

Preparació de mostres de morter de la muralla andalusina

Pla Almatà (Balaguer, la Noguera)



Marta Monjo, arqueòloga territorial a Lleida del Servei d'Arqueologia i Paleontologia del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, sol·licità l'anàlisi de cinc mostres de morters de la muralla andalusina del Pla Almatà (Balaguer, la Noguera) extretes per l'equip d'investigadors del grup de recerca GRAPAC/CETEC-p, al novembre de 2014.

De manera genèrica l'objectiu, segons proposta i pressupost acceptat, consisteix en realitzar la caracterització estratigràfica, petrogràfica i quimicominalògica de les mostres de morters. En concret es demana segons mostra:

- PA-001: composició quimicominalògica del morter
- PA-002: composició quimicominalògica del morter
- PA-003: composició quimicominalògica del morter
- PA-004: composició quimicominalògica del morter
- PA-005: composició quimicominalògica del morter

Els equips emprats en l'estudi han estat:

- Microscopi estereoscòpic Leica M165C amb 7,3-120X.
- Microscopi òptic de polarització Eclipse E200 MV Series E200LED amb una càmera digital DS-F12.
- Microscopi electrònic de rastreig (SEM) EVO MA 10 amb un detector EDX Oxford Inca (EDX). Amb un stage de 5 eixos; capacitat de 4,5nm a 30kV amb pressió variable i amb una resolució 3nm a 30kV.
- Difractòmetre XPert de Philips amb dos goniòmetres. Tub de Cu. Goniòmetre per a mesures de rutina de conjunts de mostres en pols, amb alimentador automàtic de mostres, dispositiu de gir de mostra durant el registre, esclatxes fixes i monocromador secundari.

El resultat de les anàlisis es detallen en el següent informe.

José Luis Prada Pérez
Núria Guasch Ferré
Manuel Ángel Iglesias Campos
Marta Badia Cortada

Barcelona, 25 de maig de 2015



0. Introducció

Independentment del seu ús o aplicació en la construcció de la muralla del Pla Almatà, aquests morters s'han estudiat en funció de: la matriu conglomerant, l'àrid i la seva textura i dosificació.

Per una banda, encara que tots ells siguin fonamentalment morters compostos d'un conglomerant de guix, es poden observar altres components molt significatius a la pròpia pasta, tal com cendres procedents del procés de cocció del guix al forn amb llenya o amb carbó de llenya. Aquest tipus de guix és un guix tradicional que s'anomena "guix negre", el qual es caracteritza per tenir una tonalitat grisa, més o menys, fosca; per constituir-se de guix barrejat amb cendres i restes de vegetals calcinades amb la massa acabada de sortir del mateix forn; i, per ser un conglomerant molt característic del període històric d'influència andalusí (Romera, I., Lapuente, P. et al., 2008). Per tant, es pot concloure que, malgrat petites diferències, el conglomerant en tots els casos estudiats és un guix tradicional de tipus alfa (guix alfa) de baixa o moderada temperatura de cocció (Garate, I., 1993).

Per altra banda, la composició i la textura mineralògica de l'àrid és dispar i complexa. Per tant, degut a aquest fet i donat que l'objectiu de l'estudi és discriminar diferents tipologies de morter que puguin permetre discriminar possibles fases de construcció del jaciment arqueològic que ens ocupa, els àrids del morter s'han estudiat des del punt de vista del seu caràcter petrològic sedimentari, seguint l'exemple d'alguns estudis de la literatura científica realitzats sobre edificis manufacturats amb morters de guix amb una fàbrica d'influència andalusí, com és el cas de l'estudi sobre Sta. María de la Huerta, Magallón (Zaragoza) (Romera, I., Lapuente, P. et al., 2008).

En general, s'observen diferents tipus:

- Nòduls i fragments de guix
- Fragments de roques que poden ser: roques calcàries (la majoria són calcarenites amb una textura sedimentària detrítica); calcarenites o gresos llimosos amb clastes de guix; roques sorrenques de mida de gra de mitjà a groller, de composició i mida de gra heterogènies, tipus litoarenites-grauwaques. Alguns fragments d'aquests tenen la mateixa composició que la pedra del carreu del mur; roques calcàries silicificades tipus chert i en algun cas tipus sílex.
- Fragments de fusta cremada o vegetals carbonitzats procedents dels forns de calcinació del guix.
- Fragments de material ceràmic tipus terracota (possiblement restes de totxo).

Per últim, s'ha estudiat en detall el guix mineral d'origen sedimentari que s'observa a les mostres de morter formant part de l'àrid. Aquest guix mineral presenta diferents textures petrogràfiques i diferents orígens geològics (Ortí, F., Rosell, L., 1997) tal i com segueix a continuació:



- Guix primari: guix produït per processos sedimentaris evaporítics en conques someres o lacustres. Aquest es subdivideix en diferents tipus, els més freqüents són: textures compostes per cristalls de forma lenticular i orientada; textures de cristalls grans, entrecreuats anomenat guix selenític; guix detrític: remobilitzat per l'erosió i la ressedimentació d'aquest, com ara un clast en una matriu calcària de gra fi (micrita) o en un sediment llim-argilós.
- Guix secundari: prové de la transformació per hidratació de l'anhidrita que formava part d'estrats profunds i aflora a la superfície per processos tectònics i erosius. El més freqüent és el guix alabastrí, el qual té una forma nodulosa amb una textura microcristal·lina interna que pot ser de diferents tipus: agregats de cristalls prismàtics, esferulítics o un mosaic cristal·lí d'aspecte granular.
- Guix fibrós: agregats de cristalls prismàtics en orientació en paral·lel produïts per recristal·lització en fractures que tallen el terreny i formen vetes.

L'estudi i la descripció mitjançant el microscopi òptic petrogràfic (MOP) i el microscopi electrònic de rastreig (SEM-EDX) es ha permès diferenciar i caracteritzar tots aquests possibles components de les mostres de morter estudiades. Aquesta part de l'estudi s'ha completat amb la caracterització mineralògica mitjançant la difracció de raigs-x (DRX). En conjunt de tots els resultats analítics ens ha permès determinar les possibles diferents tipologies que es troben en aquest jaciment arqueològic.



1. Mostra PA-001

1.1. Descripció mitjançant microscopi estereoscòpic (MO)



Figura 1 Vista genèrica de la zona d'extracció de la mostra (superior esquerra) i zona d'extracció (inferior esquerra). Imatge de la mostra (dreta): diferents fragments de la mostra

Procedència: PLA ALMATÀ
Descripció: Morter d'adhesió

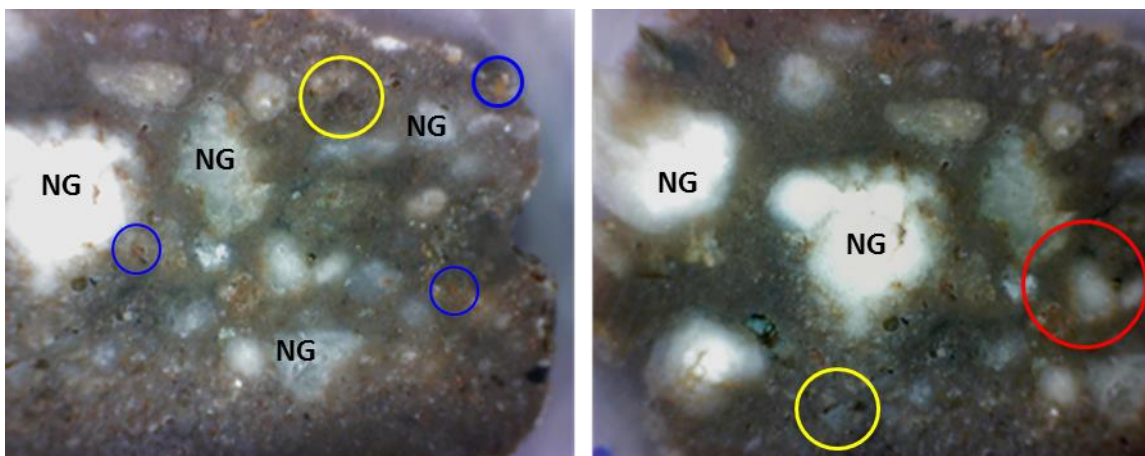


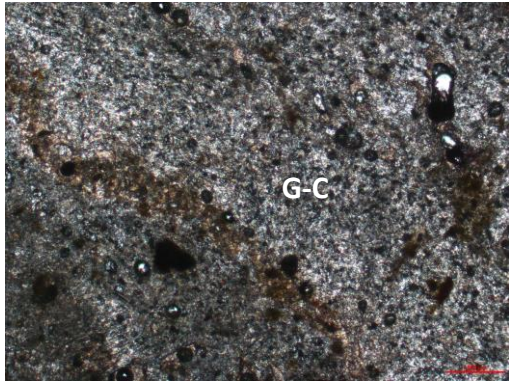
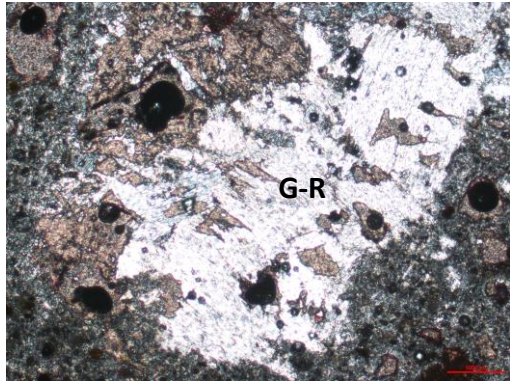
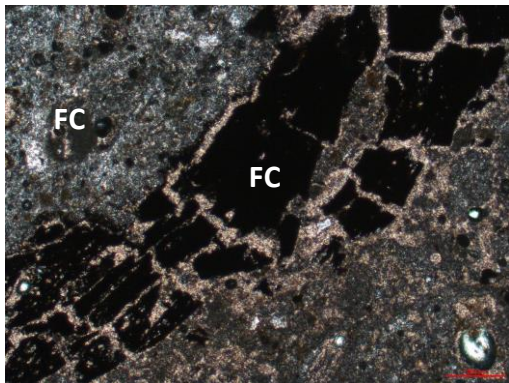
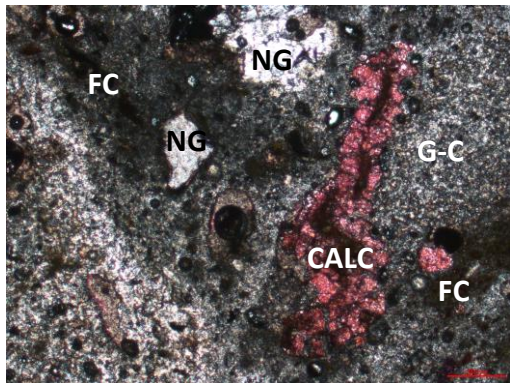
Figura 2 Fotografia de la secció estratigràfica (x25)
NG: nòduls de guix; ●: cendres; ●: fragments de roca; ●: guix dins a la matriu encaixant de la roca (G-R)

Mostra	Descripció visual
PA-001	<p>Morter de color gris blanquinós. Presenta restes de terres de llim - argila de color marró clar que envolten la superfície del morter i penetren a les cavitats del morter. La proporció de l'àrid és elevada, en conjunt ocupa entre un 30-40% en volum). L'àrid es divideix en dos grups:</p> <ul style="list-style-type: none">- S'observa una fracció molt significativa de fragments de color blanc o de diferents tonalitats de gris que són principalment nòduls de guix (NG), de mida entre 1 a 4 mm, és a dir, de sorra molt gruixuda a grava (15% del volum).- A part, s'observa una segona fracció més abundant (25% volum) que la mida oscil·la entre 0,1 a 0,5 mm, de sorra fina a gruixuda. <p>La morfologia de l'àrid gruixut va de subarrodonida a arrodonida, però la fracció de sorra més fina va de subangulosa a angulosa amb un empaquetament mitjà i un contacte flotant (Figura 2).</p> <p>Observacions</p> <ul style="list-style-type: none">• A la part inferior de la mostra s'observa una petita capa de pedra natural.• Morter lleugerament friable.



