque no suficientes para una desintegración completa de filosilicatos ni una vitrificación extensiva. En las muestras ACC-5 y ACC-9 el grado de cocción ha sido mucho menor, no existiendo apenas síntomas de inestabilidad térmica, salvo la presencia de indicios de gehlenita. Por lo demás estas cerámicas aparecen muy ricas en globigerinas y otros elementos calcáreos tanto en la matriz como en fragmentos de rocas.

Los fragmentos de cerámica que aparecen en las muestras de Opus signinum están elaborados con el mismo tipo de arcillas que los ladrillos estudiados.

### ***Morteros, Revestimientos y Hormigones***

Todos los morteros estudiados son de cal, y el árido de los morteros es variado dependiendo de las muestras. También son variables los estados de conservación.

Las muestras de *Opus Signinum* estudiadas (ACC-3, ACC-12, ACC-13) son bastante similares en cuanto a que se componen de cal y fragmentos de cerámicos, que en todos los casos aparecen con distintos grados de cocción, pero siempre atribuibles a las arcillas margosas locales de la *Formación de la Mina*, rica en foraminíferos. Se podría decir que existen diferencias en la calidad de las cales empleadas en la fuente de la Domus y la de las Termas, lo cual puede haber contribuido a que las muestras de las Termas aparezcan con síntomas de alteración notorios de disolución, formación de concreciones internas y costras superficiales. En las muestras de las Termas entre la capa interna y externa, la diferencia más notable parece estar en la granulometría de la grava (fragmentos cerámicos).

Por otro lado el *Hormigón de cal de la Domus* que deslizó (ACC-7), también de cal, presenta una buena consistencia, y sus síntomas de alteración interna no son importantes. Tampoco contiene elementos que de alguna forma contribuyeran a su deslizamiento. Es de señalar que se trata de la única muestra que presenta como árido fragmentos de grava triturada de roca dolomítica cuya procedencia debe ser próxima.

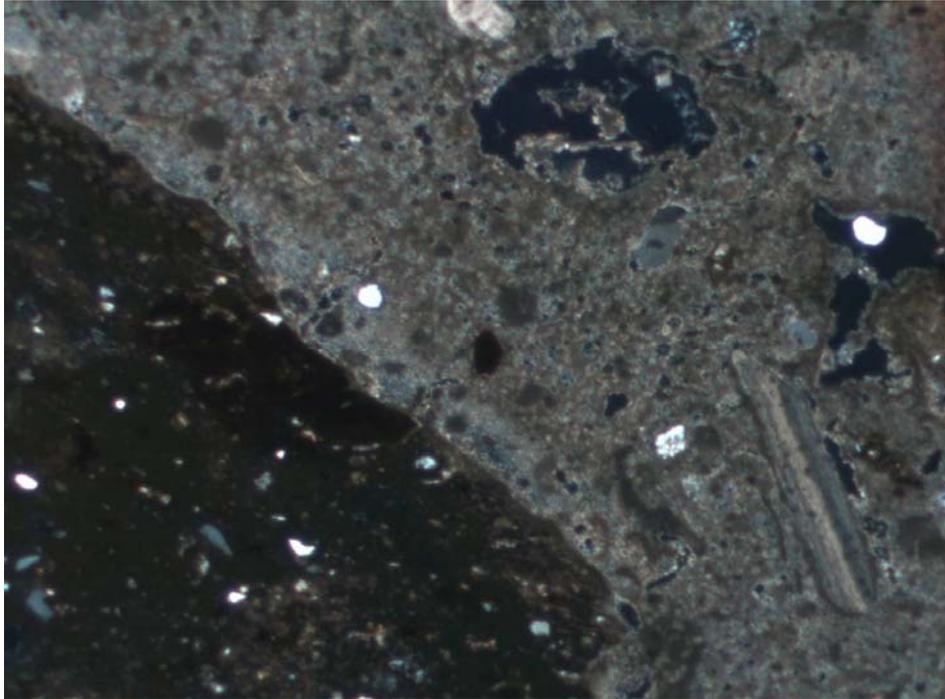
La muestra de *Pintura Mural* (ACC-6) presenta una sucesión de cuatro niveles, presentando una primera capa de cal (puede que con algo de yeso) pero que se encuentra en muy mal estado, muy descohesionada y que causa el desplome del resto de las capas superiores. Por encima de esta capa aparece un revoco de cal con marmolina, un enlucido de cal y por último la capa de color, en la que se ha identificado pigmento de "azurita". A la hora de consolidar las pinturas murales siempre es importante tener en cuenta el estado de esta primera capa, y actuar sobre ella, puesto que la consolidación superficial podría ser contraproducente.

