

**TESIS DOCTORAL**

**DESCRIPCIÓN Y EVOLUCIÓN  
DE LAS FASES DE CARBONATO CÁLCICO  
PRESENTES EN LOS ENLUCIDOS DE CAL EN PASTA  
PINTADOS AL FRESCO**

**DOCTORANDA**  
Luciana Pocostales Plaza

**DEPARTAMENTO**  
Ciències de l'Antiguitat i l'Edat Mitjana

**PROGRAMA**  
Doctorado Interuniversitario de Arqueología clásica  
UAB-URV

**DIRECTORES**  
Dra. Isabel Rodà de Llançà  
Dr. José Luíis Prada Pérez

**UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA**  
2015

### 6.3.9. Intervalo 9: 16h horas.

AIRE

FILM PICTÓRICO



REENLUCIDO

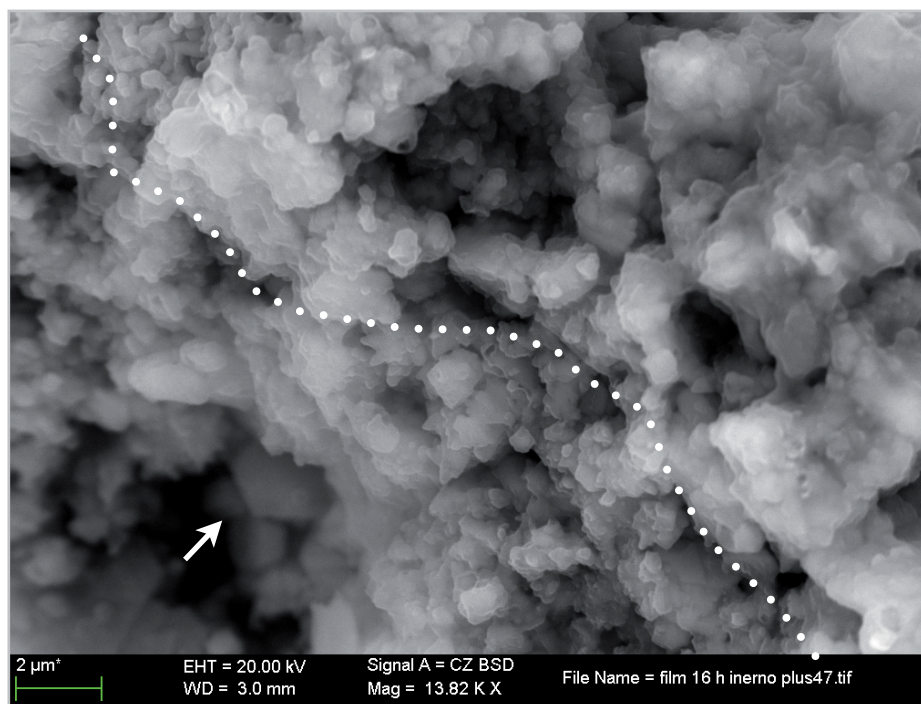
La figura 111 muestra dos imágenes en electrones retrodispersados.

La imagen A, a 13.820x (localizador línea negra) y la imagen B, a 12.720x (localizador negro) corresponden a observaciones de la parte interior del film a diferentes profundidades.

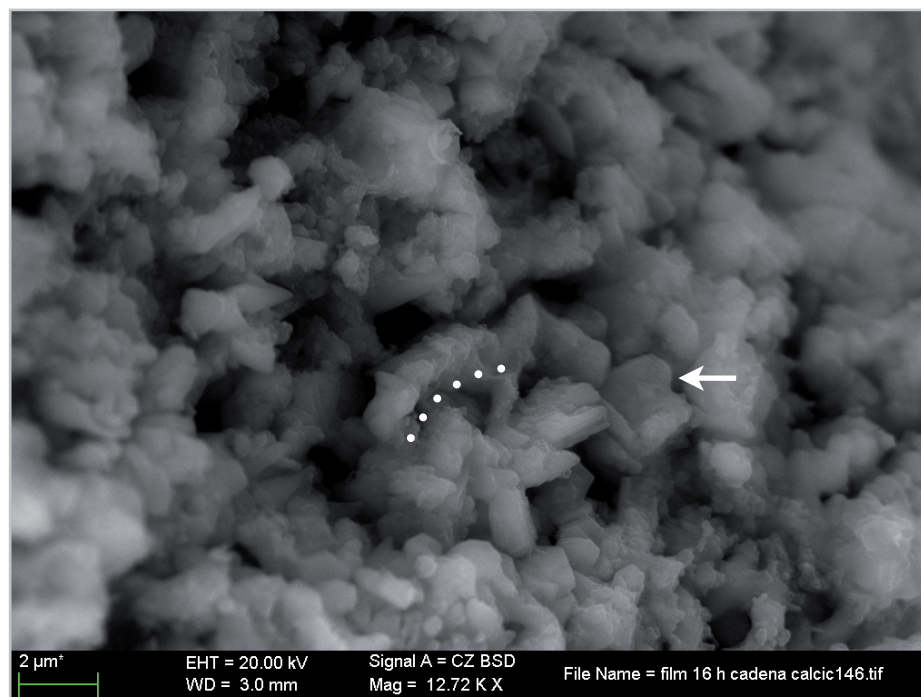
La imagen A muestra el conjunto de cristales de morfología variable. Las partículas más alejadas del film (a la izquierda de la línea blanca) presentan un desarrollo cristalino más avanzado, presentando mayoritariamente morfologías euhédricas y subeuhédricas. En cambio, las partículas englobadas o cercanas al film (a la derecha de la línea blanca) exhiben formas botroidales y subredondeadas con textura escamosa. La parte superior izquierda de la imagen muestra parte de esta masa cristalina englobada completamente en el film geliforme. Se observa parcialmente un cristal de portlandita, situado en el área de muestra más alejada del film (flecha blanca). El film aparece más desarrollado y las partículas presentan un grado de desarrollo cristalino mucho más avanzado. El tamaño de partícula mayoritario es submicrométrico y nanométrico, disminuyendo los tamaños especialmente en la zona del film geliforme.

La imagen B, tomada en la zona de contacto directo del film con el *reenlucido*, permite la observación de cadenas de carbonato cálcico -calcita-. Se pueden apreciar numerosos cristales de portlandita en forma laminar -probablemente provenientes de la exfoliación de cristales prismáticos- en disposición de castillo de naipes. Estos cristales laminares muestran un avanzado proceso de transformación y disolución (flecha blanca).

Se remarca el hecho que a partir de este intervalo, según la inspección visual realizada en esta investigación, el periodo de fresco idóneo acaba en este intervalo y las posibilidades pictóricas llegan a su término a lo largo de las dos horas siguientes.



**A**



**B**

Figura 111. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Interior del film donde se aprecia el crecimiento y desarrollo cristalino observado a las 16 horas.

AIRE

FILM PICTÓRICO



REENLUCIDO

La figura 113 A, tomada a 40.750x (localizador en blanco) muestra el estado de evolución del film a 16h. La textura del gel continua siendo botroidal pero evolucionando hacia partículas subredondeadas o ligeramente poligonizadas. Éstas están unidas entre sí conformando una masa densa y continua de aspecto geliforme. El tamaño de estas partículas es nanométrico.

La partícula desarrollada en la parte superior de la muestra presenta una morfología particular. Probablemente se trate del desarrollo de un cristal del tipo “nanoflor” (Tang, Alivisatos, 2006) que está relacionado con los crecimientos esferulíticos observados en intervalos iniciales en POM. Este cristal está unido al conjunto del film mediante un crecimiento cristalino columnar.

La imagen B, a 77.630x (localizador en negro), muestra otro estado de desarrollo de los cristales tipo “nanoflor” comentados anteriormente. Se puede apreciar una partícula esferulítica en forma de estrella multipunta en proceso de desarrollo. En la zona inferior izquierda se observan cristales de calcita de hábito escalenoédrico (flecha blanca).

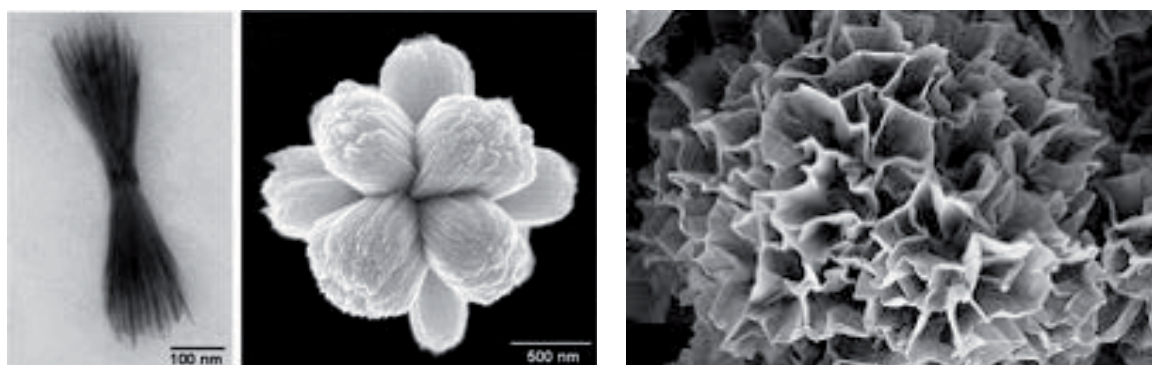
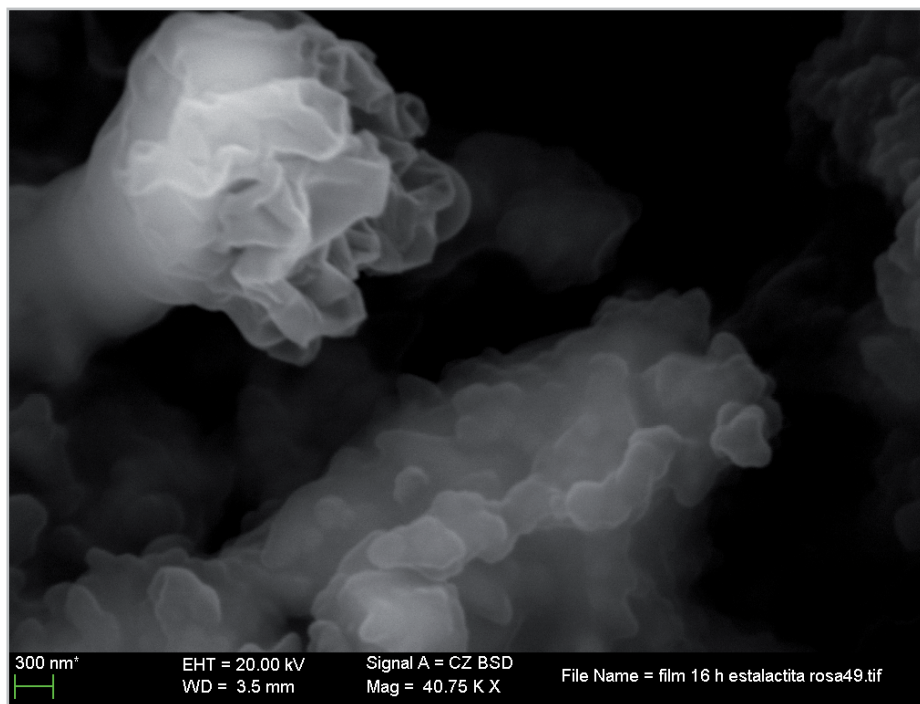


Figura 112. Izquierda. Cristal tipo flor/nanoflor desarrollado a partir de un esferulito de sulfuro de bismuto (imagen extraída de Tang, Alivisatos, 2006)<sup>109</sup>. Derecha. Cristal nanoflor de óxido de níquel (imagen extraída de Le Xin, Yang, Teng *et alii*, 2013)<sup>110</sup>.

<sup>109</sup> Recursos en red. Consultado el 23-10-2015. Tang, Alivisatos 2006, pág. 2701-2706.

<sup>110</sup> Recursos en red. Consultado el 23-10-2015 .Le Xin, Yang, Teng *et alii* 2013, pág. 8731-8736.





A



B

Figura 113. imágenes en electrones retrodispersados. A y B. Desarrollo de cristales nanoflor a partir de esferulitos. Cristales de calcita de hábito escalenoédrico (flecha blanca).

AIRE

FILM PICTÓRICO



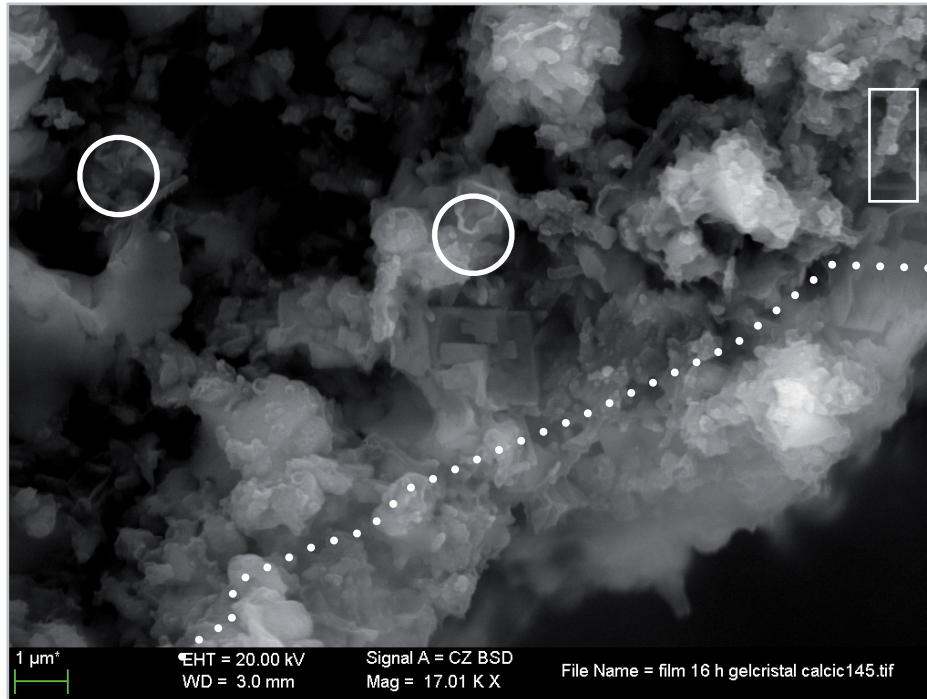
REENLUCIDO

La figura 114 imagen A, a 17.010x, y la imagen B detalle de la anterior, tomada a 51.220x, muestran otros especímenes cristalinos presentes en la zona interior del film geliforme.

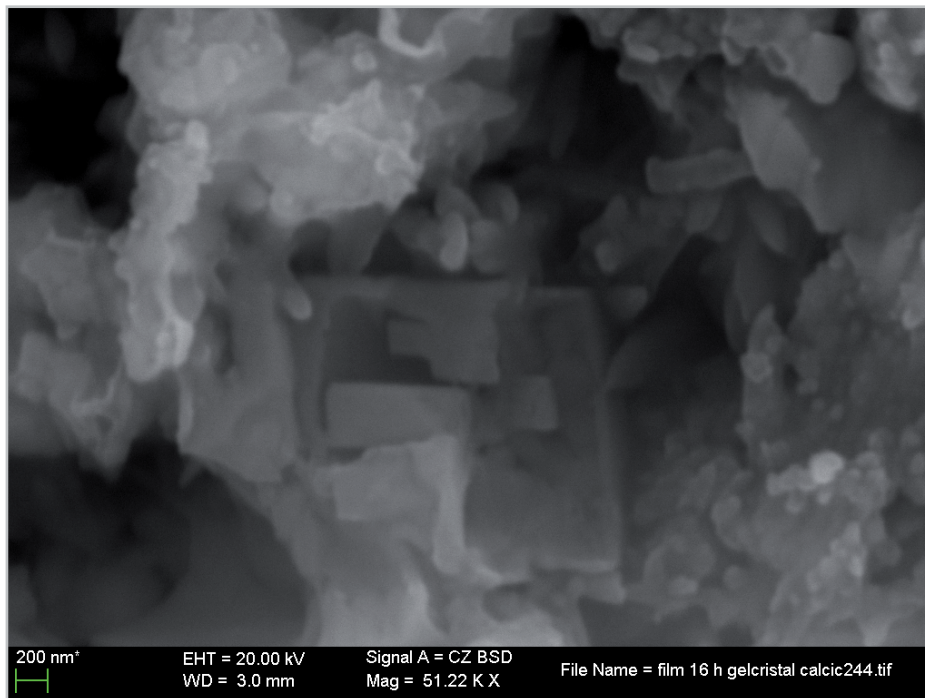
En la imagen A, la línea blanca punteada establece el límite entre el plano exterior del film (derecha) y el plano interior(izquierda). El plano exterior corresponde al gel superficial, que muestra una superficie irregular y ondulada con textura botroidal. Se observa una pequeña punta que sobresale en forma cilíndrica.

En la parte superior de la imagen se puede ver una cadena de nanocristales de calcita(flecha blanca). Se pueden observar algún cristal acicular aislado exhibiendo su característica forma en aguja. Se aprecie el protocrecimiento de nanoflores (en círculos). El tamaño de partícula mayoritario es nanométrico y submicrométrico. En el centro destaca un cristal romboédrico de tamaño micrométrico.

La imagen B, es un detalle de este cristal romboédrico prismático. Se trata de un cristal de calcita en estado de redisolución. El cristal se encuentra en contacto con el film-gel.



A



B

Figura 114. A. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Textura de la parte interna del film, con presencia de cadenas de calcita, cristales aciculares, cristal tipo “nanoflor” y gran cantidad de cristales nanométricos. B. Detalle de la anterior donde se observa un cristal romboédrico en proceso de redisolución.

La figura 116 imagen A, tomada a 56.990x, muestra un cristal de crecimiento en estructura sectorial (que en POM debe tener aspecto de damero, con los 4 sectores en una alternancia de color blanco-negro) en proceso inicial de desagregación de los sectores. Se presenta recubierto del film geliforme que presenta a su vez una incipiente poligonización.

La imagen B, tomada a 29.030x, permite observar un sector desprendido de un cristal de crecimiento en estructura sectorial. Está envuelto parcialmente por el film geliforme, en lo que parece un proceso de disolución parcial.

El gel, presenta una textura continua aunque en fase de poligonización.