1.2. Descripció petrogràfica mitjançant microscopi òptic de polarització (MOP)

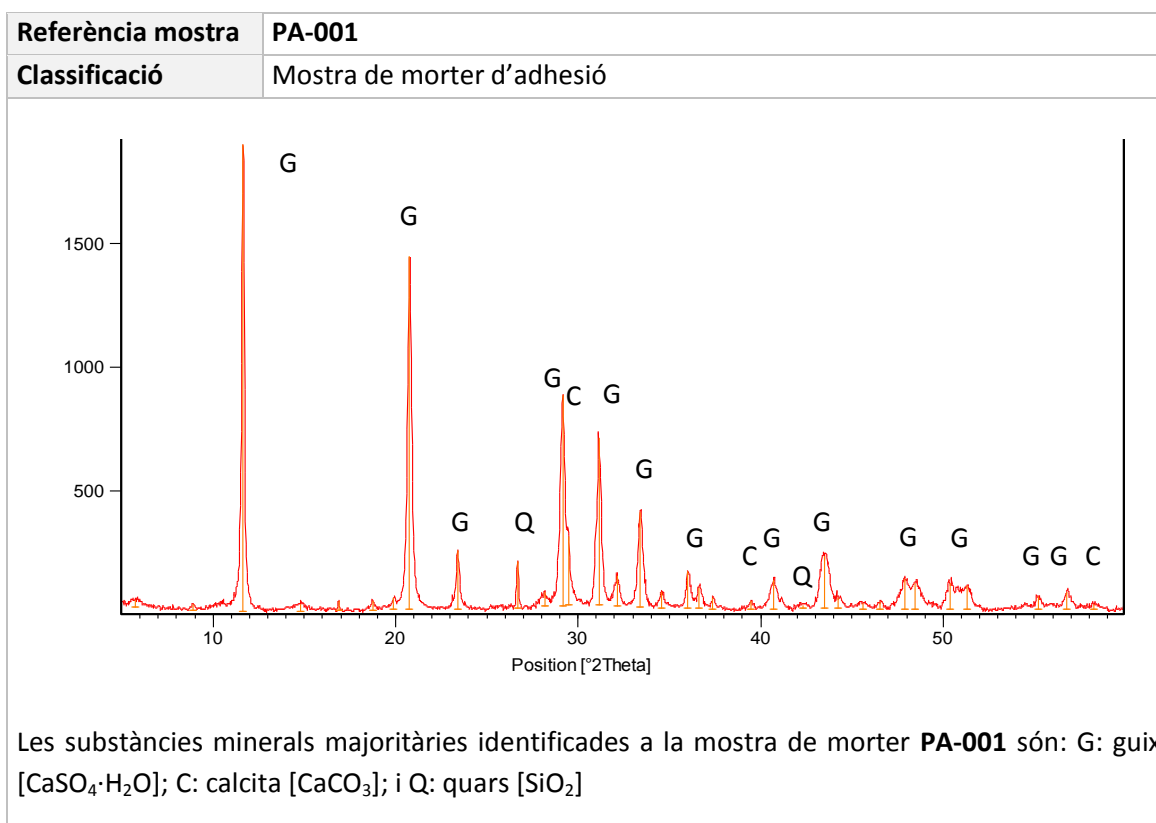
FITXA PETROGRÀFICA

Referència mostra	PA-001	
Classificació	Mostra de morter d'adhesió	
Microfotografies (NC, x400). Microscopi òptic amb llum polaritzada		
 		
 		
Components	Guix i cendres (G-C); nòduls i fragments de guix (NG); fragments de fusta cremada o vegetals calcinats del forna (FC); fragments de roca sedimentària (CALC), principalment gresos o calcàries sorrenques; alguns fragments de roca presenten agregats de cristalls de guix mineral en el seu interior, és a dir, a la roca encaixant (G-R)	
Conglomerant	Guix amb cendres (guix negre - G-C) amb una textura microcristal·lina	
Àrid	Composició	Guix de diferents tipus i mides; fragments de roques sedimentàries sorrenques o calcàries sorrenques del mateix jaciment que el guix. Per aquest motiu, s'observen àrids amb cristalls de guix dins de la matriu del fragment de roca que funciona com a àrid (G-R). També s'aprecien components carbonatats (CALC) (tinció de carbonats), els quals sembla que presentin associats a ells restes de vegetals calcinades. Probablement són fragments de la pedra o de terra del jaciment on s'ha extret el guix mineral i que ha sofert el procés de cocció al forn de guix
	Forma	La morfologia de l'àrid guixut oscil·la entre

		subarrodonida i arrodonida, però la fracció de sorra més fina va entre subangulosa a angulosa	
	Granulometria	Interval de mida	S'observen dos grups (distribució bimodal): - s'observen nòduls de guix, de mida entre 1 a 4 mm, és a dir, de sorra molt gruixuda a grava fina (15% del volum) - també s'observa una segona fracció més abundant (25% volum) de 0,1 a 0,5 mm, de sorra fina a gruixuda
Porositat	Porositat escassa i de mida microporosa (menys del 5-7%)		

1.3. Caracterització quimicomíneralògica

1.3.1. Difractometria de raigs-x (DRX)



1.3.2. Microscopi electrònic de rastreig (SEM/EDX)

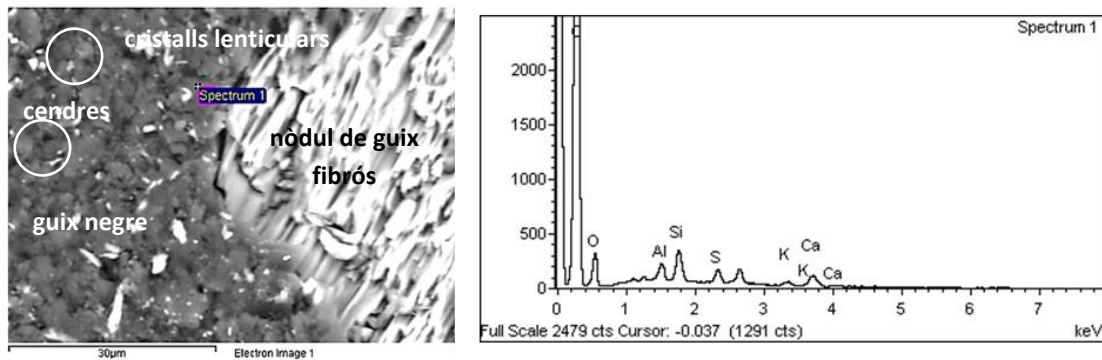


Figura 3 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-001 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-001	<p>La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-001 mostren una matriu conglomerant de color fosc composta per C, O, Si, S i Ca i confirma que el conglomerant està constituït per guix negre amb cendres i restes de terres calcinades durant la cocció del guix mineral. El guix conglomerant presenta un entramat de microcristalls de formes lenticulars o prismàtiques.</p> <p>La presència de silici (Si) es pot atribuir a diferents orígens: impuresa mineral del guix del jaciment geològic en forma de microcristalls de quars o fragments de sílex; o, un component residual de la calcinació i formació de les cendres d'origen vegetal; o, component de les terres argiloses associades a la massa conglomerant acompanyades de carbonat de calci.</p>

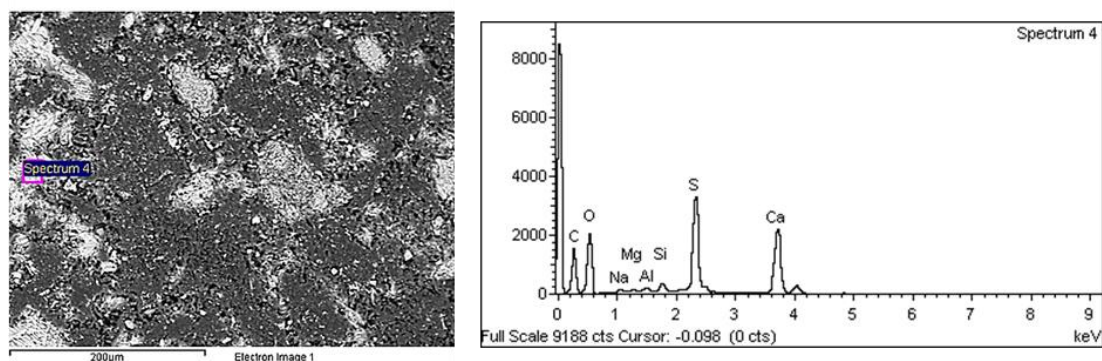


Figura 4 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-001 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-001	<p>La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-001 mostren l'àrid del morter que està compost per nòduls de guix (S, Ca) de morfologia irregular de color blanc. També s'observen altres nòduls i fragments de guix distribuïts de manera irregular per la pasta conglomerant del morter.</p> <p>La majoria són del tipus nodulós i alabastrí. La textura microcristal·lina interna dels nòduls són agregats de petits cristalls prismàtics sense orientació.</p>

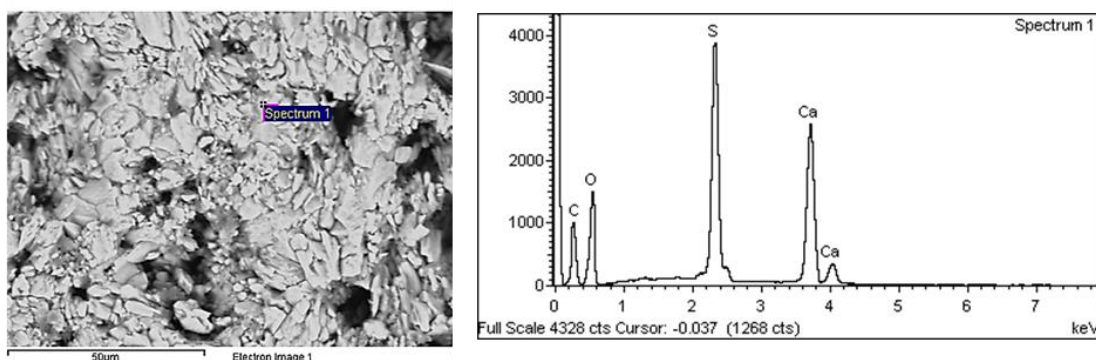


Figura 5 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-001 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-001	<p>La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-001 mostren, un detall a gran augment, d'una partícula d'àrid de guix amb una textura microcristal·lina diferent dels fragments de guix fibrós amb cristalls prismàtics no orientats i lenticulars. Segons els elements presents a l'espectre pot haver-hi petites partícules de carbonats (C, O, Ca) incloses dins del nòdul. Textura de tipus alabastrí.</p>

2. Mostra PA-002

2.1. Descripció mitjançant microscopi estereoscòpic (MO)



Figura 6 Vista genèrica de la zona d'extracció de la mostra (superior esquerra) i zona d'extracció (inferior esquerra). Imatge de la mostra (dreta): diferents fragments de la mostra

Procedència: PLA ALMATÀ

Descripció: Morter d'adhesió



Figura 7 Fotografia de la secció estratigràfica (x25)

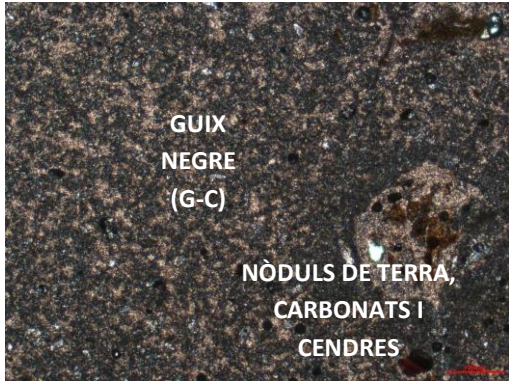
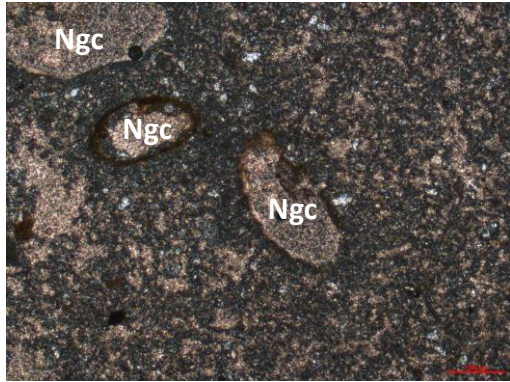
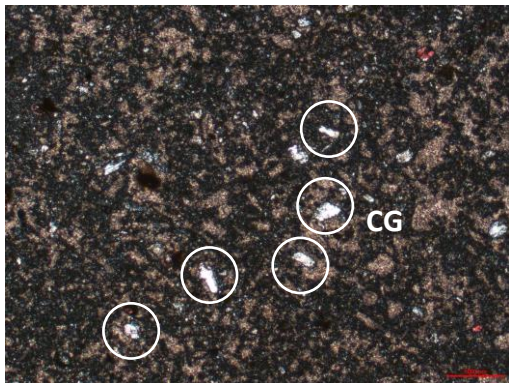
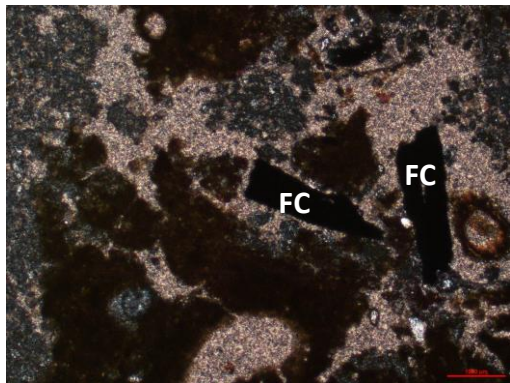


Mostra	Descripció visual
PA-002	<p>Morter de color gris molt homogeni. Predominen de manera general fragments de mida fina i molt fina (puntualment mitja) de color gris fosc i negre, morfologia subarrodonida, i empaquetament baix amb contacte flotant (Figura 7).</p> <p>Observacions</p> <ul style="list-style-type: none">• Sota el morter s'observen possibles restes de terra.• Morter coherent (poc friable).