Los *Revestimientos* estudiados de las Termas junto a la tubería (ACC-10) y junto a

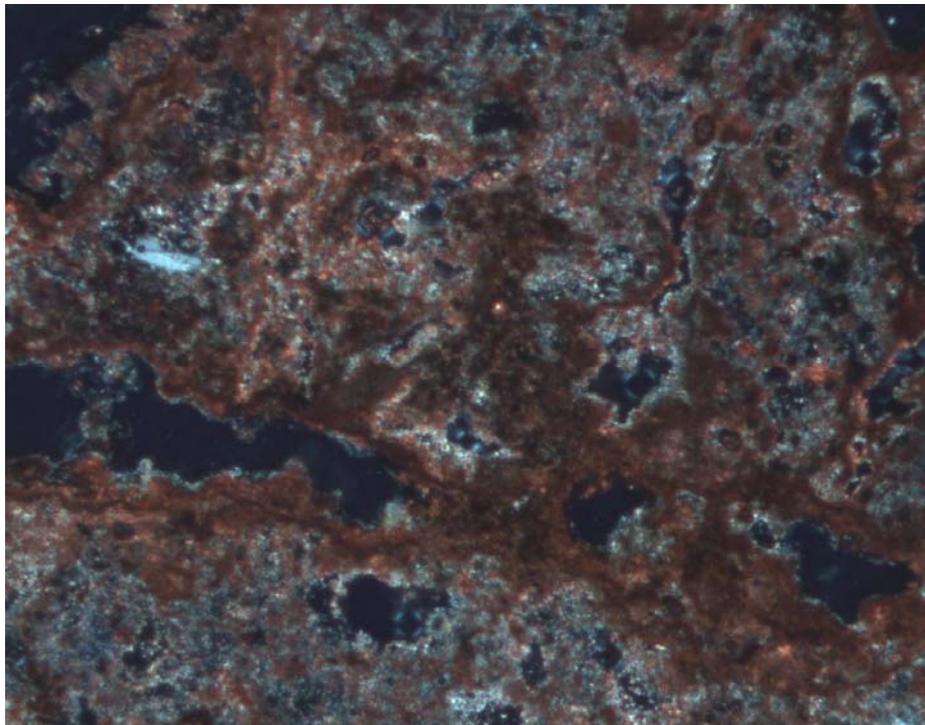
los escalones (ACC-11) son distintos entre sí, aunque el primer nivel si parece ser de similar naturaleza, siendo de mejor calidad y mejor estado de conservación en el caso de la muestra de los escalones. La capa superior en el primer caso es de cal y muy escaso árido; en cambio en la de los escalones aparece un revoco de cal y marmolina muy compacto y en buen estado. Puede que sobre este existiera una capa más fina que se perdiera.

### ***Piedra***

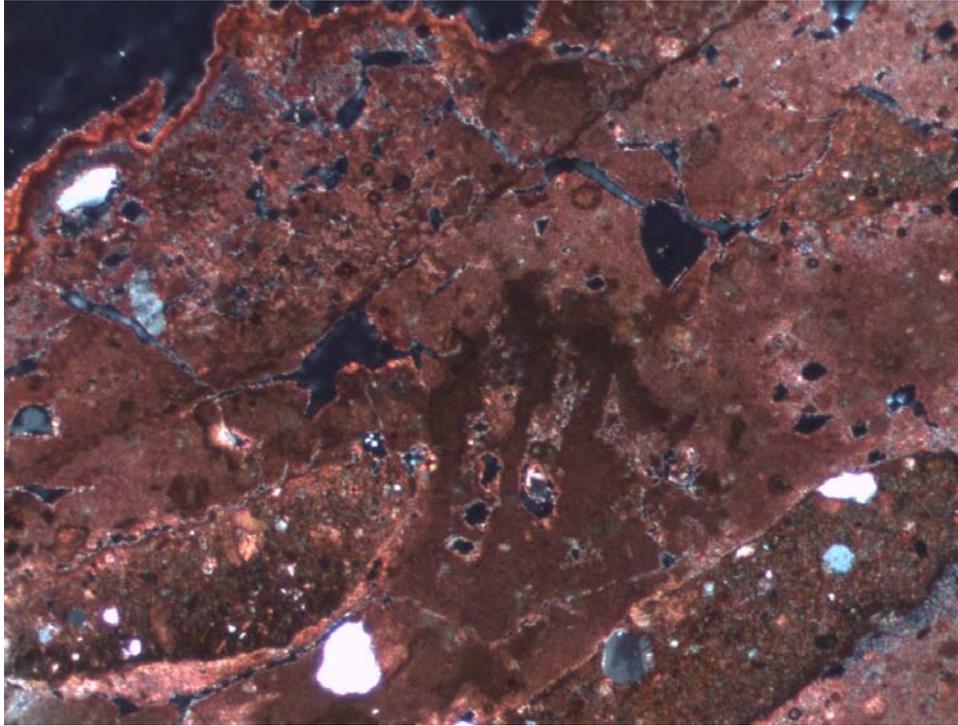
Se han identificado dos tipos de piedra distintos, las muestras ACC-1 y ACC-2 que corresponde a una calcarenita de grano fino y cementación esparítica, concretamente una *pelesparita* (Folk, 1962), que es muy abundante en distintos elementos del yacimiento y que podría pertenecer a la Formación de Setenil. Por otro lado la muestra ACC-8, corresponde a una *sublitoarenita* con cementación calcárea, que podría corresponder a la Formación del Gastor. En ambos casos la designación geológica habría que corroborarla con un estudio más detallado y de campo.