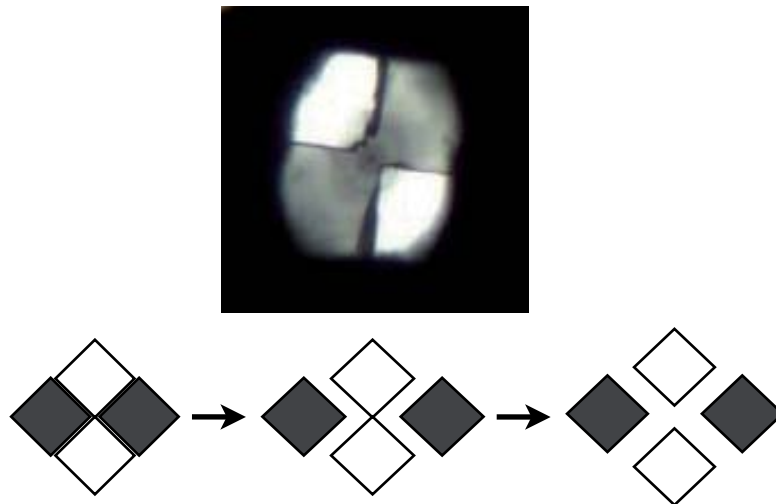
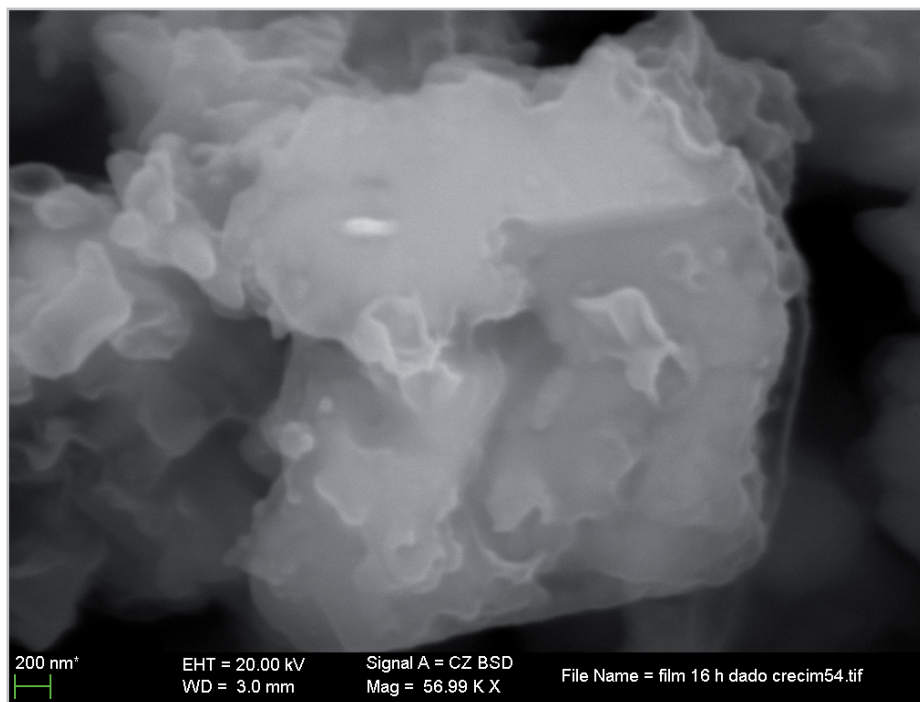
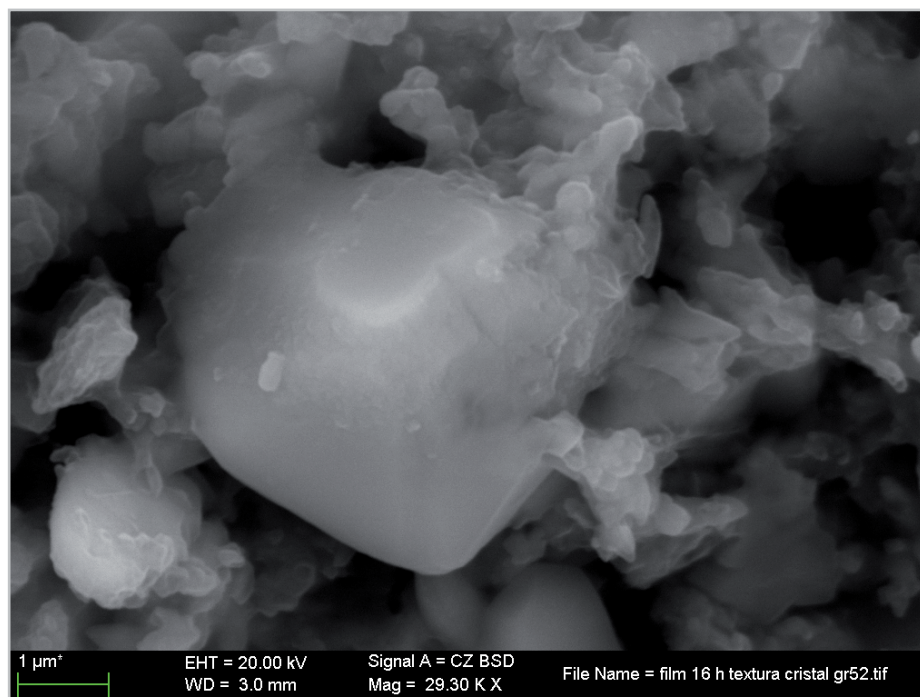


Figura 115. Imagen a x400 XP de un cristal de crecimiento en estructura sectorial (cristal damero). Dibujo de la progresión de la evolución de un cristal de crecimiento en estructura en sectores.





**A**



**B**

Figura 116. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). A. Cristal de crecimiento en estructura sectorial en proceso incipiente de desagregación de los sectores (cristal damero). B, imagen de uno de los sectores ya desprendido.

### 6.3.10. Intervalo10: 7 días.

AIRE

FILM PICTÓRICO

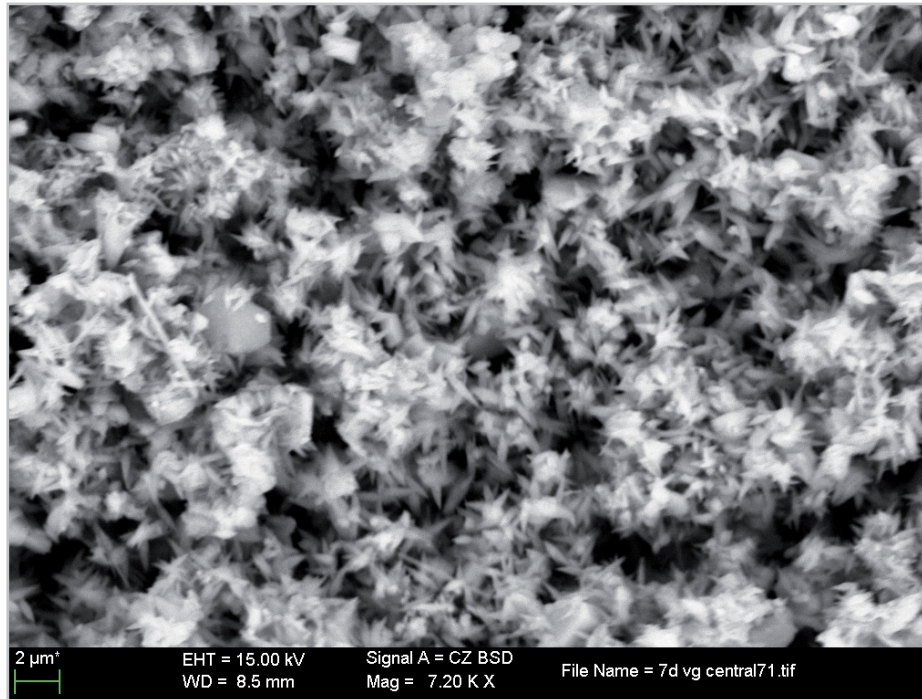


REENLUCIDO

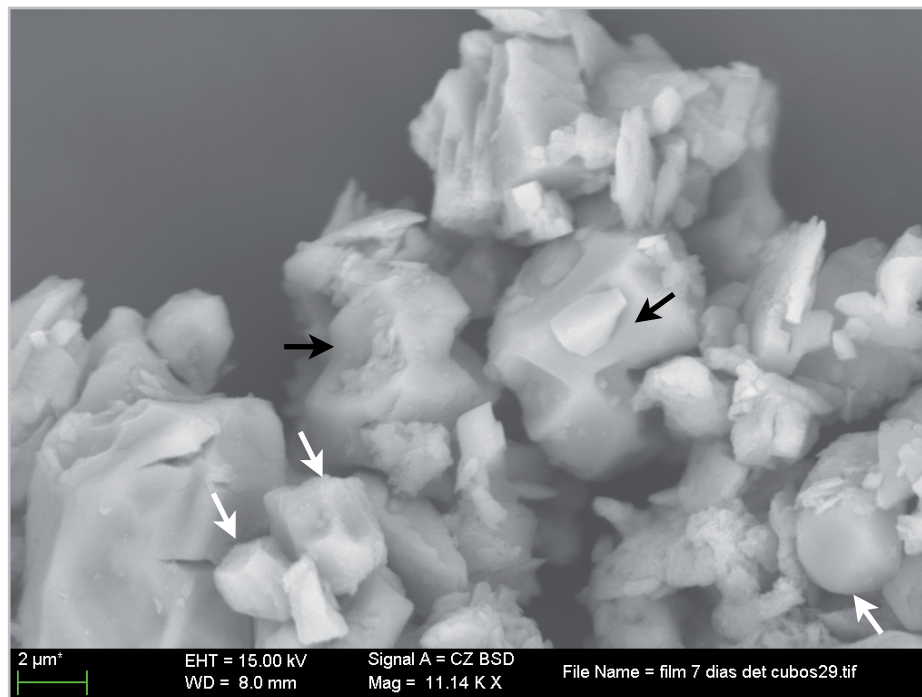
La figura 117 imagen A, a 7.200x (localizador blanco), pertenece a la superficie del enlucido en contacto con el film geliforme. Se puede observar un gran número de cristales euhédricos de hábito escalenoédrico cuyo tamaño mayoritario es micrométrico y submicrométrico. Se observan morfologías filiformes con una gran predominancia de cristales aciculares y lenticulares, tal y como se ha descrito en la figura 110 imagen A -en el intervalo de 11 horas-. Se observan cristales planares de portlandita con forma hexagonal inmersos en el conjunto de cristales predominantes.

La imagen B, tomada a 11.140x, permite observar 2 cristales prismáticos de crecimiento en estructura sectorial del que se han desagregado dos de los sectores (flechas negras). El cristal presenta las oquedades donde éstos se ubicaban. Al desagregarse los sectores, los cristales presenta su característica forma de pajarita. Se pueden observar cristales sectoriales desagregados (flechas blancas), siguiendo el patrón de desagregación mostrado en la figura 115.

Esta textura cristalina no ha sido observada en ninguna de las imágenes en las que se ha observado la presencia del film geliforme.



**A**



**B**

Figura 117. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). A. Textura cristalina de la superficie del reenlucido. Los cristales están bien desarrollados y con formas definidas. B, se aprecia la desagregación de los cristales de crecimiento en estructura sectorial y los fragmentos provenientes de esa desagregación.

### 6.3.11. Intervalo11: 160 días.

AIRE

FILM PICTÓRICO

REENLUCIDO

La figura 118 imagen A, a 7.590x, muestra el aspecto del film transcurridos 160 días. Como se puede observar, pese a que el *reenlucido* ya está completamente seco el gel sigue estando presente. Se trata de un gel de menos de 1 micra de grosor, de aspecto continuo y con una red porosa (nanoporos). Bajo este film-gel se encuentra la superficie del *reenlucido*, que presenta morfologías cristalinas completamente diferentes de tipo euhedral, entre los que se pueden apreciar cristales micrométricos de forma hexagonal, romboédrica y cristales nanométricos. Entre éstos cristales se sitúa un gran número de cristales aciculares intersticiales. Esta textura ya había sido observada en el intervalo de 7 días.

Su presencia y textura a largo plazo no depende de la presencia de agua, aunque parece indiscutible que su formación está directamente ligada a la aplicación del film acuoso que se dispone en superficie al pintar al fresco.

La figura 118 B, es el análisis composicional una muestra del gel a 160 días (B). Pese a la orientación de la muestra, se puede apreciar como el elemento oxígeno (O) aparece mayoritariamente asociado al estrato perteneciente a la superficie del *reenlucido*, lo que es indicativo de la presencia de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , - portlandita-. En cambio, la presencia de carbono y calcio (C y Ca) es patente tanto en el film como en el estrato inferior, lo que es indicativo de la presencia de carbonato cálcico, sea en forma de calcita o sus otras formas cristalinas. La señal más débil del oxígeno (O) en el gel se debe a la mayor intensidad del calcio (Ca) en esta capa, más carbonatada, que interfiere en la señal del oxígeno (O).



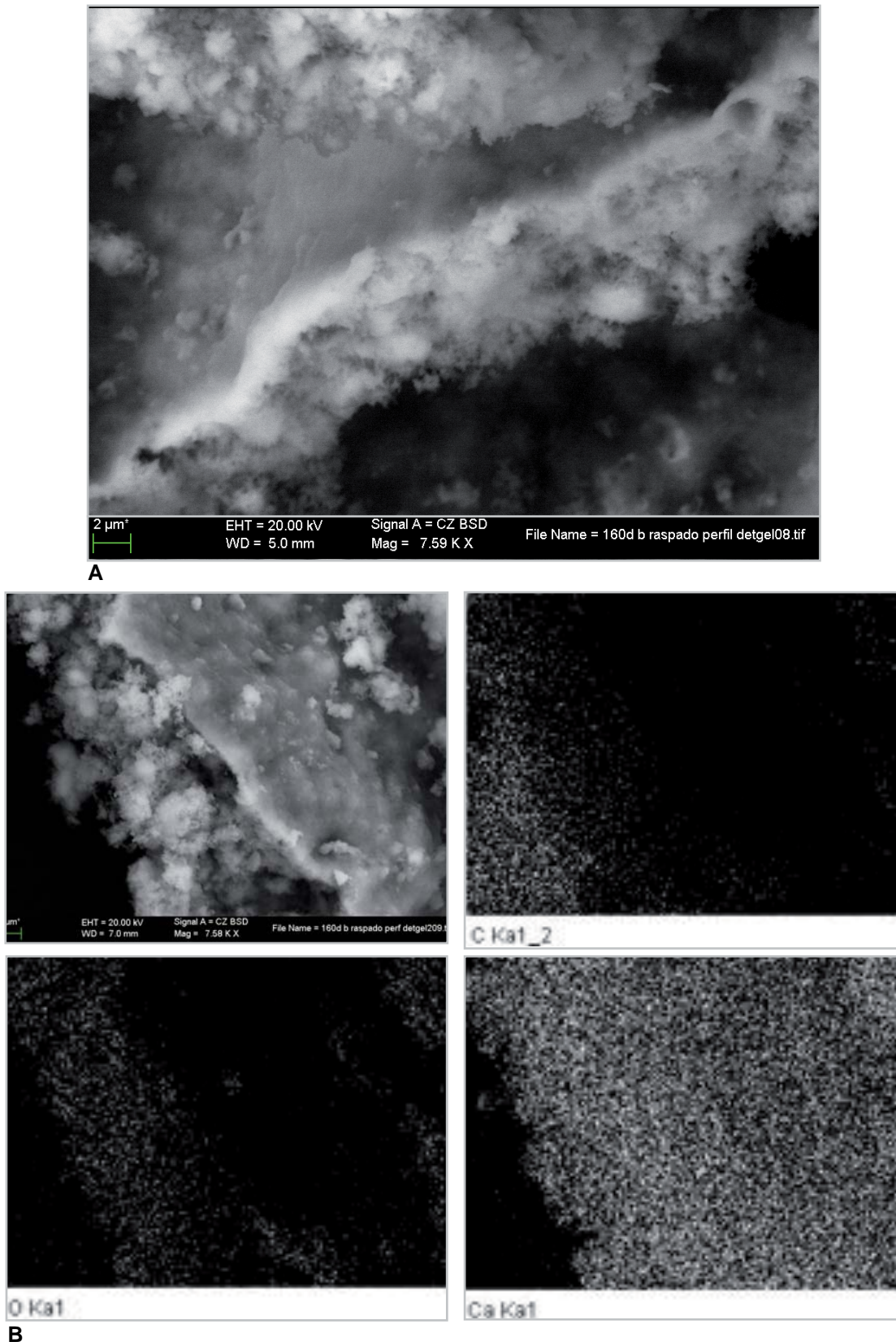


Figura 118. A. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Aspecto del film y la superficie del *reenlucido* a los 160 días. Se puede apreciar la presencia del film de aspecto geliforme. La generación de este film está relacionada con la aplicación de un film acuoso -pintado al fresco-, pero su desarrollo en el tiempo no parece depender de la presencia directa del agua. B. Imagen de rayos X- mapa de elementos- Imagen composicional del film geliforme y la superficie en contacto con el *reenlucido* tras 160 días de curado.

### 6.3.12. Conclusiones sobre los resultados obtenidos mediante SEM-EDS.

Se ha comprobado la presencia de un gel compuesto por partículas carbonato cálcico cuyo tamaño está en el rango submicrométrico y sobretodo en el rango nanométrico.

Este gel evoluciona de una textura ameboide inicial a un film continuo geliforme y de textura escamosa. Por debajo de este film-gel se forma una interfase donde se desarrolla una gran variedad de tipologías cristalinas euhédricas, destacando la formación forma de crecimientos columnares, siguiendo los patrones de crecimiento de la calcita flotante descritos en este apartado. El espacio intercrystalino es ocupado por cristales aciculares/lenticulares. Esta interfase por debajo del gel se desarrolla entre el gel y la superficie del *reenlucido*, que muestra otra textura cristalina diferente del gel y de la interfase. La figura tal muestra un resumen de las texturas correspondientes a los tres estratos y su evolución en el tiempo.