2.2. Descripció petrogràfica mitjançant microscopi òptic de polarització (MOP)

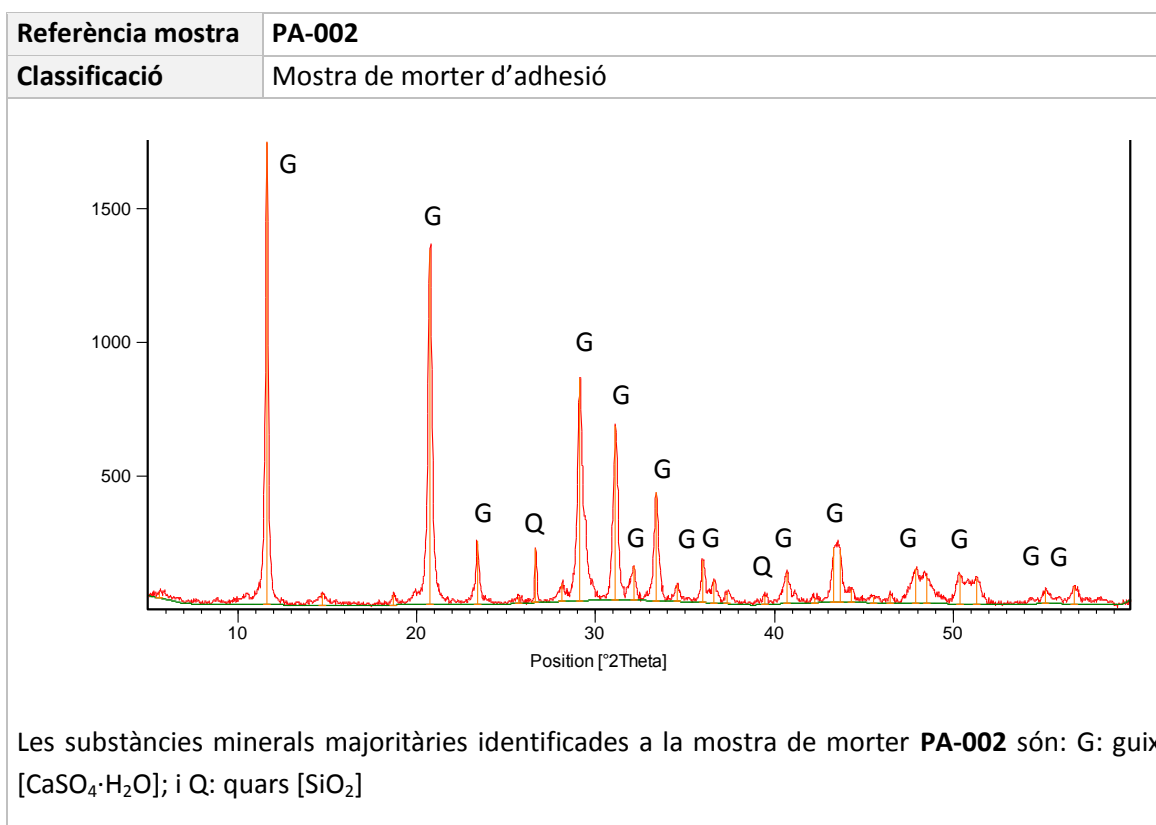
FITXA PETROGRÀFICA

Referència mostra	PA-002		
Classificació	Mostra de morter d'adhesió		
Microfotografies (NC, x400). Microscopi òptic amb llum polaritzada			
 <p>GUIX NEGRE (G-C) NÒDULS DE TERRA, CARBONATS I CENDRES</p>		 <p>Ngc Ngc Ngc</p>	
 <p>CG</p>		 <p>FC FC</p>	
Components	Guix, cendres, fragments de fusta cremada o vegetals calcinats (FC); fragments de cristalls de guix blancs i alguna petita partícula de roques sedimentàries carbonatades i/o sorrenques		
Conglomerant	Guix negre (guix-cendres G-C) de color gris fosc. Dins de la matriu es veuen components que són de forma nodulosa i estan envoltats per un microcapa de color marró fosc amb tonalitats vermelloses (Ngc). Aquests components, possiblement correspon a barreges de guix amb fragments de roca i/o terres procedents de la cocció conjunta en el forn i la posterior mòlta i manufactura del morter		
Àrid	Composició	Guix blanc (cristalls de guix CG). Fragments de cristalls de guix fibrós amb algun fragment de roca petit i molt escàs	
	Forma	Fragments de cristalls prismàtics o subangulosos	
	Granulometria	Interval de mida	La majoria comprèn un ampli interval des de sorra fina (0,1 mm) a sorra gruixuda (0,5 mm), però hi ha una petita fracció molt fina amb una mida per sota 0,1 mm

Porositat	La porositat és del 10% i de mida microporosa, però pot variar molt segons el grau d'alteració
------------------	--

2.3. Caracterització quimicominalògica

2.3.1. Difractometria de raigs-x (DRX)



2.3.2. Microscopi electrònic de rastreig (SEM/EDX)

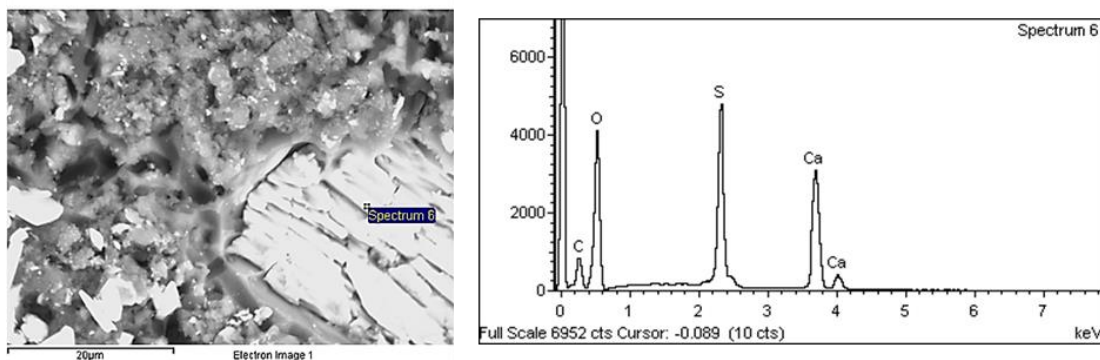


Figura 8 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-002 (esquerra) i espectre d'anàlisi puntual (dreta)

Mostra	Descripció
PA-002	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi puntual de la mostra PA-002 mostren un àrid de guix: fragment de cristall de forma prismàtica de guix fibrós molt semblat al detectat a la mostra PA-001, el qual està envoltat d'una massa d'aspecte gelatinós o geliforme.

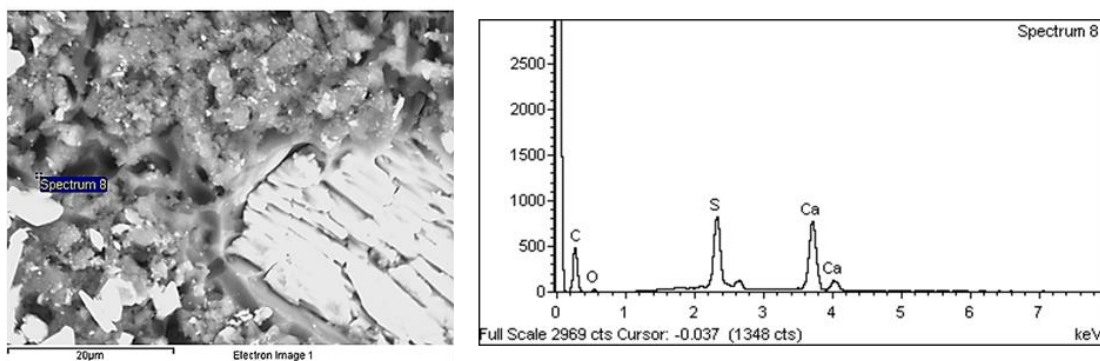


Figura 9 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-002 (esquerra) i espectre d'anàlisi puntual (dreta)

Mostra	Descripció
PA-002	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi puntual de la mostra PA-002 mostren una massa gelatinosa que envolta l'àrid. A l'interior d'aquesta massa gelatinosa s'observen molts fragments de cristalls petits de guix (S, Ca). El carboni (C) en aquest punt analitzat és més abundant que l'oxigen (O). Aquest fet, determina la presència significativa de carbonats i la possible presència d'altres components orgànics no identificats amb la funció d'additiu del morter.

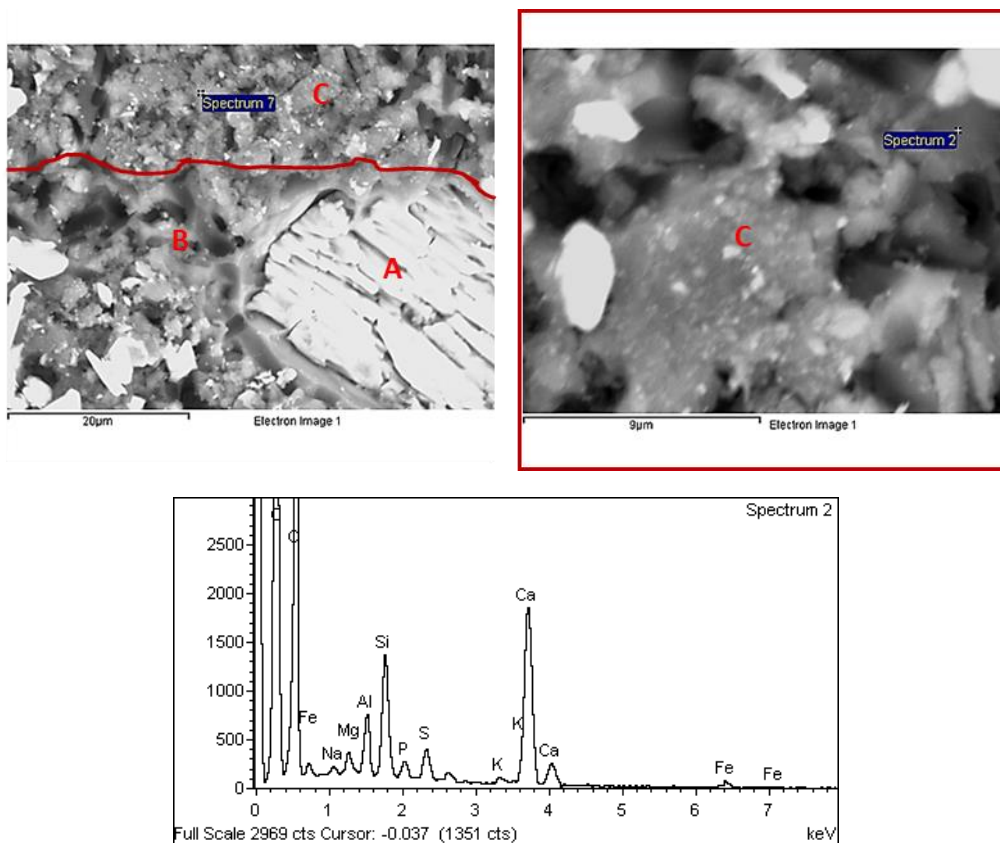


Figura 10 Imatges d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-002 (superior esquerra – general-, superior dreta – detall-) i espectre d'anàlisi puntual (inferior)

Mostra	Descripció
PA-002	<p>Les imatges d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi puntual de la mostra PA-002 mostren una zona (C) que envolta tant l'àrid (A) com el seu embolcall geliforme (B). Si s'observa la zona C, en detall, es determina que presenta una composició predominantment carbonatada, donada la intensitat dels pics dels elements següents: (C, O, Ca) amb una presència significativa de sílice (Si) i altres elements menors com l'alumini (Al), el magnesi (Mg), el sodi (Na) i el potassi (K), sense menysprear la presència menor del fòsfor (P) i del ferro (Fe). La presència d'aquest conjunt d'elements es pot interpretar com els indicadors de restes de pedra i de terra associades al guix procedents del forn (resultat semblant al descrit mitjançant la microscòpia òptica de polarització i anomenada amb l'acrònim Ngc).</p> <p>A part, cal destacar la presència de petits cristalls de guix (S, Ca) dispersos per la zona (C).</p>

3. Mostra PA-003

3.1. Descripció mitjançant microscopi estereoscòpic (MO)



Figura 11 Vista genèrica de la zona d'extracció de la mostra (superior esquerra) i zona d'extracció (inferior esquerra). Imatge de la mostra (dreta): diferents fragments de la mostra

Procedència: PLA ALMATÀ
Descripció: Morter superior

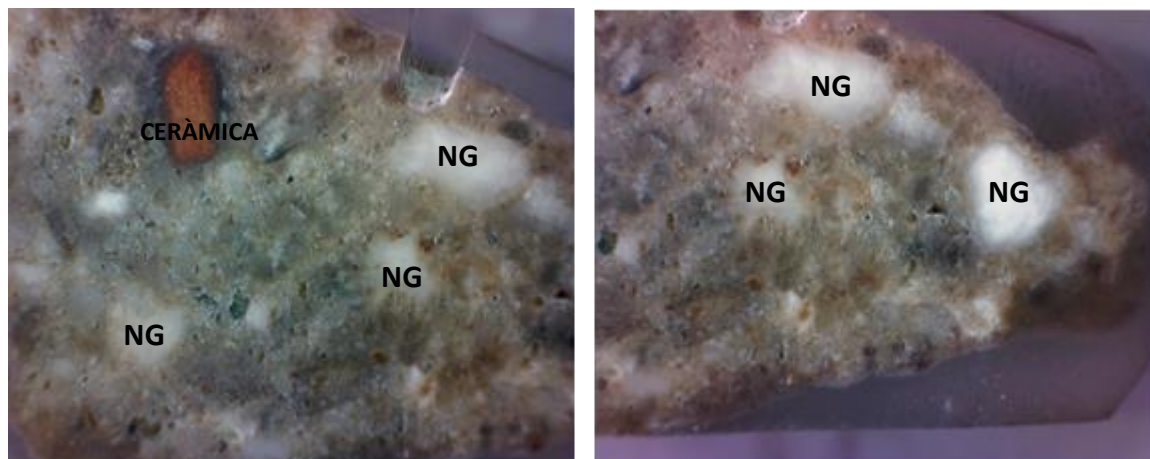


Figura 12 Fotografia de la secció estratigràfica (x20)