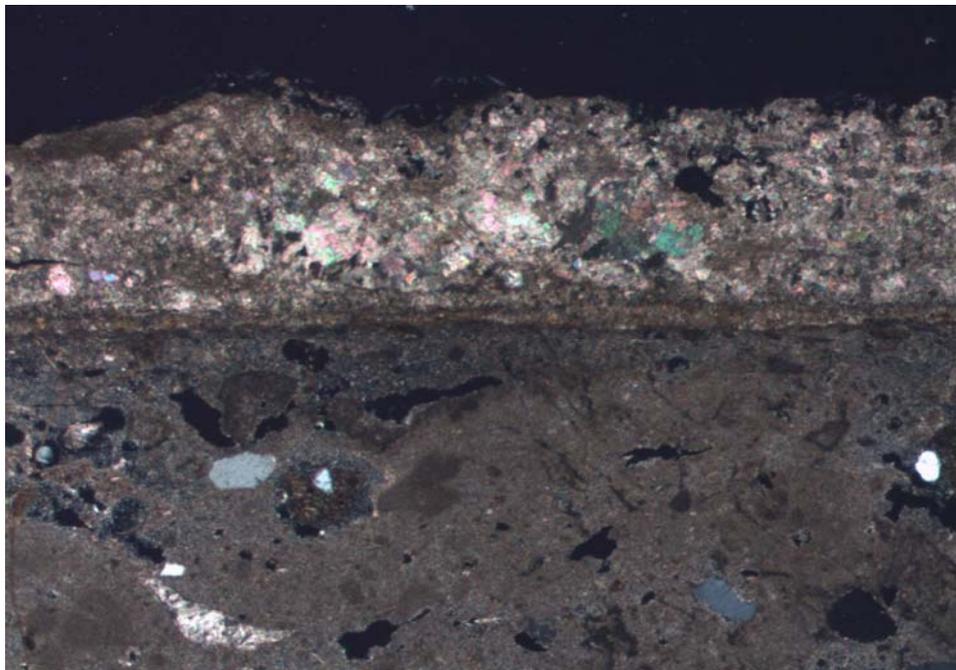
**Fig. 39. ACC-12** Aspecto contacto de un fragmento de cerámica del Opus signinum y la cal. Se observa mayor porosidad. Objetivo 2,5x



**Fig. 40. ACC-12** Aspecto en una zona con grandes pérdidas por disolución y concreciones de cal en poros canalizados. Objetivo 2,5x



**Fig. 41. ACC-13** Aspecto en una zona del mortero con incremento de porosidad por disolución, Pérdidas de cal, porosidad canalizada. Objetivo 2,5x



**Fig. 42. ACC-13** Aspecto de la gran costra de carbonatación que se ha formado en la superficie por la pérdida de material interno por disolución. Objetivo 2,5x

---

**Estudio de Caracterización de Materiales**

Jesús Espinosa Gaitán

Geólogo.

Empresa Pública de Gestión de Programas Culturales

---

Sevilla, 17 de Enero de 2008

VºBº el Jefe del Centro de Intervención en el  
Patrimonio Histórico



Fdo.: Lorenzo Pérez del Campo