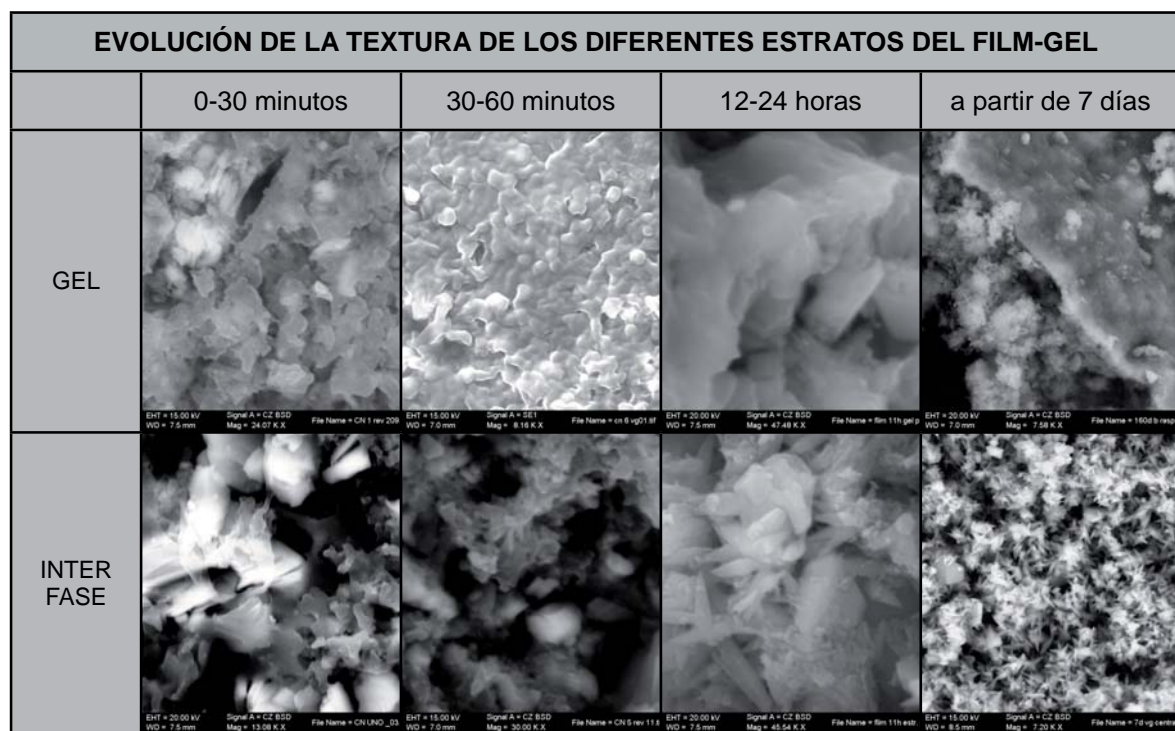


Figura 119. Evolución de la textura de los diferentes estratos del film-gel que se produce en la superficie de una pintura al fresco.

Estos resultados son coincidentes con la descripción realizada mediante el POM. A parte, mediante la utilización del SEM-EDS se ha obtenido información de la composición del gel superficial, compuesto por carbonato cálcico. No obstante, no se ha podido describir en más profundidad el tipo de compuesto cristalino específico que conforma el film-gel. Para poder realizar una caracterización más exhaustiva de la tipología cristalina de carbonato cálcico se ha recurrido a la técnica del FT-IR, que se desarrolla en el siguiente apartado.



#### 6.4. FT-IR: Análisis de los espectros obtenidos en diferentes intervalos temporales.

Como se mostrado en el apartado anterior, mediante SEM-EDS hemos podido observar la presencia de un film de aspecto geliforme en la superficie de la capa final del *reenlucido* de cal. Gracias a los mapas de composición elemental se ha podido establecer que este film-gel está compuesto por carbono (C), calcio (Ca) y oxígeno (O). No obstante, no se ha podido caracterizar de qué manera se relacionan estos compuestos entre ellos. Es decir: que tipología de compuesto químico lo conforma.

Llegados a este punto, se consideró oportuno recurrir al análisis infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR). Mediante esta técnica analítica se pueden identificar las diferentes tipologías de enlaces y los tipos de compuestos que conforman el film-gel que es objeto de estudio.

Estos compuestos se relacionan a su vez con la presencia de determinados minerales (el grupo hidroxilo se relaciona con la presencia de hidróxido de calcio/portlandita mientras que la presencia del anión carbonático se relaciona con la presencia de carbonato cálcico/calcita y sus polimorfos. A demás, la técnica analítica del FT-IR permite el análisis semicuantitativo de los compuestos presentes, en cuanto a que se pueden establecer coeficientes de relación proporcional entre ellos mediante la integración matemática de sus áreas de banda de absorción identificadas. Las tablas relativas a esta integración se pueden consultar en el Anexo 5.

La tabla 8 muestra las frecuencias de vibración diagnósticas basadas en los espectros obtenidos en esta investigación. A cada frecuencia se le ha asignado una letra para proceder a su localización dentro de cada espectro. Las frecuencias de vibración **A-B-C** están asociadas al grupo hidroxilo. Concretamente la frecuencia **A** se asocia a la presencia de hidróxido de calcio/portlandita. Por otro lado las frecuencias de vibración **C-D-F** están asociadas al anión carbonato y por tanto a los carbonatos cálcicos. Las frecuencias de vibración **D-F** se asocian concretamente al carbonato cálcico en su forma cristalina calcita y sus polimorfos.

La figura 120 muestra el espectro realizado al agua de cal. En éste se han señalado las 6 regiones de banda de absorción identificadas con sus correspondientes letras de asignación. Para facilitar el desarrollo de este capítulo los espectros analizados se han dispuesto siguiendo este ejemplo.

Los espectros se han organizado de forma cronológica y se han incluido los espectros del agua de cal y la cal en pasta antes de la realización de las probetas de pintura al fresco, para poder valorar la situación inicial del material respecto a su evolución una vez puesto en obra.



FRECUENCIAS DE VIBRACIÓN DIAGNÓSTICO DEL ESPECTRO				
Frecuencias $\nu$ (cm <sup>-1</sup> )	Intensidad	Asignación y comentarios	Compuestos relacionados	Posición en el espectro
3668-3595	m(ag)	vibración de tensión asociada al grupo O-H de la Ca(OH) <sub>2</sub>	hidróxido de calcio	<b>A</b>
3595-2700	mf (an)	vibración de tensión asociada al grupo O-H de la Ca(OH) <sub>2</sub>	hidróxido de calcio	<b>B</b>
1750-1558	m(ag)	vibración de tensión asociada al grupo O-H de la Ca(OH) <sub>2</sub>	hidróxido de calcio	<b>C</b>
1558-1256	d(an)	$\nu_3$ – vibración de tensión asimétrica asociada al grupo CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	carbonato cálcico	<b>D</b>
898-850	h	$\nu_2$ – vibración de flexión asimétrica asociada al grupo CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ; vibración de flexión fuera de plano asociada al catión Ca <sup>2+</sup>	carbonato cálcico	<b>E</b>
748-674	h	$\nu_4$ – vibración de flexión simétrica asociada al grupo CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	carbonato cálcico	<b>F</b>

Tabla 8. Frecuencias de absorción diagnósticas del anión carbonato presentes en los espectros de las muestras de las probetas de pintura al fresco. Acrónimos: mf: muy fuerte; f: fuerte; m: mediana; (d): débil; (ag): aguda; (am): ancha; (h): hombro.

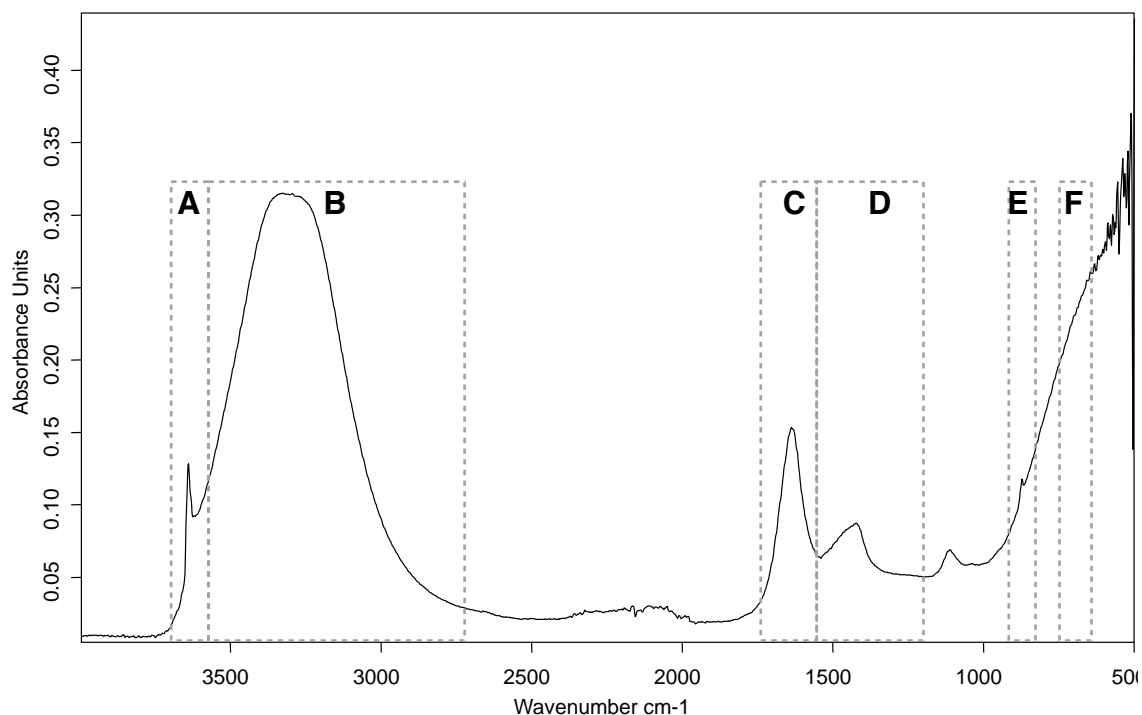


Figura 120. Se han señalado en el espectro las áreas de banda de absorción relacionadas con los diferentes compuestos según las bandas de frecuencia de vibración expresadas en la tabla adjunta.

La figura 121 muestra los espectros del agua de cal, la cal en pasta y la superficie del *reenlucido* en el momento en que se inicia el periodo de fresco.

El espectro correspondiente al agua de cal permite observar una intensidad muy marcada en la región A, relacionado con la presencia de hidróxido de calcio/portlandita. La región C muestra una intensidad superior incluso a la región A, relacionada con el grupo hidroxilo. La región B, está relacionada con la presencia de agua (grupo hidroxilo).

En cuanto a las regiones relacionadas con el ion carbonato, la región D muestra una intensidad y amplitud de banda importante. En la región E apenas se aprecia la emergencia de un pico de poca intensidad, que no es perceptible en la región F.

Si comparamos el espectro del agua de cal con el espectro de la cal en pasta, se puede apreciar como dentro del grupo hidroxilo (A-B-C) se produce un aumento importante en la intensidad de banda de la región A. Paralelamente se produce un disminución de la intensidad en la región C. La región B, relacionada con la presencia de agua, también pierde intensidad en el espectro de la cal en pasta, como es lógico.

Si comparamos la situación de las regiones correspondientes al anión carbonático, las intensidades y amplitudes de banda de absorción mantienen una distribución similar con una importante diferencia: la región E presenta una intensidad menor, especialmente si la comparamos con al región A.

La interpretación de estos espectros parece indicar que aunque en el agua de cal la intensidad de las regiones de los grupos hidroxilos es mayor, no hay una desproporción importante entre la intensidad de la región A (relacionada con la presencia de portlandita) y la región E-F (relacionada con la presencia de calcita y sus polimorfos).

En el espectro correspondiente a la cal en pasta, esta desproporción aumenta, y la región A gana en intensidad respecto a la región E. Es decir, la intensidad de la región relacionada con la presencia de portlandita es más intensa en la cal en pasta que en agua de cal.

Si comparamos ambos espectro con el espectro 0', cuya muestra corresponde al inicio mismo del periodo de fresco, podemos comprobar como el espectro de la superficie del fresco es muy similar al espectro del agua de cal tanto en intensidades de pico como en amplitud de banda.

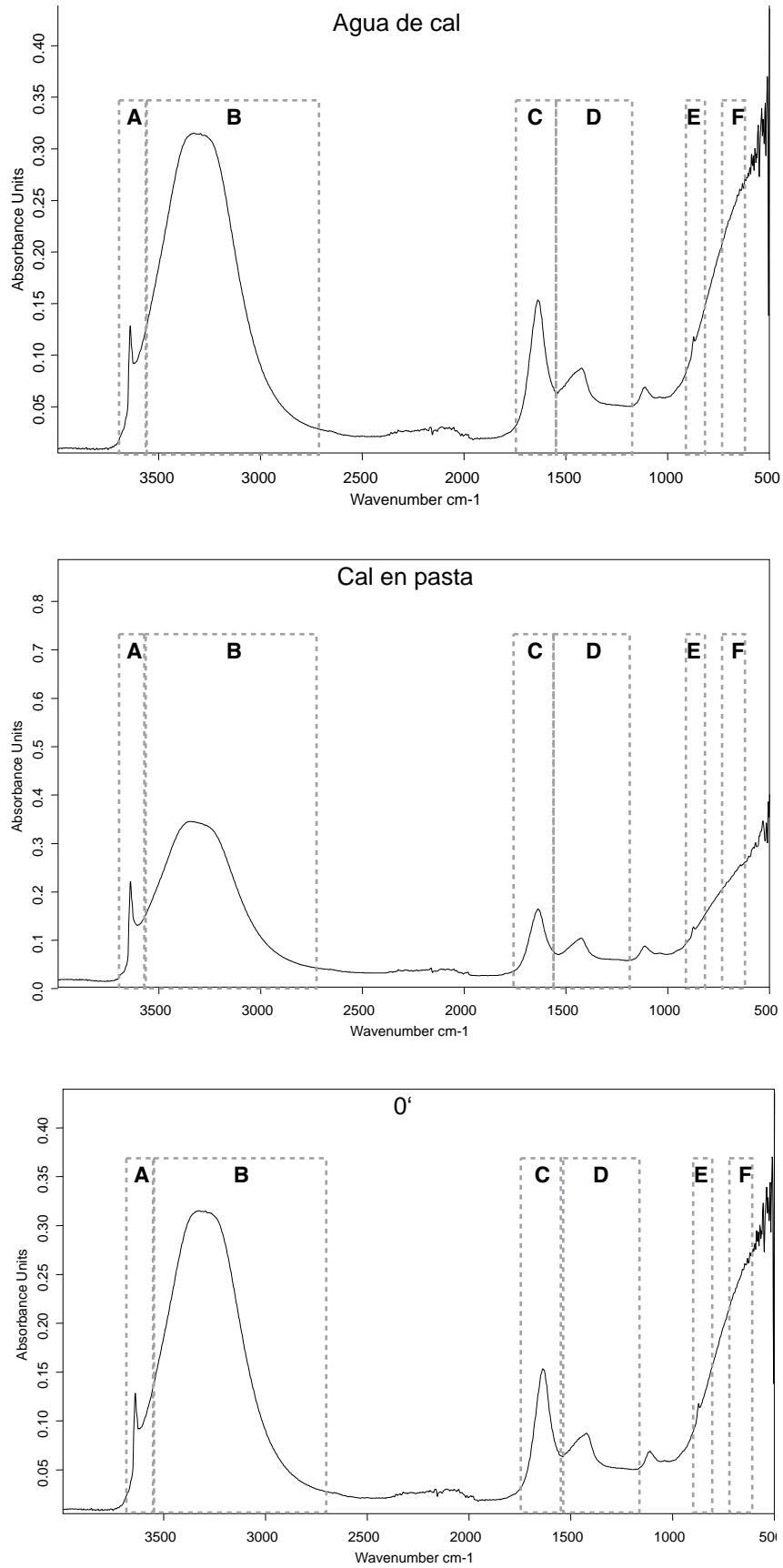


Figura 121. Espectros correspondientes a agua de cal, cal en pasta y momento inicial del periodo de fresco.

La figura 122 muestra tres espectros correspondientes tres intervalos de los primeros 60 minutos.

El primer espectro, realizado sobre un espécimen extraído a los 6 minutos y 30 segundos después de iniciarse el periodo de fresco, denota un evolución respecto al espectro anterior, tomado en el inicio del mismo periodo.

Las regiones B y C parecen mantenerse constantes, mientras que la región A evoluciona aumentando en intensidad de manera importante.

Las regiones relacionadas con el anión carbonático aumentan su intensidad pero moderadamente. Destaca la emergencia del pico de la región E.

El espectro tomado a los 29 minutos 15 segundos, permite apreciar la emergencia de la región D, que por primera vez destaca dentro de las regiones asociadas al anión carbonático. Destaca también sobre la región C, que se asocia al grupo hidroxilo y que en intervalos anteriores se relacionaban de manera inversa. Este espectro también muestra una intensidad creciente para la región E.

La evolución antes descrita parece mantenerse a los 60 minutos.



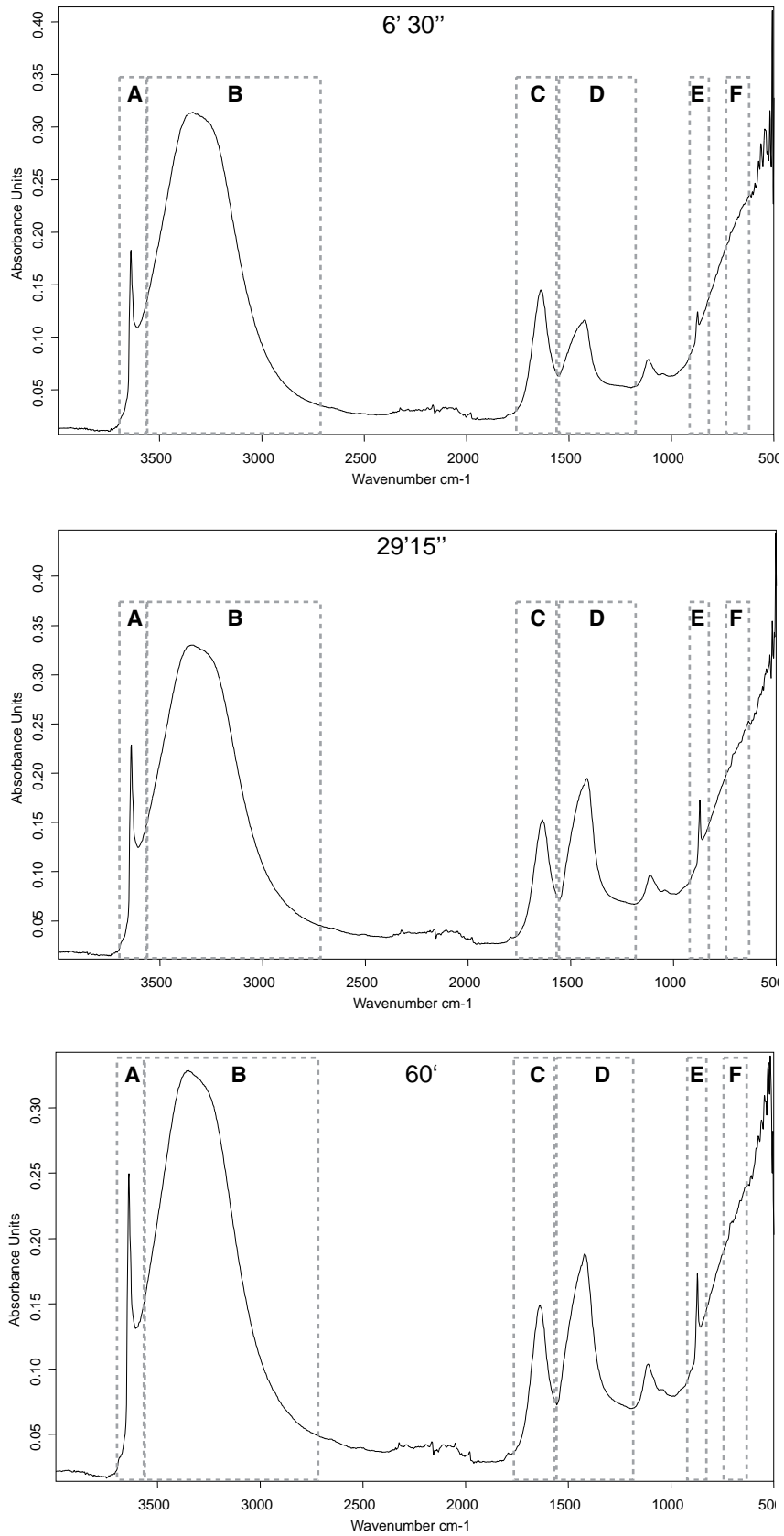


Figura 122. Espectros correspondientes a 6 minutos 30 segundos, 29 minutos 15 segundos y 60 minutos respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

La figura 123 muestra tres espectros correspondientes a los intervalos de 4, 8 y 12 horas respectivamente.