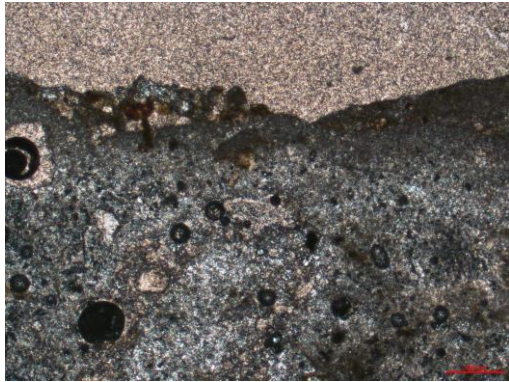
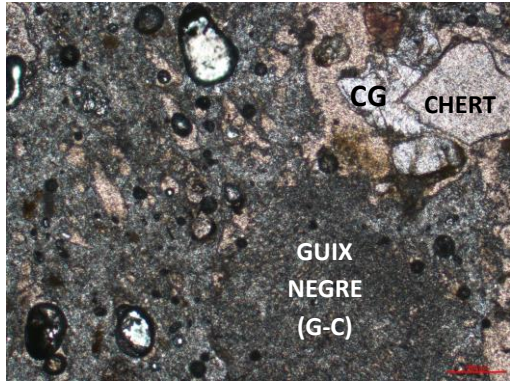
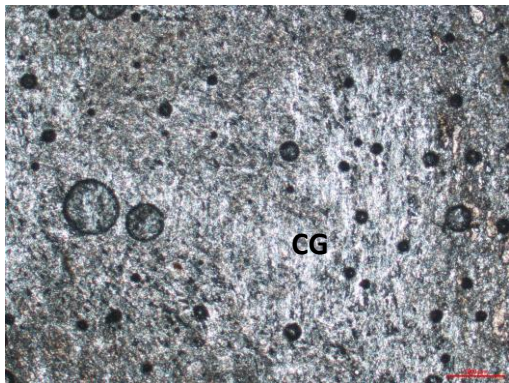



Mostra	Descripció visual
PA-003	<p>Morter de color gris-marró moderadament classificat. Predominen fragments de mida molt gruixuda de color blanc i de mida mitjana-gruixuda de color gris/gris clar (puntualment s'observa algun de color vermellós de mida gruixuda). La morfologia en general oscil·la entre subarrodonida i arrodonida, però el components ceràmics són prismàtics o subangulosos. En general, el morter té un empaquetament elevat i un contacte tangencial (Figura 12).</p> <p>Observacions</p> <ul style="list-style-type: none">• Morter coherent (lleugerament friable). Pot ser considerat com les restes d'un paviment poc elaborat que el Garate anomena "solados de yeso" (Garate, I., 1993).



3.2. Descripció petrogràfica mitjançant microscopi òptic de polarització (MOP)

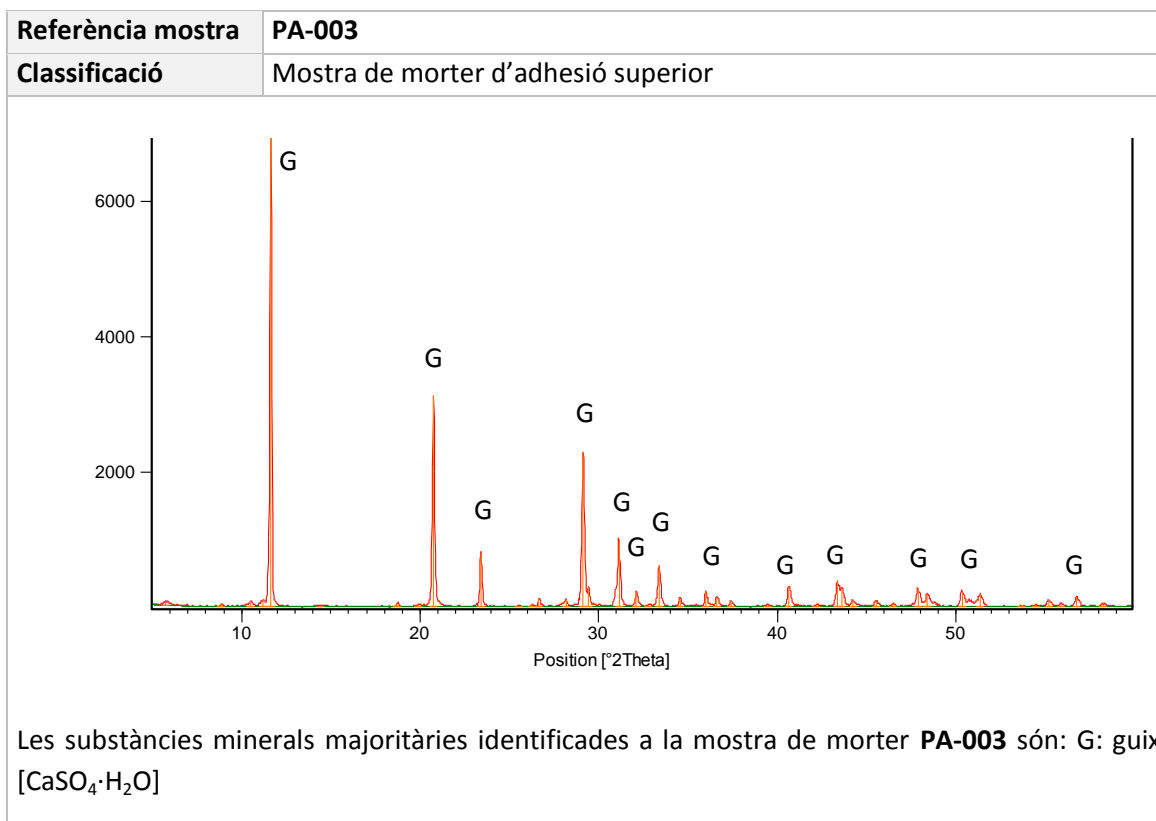
FITXA PETROGRÀFICA

Referència mostra	PA-003		
Classificació	Mostra de morter superior		
Microfotografies (NC, x400). Microscopi òptic amb llum polaritzada			
			
			
Components	Guix negre amb cendres (G-C) combinat amb guix blanc (CG). És molt significatiu la presència de fragments ceràmics. També s'aprecien nòduls de color marró fosc i de morfologia irregular probablement associats a restes de fusta i terra procedents del forn de cocció del guix		
Conglomerant	Guix negre (G-C) de color gris fosc barrejat amb guix blanc (CG)		
Àrid	Composició	Nòduls de guix blanc de tipus alabastrí i algun fragment de tipus fibrós; fragments ceràmics. A part, s'aprecia una petita quantitat de fragments de roca sedimentària i algun fragment de chert de forma subangulosa. Alguns estan associats a nòduls o agregats de cristalls de guix (CG) ja descrits	
	Forma	Els nòduls són subarrodonits, però s'observen cristalls prismàtics fibrosos subangulosos; els fragments ceràmics oscil·len de subangulosos a pseudoprismàtics; els fragments de roca són de forma irregular i variable i, en general, subangulosos	
	Granulometria	Interval de mida	Hi ha dos grups: un de mida grava de 3 a 4 mm i un altra de sorra mitjana

		0,5 mm o una mica menys
Porositat	La porositat és moderada, de 7 a 12%	

3.3. Caracterització quimicomíneralògica

3.3.1. Difractometria de raigs-x (DRX)



3.3.2. Microscopi electrònic de rastreig (SEM/EDX)

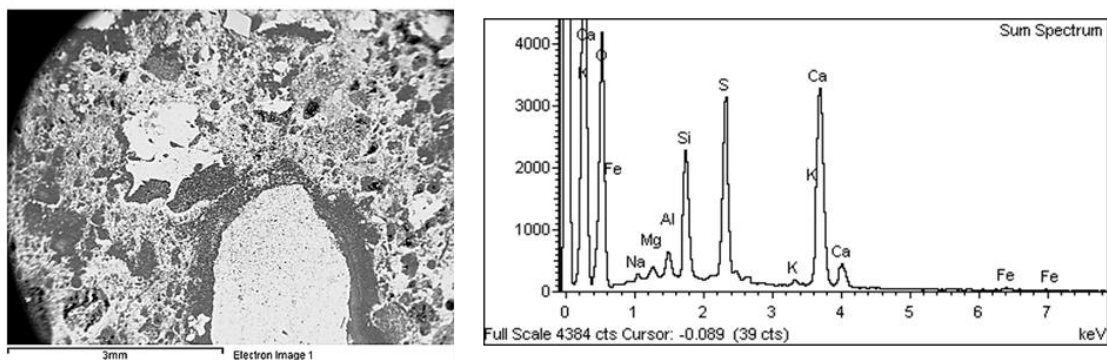


Figura 13 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-003 (esquerra) i espectre d'anàlisi general (dreta)

Mostra	Descripció
PA-003	<p>La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi general de la mostra PA-003 mostren la composició general de la mostra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - conglomerant: guix (S, Ca). - àrid: components silícics (Si) i carbonatats (C, O, Ca) amb altres components menors com l'alumini (Al), el potassi (K), el magnesi (Mg), el sodi (Na) i el ferro (Fe) que podrien està associats a la presència de restes de material ceràmic.

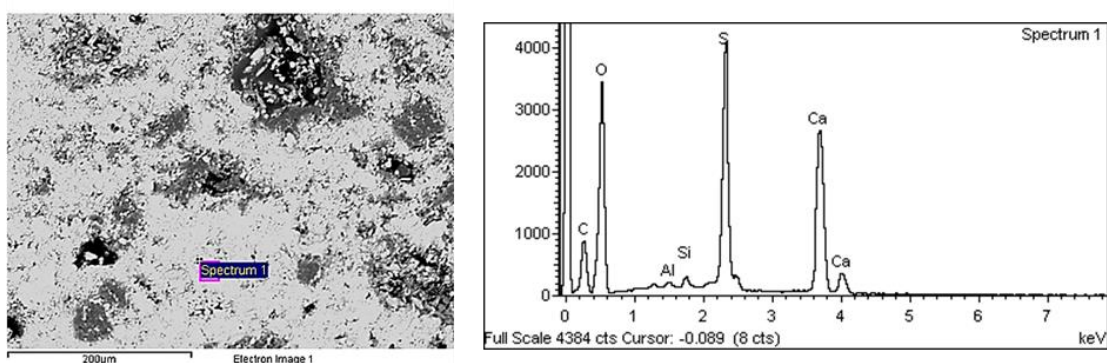
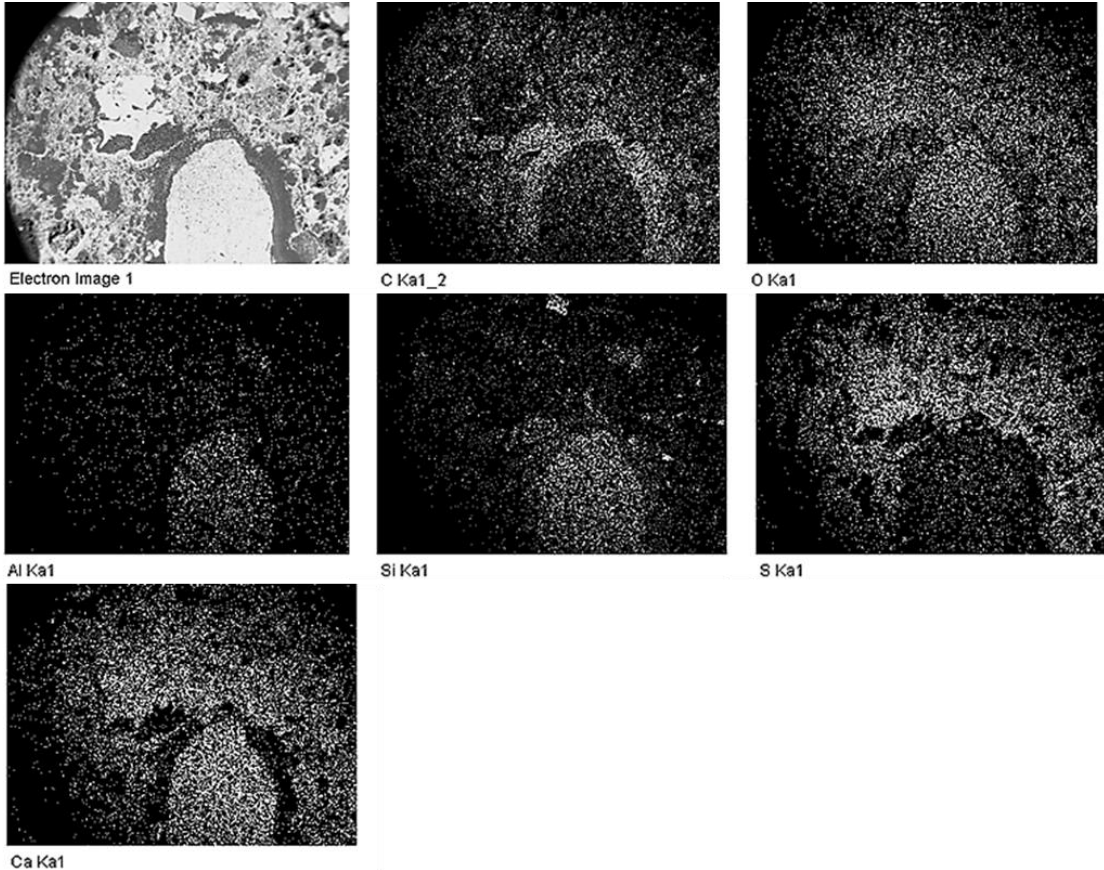


Figura 14 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-003 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-003	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-003 mostren que la matriu conglomerant d'aquest morter majoritàriament és guix (S, O, Ca), malgrat que s'observen altres petites quantitats d'altres elements (Si, Al). En aquesta àrea estudiada es pot observar, en detall, la morfologia i la textura del guix blanc: cristalls prismàtics allargats i amb una certa tendència a formar agregats radials. Cal destacar que, l'entramat de cristalls és menys dens o més microporós que el guix negre.



Electron Image 1

C Ka1_2

O Ka1

Al Ka1

Si Ka1

S Ka1

Ca Ka1

Figura 15

Distribució de la composició elemental total de tota la mostra PA-003

Mostra	Descripció
PA-003	<p>La distribució de la composició elemental de la mostra ens permet veure com el fragment ceràmic “xamota” (Si, Al i Ca) està envoltat per una petita capa de cendres (C) dins d’una matriu conglomerant de guix. A més a més, s’aprecien molts petits components amb sílice dins de la matriu conglomerant del morter.</p> <p>Hi ha diferents possibilitats per interpretar aquests resultats: o són petits fragments de chert; o, fragments de ceràmica “xamota”; o, sílice associada a las cendres de la fusta cremada al forn de guix.</p> <p>Cal esmentar, que no es distingeix bé la presència de carbonats donat el solapament amb altres elements de composició elemental molt semblant.</p>



4. Mostra PA-004

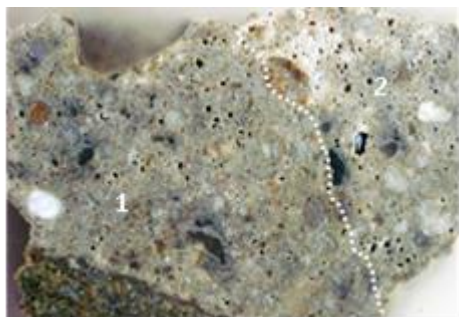
4.1. Descripció mitjançant microscopi estereoscòpic (MO)



Figura 16 Vista genèrica de la zona d'extracció de la mostra (superior esquerra) i zona d'extracció (inferior esquerra). Imatge de la mostra (dreta): pedra i morter

Procedència: PLA ALMATÀ

Descripció: Morter de junta amb pedra



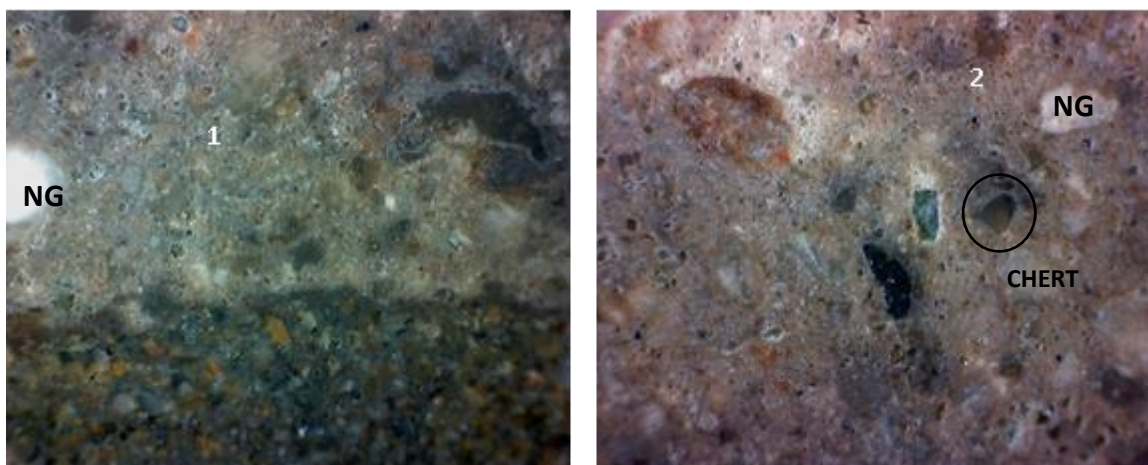
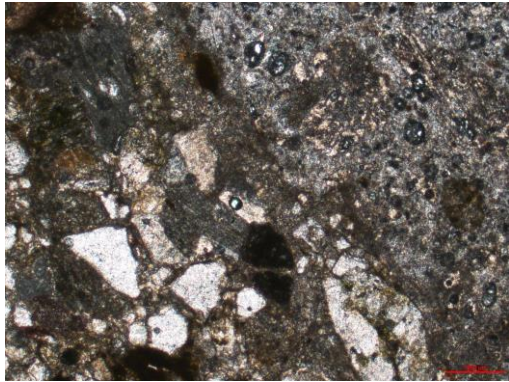
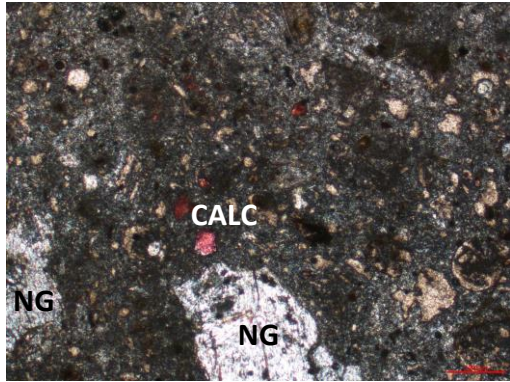
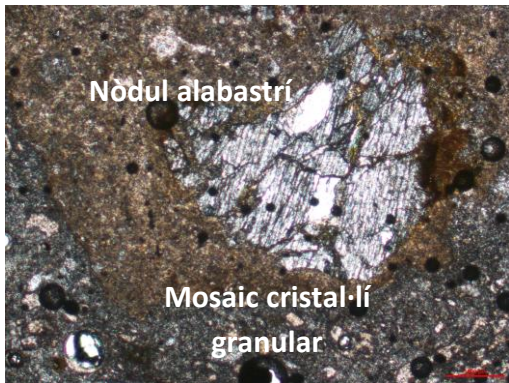
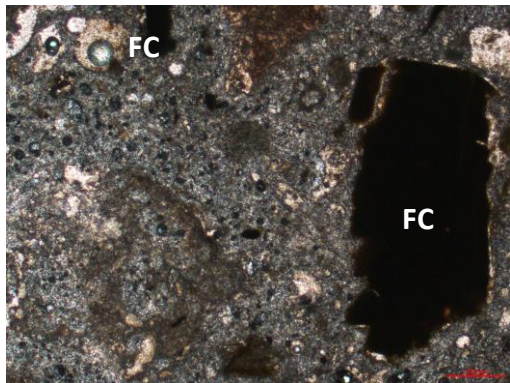


Figura 17 Macrofotografia de la secció estratigràfica (superior) i fotografia de detall de dues zones de la secció estratigràfica (x25)

Mostra	Descripció visual
PA-004	<p>Morter de color gris-marró pobrament classificat. Predominen fragments de mida gruixuda (puntualment mitja i molt gruixuda) de color gris marró. La morfologia oscil·la entre subarrodonida i arrodonida (puntualment angulosa) amb un empaquetament elevat i contacte flotant (Figura 17).</p> <p>A la mostra sembla observar-se una diferència textural (1 i 2) en el grau de compactat i en una possible orientació dels fragments.</p> <p>Observacions</p> <ul style="list-style-type: none"> • A la part inferior de la mostra s'observa una petita capa de pedra natural. • Morter coherent (lleugerament friable).

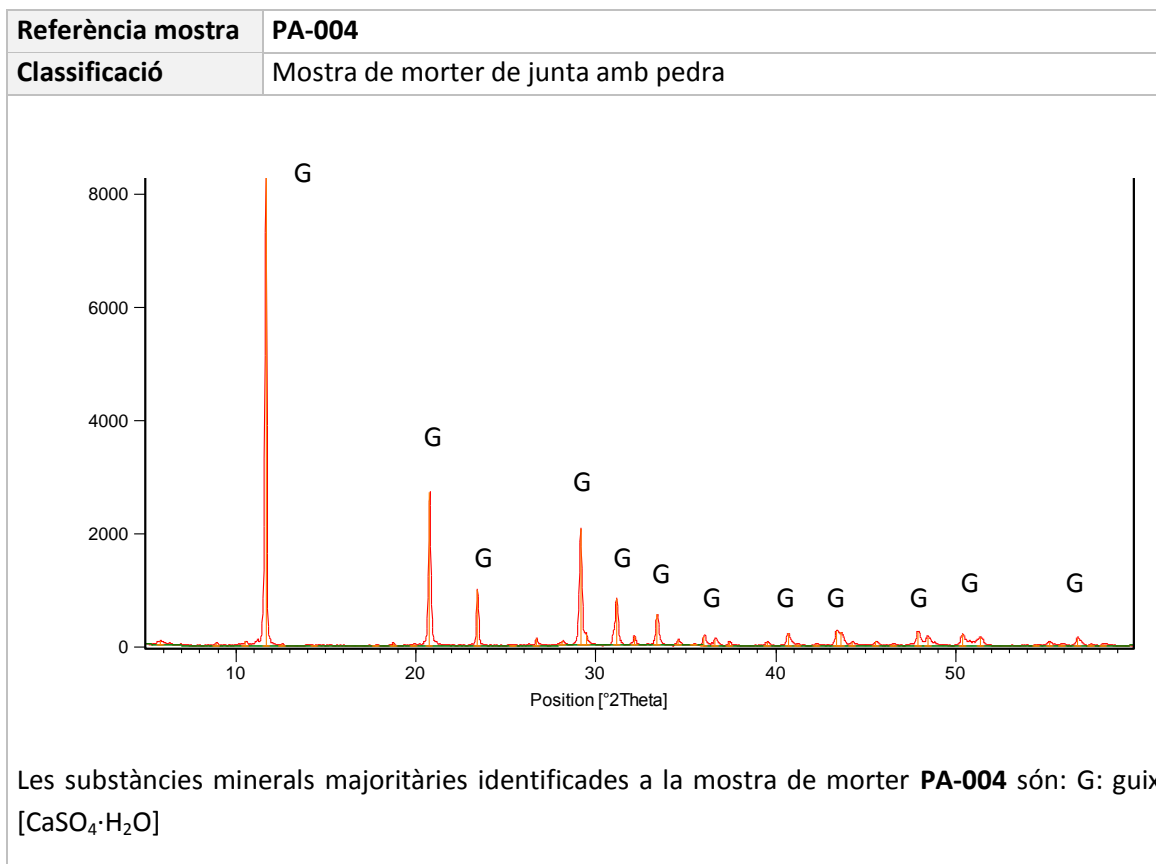
4.2. Descripció petrogràfica mitjançant microscopi òptic de polarització (MOP)

FITXA PETROGRÀFICA

Referència mostra	PA-004		
Classificació	Mostra de morter de junta amb pedra		
Microfotografies (NC, x400). Microscopi òptic amb llum polaritzada			
			
			
Components	Nòduls de guix; restes de fusta o plantes vegetals cremades (FC); fragments de roca sorrenca o calcària amb nòduls de guix (G-R), chert i/o sílex; algun petit fragment de roca calcària. Nòduls de guix alabastrí amb una textura petrogràfica constituïda per un mosaic de cristalls grollers amb les vores de gra poligonals.		
Conglomerant	Guix amb cendres (guix negre)		
Àrid	Composició	Nòdul de guix; fragments de roca sorrenca o calcària amb guix	
	Forma	En general, la forma de l'àrid és subarrodonida	
	Granulometria	Interval de mida	L'interval de mida oscil·la de grava (5 mm) fins a sorra fina (0,2 mm)
Porositat	La porositat és de 10 a 12%		

4.3. Caracterització químicomineralògica

4.3.1. Difractometria de raigs-x (DRX)



4.3.2. Microscopi electrònic de rastreig (SEM/EDX)

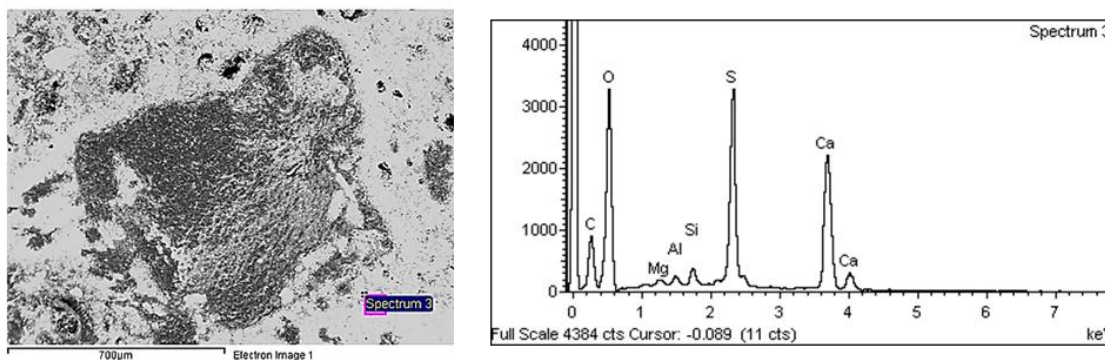


Figura 18 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-004 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-004	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-004 mostren que la matriu conglomerant del morter és de guix, malgrat que, es detecten petites quantitats de Mg, Al, Si procedent de fragments de roques, argiles i silicats diversos (chert o sílex).