En el espectro perteneciente a la muestra tomada a las 4 horas se observa un cambio de tendencia respecto a la preponderancia de la intensidad de la región A respecto a la región E. Si en los espectros de los intervalos anteriores se había observado una clara predominancia de la región de banda A respecto a la región E, esta relación parece igualarse. La evolución de las intensidades de ambas regiones parecen tener correlación, es decir, cuando la intensidad de la región de banda A disminuye, la intensidad de la región de banda E aumenta.

Teniendo en cuenta que la región A se asocia al hidróxido de calcio y la región E al anión carbonático presente en los carbonatos cálcicos, su correlación en términos de decrecimiento-crecimiento podría ser indicativa del proceso de carbonatación, donde el hidróxido de calcio (portlandita) gracias a la presencia del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se transforma en carbonato cálcico (calcita y sus polimorfos).

Paralelamente, la región D (asociada al anión carbonático) evidencia un aumento importante de intensidad respecto tanto a la región A (asociada al grupo hidroxilo) como a la región E (asociada al anión carbonático). Es decir, simultáneamente se están desarrollando compuestos -dentro de la banda de absorción atribuible a los carbonatos- que no parecen tener correlación directa con el decrecimiento-crecimiento observado para las regiones A y E.

Los espectros obtenidos de las muestra de 8 y 12 horas, continúan en la línea evolutiva descrita para el espectro del intervalo anterior. Para ambos intervalos, la región A y la región E muestran intensidades muy similares. Se observa una leve fluctuación en la región D, aunque se mantiene la tendencia al crecimiento.

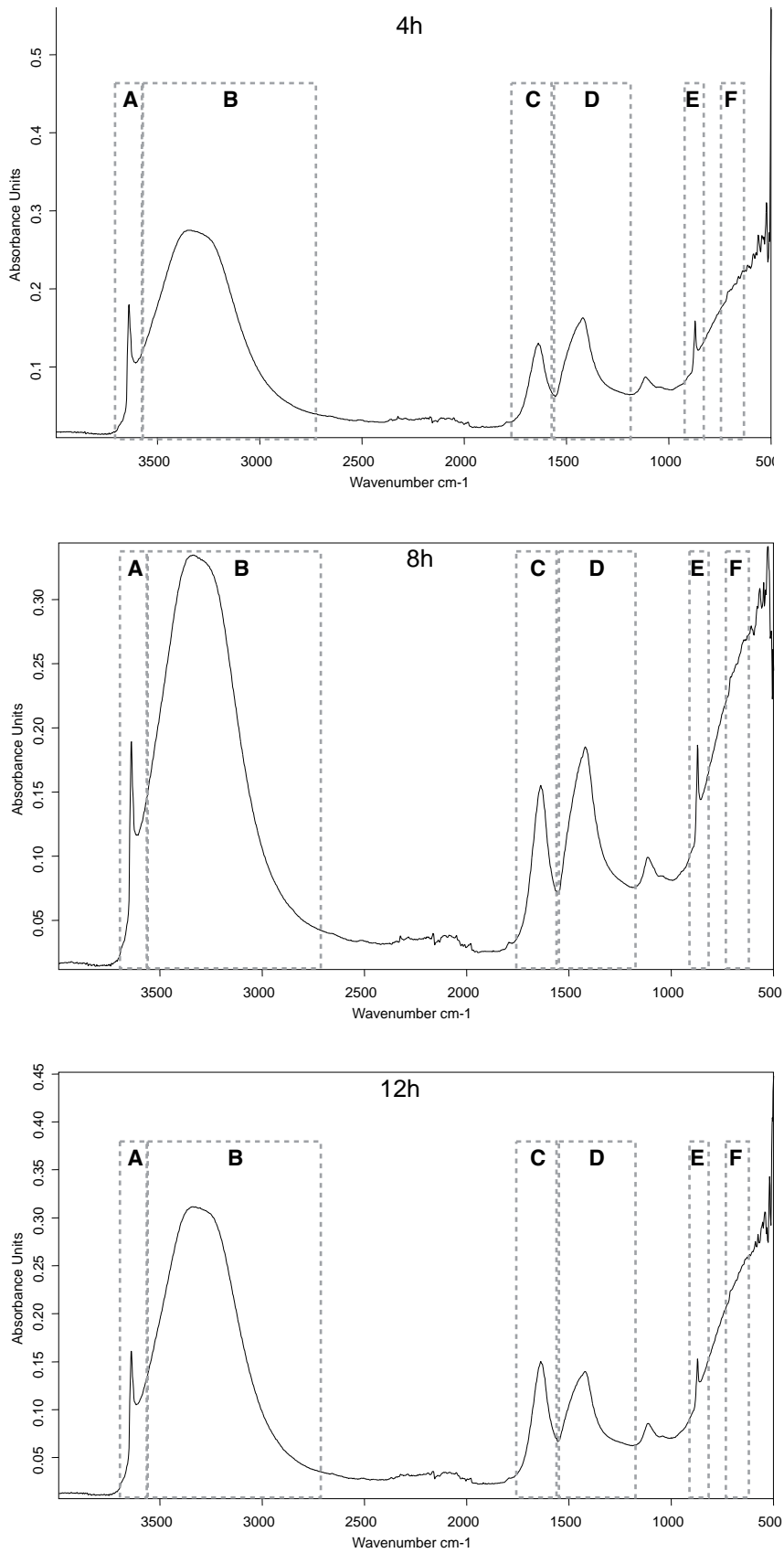


Figura 123. Espectros correspondientes a 4 horas, 8 horas y 12 horas respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

La figura 124 muestra tres espectros correspondientes a los intervalos de 16, 20 y 24 horas respectivamente.

El espectro correspondiente a 16 horas muestra un claro cambio de tendencia. La región A, asociada al hidróxido de calcio, muestra un decrecimiento importante de la intensidad. De forma inversa, la región E, asociada al anión carbonático presente en el carbonato cálcico, muestra un crecimiento importante de la intensidad, sobrepasando a la región A, hecho que no se había observado hasta este intervalo.

Paralelamente, se observa que la región D presenta una intensidad muy alta, similar a la intensidad de la región E, con lo que también se sitúa por encima de las intensidades de las regiones asociadas al grupo hidroxilo, a igualándose con la región B, asociada a la presencia de agua.

La región F, que hasta este momento no mostraba un pico de intensidad determinado, muestra un incipiente proceso de evolución.

El espectro correspondiente al intervalo temporal de 20 horas mantiene la tendencia anterior respecto al decrecimiento en la intensidad de la región A y el crecimiento de la región E. No obstante se observa un aumento de la intensidad de la región D, asociada al anión carbonático. La intensidad de la región D supera incluso a la intensidad de la región E, hecho que se observa por primera vez en este intervalo temporal.

La región F continúa su proceso de evolución.

El descenso importante de la intensidad de la región C y la región B en este intervalo (20h), ambas asociadas al grupo hidroxilo - región B relacionada con la presencia de agua- se considera una fluctuación debida a la extracción manual de la muestra, teniendo en cuenta que en el siguiente espectro (24h) ambas regiones recuperan valores de intensidad similares a los del intervalo anterior (16h).

Por último, el espectro obtenido a las 24 h, continúa con la tendencia descrita en los intervalos de 16 y 20 horas, en los que las regiones D y E, asociadas a los carbonatos cálcicos superan en intensidad a la región A, asociada al hidróxido de calcio. La máxima intensidad la reporta la región D. La región F muestra un pico de intensidad más concreto aunque incipiente.

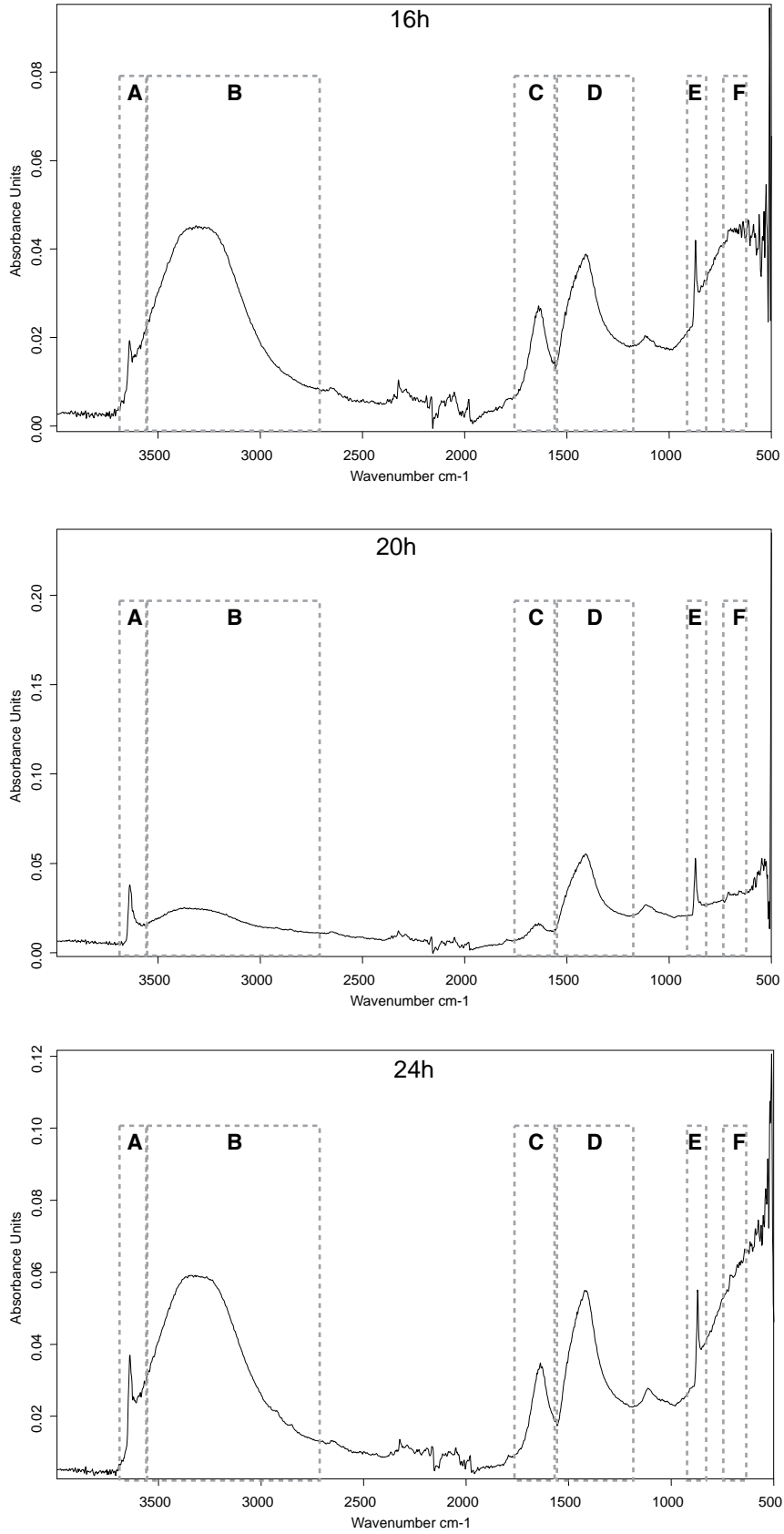


Figura 124. Espectros correspondientes a 16 horas, 20 horas y 24 horas respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

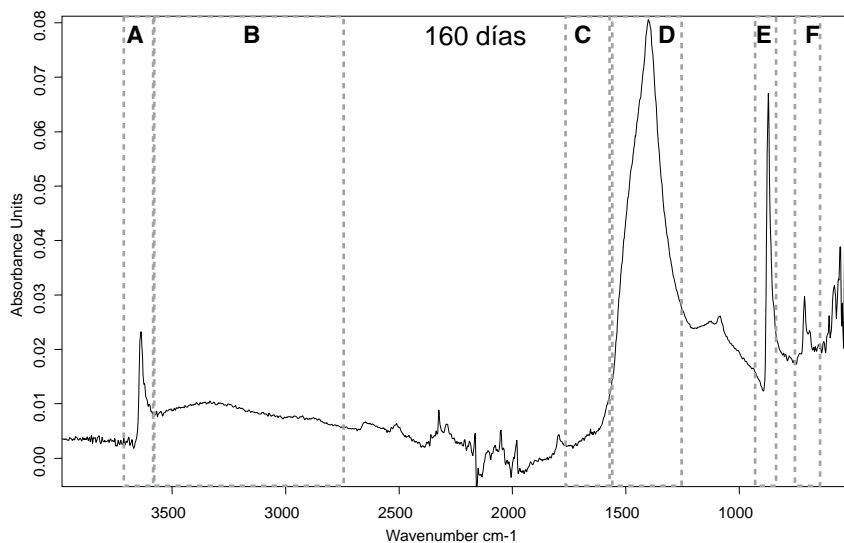


Figura 125. Espectro correspondiente a 160 días desde el inicio del periodo de fresco.

Por último, la figura 125 muestra el espectro obtenido a 160 días, que permite valorar la evolución de los intervalos anteriores. Se puede observar el importante aumento de intensidad de todas las regiones asociadas al anión carbonático. La región A, asociada al hidróxido de calcio mantiene una intensidad importante, aunque por debajo de la intensidad de las regiones E y F.

La región F, en incipiente desarrollo en los intervalos anteriores (región asociada a la presencia de calcita), muestra un pico concreto y con intensidad superior a la intensidad que se observa en la región A. Las regiones D y E han mantenido la tendencia al crecimiento en la intensidad. La región D muestra la mayor intensidad del conjunto de regiones observadas.

#### 6.4.1. Análisis de los resultados obtenidos mediante la integración de áreas de las bandas de absorción IR de las regiones asociadas al grupo hidroxilo versus las regiones asociadas al anión carbonático.

Como se ha explicado en el capítulo de procedimientos (apartado equipo y métodos experimentales) partiendo de la intensidad de las bandas de un espectro se puede obtener la proporción relativa de los componentes presentes en la muestra. Siguiendo los criterios establecidos por Guasch (Guasch, 2009)<sup>111</sup>, la cuantificación de los componentes y la evolución cuantitativa de estos en el tiempo pueden servir para comparar el grado de transformación del hidróxido de calcio/portlandita en carbonato cálcico (calcita).

Para ello, en la presente investigación se ha realizado la integración de las áreas de las bandas de absorción seleccionadas. Se han agrupado en dos grupos: las frecuencias de vibración asociadas al grupo hidroxilo (O-H) por un lado

<sup>111</sup> Guasch, 2009, pág. 60-61.



(3668-3595  $\text{cm}^{-1}$ , 3595-2700  $\text{cm}^{-1}$  y 1750-1558  $\text{cm}^{-1}$ ) y las asociadas al anión carbonático ( $\text{CO}_3$ ) por otro lado (1558-1256  $\text{cm}^{-1}$ , 898-850  $\text{cm}^{-1}$ , 748-674  $\text{cm}^{-1}$ ).

El objetivo de esta integración es evaluar el tipo de correlación entre el crecimiento de las áreas de las banda de absorción asociadas al ión carbonático (relacionadas con la presencia de carbonato cálcico) y el decrecimiento de áreas de las banda de absorción asociadas al grupo hidroxilo (relacionadas con la presencia de portlandita).

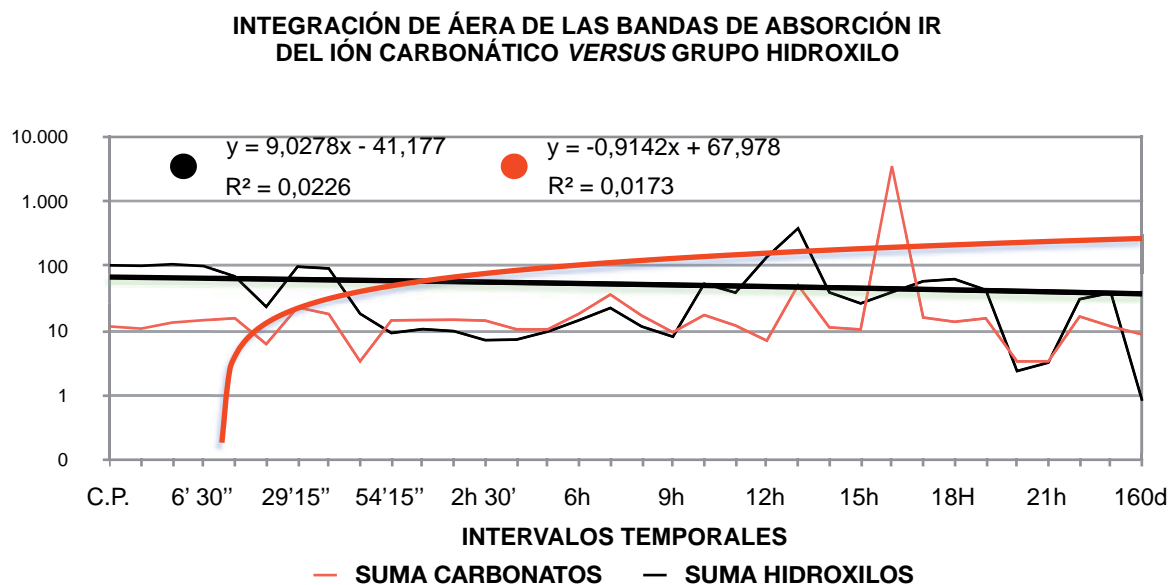


Figura 126. Integración de áreas de las bandas de absorción IR en la que se compara cuantitativamente la evolución de las bandas asociadas al anión carbonático versus las bandas asociadas al grupo hidroxilo.