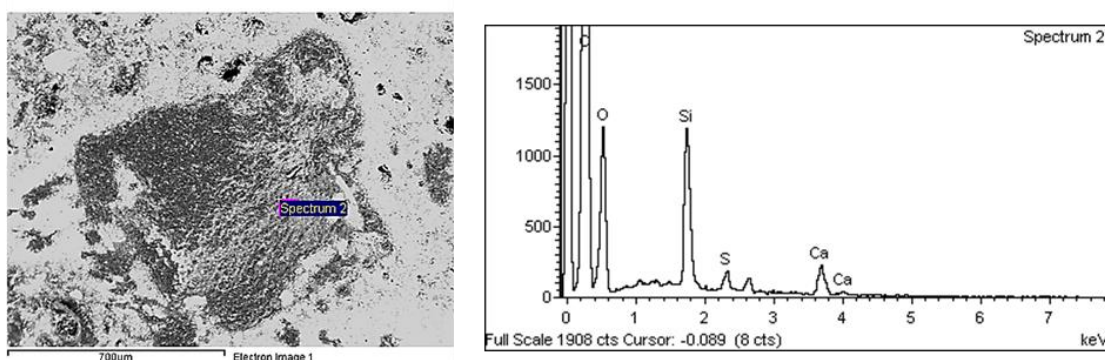


Figura 19 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-004 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-004	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-004 mostren un àrid on es detecta la presència de sílice (Si), calci (Ca) i sofre (S), també carboni (C) i oxigen (O). Són fragments de roca que podrien ser de tipus "chert", és a dir, procedents de roca calcària (C, O, Ca) silicificada, component molt freqüent als afloraments de guix.

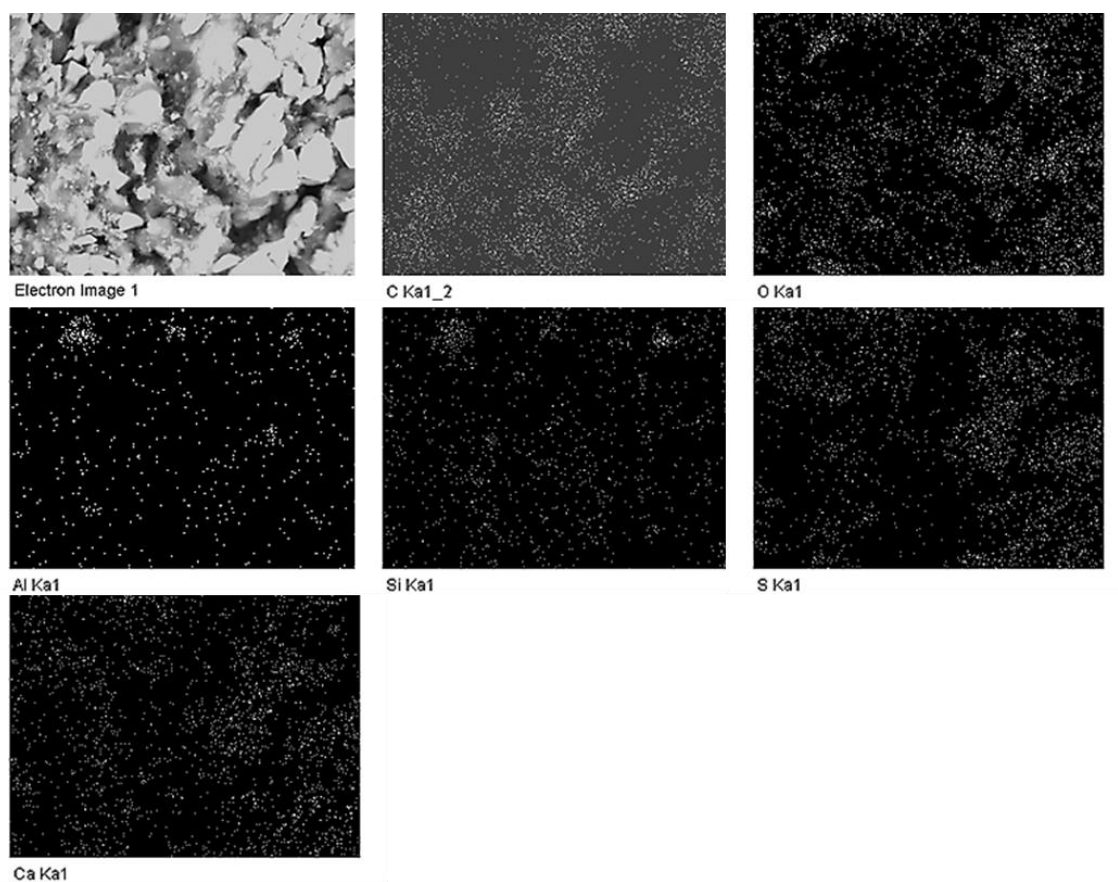


Figura 20 Distribució de la composició elemental total de tota la mostra PA-004

Mostra	Descripció
PA-004	La distribució de la composició elemental d'una àrea diferent de la mostra ens permet veure en detall un fragment de cristall de guix (S, Ca). En ell, es detecta la presència significativa de carbó (C) a la matriu conglomerant degut a les cendres característiques del guix negre.



5. Mostra PA-005

5.1. Descripció mitjançant microscopi estereoscòpic (MO)



Figura 21 Vista genèrica de la zona d'extracció de la mostra (superior esquerra) i zona d'extracció (inferior esquerra). Imatge de la mostra (dreta): diferents fragments de la mostra

Procedència: PLA ALMATÀ
Descripció: Morter de junta

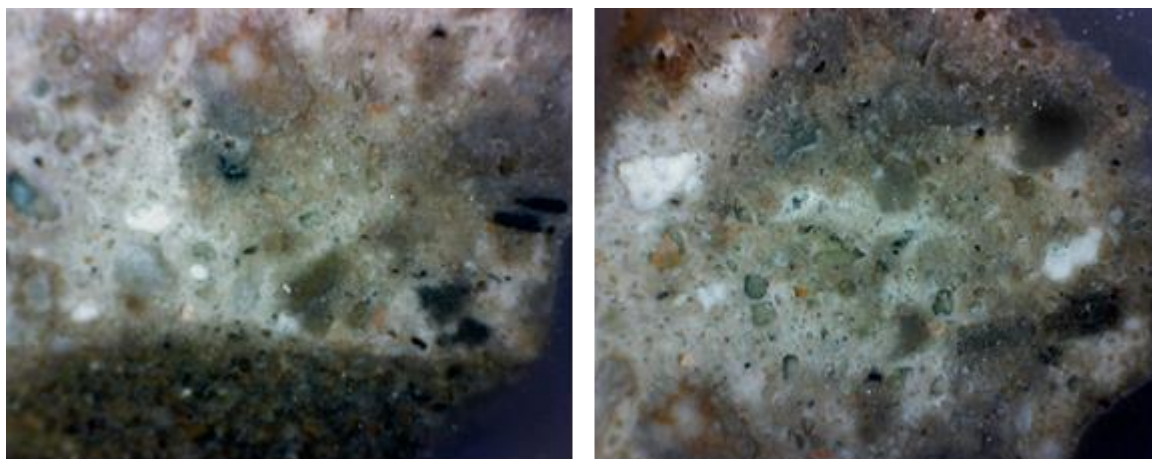


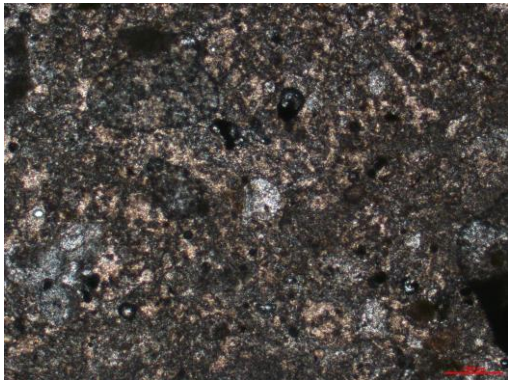
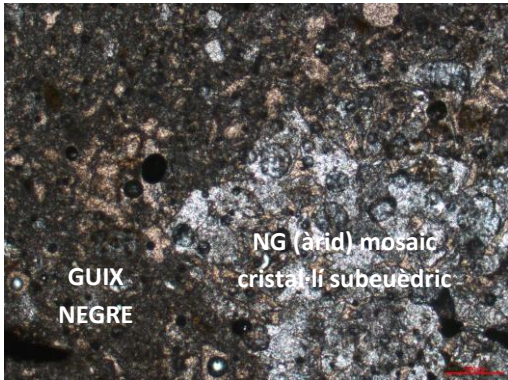
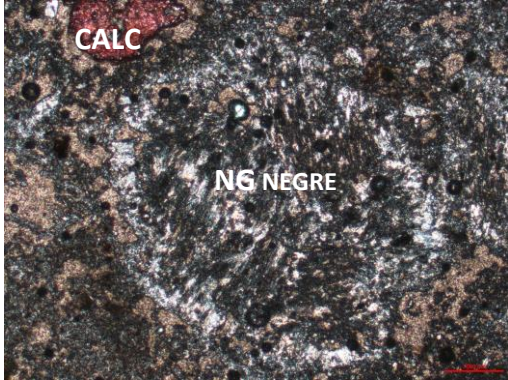
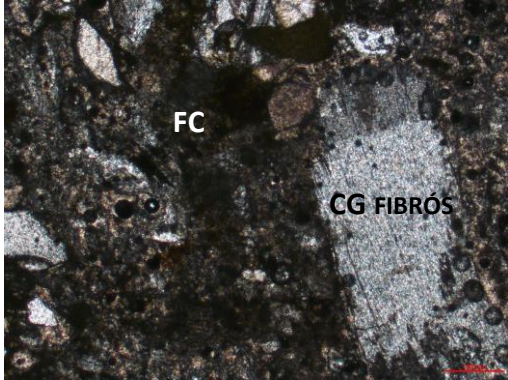
Figura 22 Fotografia de la secció estratigràfica (x35).



Mostra	Descripció visual
PA-005	<p>Morter de color gris-marró pobrament classificat. Predominen fragments de mida gruixuda (puntualment mitja i molt gruixuda) de color gris, marró i blanc. La morfologia oscil·la entre subarrodonida i arrodonida (puntualment angulara) amb un empaquetament moderat i contacte flotant (puntualment tangencial) (Figura 22).</p> <p>Observacions</p> <ul style="list-style-type: none">• A la part inferior de la mostra s'observa una petita capa de pedra natural.• Morter coherent (lleugerament friable).

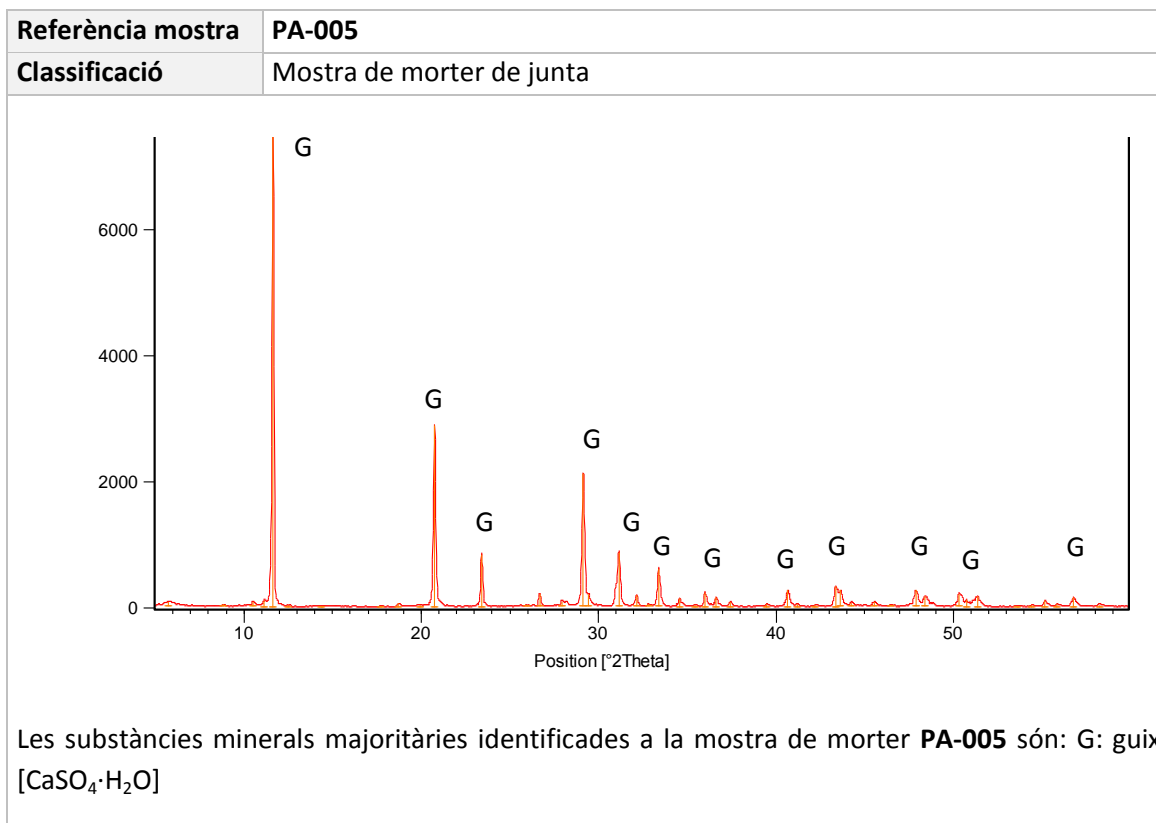


5.2. Descripció petrogràfica mitjançant microscopi òptic de polarització (MOP)

Referència mostra	PA-005		
Classificació	Mostra de morter de junta		
Microfotografies (NC, x400). Microscopi òptic amb llum polaritzada			
			
			
Components	Aquesta mostra té una composició molt heterogènia: nòduls de guix de diferents tipus; fragments de roques (sorrenques, carbonatades, chert o sílex). Aquests fragments de roca són del mateix tipus de roca que la del carreu. El guix de la matriu segueix essent del tipus guix negre amb cendres (NG NEGRE) però amb nòduls d'aquest mateix tipus de guix provinents del forn o de l'amasat. És a dir, agregats de cristalls de la massa conglomerant formats durant la cocció o la manufactura del morter. Aquest no es pot confondre amb els nòduls de guix mineral afegits com a àrids		
Conglomerant	Predomina el guix amb cendres G-C (guix negra) barrejat amb una mica de guix blanc (CG)		
Àrid	Composició	Nòduls de guix (mosaic i fibrós); fragments de roca de diferents tipus inclòs fragments de carreu	
	Forma	La forma de l'àrid oscil·la de subarrodonida a subangulosa	
	Granulometria	Interval de mida	L'interval de mida va de grava (6 mm) a sorra fina (0,1 mm)
Porositat	La porositat és elevada de 15% a 20%		

5.3. Caracterització químicomineralògica

5.3.1. Difractometria de raigs-x (DRX)



5.3.2. Microscopi electrònic de rastreig (SEM/EDX)

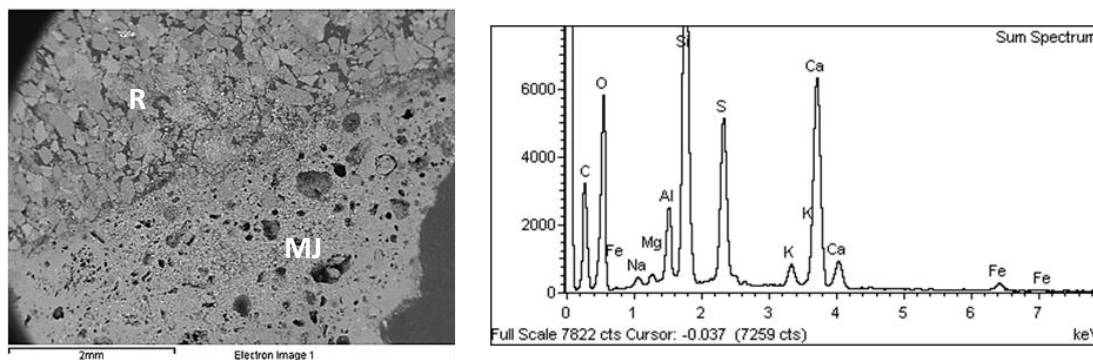


Figura 21 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-005 (esquerra) i espectre d'anàlisi zonal (dreta)

Mostra	Descripció
PA-005	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi zonal de la mostra PA-005 mostren com el morter de junta (MJ) es diferencia clarament de la roca del carreu (R). La roca del carreu és una sorrenca composta per quars, feldspats, fragments de roques carbonatades i algun petit cristall de sulfat amb ciment carbonatat.

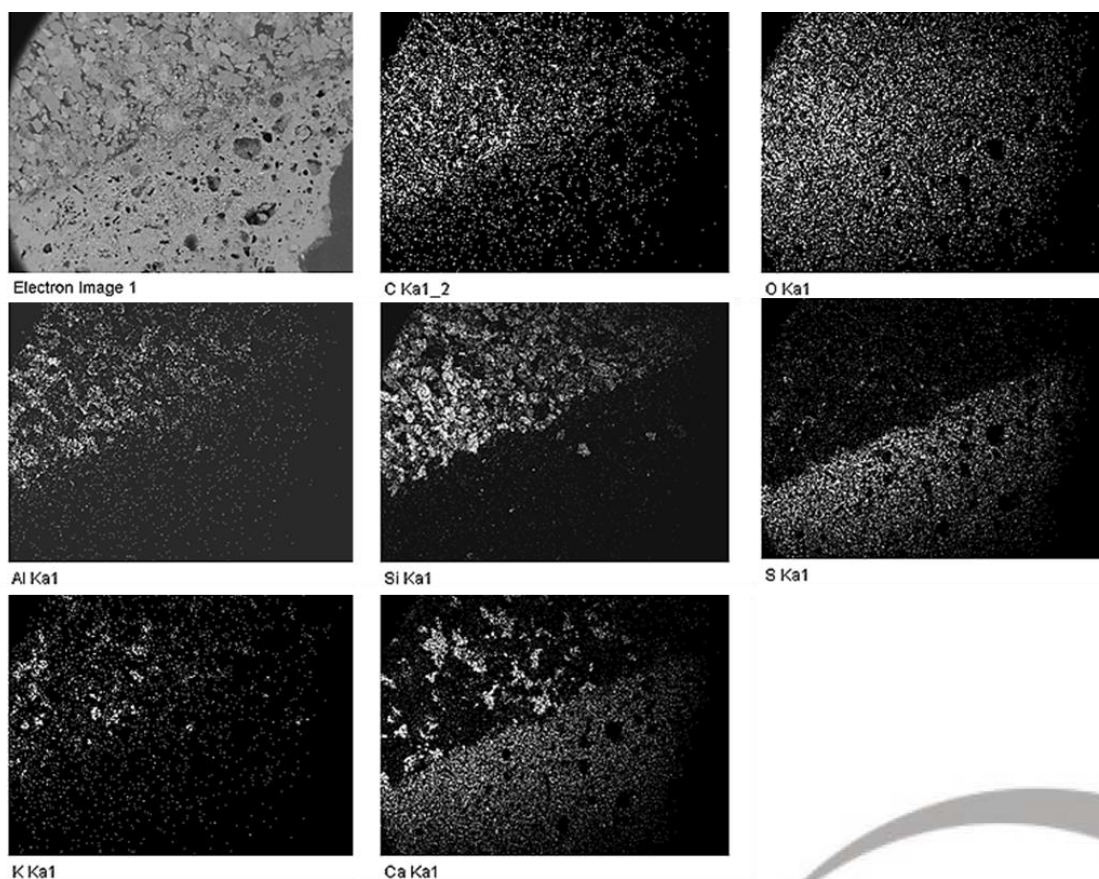


Figura 22 Distribució de la composició elemental total de tota la mostra PA-005

Mostra	Descripció
PA-005	La distribució de la composició elemental de la mostra ens permet determinar que el conglomerant del morter és de guix (S, Ca) amb la presència de petites partícules amb sílice (Si).

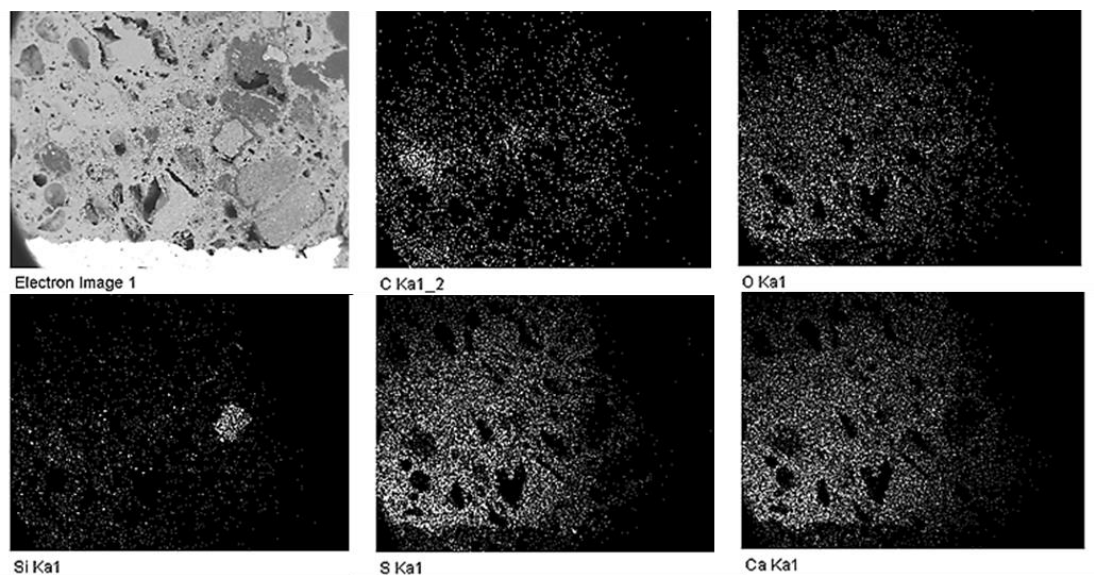


Figura 23 Distribució de la composició elemental total de tota la mostra PA-005

Mostra	Descripció
PA-005	La distribució de la composició elemental de la mostra ens permet determinar que en el morter de guix, molt porós, es detecten fragments de quars o sílex. A part, també es veuen altres petites partícules de sílice (Si) a la matriu conglomerant. Com en el cas de la mostra PA-004 podrien ser components de les cendres associades al guix negre.

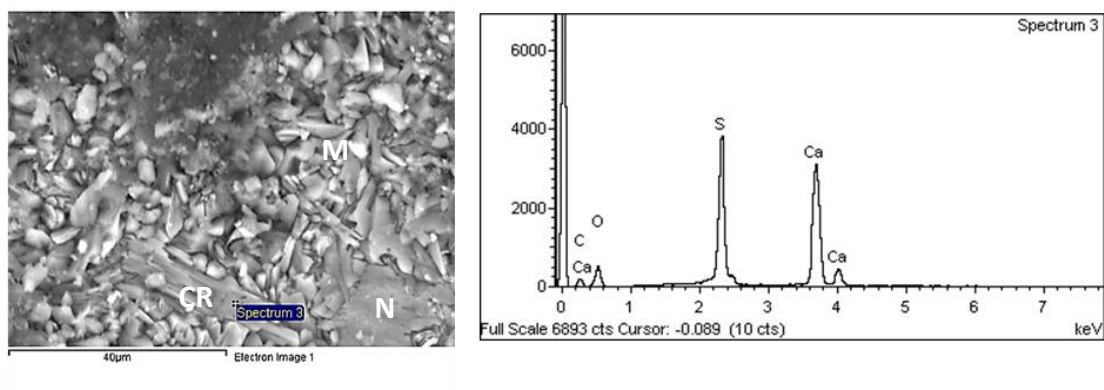


Figura 24 Imatge d'electrons retrodispersats (BSK) de la mostra PA-005 (esquerra) i espectre d'anàlisi puntual (dreta)

Mostra	Descripció
PA-005	La imatge d'electrons retrodispersats i l'espectre d'anàlisi puntual de la mostra PA-005 mostren un cristall (CR) de guix fibrós amb un altre nòdul (N) subeudral, a l'esquerra de la imatge, rodejats de la matriu microcristal·lina (M) de guix negre corresponent al conglomerant del morter. La textura del guix negre es sembla a la descrita a la mostra PA-001: un entramat compacte de microcristalls de formes lenticulars o prismàtiques.

6. Interpretació i discussió dels resultats

La síntesi dels resultats obtinguts a partir de les diferents tècniques instrumentals d'anàlisi utilitzades en el present informe és la que segueix a continuació:

- Primer, pel que fa a la **matriu del conglomerant** de les mostres de morter estudiades els resultats són els següents:

- El conglomerant de les mostres de morter estudiades es compona pràcticament de guix. El tipus de guix predominant en totes les mostres és el **GUIX NEGRE**. Aquest guix es compona de guix barrejat amb cendres i restes de fusta o vegetals carbonitzats procedents del forn de cocció. Cal esmentar que les cendres contenen sílice.

Aquest conglomerant de guix negre forma una matriu microcristal·lina amb una mida de gra d'escasses micres (de 2 a 5 μm) d'hàbit prismàtic o lenticular. Cal destacar que sols a prop de les vores externes o en els porus hi ha cristalls més allargats de tipus capil·lar. En conjunt, la massa conglomerant consisteix en un entramat compacte de cristalls entrecruats i d'aspecte bastant uniforme que s'han format durant el ràpid procés de fargat. A part, dins d'aquesta trama o fàbrica de cristalls es detecten partícules de cendres de color negre, opaques, anguloses i de formes poligonals, i de mida d'escasses micres.