La gráfica (figura 126) incluye la línea de tendencia exponencial y su correspondiente  $R_2$ . Se observa que no existe una relación directa entre el decrecimiento del grupo hidroxilo y el aumento del anión carbonático. Si esta relación fuera directa  $R_2$  sería igual a 1.

La independencia de estos procesos (crecimiento para los carbonatos cálcicos y decrecimiento para los hidróxidos de calcio) implica que los mecanismos y procesos que se desarrollan en el film-gel superficial de una pintura al fresco no se pueden explicar mediante la reacción de carbonatación, o al menos no únicamente.

Obviamente, el proceso de carbonatación que desarrolla en los estratos inferiores tendrá repercusión en el film superficial, repercusión que no se puede valorar en el contexto de esta investigación. En sentido inverso, la formación del film-gel en la superficie del enlucido tiene que repercutir en la reacción carbonatación que ha de desarrollar en los estratos inferiores. Pero esta mutua influencia (en términos de ralentización o aceleración de procesos y mecanismos) no explica la intensidad de crecimiento de los carbonatos cálcicos.

Es decir: el decrecimiento de hidróxido de calcio observado no es correlacionable con el gran crecimiento de carbonatos cálcicos y por lo tanto el proceso de carbonatación no explica la formación del gel superficial ni de la interfase

cristalina que se desarrolla entre el gel y el reenlucido, con un predominio de carbonatos.

Para poder definir con mejor precisión que compuestos se ven implicados en el proceso de formación del gel es necesario analizar en profundidad las áreas de las bandas de absorción asociadas al anión carbonático seleccionadas en esta investigación. Para ello se ha decidido recurrir a la deconvolución<sup>112</sup> de las áreas de banda concretas (**D** y **F**). Esta línea de investigación está es proceso de desarrollo.

---

<sup>112</sup> La deconvolución aplica operaciones matemáticas para restaurar señales con el objetivo de recuperar datos degradados mediante un proceso físico que puede describirse mediante la operación inversa a la convolución. Se emplea para conocer que es lo que ocurre en un sistema. Es un técnica en expansión, actualmente muy aplicada para sistemas computacionales.

## **6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.**

Teniendo en cuenta los resultados de esta investigación se puede afirmar que el film pictórico de la pintura al fresco, que se desarrolla sobre un *reenlucido* compuesto por cal en pasta, tiene una evolución físico-química y cristalina específica y diferente a la que se desarrolla en los estratos subyacentes que conforman el propio enlucido/*reenlucido*.

Este desarrollo y evolución diferencial se debe a tres factores fundamentales:

- I. **La naturaleza y composición de la cal en pasta (CL 90 S PL).**  
La cal en pasta es una suspensión coloidal, compuesta fundamentalmente por partículas sólidas cristalinas. El compuesto predominantemente es el hidróxido de calcio/portlandita, cuyas partículas se encuentran embebidas en agua de cal. El agua de cal se presenta saturada principalmente de aniones de carbonatos, iones de calcio y de magnesio.
- II. **El film acuoso que se superpone al enlucido/*reenlucido*** de cal cuando se ejecuta la pintura la fresco -pigmentos en suspensión acuosa-.
- III. **El tipo de acabado que se ejecute sobre el sustrato:** enlucido, reenlucido o un enlucido/*reenlucido* bruñido. Como se ha desarrollado en el apartado dedicado a POM, el desarrollo y la evolución cristalina del film-gel está condicionado por la técnica del acabado que se ejecuta en la superficie del enlucido/*reenlucido*. La técnica al fresco permite una evolución cristalina más compleja que el resto de técnicas analizadas en esta investigación (esto es: enlucido sin pintar, reenlucido sin pintar y reenlucido bruñido en frío). Este aspecto se ha demostrado en la ontogénesis cristalina del apartado 6.1.2.4.3.

Durante la ejecución de esta técnica artística se producen varios mecanismos que conllevan la solidificación de la dispersión acuosa que se genera en el film. Esta solidificación es la hace posible la fijación del pigmento a su superficie. Estos mecanismos se desarrollan de manera simultánea:

1. **Carbonatación área del hidróxido de calcio/portlandita** por la difusión de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) del aire en el medio acuoso del film.
2. **Formación en superficie de una capa de gel (hidrogel) en la composición básicamente carbonatada.** Esta masa sólida esta compuesta por varias fases amorfas y cristalinas de carbonatos cálcicos, y tiene una lenta evolución de deshidratación y recristalización.

3. **Precipitación y nucleación cristalina de carbonatos** -de calcio básicamente- **en la interfase entre el gel superficial y el sustrato sólido del reenlucido**. Este proceso es complejo y se caracteriza por:
- a) La aceleración de la cinética de la reacción debido a la sobresaturación. Esta sobresaturación es intensificada a su vez por la rápida evaporación del agua presente en el film pictórico.
  - b) Paralelamente se produce una difusión del CO<sub>2</sub> a través del gel, que funciona como una membrana semiporosa que propicia procesos de cristalización similares a los descritos por Liesegang y que conllevan que se genere un crecimiento cristalino competitivo posterior a la nucleación. Este tipo de crecimiento favorece a su vez determinados hábitos cristalinos, proceso que se ha denominado *maduración cristalina de Ostwald* (Feeney, Schmidt, Strickholm *et alii*, 1983; Cazalla, 2002).
  - c) Esta rápida sobresaturación produce crecimientos cristalinos acelerados de tipo *split growth* (Viedma, 1989; Tang, Alivisatos, 2006), favoreciendo la aparición de determinados hábitos cristalinos y una evolución temporal concreta, descrita en la ontogénesis cristalina. Este último tipo de proceso se combina y compite con el anterior (b), relacionada con la carbonatación simple.

Esto conlleva un planteamiento diferente a la explicación tradicional del proceso de la pintura al fresco, donde solo se contemplaba la carbonatación área de la cal -proceso tipo “1” según el esquema anterior-. En definitiva la formación del film pictórico sobre un enlucido/*reenlucido* de cal en pasta es un proceso poligénico y multifactorial.

**Este proceso se inicia a partir de la rápida evaporación del film acuoso que se aplica a el pincel** -con pigmento-. Esta evaporación genera una sobresaturación acelerada que conlleva la difusión de los componentes procedentes del sustrato -*i.e.*, de la capa de reenlucido de cal en pasta-. Es decir, mediante la aplicación del film acuoso a pincel se produce una difusión del interior -*reenlucido*- hacia el exterior -superficie del film acuoso-. Esta difusión consta de :

- 10) Partículas sólidas, mayoritariamente cristales de portlandita y de otros carbonatos.



- 11) Iones en solución acuosa que son los componentes del agua de cal que forma parte de la propio cal en pasta:  $\text{Ca}^{++}$  ,  $\text{Mg}^{++}$  ,  $\text{OH}^-$  /  $-\text{HCO}_3$  ,  $\text{CO}_3^{=}$ .
- 12) Partículas de tamaño y naturaleza coloidal:
  - Agregados de cristales de tamaño submicrométrico y nanométrico de portlandita y otros carbonatos presentes en la cal en pasta.
  - Agregados mixtos: iones fijados por mecanismos de adsorción sobre la superficie de los agregados de cristales de tamaño submicrométrico y nanométrico.

Esta difusión-sobresaturación acelerada modifica y transforma el medio acuoso del film pictórico, que se convierte una compleja mezcla de cristales, iones y partículas coloidales. Esto genera la sucesión de varias etapas de desarrollo, en las cuales se producen simultáneamente diferentes mecanismos fisico-químicos y de evolución cristalina (ontogenia cristalina).

Las etapas partir del momento de difusión-sobresaturación serían las siguientes:

**Etapas 1: Generación de iones reactivos por disolución de portlandita y el inicio de la formación de una capa de gel superficial ( 0 - 1 5 minutos aproximadamente).**

- a) Los cristales de portlandita se disuelven en el film acuoso generando iones, básicamente de  $\text{OH}^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ . Estos reactivos entran en contacto con el  $\text{CO}_2$  que se difunde en el film procedente del aire y forma iones de carbonatos  $-\text{HCO}_3/$   $\text{CO}_3^{=}$ . La disolución rápidamente se sobresatura y precipita.
- b) La formación de cristales de calcita sobre las caras de portlandita es el principal proceso. Se trata de una nucleación heterogénea que necesita un nivel mas bajo de sobresaturación, pero que sigue el modelo de Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, donde se alternan fases activas con fases durmientes o pasivantes.

Estos son procesos de carbonatación área, ya que uno de los reactivos básicos es el anhídrido carbónico  $\text{CO}_2$  procedente del aire.

- c) A los pocos minutos –según este estudio a entre 10-15- aparece otro mecanismo muy importante de formación de carbonatos que no viene inducido por el  $\text{CO}_2$  presente en el aire, sino por los aniones carbonatados presentes en el agua

de cal  $\text{-HCO}_3/\text{CO}_3^-$ . Estos aniones provienen de la propia cal en pasta puesto que el agua de cal constituye el líquido de imbibición de la cal en pasta. Además de estos aportes iónicos, también se introducen partículas submicrométricas y nanométricas y partículas -del sustrato- arrastradas por el propio pincel que transforman el film acuoso en una suspensión coloidal.

Este fenómeno de formación de carbonatos cálcicos en superficie, independiente de la reacción de carbonatación aérea de la portlandita, ya se ha observado en ambientes naturales de tipo kárstico, donde se forma una capa superficial laminar de carbonato cálcico que flota sobre el agua en la interfase con el aire. Se denomina calcita flotante (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976). Por debajo se desarrollan crecimientos en forma de columna,, compuestos mayoritariamente por cristales de hábitos escalenoédricos, tal y como está detallado en el apartado de SEM. Este tipo de crecimiento cristalino es similar al observado en el "velo de la cal"<sup>113</sup>, donde los cristales se desarrollan en la interfase agua-aire, que nunca llegan a madurar puesto que el material es utilizado y no se deja en reposo. La figura 127 muestra el croquis de formación de la calcita flotante (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976)<sup>114</sup> y la estratigrafía de la calcita flotante (Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976)<sup>115</sup>. El estrato oscuro a partir del cual se forman los cristales escalenoédricos corresponde a una capa criptocristalina que equivaldría a la capa gel encontrada en la superficie de los frescos objeto de esta investigación. La figura 128 muestra la imagen de estos cristales -no del gel- formados en la superficie de la cal en pasta una vez a reposado obtenida a POM

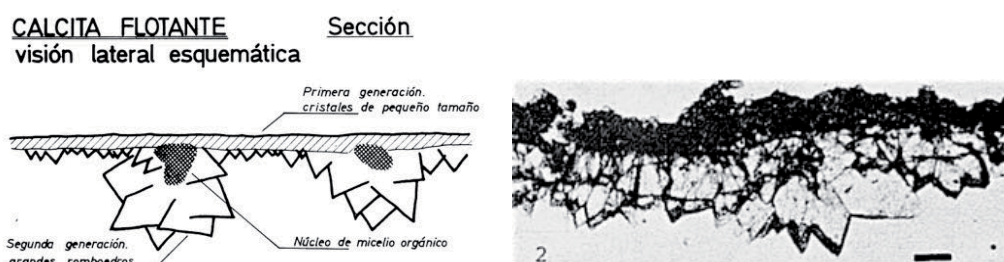


Figura 127. Croquis de formación e imagen de la estratigrafía de la calcita calcita flotante -escala 100 micras- (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1975/Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976).

<sup>113</sup> Crecimiento cristalino que se desarrolla en la superficie de la cal en pasta una vez se ha decantado la fase líquida de la sólida.

<sup>114</sup> Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976, pág.5.

<sup>115</sup> Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976, pág.7.

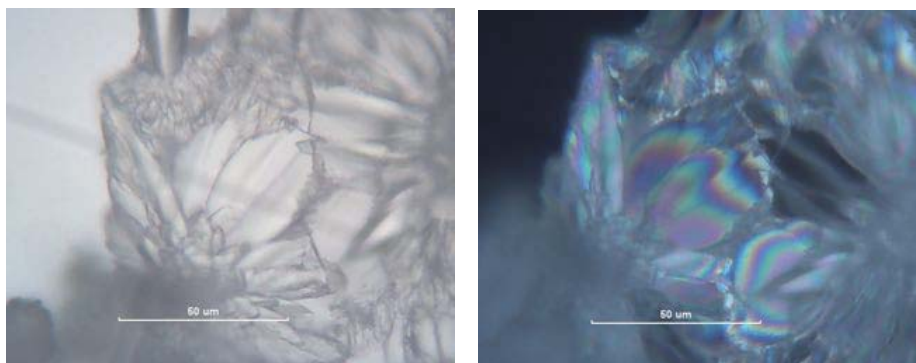


Figura 128. Cristales formados sobre el agua de cal. Se producen sobre el agua que cubre la cal en pasta al dejarla reposar, cuando la fase sólida se decanta y se va al fondo del recipiente. Es conocida en el argot profesional como el “velo de la cal”. Estos cristales se forman a mucha velocidad, en minutos.

Este proceso de rápida formación del gel en superficie se debe a la presencia de partículas micelares. Este tipo de partículas tiene tendencia a migrar hacia la superficie del líquido por cuestiones de tensión superficial y el efecto surfactante, como ocurren con otros tensioactivos.

Los ambientes naturales en que este tipo de crecimiento cristalino ha sido estudiado -kárstico- son lagunas subterráneas donde, obviamente, no se producen fenómenos de agitación mecánica, lo que preserva la lámina cristalina de la interfase, permitiéndose así la evolución subyacente de cristales colgantes de hábito escalenoédrico.

La principal diferencia entre este proceso natural y la técnica al fresco es que la superficie o interfase que se forma es un gel y no una capa criptocristalina. Esto es debido a la presencia de partículas coloidales en la cal en pasta y al proceso de ejecución técnica del fresco, que limita el grosor de la capa favoreciendo la sobresaturación de la dispersión coloidal del film.

## **Etapas 2: Consolidación progresiva del gel, nucleación y cristalización en el interior de la disolución y sobre la portlandita.**

- a) La gelificación de la superficie del film en contacto con el aire. Posiblemente la evaporación rápida induzca la sobresaturación de la dispersión coloidal y la coalescencia progresiva -agrupamiento- de las partículas coloidales. Este gel superficial actúa desde su constitución como una membrana semipermeable a través de su microporosidad interparticular. Otra consecuencia de la gelificación es la aparición y separación de una fase líquida rica en iones que aumenta la concentración y densifica la disolución subyacente -bajo el film-gel-. Es decir, aumenta la sobresaturación. La presencia de la membrana del gel

provoca la concentración del agua presente entre el sustrato y el gel, evitando el acceso al  $\text{CO}_2$ , ralentizando los procesos de carbonatación tanto del sustrato como del film.

- b) La nucleación y cristalización de carbonatos sobre las caras de los cristales de portlandita, que están en proceso de disolución o transformación mineral (figura 129). Preferentemente sobre las caras 010 según describe Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, (Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, 2012).



Figura 129. Cristal de portlandita en proceso de disolución transformación. Imagen izquierda x100 XP entre 1-2 horas tras la ejecución. Imagen derecha, x100  $1/4\lambda$  entre 30-60 minutos tras al ejecución.

- c) La cristalización en el seno de la disolución de partículas carbonatadas con hábitos cristalinos iniciales, descritos en la ontogenia cristalina. Esta precipitación también parece ser una nucleación heterogénea sobre microagregados submicrométricos o nanométricos de cristales. Los iones en disolución pueden proceder de distintas fuentes:
- la disolución de la portlandita en el seno del film.
  - los iones del agua de cal de la cal en pasta.

La intensificación de la sobresaturación genera fenómenos de crecimiento tipo *split growth* (figura 130) desarrollados en dos líneas evolutivas diferentes, según lo observado en la ontogenia cristalina:

- c.1) Gavillas, esferulitos tridimensionales, planares y nanoflores.
- c.2) Crecimientos en estructura sectorial.

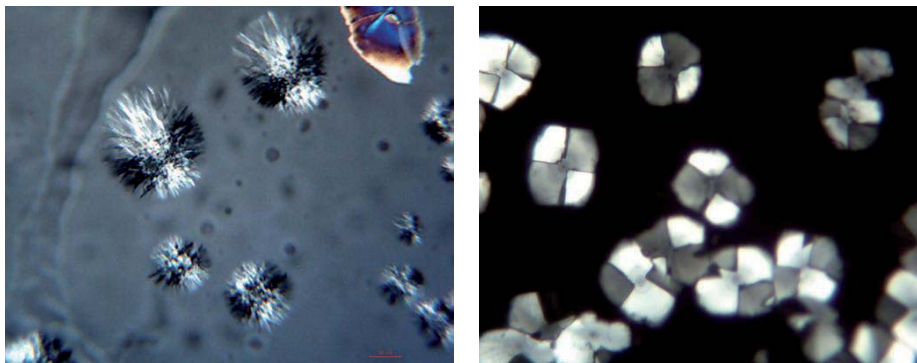


Figura 130. Algunos hábitos cristalinos tipo *splith growth* propios de la Etapa 2. Imagen izquierda, x400  $1/4\lambda$  entre 30-60 minutos tras al ejecución del enlucido. Imagen izquierda x400 XP entre 1-15 días tras la ejecución.

### **Etapa 3: Desarrollo y evolución de todos los procesos precedentes:**

- a) **Gelificación.**
- b) **Precipitación y evolución cristalina de la disolución.**
- c) **Carbonatación aérea de la portlandita.**
- d) **Difusión posterior de los iones presentes en la disolución interna del film/reenlucido/enlucido.** Una vez finalizado el periodo de fresco, mediante el secado progresivo de los estratos que conforman el cuerpo entro del enlucido/reenlucido, se produce una difusión tardía de los iones de la disolución hacia la superficie. Esta difusión tardía puede favorecer la fijación de las partículas de pigmento aplicadas en los momentos finales del periodo de fresco, fijando partículas que inicialmente no presentaban una buena adhesión. Esto es debido a la formación de una fina capa sólida y transparente, microcristalina que se sitúa en la parte más externa del film y que ha sido observada en las pinturas murales antiguas (figura 131).