- En canvi, en algunes mostres s'observa un **GUIX DE COLOR BLANC** més refinat sense cendres o molt escasses que, en algunes de les mostres analitzades, es barreja o es combina amb el guix negre. Aquest tipus de guix es detecta clarament a la mostra PA-003 i, possiblement a la mostra PA-004.

Aquest guix blanc, en canvi, té una estructura diferent del guix negre. Es compona d'un entramat de cristalls més grans y allargats de forma prismàtica i, sobretot, s'observa una fàbrica cristal·lina més porosa que la del guix negre. A part, s'aprecia a través de la microscòpia electrònica (SEM) que aquests microcristalls tendeixen a ordenar-se en agregats radials constituint nòduls pseudoesfèrics, encara que de contorn bastant difús (mostra PA-003).

En els dos casos el tipus de guix és de tipus alfa de manufactura tradicional.

- Segon, pel que fa als **àrids** de les mostres de morter estudiades els resultats són els següents:

Es determinen diferents tipus d'àrids, tal i com segueix a continuació:

- **ÀRIDS DE GUIX**

- ✓ A les mostres de morter estudiades els àrids més freqüents detectats són nòduls o fragments d'agregats de cristalls de guix. Segons el morter i el tipus de component la mida de l'àrid és molt variable: van des de la mida grava a la sorra grollera o mitjana amb una morfologia bastant similar, predominantment subarrodona (PA-001, PA-003, PA-004 i PA-005). Aquests nòduls són de tipus alabastrí en totes les mostres, però es diferencia en la textura microcristal·lina interna.

- ✓ La majoria dels nòduls que presenten totes les mostres són agregats de petits cristalls prismàtics sense orientació.
 - ✓ A més a més, alguns nòduls de guix i, especialment els que componen els de tipus (G-R) amb restes de roca encaixant estan constituïts per un mosaic de cristalls grollers amb les vores de gra poligonals (PA-004 i PA-005).
 - ✓ Però també s'observen àrids constituïts per fragments de cristalls de guix de forma prismàtica amb una textura fibrosa i de mida més fina (PA-002) que no pertanyen al tipus de guix amb nòduls alabastrí.
 - ✓ Per últim, es detecten també alguns àrids de caràcter mixt, és a dir, cristalls de guix dins de la matriu de la roca (G-R), ja descrit com de tipus alabastrí. En general, són àrids de mida més grollera que als altres àrids (grava o sorra molt grollera). Els cristalls es troben dins d'un sediment de gra fi generalment carbonatat que s'anomena *micrita*, encara que freqüentment es detecta, a més a més, una fracció llim-argilosa (PA-004 i PA-005).
- **ÀRIDS DE FRAGMENTS DE ROQUES I MINERALS**
- ✓ Fragments de roques carbonatades, en general, de textura detrítica o sorrenca: sorrenques calcàries, calcarenites, calcàries llimoses.
 - ✓ Fragments de chert (calcàries silicificades) i de sílex (quars criptocristal·lí): el sílex correspon a minerals accessoris o secundaris d'aquests jaciments sedimentaris de guix, els quals constitueixen nòduls en aquest tipus de roques; altres fragments anomenats "chert" provenen de la transformació químicomineralògica que pateixen alguns estrats de la sèrie sedimentària durant la seva presència a les profunditats de l'escorça terrestre. En qualsevol cas, són materials procedents de l'entorn geològic i, sobretot dels jaciments de guix que s'han utilitzat per a la seva cocció en els forns i per elaborar la pasta conglomerant dels morters. Aquests components s'han detectat a les mostres PA-003 i PA-004.
- **ÀRIDS DE MATERIAL CERÀMIC**
- ✓ La presència de fragments de material ceràmic sols s'ha detectat a la mostra PA-003. Alguns d'aquests fragments semblen haver patit l'efecte de la calor d'un incendi i està envoltats en cendres.



- Tercer, pel que fa a les **característiques de cada tipus de morter** els resultats són els següents:

Les diferències entre aquests morters és fonamentalment de textura, dosificació i granulometria, tal com segueix a continuació:

- **MOSTRA PA-001.** És un morter de revestiment de textura grollera. La matriu conglomerant es compon de guix negre amb una proporció abundant de cendres i restes calcinades de fusta i altres vegetals. Els àrids són majoritàriament nòduls de guix d'una mida màxima de 4 mm (grava) i també una fracció més fina composta amb fragments de la mateixa roca amb cristalls de guix dins de la matriu de la roca encaixant (G-R).
- **MOSTRA PA-002.** És un morter de revestiment de textura fina. La matriu conglomerant es compon també de guix negre amb cendres i restes calcinades de fusta i altres vegetals. L'àrid és escàs i la granulometria és molt més fina que la mostra PA-001, de 0,1 a 0,5 mm. L'àrid no està compost per nòduls de guix, sinó que està compost per fragments de cristalls de guix, els quals tenen la majoria una textura fibrosa. Cal destacar, que a partir de la microscòpia electrònica s'observa que alguns fragments d'aquests cristalls presenten una recobriments d'aspecte geliforme que pot indicar la presència d'un additiu orgànic. Per confirmar la seva presència caldria realitzar un estudi posterior amb altres tècniques instrumentals d'anàlisi susceptibles a detectar materials orgànics.

Per la localització d'extracció i les característiques composicionals i texturals d'aquestes dues mostres (PA-001 i PA-002) es pot pensar que poden formar part d'un mateix revestiment: la mostra PA-001 essent el de preparació i la mostra PA-002 essent el morter d'enlluït. La presència d'un possible aglutinant orgànic a la mostra PA-002 sembla validar la idea d'un enlluït.

- **MOSTRA PA-003.** És un morter bastant dens i compacte utilitzat com a paviment per a recobrir el sòl de pedra. La matriu conglomerant presenta una barreja de guix negre i blanc, encara que l'observació a través del microscopi òptic de polarització i l'electrònic indiquen que el guix blanc és un component minoritari i de distribució molt irregular. No obstant això, la fàbrica cristal·lina d'ambdós és diferent com ja s'ha explicat anteriorment. L'àrid del morter és abundant presentant dos grups diferenciats: un de mida més grollera, fins a 3-4 mm, compost principalment per nòduls de guix subarrodonits i, un altre de mida més fina, fins a 0,5-0,3 mm de sorra mitjana i fina, composta per diversos materials, fragments de guix, roca sorrenca amb nòduls de guix o fragments de chert, nòduls de terra barrejats amb cendres i, finalment algun petit fragment de material ceràmic. Tot i això, cal destacar que alguns fragments ceràmics tenen una mida significativa, uns 6-7 mm i mantenen, en gran part, la seva forma original, encara que amb restes de l'impacte per incendi.

A part, s'observa una fina capa superficial de textura fina i homogènia que pot ser deguda a un procés de recristal·lització per alteració i ascensió capil·lar de les humitats internes.

- **MOSTRA PA-004.** És un morter de junta bastant compacte compost de guix negre amb cendres i fragments de fusta o vegetals calcinats. L'àrid del morter és abundant (25-30 % del volum). La distribució de la mida de l'àrid és molt àmplia, des de de grava (5 mm) fins a sorra fina (0,2-0,3 mm), essent molt heteromètric. L'àrid està compost per diversos materials: nòduls de guix; roca sorrenca o calcàries amb nòduls de guix (G-R); fragments de chert i/o sílex; nòduls de terra barrejats amb cendres. Per tant, la seva composició és molt diversa, però no es detecten restes de material ceràmic.
- **MOSTRA PA-005.** És un morter de junta de textura molt heterogènia pel que fa a la mida de gra i la seva composició. És un morter que està compost de guix negre amb una mica de guix blanc. Cal destacar que, té components bastant similars a la mostra anterior (PA-004), però a més a més, conté fragments de roca del carreu (sorrenques de gra groller amb grans de quars, feldspat, fragments de roques calcàries (litoarenita)). A part, l'àrid és una mica més groller que la mostra PA-004, fins a 6 mm de grava mitjana. Tampoc s'observa material ceràmic. Per últim, cal destacar que és un morter bastant porós.

- En conclusió, aquestes mostres de morter analitzades es poden agrupar en tres grups diferenciats:

- **TIPOLOGIA 1 - MOSTRES PA-001 i PA-002.** Corresponen a dues capes diferenciades d'un revestiment. Compostes de guix negre sense guix blanc ni material ceràmic; els nòduls de guix i els fragments de cristall de guix són de tipus fibrós; s'observa també guix a la matriu (mostra PA-001); a partir de la difractometria de raigs-x es detecta quars, però no es detecta chert o sílex. Per tant, es pot pensar que aquest quars és una impuresa del guix i de la roca mare de l'aflorament.
- **TIPOLOGIA 2 - MOSTRA PA-003.** Pot correspondre's a una resta d'un paviment poc elaborat anomenat "solados de yeso" (Garate, I., 1993). Composta de guix negre amb guix blanc i material ceràmic.
- **TIPOLOGIA 3 - MOSTRES PA-004 i PA-005.** Corresponen a morters de junta de carreu. Compostes de guix negre, possiblement amb una petita addició de guix blanc i sense material ceràmic; nòduls de guix i fragments de cristalls no de tipus fibrós, sinó que constitueixen mosaics de cristalls subeuèdrics; s'observa guix amb roca encaixant i fragments procedents de la mòlta de la roca de carreu, especialment a la mostra PA-005; a partir de la difractometria de raigs-x es detecta no es detecta quars, però en canvi, sí s'observa chert i/o sílex. Aquest fet, es pot explicar perquè són minerals criptocristal·lins o amb escassa naturalesa cristal·lina i poc abundants o també, pot indicar que el guix vingui d'un aflorament geològic diferent. Cal destacar, que alguns nòduls de tipus alabastrí presenten una textura constituïda per un mosaic de cristalls grollers amb les vores de gra poligonals.



7. Conclusions

- Els morters estudiats d'aquest jaciment arqueològic ens indiquen una continuïtat en el temps d'unes tècniques constructives i d'uns materials de construcció de clara influència andalusí. És a dir, l'ús extensiu i continuat del *guix negre* (guix amb cendres i restes de fusta o vegetals calcinats) utilitzat com a conglomerant del morter amb l'addició de guix mineral com a àrid. Aquestes característiques es repeteixen en altres edificis construïts amb influència andalusí, com és el cas estudiat de Sta. María de la Huerta, Magallón (Zaragoza). A més a més, cal dir que aquest doble ús del guix com a pasta conglomerant i com a àrid mineral dificulta diferenciar els possibles tipus de morters emprats. No obstant aquest inconvenient, l'estudi petrològic d'aquests components, especialment dels àrids i dels components accessoris ha permès diferenciar les tres tipologies anteriorment descrites. Tot i així, la seva interpretació pel que fa a l'evolució constructiva del jaciment arqueològic queda a l'espera de l'avaluació d'altres disciplines, especialment l'arqueològica i la història de l'arquitectura, en concret del període andalusí a la Conca de l'Ebre.

- No es pot indicar l'origen o el jaciment geològic d'aquests guixos perquè es necessiten altres estudis de camp del terreny i de la geologia de l'entorn. No obstant, sí és cert que en tots els morters estudiats s'ha utilitzat com a àrid un tipus de nòduls de guix alabastrí de característiques cristal·lines semblants. I, en els morters de la TIPOLOGIA 3 s'observa, a més a més, l'addició d'un altre tipus de guix alabastrí amb una textura cristal·lina diferent. Cal destacar, que en aquests morters de la TIPOLOGIA 3 es detecten també altres tipus de roca, principalment fragments de la roca de carreu o de característiques petrogràfiques molt similars. I, per últim, cal ressenyar la presència de chert i/o sílex, molt probablement minerals accessoris dels nòduls de guix alabastrí utilitzats com a àrids, que són del mateix aflorament geològic.



8. Bibliografia

- GARATE, I. (1993): "Las Artes de la Cal". I.C.R.B.C. Ministerio de Cultura. Dirección General de Bellas Artes y Archivos, pp. 104-105, Madrid.
- IGEA ROMERA, J.; LAPUENTE MERCADAL, P.; MANDADO COLLADO, J. (2008): "Aproximación al estudio petrográfico de áridos yesíferos en morteros. Ejemplo de Sta. María de la Huerta, Magallón (Zaragoza)". Macla nº 9, Revista de la sociedad española de mineralogía, Madrid.
- IGME Mapa geológico de España 1:50.000, Magma Hoja nº 50: "Os de Balaguer".
- ORTÍ, F.; ROSELL, L. (1997): "Sulfatos Evaporíticos de interés petrológico". Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, volum 1, editat per Joan Carles Melgarejo i Draper, Universidad de Barcelona, Fundació Folch, Barcelona.
- ROY SUNYER, M.; TARRIÑO VINAGRE, A.; BENITO CALVO, A.; MORA TORCAL, R.; MARTÍNEZ-MORENO, J. (2013): "Aprovisionamiento de sílex en el Prepirineo Oriental durante el Paleolítico Superior Antiguo: el nivel arqueológico 497C de la Cova Gran (Santa Linya, Lleida)". Trabajos de prehistoria 71, nº 1, pp. 1-22, ISSN: 0082-5638.
- SALVANY, J. M.; BASTIDA, J. (2004): "Análisis litoestratigráfico del keuper surpirenaico central". Rev. Soc. Geol. España, 17 (1-2).