Los procesos a, b, c se desarrollan en paralelo, solidificando y aumentando la densificación del film. Se considera que esta etapa finaliza entre las 16-24 horas. Progresivamente la superficie del fresco deja de aceptar la incorporación del pigmento al film y por tanto el periodo de fresco se da por concluido. A partir de este momento, se desarrolla el proceso d.



Resumiendo, la fijación de los pigmentos viene dada mediante dos mecanismos, según lo explicado en este apartado.

- Fijación en el gel durante el periodo de fresco (figura 131, izquierda).
- Fijación sobre el gel mediante un proceso de difusión tardía (en las horas posteriores al periodo de fresco, cuando se produce el secado de todos los estratos que conforman el enlucido/*reenlucido* (figura 131, derecha).

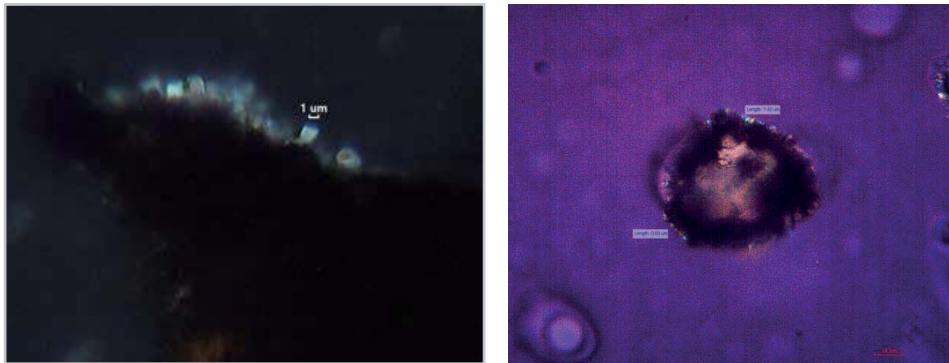


Figura 131. Derecha. Imagen, x1000 XP. Superficie de un *reenlucido* pintado al fresco (pincelada densa). Se ha generado una capa sólida microcristalina sobre el film pictórico, proceso de fijación posterior al periodo de fresco. Izquierda. Imagen, x400 XP  $\lambda$ . Partículas de pigmento que se han adherido sobre un cristal presente en el film (nucleación heterogénea) y a su vez el pigmento sirve como base para la nucleación (heterogénea) de microcristales de carbonato cálcico, fijando el pigmento dentro del film.

#### **Etapas 4: Envejecimiento y estabilización del film pictórico.**

Tras varios meses de envejecimiento (160 días) se pueden observar tres estratos bien diferenciados (figura 132):

1. Gel superficial multicapa. Presenta una superficie ondulada, de textura botroidal que se va poligonizando progresivamente.
2. Subcapa microcristalina con cristales agregados columnares con cristales de tipo escalenoédrico.
3. Cristales de aciculares, esferulíticos, gavillas, nanoflores y otras tipologías minoritarias.

La descripción de estas etapas es coincidente con lo observado mediante POM, donde se ha descrito la evolución de una masa nebulosa que va evolucionando en el tiempo. La formación de esta masa nebulosa depende de la presencia de agua saturada pero no desaparece durante el secado posterior, puesto que se ha estabilizado desarrollando el gel.

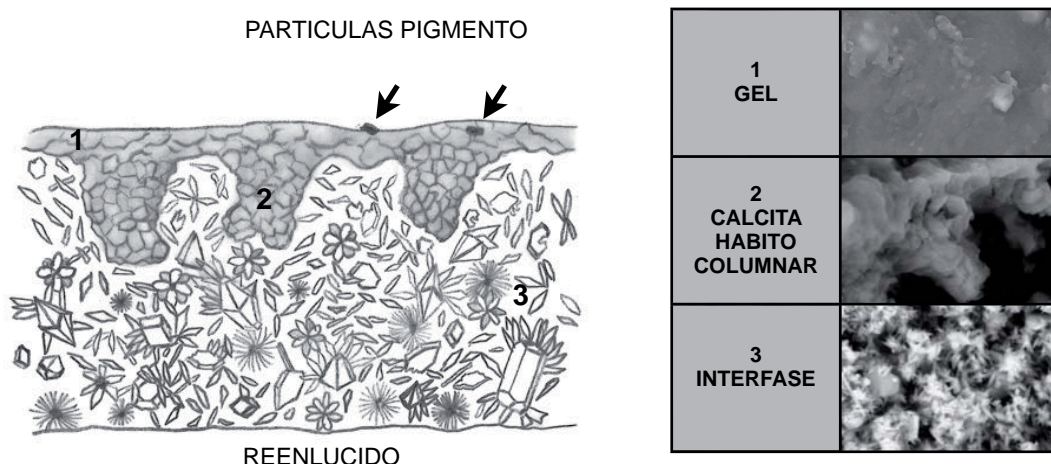


Figura 132. Izquierda. El dibujo describe los principales hábitos cristalinos que se desarrollan en función de los diferentes estratos del film pictórico. Derecha. Imágenes de los tres estratos en SEM.

Estas etapas también son coincidentes con las capas observadas mediante SEM-EDS. Mediante esta técnica hemos podido observar la morfología amorfa del gel y el desarrollo de estructuras cristalinas colgantes de otras especies cristalinas. Se ha podido constatar la evolución de este gel y de su interfase a lo largo del tiempo hasta llegar a los 160 días. La textura de este gel es coincidente con lo observado en las muestras de pintura antigua incluidas en este estudio: la pintura al fresco romana *Némesis* del Anfiteatro de Tárraco y la pintura al fresco románica de Sant Miquel de Cruïlles, lo que incide la estabilidad y presencia de este estrato a lo largo de periodos de tiempo muy extensos (1.600/800 años respectivamente).

Finalmente, mediante el análisis químico realizado en FT-IR se ha podido constatar que la reacción de carbonatación aérea no parece justificar la presencia de este gel ni en general la abundante formación de carbonatos cálcicos que supera el porcentaje de portlandita transformada en calcita. En efecto, el análisis semicuantitativo de los compuestos presentes determina que hay un conjunto importante de carbonatos no asociados a la transformación de la portlandita en calcita. Esto se ha podido observar en muestras de 160 días de envejecimiento. Estos carbonatos, no identificados mineralógicamente, si se han descartado como calcita por no estar en las banda de vibración -absorción- de este mineral.

La presencia de este estrato-gel sobre enlucidos/*reenlucidos* de cal en pasta coincide con los resultados de algunos *strappos* muy superficiales. Las pinturas arrancadas mediante *strappos* que no consiguen extraer parte de la capa superficial de enlucido/*reenlucido* no consiguen sustraer el conjunto de la pintura de su soporte original, lo que conlleva que parte importante de la pintura quede sobre la superficie del enlucido después del arrancamiento. Esto sucede cuando el *strappo* solamente separa la capa gel (o parte de ella) del estrato inferior. Las partículas de pigmento que se depositaron al fondo de la capa gel y/o entraron en contacto directo con el sustrato (enlucido/*reenlucido*), permanecen en su lugar y no son incluidas en el *strappo*. Este tipo de *strappo* consigue llevarse el gel y posibles detalles pintados al seco, repintes... Es decir: se arranca el gel y todo aquello depositado por encima de éste. Pero no el conjunto de la pintura al fresco. Esto explica porqué en determinados casos de pinturas al fresco arrancadas se

puede apreciar parte importante de la pintura todavía sobre su soporte original in situ.

Como conclusión final de la tesis, se exponen a continuación las cuestiones planteadas en el capítulo 3 (antecedentes de estudios de pintura al fresco) y sus consiguientes respuestas:

- **¿Qué sucede en la superficie de un enlucido/*reenlucido* pintado al fresco?**  
Se desarrolla un gel de carbonato cálcico y bajo este gel se produce crecimiento cristalino tipo *split growth*.
- **¿Sucede en el estrato último o sólo en la superficie, entendida como el límite entre el aire y la materia?**  
Sucede en diversos puntos:
  - El gel se desarrolla en la interfase entre el aire y el enlucido.
  - En la interfase en contacto con el gel se producen fenómenos como la calcita columnar.
  - En la interfase en contacto con la superficie del enlucido/*reenlucido* se produce crecimientos tipo *split growth*.
- **¿Se produce una carbonatación aérea acelerada por el acceso directo al CO<sub>2</sub> del aire?**  
No.
- **¿Se producen las fases de periodos reactivos y periodos durmientes observadas por Cizer, Van Balen, Elsen (Cizer, Van Balen, Elsen *et alii* 2012) o los mecanismos descritos por Liesegang?**  
Los mecanismos son más complejos que la carbonatación aérea estándar y se combinan con otros procesos de formación de carbonatos, con la gelificación y la precipitación de disoluciones sobresaturadas de iones de calcio y carbonatos.
- **Si se producen estas fases de carbonatación aérea ¿se producen a mayor velocidad en la superficie en contacto con el aire que en la capa final?**  
La formación de un gel superficial y la naturaleza coloidal de la interfase que se forma en el film (que viene dada por el uso de la cal en pasta) modifica al cinética de todos los procesos, creando nuevas fases de formación de carbonatos.
- **¿Es esta fase inicial de carbonatación la que justifica la rigidez inicial de la superficie?**  
No, es la formación de un gel de carbonato cálcico.
- **¿Hay alguna otra reacción o mecanismo que justifique esta rigidez en una fase tan inicial?**  
Si. La gelificación y precipitación cristalina interrelacionada con la carbonatación.

- **¿Qué es y como se genera ese capa brillante en superficie en la técnica del bruñido?**

Este brillo proviene de la ordenación en planos o láminas de las partículas del gel producidas por la presión ejercida durante el bruñido.

- **¿Porqué al bruñir -cuidadosamente- la última capa de cal no se remueve pero aparece brillante?**

Porque el gel y el sustrato son capas independientes, aunque interconectadas.

- **¿Responde este brillo del bruñido a los mecanismos propios de la reacción de carbonatación o responde a otros procesos y mecanismos coincidentes en el tiempo?**

No, la carbonatación aérea estándar es insuficiente para explicar estos fenómenos. Hay otros procesos que son la gelificación superficial y la precipitación cristalina en la interfase, que son coincidentes en el tiempo con la carbonatación.

## **7. DISCUSSION AND CONCLUSIONS.**



Taking into account the results of this research, it can be said that the pictorial film of fresco painting, spread over an *intonachino* composed by lime putty, has a specific crystal and physicochemical evolution, different from the one developed in the underlying stratum which constitute the *intonaco/intonachino* itself.

This differential development and evolution is due to three basic factors:

- I. **Nature and composition of lime putty (CL 90 S PL).** Lime putty is a colloidal suspension, basically composed by solid crystal particles. The predominant compound is calcium hydroxide/portlandite, whose particles are lime water soaked. Lime water appears mainly saturated with carbonate anions, magnesium and calcium ions.
- I. **The aqueous film which covers the lime intonaco/intonachino** when the fresco painting (pigments in water suspension) is carried out.
- I. **The type of finish carried out over the substrate:** intonaco, intonachino or a burnished intonaco/intonachino. As it has been explained in the section centered on POM, the crystal development and evolution of the gel-film depends on the finish technique which is carried out on the surface of the intonaco/intonachino. The fresco technique allows a crystal evolution more complex than in the rest of the techniques analyzed in this research.

During the realization of this artistic technique, there are several mechanisms which mean the solidification of the aqueous dispersion generated in the film. This solidification is what makes possible the fixation of the pigment to its surface. These mechanisms are developed simultaneously:

1. **Air carbonation of calcium hydroxide/portlandite** because of the carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) diffusion of the air in the aqueous medium of the film.
1. **Formation on the surface of a gel layer (hidrogel) in the composition basically carbonated.** This solid mass is composed of several crystal and shapeless phases of calcium carbonates, and shows a slow evolution to dehydration and recrystallisation.
1. **Precipitation and crystal nucleation of carbonates** (calcium, basically) **in the interface between the superficial gel and the solid substrate of the intonachino.** This process is complex and is characterized by:
  - a) The acceleration of the reaction kinetics due to the oversaturation. This oversaturation, in turn, is intensified

by the fast evaporation of the water present in the pictorial film.

- a) Simultaneously, there is a CO<sub>2</sub> diffusion through the gel, which functions as a semi-porous membrane which favors crystallization processes in colloidal media similar to the ones described by Liesegang, generating a competitive crystal growth after nucleation process, thereby giving preference to determined crystalline habits, process known as a crystalline maturation of Ostwald (Feeney, Schmidt, Strickholm *et alii*, 1983; Cazalla, 2002).
  
- a) This rapid oversaturation produces fast-growing crystalline development or *split growth* (Viedma, 1989; Tang, Alivisatos, 2006). That fact generates the appearance of determined crystal habits and its evolution, as it was described in crystalline ontogenesis. This process is in competition and at the same time combined with process b) (which is in relation with carbonation reaction).

It implies a different approach from the traditional explanation of the process of the fresco painting, where only the air carbonation of lime was considered (process type "1", according to the above diagram). In short, the formation of a pictorial film over a lime putty *intonaco/intonachino* is a multifactorial and polygenic process.

This process starts from the fast evaporation of the aqueous film which is applied with brush — water and pigment—. This evaporation generates an accelerated oversaturation which leads to the diffusion of the components from the substrate, *i.e.*, from the *intonachino* layer of lime putty. That is to say, by means of the application of the aqueous film with a brush, there's a diffusion from the interior — *intonachino*— to the exterior —aqueous film surface—. This diffusion:

- 1) Solid particles, mainly portlandite crystals and other carbonates.
- 2) Ions in an aqueous solution, the components of lime water which forms the lime putty itself: Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, OH<sup>-</sup>/-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>.
- 3) Particles of a colloidal size and nature:

Crystal aggregates of a submicrometric and nanometric size of portlandite and other existing carbonates in the lime putty.

Mixed aggregates: ions fixed by adsorption mechanisms over the surface of the crystal aggregates with a submicrometric and nanometric size.

This accelerated diffusion-oversaturation modifies and transforms the aqueous medium of the pictorial film, which is converted into a complex mix of crystals, ions and colloidal particles. This process creates the succession of several phases of development, in which there are different simultaneous physicochemical mechanisms and crystalline evolution (crystalline ontogeny).

The stages, from the moment of diffusion-oversaturation onwards, would be the following ones:

**Stage 1: Reactive ion generation by portlandite solution and the formation of superficial gel (approximately, 0-15 minutes).**

- a) Portlandite crystals are dissolved in the aqueous film, which generates ions, mainly of  $\text{OH}^-$  and  $\text{Ca}^{++}$ . These reagents come into contact with the  $\text{CO}_2$  spread in the film coming from the air, and they form carbonate ions ( $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ ). The solution gets rapidly oversaturated and it precipitates.
- b) The formation of calcite crystals over the faces of portlandite is the main process. It is a heterogeneous nucleation which needs a lower level of oversaturation, but it follows the Cizer, Van Balen, Elsen *et alii* (Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, 2012) pattern, where active phases alternate with passivating and sleeping phases.

These are processes of air carbonation, as one of the basic reagents is carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), coming from air.

- a) After few minutes (according to this research, from 10 to 15), there's another very important mechanism of carbonate formation which is not induced by the  $\text{CO}_2$  existing in the air, but by the carbonated anions which are in the lime water ( $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ ). These anions come from the lime putty itself, as lime water constitutes the imbibition liquid of lime putty. Apart from these ionic contributions, there are also submicrometric and nanometric particles, as well as particles (from the substrate) dragged by the brush itself, which transform the aqueous film in a colloidal suspension.

This phenomenon of formation of calcium carbonates on the surface, independent from the reaction of the air carbonation of portlandite, has already been seen in natural environments of karstic type, where there's a laminar superficial layer of calcium carbonate which floats on water in the interface with air. It's called floating calcite (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976). In a lower level, there are columnar growths of crystals of escaloedric habits, as

it has been explained in the section of SEM. This type of crystalline growth is similar to the one seen in the "lime veil"

, where crystals are developed in the water-air interface which never happens to ripen, as the material is used and is not allowed to settle. Figure 127, shows the sketch of the formation of floating calcite (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976)

and the stratigraphy of the floating calcite (Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976)

. The dark stratum —formed by cryptocrystalline particles—, from which the scalenoedric crystals are formed, corresponds to the description of the gel found on the surface of the fresco paintings, which are the object of this research. Figure 128 shows the image of these crystals —not the gel ones— formed on the surface of the lime putty, once it has settled, obtained by means of a POM.

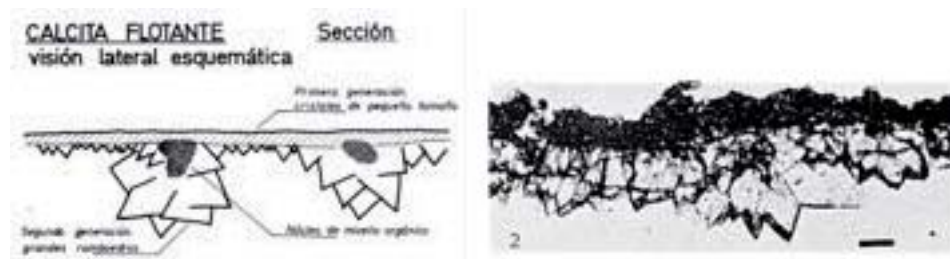


Figure 127. Formation diagram and stratigraphy image of the floating calcite, 100 microns scale, (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1976/Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976).

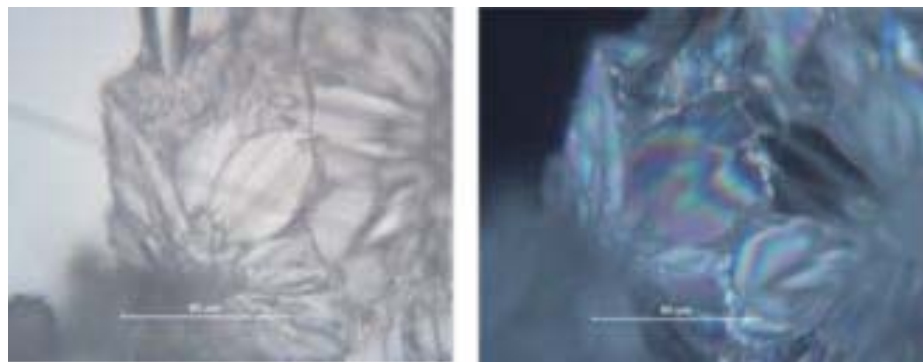


Figure 128. Crystals formed over the lime water. They are generated over the water which covers the lime putty when it is left to settle, when the solid phase pours and moves to the bottom of the container. This is technically known as "lime veil". These crystals are formed very fast, in just some minutes.

This process of fast formation of gel on the surface is due to the presence of micellar particles. This type of particles has a tendency to migrate to the surface of the liquid because of the surface tension and the surfactant effect, as it happens with other surfactants.

In the natural contexts in which this type of crystalline growth has been studied —karstic, are groundwater ponds—, there are no

processes of mechanical stirring. This way, the crystalline sheet of the interface is preserved and the underlying evolution of the hanging crystals of scalenoedric habit is allowed.

The only difference between this natural process and the fresco technique is that the surface or interface which is formed is a gel for a fresco painting, not cryptocrystalline. This is due to the presence of the colloidal particles in the lime putty and the process of technical realization of the fresco painting, which limits the thickness of the layer, which favours the oversaturation of the colloidal diffusion of the film.

**Stage 2: Progressive gel consolidation of the gel, nucleation and crystallization over the portlandite and in the core of the solution.**

- a) Gelation of the film surface in contact with air. The fast evaporation might induce the oversaturation of the colloidal diffusion and the progressive coalescence —grouping— of the colloidal particles. This superficial gel acts from its generation as a semipermeable membrane through its interparticle microporosity. Another consequence of the gelation is the appearance and separation of a liquid phase which increases and densifies the underlying solution (under the gel film). In other words, the oversaturation increases. The presence of the gel membrane causes the concentration of the water between the substrate and the gel, which avoids the access to  $\text{CO}_2$ , carbonatation process on the film and the under de film.
- b) The carbonate nucleation and crystallization over the faces of the portlandite crystals, which are in the process of mineral transformation or solution (figure 129). Preferably over the faces 010, as described by Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, (Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*, 2012).

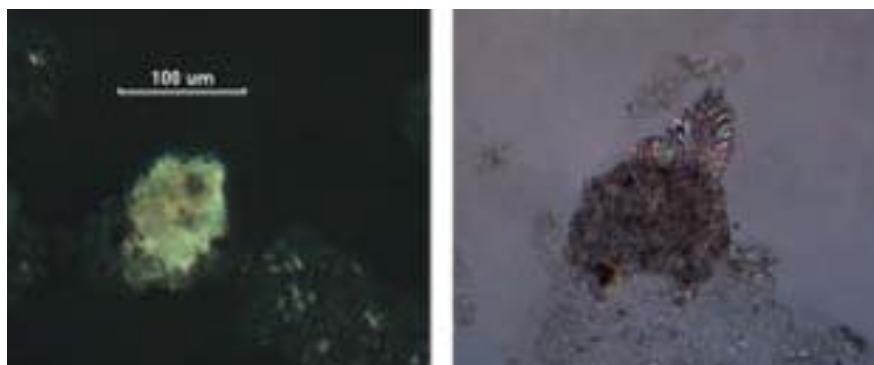


Figure 129. Portlandite crystal in the process of solution/transformation. Left image x100 XP between 1-2 hours after the execution. Right image, x100  $1/4\lambda$  between 30-60 after the execution.

- a) Crystallization in the core of the solution of carbonated particles with initial crystalline habits, described in the crystalline ontogeny. This precipitation also seems to be a heterogenous nucleation over submicrometric microaggregates or crystal nanometrics. The dissolving ions can come from several origins:

Portlandite solution in the core of the film.

Lime water ions from the lime putty.

The intensification of the oversaturation generates growth phenomena of the type *split growth* in two different evolutionary lines, as observed in crystalline ontogenesis: one with sheaves, planar and tridimensional spherulites and nanoflowers; and two with growths in sectorial structure in checkerboard pattern (figure 130)..

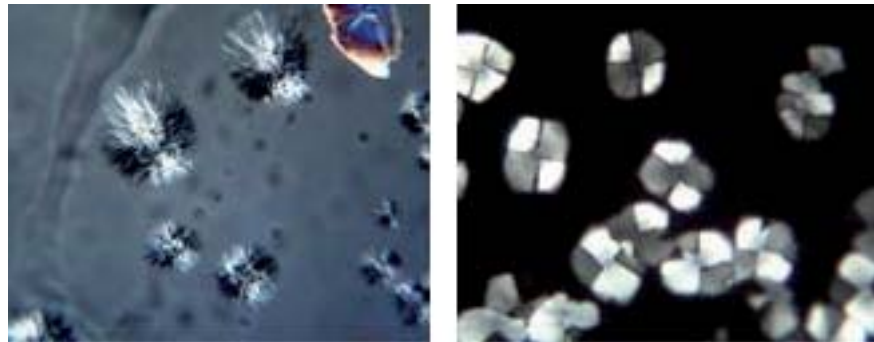


Figure 130. Some crystalline habits of the type *split growth* specific of the Phase 2. Left image, x400  $1/4\lambda$  between 30-60 minutes after the execution of the intonaco. Left image x400 XP between 1-15 days after the execution.

### Stage 3: Development of all of the processes:

- a) Gelation.
- b) Precipitation and crystalline evolution of the solution.
- c) Air carbonation of portlandite.
- d) Subsequent dissemination of ions present in the internal solution of the film.

Afterwards, by means of the progressive drying of the stratum which form the *intonaco*, there is a delayed diffusion of the ions -into the solution- to the surface.



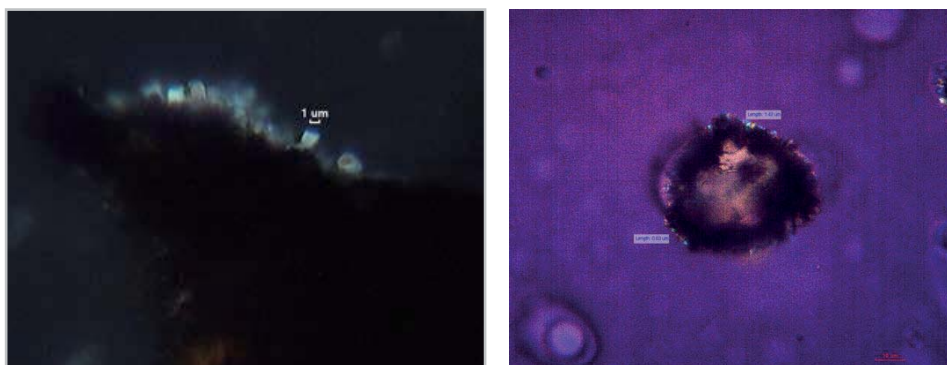
This diffusion can favour the fixation of the pigment particles applied in the final moments of the fresco period, fixing the particles which initially did not show a good fixation. This is due to the formation of a solid, transparent and fine – cryptocrislline- stratum on the surface of the film. This crytocristalline stratum was observed in fresco paintings.

The three processes are developed in parallel, solidifying and increasing the film densification. It is considered that this stage ends between the 16-24 hours. The fresco surface stops accepting the inclusion of the film pigment progressively, and the fresco period is considered as finished. In that moment, process d) is developed while the drying of the *intonaco*.

In conclusión, the fixation of the pigment is carried out by 2 mechanisms:

It is fixed in the gel, during the fresco period (figure 131 left).

It is fixed on the gel by the delayed diffusion once the period of freco is finished(figure 131 right).



131. Right. Image, x1000 XP. Pigment fixed by delayed diffusion, after de period of fresco. Left. Image x400, XP. Pigment fixed into de gel during the period of fresco.

#### Stage 4: Ageing of the pictorial film.

After several months of ageing (160 days) there can be observed three very different stratums (figure 131):

- a) Multilayer superficial gel. It shows a wavy surface, with a botryoidal texture which progressively gets polygonized.
- b) Microcrystalline sublayer with aggregated columnar crystals with scalenoedric crystals.
- c) Crystals of acicular, spherulitic, sheaves, nanoflower, scalenoedric crystals and other minority tipologies.

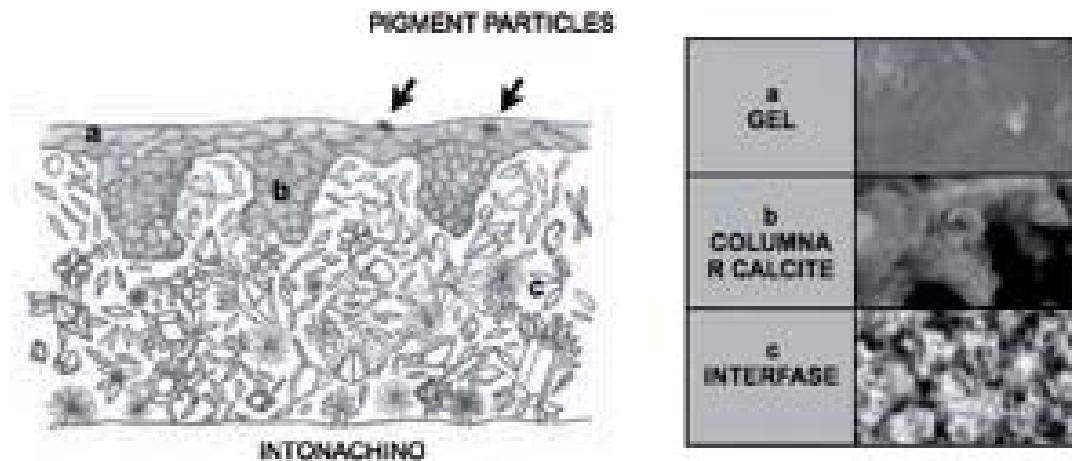


Figure 132. Left. Drawing depicts the main crystalline habits in function of the different stratum of a painterly film. Right. Images of each stratum in SEM.

The description of these stages matches the observed by means of POM, where it has been described the evolution of a vague mass which evolves through time. The formation of this vague mass depends on the presence of saturated water, but it does not disappear in the later drying, as it has been stabilized while developing the gel.

These stages also match the layers observed by means of SEM-EDS. By means of this technique, we have observed the amorphous morphology of the gel and the development of hanging crystalline structures of other crystalline species. It has been shown the evolution of this gel and its interface through time, until reaching 160 days.

The texture of this gel matches the one observed in the samples of antique paintings included in this study: the Roman fresco painting Nemesis, in the Tarraco amphitheater, and the romanesque fresco painting at Sant Miquel de Cruïlles, which influences on the stability and presence of this stratum through very long periods of time (1600/800 years, respectively).

Finally, through the chemical analysis carried out with FT-IR it has been shown that the carbonation reaction -considered until present the main process involved in the fresco technique- does not seem to justify the great amount of calcium carbonates that are formed during the period of fresco, nor the presence of this gel. The semiquantitative analysis of the present components specifies that there is an important quantity of carbonates non associated to the transformation of portlandite into calcite. This has been observed in samples with an ageing of 160 days. In addition, it was found a significative rate of residual portlandite -no reacted-. These carbonates of neoformation, not identified from a mineralogical point of view, have been discarded as calcite because they were not in the absorption band of this mineral.

This fact confirms that there are another mechanisms for the solidification and non-aerial carbonation in the pictorial film, the colloidal mechanisms induced by application of the intonaco which made of lime putty paste, particularly when *intonachino* is applied.

These new mechanisms of formation of calcium carbonated observed in this research cannot be explained by the traditional models of aerial carbonation – Liesegang-Ostwald; Cizer, Van Balen, Elsen *et alii*- The process of crystallization do not obey the temporary law of Debye, observed in the rings of Liesegang, as it was explained in the chapter of counting of particles.

The presence of this gel-stratum over the lime putty *intonaco/intonachino* matches the results of some of the very superficial *strappos*. The paintings stripped off by means of *strappos*, which do not succeed in pulling out part of the superficial layer of the *intonaco/intonachino*, do not detach the whole of the painting from its original support, which causes that an important part of the painting remains over the surface of the *intonaco* after the detachment. This happens when the *strappo* only pulls out the gel layer (or part of it) from the lower stratum. The pigment particles deposited at the bottom of the gel layer or that came into direct contact with the substrate (*intonaco/intonachino*) remain in their place and are not included in the *strappo*. This type of *strappo* manages to pull out the gel and the possible details painted with powder coat, repaintings, and so on. That is: the gel, and everything deposited above, is pulled out, but not the whole of the fresco painting. This circumstance explains why, in certain cases of fresco paintings pulled out, it still can be appreciated an important part of the painting over its original support, *in situ*.

## **8. BIBLIOGRAFÍA.**

1. ABAD CASAL, Lorenzo., 1982: *Pintura romana en españa I i II*, Universidad de Sevilla i Alicante. Càdiz.
2. ABAD CASAL, Lorenzo.,1979: *Pinturas romanas en Sevilla*, Diputacion Provincial de Sevilla. Càdiz.
3. APOSTOLOS-CAPPADONA, Diane, 1996: *Encyclopedia of women in Religion Art*. Ed. Continuum. NY.
4. BALL, Philip, 2005: *Histoire vivante des couleurs. 5.000 ans de peinture racontée par les pigments*. Éditions Hazan. Paris.
5. BARBET, Alix, COORD., 1985: "*La Peinture Murale Antique. Actes du IXe séminaire de l'AFPMA*". Paris 27-28 avril.
6. BARBET, Alix, COORD., 1983: *La Peinture Murale romaine dans les provinces de l'Empire. Journées d'étude de Paris 23-25 sept.1982*. BAR international Series 165. Oxford The UK.
7. BARRAL I ALTET, Xavier,1980: *Les pintures murals roomàniques d'Olèrdola, Calafell, Marmellar i Matadars..* Artiestudi. Art romànic n.11. Barcelona.
8. BARRAL I ALTET, Xavier, 1974: *Peinture romaine et médiévale en Catalogne avant l'an mil*. Artiestudi. Art romànic n.11.Paris.
9. BISHOP, Malcolm, 2000: *Medieval Masons*. Shire Publications. The UK.
10. BONNEFOY, Yves, 1981: *Dictionnaire des Mythologies*, Ed. Flammarion. Paris, 1981.
11. BOTTICELLI, Guido, 1996: *Metodologia di restauro delle pitture murali*, Ed.Centro Di. Firenze.
12. BRANDI, Cesare, 1988(1977): *Teoria de la restauración*. Alianza, Madrid,.
13. BRUNO, J.Vincent, 1985: *Hellenistic painting techniques: the evidence of the Delos fragments*. Columbia Studies in the Classical Tradition. Leiden.
14. BURTON, CABRERA, FRANK,1951 (recursos en línea): "*The growth of crystals and the equilibrium structure of their surfaces*", Phil. Trans. Roy. Soc. London, pág. 299–358. London. Consultado el 20/5/2015.[The Growth of Crystals and the Equilibrium Structure of their Surfaces](#)
15. CABRERA ORTI, M<sup>a</sup> Angustias, 1994: *Los métodos de anàlisis físico-químicos y la historia del arte*. Universidad de Granada.
16. CAGE, John, 2008: *Couleur & culture. Usages et significations de la couleur de l'antiquité à l'abstraction*. Thames&Hudson. Paris.

17. CALVO, Ana, 1997: *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Barcelona, Ed. Del Serbal.
18. CASAZZA, Ornella, 1999: "*Il restauro pittorico nell'unità di metodologia*". 5ª, Firenze.
19. CAZALLA, Olga, 2002: Tesis doctoral *Morteros de cal: aplicación en el patrimonio*. Universidad de Granada, Dpt. Mineralogía y Petrología. Granada.
20. CAZALLA, Olga *et alii*, 2002: "Ageing of calcium hydroxide crystals: effects of traditional lime mortars carbonatation." *Journal of the American Ceramic Society*, vol 83, pág. 1070-1076.
21. CENNINI, Cennino, 1988: *Il libro dell'arte*. (finals s. XIV). Vicenza, Neri Pozza.
22. CILIBERTO, Enrico, SPOTO, Giuseppe, 1998: *Modern Analytical Methods in art and archeology. Dpto ciencias químiques de la Universitat de Catania*. Ed. J.D.Wineforner. Wiley-interscience. Catania.
23. CIZER, VAN BALEN, ELSEN *et alii*, 2012 (recursos en línea): "Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modification of lime carbonation". *Construction and building materials*, 35 (2012), pág. 741-751. Consultado el 26/3/2015 [Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modifications of lime carbonation](#)
24. COLINART, Sylvie, MENU, Michel, 2001: *La matière picturale: le fresque et peinture mural*; Centre Universitario Europeo per i beni culturali. Ravello 15-20 settembre 1997. Edipuglia. Bari.
25. COLOMA-ÁLVAREZ, G., 2008: *La cal: ¿es un reactivo químico!*. Chile.
26. COOK, Walter William Spencer + GUDIOL, Josep, 1980: "*Pintura e imaginería románicas*". a *Ars Hispaniae*, (vol. 6). 2ª ed., Madrid, Plus-Ultra. Madrid.
27. CROS, Henry et HENRY Charles, 1984: *L'encaustique et les autres procédés de peinture chez les anciens. Histoire et technique*. Librairie de l'art. Paris.
28. D.D.A.A., 1986: *Examination of easel Paintings*. Strasbourg, PACT, 1986.
29. D.D.A.A., 1993: *Les anciennes restaurations en peinture murale*. Journées SFII. París.
30. D.D.A.A., 1998: ICR, *Materiali per l'aggiornamento nel restauro*. Istituto Centrale per il restauro/ Ed. De Luca, Roma.
31. D.D.A.A., 1980: *Conservation within historic buildings*, IIC, London.



- 32.D.D.A.A., 1996: *“Preprints Historical painting techniques, materials, and studio practice”*. University of Leiden, The Netherlands, 26-29 june 1995. The Getty conservation Institute. USA.
- 33.D.D.A.A., 1987: *Science for conservators. Vol. 1, 2, 3*. Museums and galleries commission.
- 34.D.D.A.A., 1998: *Técnicas de consolidación en pintura mural*. Actas del seminario internacional sobre consolidación de pintura murales. Aguilar del Campoo, Fundación Santa Maria la Real.
- 35.D.D.A.A., ICCROM, 1995: *Western Medieval Wall Paintings. Studies and Conservation experience*. Art. Gasol. Sighisoara, Roma.
- 36.DODWELL, C.R.(Coor), 1962: *TEOFILO Diversarum artium Schedula* (s. XI-XII), T. Nelson. Londres-New York.
- 37.DOERNER, Max, 1982: *Los materiales de pintura y su empleo en el arte*. 4ª, Ed.Reverté. Barcelona.
- 38.DOMÉNECH CARBÓ, Teresa, -YUSÀ MARCO, Dolores, 2006: *Aspectos físico-químicos de la pintura mural y su limpieza*; Editorial UPV. Valencia.
- 39.DOMÉNECH CARBÓ, Teresa, -YUSÀ MARCO, Dolores, 2006: *Aproximación al análisis instrumental de pigmentos procedentes de obras de arte*; Editorial UPV. Valencia.
- 40.DONATI, Angela, 1998: *Romana Pictura: la pittura romana dalle origini all'età bizantina*. Electa, Roma.
- 41.EASTAUGH, WALSH, CHAPLIN, SIDDALL, 1998: *Pigment compendium. A dictionary of historical pigments. Vol. I y II*. Elsevier. Oxford.
- 42.FELLER, Robert L.(ed.), 1986: *Artist's Pigments. A handbook of their history and characteristics* (3 volums). National Gallery of Art. Washington.
- 43.FENEEY, R., SCHMIDT, S., STRICKHOLM, P., CHADAM, J., ORTOLEVA, P., 1993 (recursos en línea): *“Periodic precipitation and coarsening waves: Applications of the competitive particle growth model”*. The journal of chemical physics. Consultado el 25/6/2015. [Periodic precipitation and coarsening waves: Applications of the competitive particle growth model](#)
- 44.FERNÁNDEZ SOMOZA, Gloria, 2004: *Pintura Romànica en el Poitou, Aragón y Catalunya. La itinerancia de un estilo*. Seminario de Arte Medieval. Nausicaä. Murcia.
- 45.FERRER, Ascensión, 1999: *La pintura mural. Su soporte, conservación, historia, principios y normas*, Cátedra, Madrid.

46. FORTI, Giorgio, 1989(1984): *Antiche ricette di pittura murale*. 3ª ed. Cierre. Verona.
47. GÁRATE ROJAS, I., 2002: *Artes de la cal*. Ed. Munilla Leira. Madrid.
48. GETTENS, R.J. i STOUT, G.L., 1966(1942): *Paintings materials. A short encyclopaedia*. New York, Dover.
49. GIANNINI E ROANI, 2003: *Dizionario del restauro e della diagnostica*. Nardini editore. Firenze.
50. GOMEZ, M<sup>a</sup> Luisa, 1994: *Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Ministerio de Cultura, ICRBC. Madrid.
51. GONZALEZ-VARAS, Ignacio, 1995: "Conservación de bienes culturales. Teoría, restauración y las técnicas modernas". Universidad de Sevilla. ICR. Sevilla.
52. GRIMAL, Pierre, 1951: *Dictionnaire de la mythologie greque et romaine*. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
53. GUNASEKARAN, S., ANABAGALAN, G. i PANDI, S., 2006: "Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure". *J. Raman Spectrosc.* 2006, 37: 892-899.
54. HASSIBI, M., 1999 (recursos en línea): *An overview of lime slaking and factor that affect the process*. 3rd. international symposium Sorbalit, pág. 1-20. New Orleans. Consultado el 24/8/2015. [An Overview Of Lime Slaking And Factors That Affect The ...](#)
55. HASSIBI, M., 2009 (recursos en línea): *Effect of slaking water temperatures on quality of lime slurry*. Chemco systems., pág. 1-20. New Orleans. Consultado el 25/5/2015. <http://chemcoequipment.com/Files/Admin/Publications/Effect%20of%20Slaking%20Water%20Temperature%20on%20Quality%20of%20Hydrated%20Lime%20Slurry%2Epdf>
56. HOURS-MIEDAN, Madeleine, 1957: *A la découverte de la peinture par les méthodes physiques*. Arts et Métiers Graphiques. Paris.
57. JOHNSTON-FELLER, 2001: *Color Science in the examination of Museum objects. TOOLS FOR CONSERVATION. The Getty Conservation Institute. L.A*
58. KÜPPERS, Harald 1992 (1980): *Fundamento de la teoría de los colores*. 4ª ed. Gustavo Gili, Barcelona .
59. LAJO PÉREZ, R., 1990: *Léxico del arte*. Madrid.

60. LAUREATI, L., TREZZANI, L., 1993: *Pittura antica. La decorazione murale*. Electa. Milano.
61. LAWRENCE, R.M., 2006 (recursos en línea): Tesis doctoral *A study of carbonatation in non-hydraulic lime mortars*. University of Bath. Bath. Consultado el 25/5/2015. [Download \(6MB\) Lawrence, R.](#)
62. SONG, YANG, TENG *et alii.*, 2013: Comunicación “*Nickel oxide nanoflowers: formation, structure, magnetic property and adsorptive performance towards organic dyes and heavy metal ions*”. *Journal of Mater. Chemical. A*. 2013, vol.1 8731-8736. L.A.
63. LICHOCKA, Barbara, 2004: *Nemesis en Egypte Romain*. Verlag Phillip von Zabern. Germany,
64. LIMC: LEXICUM ICONOGRAPHICUM MYTHOLOGIAE CLASSICAE.
65. MALTESE, Corrado (coor.), 1990: *I supporti nelle arti pittoriche. Storia, tecnica, restauro* ( 2 Volums). Ugo Mursia, Milano.
66. MALTESE, Corrado (coor.), 1997: *Las tècnicas artísticas*. Càtedra, Madrid.
67. MANDRIOLI, Paolo i CANEVA, Giulia (coor.), 1998: *"Aerobiologia e beni culturali. Metodologie e tecniche di misura"*. Nardini, Firenze.
68. MARTÍNEZ, RICO (dir.), 2003: *Diccionario técnico Akal de Conservación y restauración de bienes culturales*. Akal. Madrid.
69. MERRIFIELD, Mary, 1999(1967) *Medieval and Renaissance Treatises on the arts of painting*. Dover Publications, NY 1967 –reed 1999-.
70. MESURET, R., 1967: *Les peintures murales du Sud-Ouest de la France du XIe au XVIe siècle. Languedoc-Catalogne septentrionale-Guienne-Gascogne-Comté de Foix*. Éditons A. Et J.Picart et Cie. Paris.
71. MESURET, R., 1998: “*Les peintures murales du sud-ouest de la France du XI au XVI s.*” Miscel·lania en homenatge a Joan Ainaud Lasarte, I; Publicacions de l’abadia de Montserrat, Barcelona.
72. MINDAT (recursos en Línea). Consultado el 26/5/2015 .[Portlandite: Portlandite mineral information and data.](#)
73. MORA, P., MORA, L. i PHILIPPOT, P., 1996: *La conservations des peintures murales* .Bologne, Editrice Compositori, 1977. Nardini, Firenze.
74. PAGÉS, VERRIÉ, 2010; “Le monastère de Sant Miquel de Cruïlles” a *Les Cahiers de Saint-Michel de Cuxà* XLI 2010 (en premsa).

75. PANDOLFI, A. i STELLA, M.LI. (Coor.), 1998: *Diagnosi e progetto per la conservazione dei materiali dell'architettura*. Istituto Centrale per il restauro/Ed. De Luca, Roma.
76. PEDROLA, Antoni, 1990: *Materials, procediments i tècniques pictòriques*. Universitat de Barcelona.
77. PETIT J., ROIRE J., VALOT H. 1986: *Des liants et des couleurs, pour servir aux artistes peintres et aus restaurateurs*. Erec éditeur. Paris.
78. PLINI L'ANCIEN, 2002: *Histoire Naturelle XXXV "La peinture"*. Classiques en Poche. Les belles lettres. Paris.
79. POMAR, GINÉS, GINÉS et alii., 1975: "De la calcita flotante de algunas cavidades del levante mallorquín". Univ. Mallorca. Mallorca.
80. POMAR, GINÉS, FONTARNAU, 1976: "Las cristalizaciones freáticas". Univ. Mallorca. Mallorca.
81. RATAZZI, A., 2007: *Conosci il grasello di calce? Origine, produzione e impiego del grasello di calce in architettura, nell'arte e nel restauro*. Edicom. Monfalcone.
82. ROSELL, J.R., 2013: Tesis doctoral *Aportaciones al conocimiento del comportamiento deformacional de pastas de cal. Tamaño y formas de las partículas y su viscosidad*. UPC., Dpt. Construccions arquitectòniques. Barcelona.
83. RUIZ-AGUDO, et alii 2005: "Nanostructure and irreversible colloidal behavior of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : Implications in cultural heritage conservation". *Lagmuir* 2005 vol 21, pág. 10948-10957.
84. RUIZ-AGUDO, RODRIGUES-NAVARRO, 2009: "Microstructure and rheology of lime putty". *Lagmuir* 2009 vol 26, pág. 3868-3877.
85. TANG, J., ALIVISATOS, P., 2006: "Crystal Splitting in the Growth of  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ "; Nano letter of American Chemical Society, 2006 vol 6 (12), pág. 2701-2706.
86. THOMPSON, Daniel V., 1956; *The materials and techniques of medieval paintings*. New York, Dover.
87. UNESCO; 2000: *La conservación de los bienes culturales*. 2ª, Paris, UNESCO, 1979. Printed in USA.
88. VIEDMA, C., 1989: Apuntes de mineralogía del Dr. Cristóbal Viedma (UCM) (recursos en Línea). Consultado el 15/12/2015. [CRECIMIENTO DE CRISTALES EN LA NATURALEZA](#)

89. VITRUBIO, Marco, 1980: *Los diez libros de arquitectura*, Iberia. Barcelona.
90. V.V.A.A., 1994: Actas del 1er curso internacional de conservación y restauración de pintura mural, Universidad de Alcalá de Henares, 1994.
91. V.V.A.A., 1998: *Arte: Materiales y conservación. Colección debates sobre arte*. Ed. Argenteria. Madrid.
92. V.V.A.A., 1985-90: *Catalunya Romànica*. Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
93. V.V.A.A., 2001: Colloque XIII *La peinture et le laboratoire. Le dessins subjacents. Procédés. Methodologie. Applications*. Ed. Peeters Leuven. Paris.
94. V.V.A.A., 2002: Congreso de conservación y restauración de bienes culturales. Libro de Actas XIV vol I, II y libro de conclusiones. Ay. de Valladolid 2002.
95. V.V.A.A., 2003: *Conserving the painted past. Developing approaches to wall painting conservation*. English Heritage –post print of a conference organized by EH. Ed James & James. The UK.
96. V.V.A.A., 2004: *Diccionario: Técnicas y materiales del arte*. Diccionarios del arte. Electa. Barcelona.
97. V.V.A.A., 1997: *DOCUMENTS DE L'ARCHÉOLOGIE FRANÇAISE* N° 10. Éditions de la Maison des Sciences de l'Homme de Paris. Paris.
98. V.V.A.A., 1998: *Guía de la cal y el estuco. Editorial de los oficios*. León.
99. V.V.A.A., 1993: “*El descubrimiento de la pintura mural románica catalana*”. Dossiers del MNAC 1. Barcelona.
100. WINKLER, E.M., 1998: *Stone: properties, durability in Man's environment*, Springer-, AIC, Washington.
101. ZERVOS, Christien, 1937: *L'art de la Catalogne: de la seconde moitié du neuvième siècle a la fin du quinzième siècle*. Éditions “Cahiers d'art”. Paris.





## 9. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

### 9.1. Figuras.

- Figura 1. Herramientas de albañilería vs herramientas de estuque. Imagen del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 2. En la imagen de la derecha se pueden ver diferentes paletas y paletines. Los dos pequeños corresponderían a los propios del estuque. En la imagen de la izquierda, se pueden ver diferentes frastases en la parte superior y llanas metálicas y de plástico en la parte inferior. Imagen del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 3. A la izquierda: plantillas, pastilla de jabón, compás, hierro de quemar y otras herramientas, apoyadas sobre una muestra de estuco al fuego esgrafiado. Derecha: diversos punzones, espátulas de yesero, garfios y herramientas de corte de esgrafiado sobre plantillas de dibujo. En la parte superior del dibujo se puede ver la muñeca de estarcir -saquito de tela con pigmento-. Imágenes del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 4. Confección de un estuco al fuego esgrafiado en la parte superior. Imagen del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 5. Cuadro de dosificación con terminología en castellano. La tabla a la derecha muestra la terminología en catalán, italiano e inglés.
- Figura 6. Ejemplo de la realización de un esgrafiado en fachada. El vaciado del recorte deja ver el color de la capa intermedia, en este caso de color violeta. Imagen del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 7. Ejemplo de realización de un fresco por jornadas. Imagen del libro *Guía práctica de la cal y el estuco*.
- Figura 8. Ejemplo de realización de un fresco por reservas. (extraído del libro *Guía práctica de la cal y el estuco* VV.AA, 1998).
- Figura 9. Diagrama sobre el ciclo de la cal (extraído del libro *Guía práctica de la cal y el estuco* VV.AA, 1998).
- Figura 10. Efecto diferencial del calor en función del tamaño de la partícula calcinada (extraído de Hassabi, 1999).
- Figura 11. Apagado por inmersión breve (Rosell, Haurie, Bosh *et alii*, 2010).
- Figura 12. Esquema de una balsa de apagado (extraído de la *Guía práctica de la cal y el estuco*).
- Figura 13. Cristal prismático de portlandita en proceso de exfoliación en cristales tabulares.
- Figura 14. Superior: evolución esquemática de un prima de portlandita hacia cristales planar. Inferior: evolución esquemática de un cristal planar de portlandita. ( Figura extraída de Rosell, 2013).
- Figura 15. Anillos de Liesegang en la superficie de una probeta de mortero ( imagen extraída de Lawrence, 2006) y su desarrollo en una piedra arenisca.
- Figura 16. Representación de un cristal laminar de portlandita con sus correspondientes direcciones principales. La cara 001 es la menos reactiva durante la reacción de carbonatación (extraído de Rosell, 2012).

Figura 17. En la imagen superior se puede observar el estado inicial de la pintura antes de su arrancamiento. Imagen depositada en MNAT. La imagen inferior muestra el aspecto del anverso y del reverso de la pintura mural después de su restauración. F. Carles Aymerich -CRCBMGC-. 2006.

Figura 18. Croquis de la estratigrafía de la pintura mural Némesis.

Figura 19. Imágenes tomadas a SEM-EDS. A x1.400. B ampliación de la anterior. C x 1.500. D ampliación de la anterior. E x 6.500. F ampliación de imagen tomada a x430. Todas las imágenes muestran la presencia de unas masas cristalinas que conforman una especie de film en superficie.

Figura 20. La imagen superior muestra una greca bajo la cual se sitúa el trampantojo que imita un cortinaje y una tela de leones de estilo oriental/bizantino. Las dos imágenes centrales son fragmentos situados del intradós de una ventana y de la vuelta. La imagen inferior muestra la escena del Prendimiento de Jesús, situada en el transepto N.

Figura 21. Dos ejemplos de la estratigrafía de la pintura. La imagen superior se refiere a la pintura de los leones y la inferior a la escena de los santos.

Figura 22. Imágenes tomadas a SEM-EDS. A x200. B ampliación de la anterior. C x 1.100. D ampliación de la anterior. Todas las imágenes muestran la presencia de unas masas que conforman una especie de film en la parte superficial donde se ubican los pigmentos.

Figura 23. Estratigrafía correspondiente a la probeta experimental a partir de la cual se extraen muestras para verificar la presencia del carbonato cálcico de morfología geliforme.

Figura 24. Imágenes tomadas a SEM-EDS. A x1.200. B x 1.600. C x2.000. D x3.000. Todas las imágenes pertenecen a muestras extraídas de la probeta experimental. Señaladas con flechas amarillas se puede apreciar la presencia de unas masas que conforman una especie de film en la parte superficial donde se ubican los pigmentos.

Figura 25. Esquema del plano y corte estratigráfico de las probetas.

Figura 26. Imagen de las probetas experimentales.

Figura 27. Imagen a x1000 XP. Probeta de 8 años. Cristales euhédricos de calcita que han precipitado por encima de las partículas de pigmento aplicadas en pincelada densa.

Figura 28. Cuadro de inspección visual sobre la evolución técnico-pictórica en el periodo de 24 horas y su correspondiente gráfica.

Figura 29. Imagen a 100x tomada a partir de una muestra parcialmente embutida con el nuevo procedimiento elaborada para esta investigación.

Figura 30. Diagrama de equipos y métodos instrumentales elaborado para la caracterización del film superficial del enlucido de cal en pasta pintado al fresco.

Figura 31. Ejemplo del tipo de imagen obtenida a POM mediante el sistema de extracción y embutición de muestra desarrollado en este estudio. La imagen está tomada a x400 y XP. Film superficial del enlucido donde se puede apreciar la morfología y algunas características ópticas de los cristales de carbonato cálcico que se están desarrollando entre 10-15 días tras la ejecución de la pintura al fresco.

Figura 32. Imágenes a y b. Posición de iluminación plena (a) y extinción (b) de un cristal de portlandita a 100x XPL (polarizador cruzado).

Figura 33. Cuadro de parámetros disponibles en el programa.

Figura 34 a,b,c,d. Desarrollo del procesado de imagen a partir de la imagen original, en este caso imagen de una muestra de cal en pasta -en estado suspensión, directamente extraída del saco-, siendo **a** la imagen de POM; **b** proceso de filtrado de fondo; **c** binarización de la

imagen; **d** imagen generada en el proceso de medición de partículas donde cada una de ellas presenta un localizar numérico.

Figura 35. Imagen obtenida en SEM donde se puede apreciar un característico cristal prismático de portlandita en proceso de disolución.

Figura 36. Se han señalado en el espectro correspondiente al agua de cal las áreas de banda relacionadas con los diferentes compuestos según las bandas de frecuencia de vibración.

Figura 37. Diagrama del desarrollo analítico.

Figura 38. Diagrama de flujo que relaciona procedimiento de fabricación-hábito cristalino- técnica de aplicación y artística. El recuadro en rojo delimita los campos objeto de esta investigación.

Figura 39. A. Vista de la probeta de pintura al fresco de franjas de tierra sombra natural sobre *reenlucido* de cal en pasta sin teñir. B. Croquis de la estratigrafía correspondiente a este tipo de técnica, donde los pequeños cubos representan las partículas de pigmento y el estrato en azul claro representa el film que es objeto de estudio. C. Disposición de las muestras extraídas en este estudio siendo C1 una muestra perpendicular al plano de estudio -estratigrafía clásica- y C2 una muestra extraída en paralelo al plano de estudio -sobre éste directamente-.

Figura 40. Imagen obtenida a 1.000x XP a los 30 minutos de ejecución del fresco.

Figura 41. Representación de las partículas presentes en el saco de cal en pasta antes de su puesta en obra.

Figura 42. Izquierda. Imagen tomada en SEM-EDS en electrones retrodispersados a x20.210. Cristal prismático de portlandita en proceso de exfoliación. Derecha: direcciones principales de un cristal laminar de portlandita (Rosell, 2013).

Figura 43. A, X1000 XP. Imagen tomada 30 minutos tras la ejecución de la pintura al fresco. Agregado de cristales de portlandita en disposición de castillo de naipes. B, x100 XP, cristal de portlandita en proceso de disolución-transformación tras 60 minutos de la puesta en obra.

Figura 44.<sup>6</sup> Algunas de las formas cristalinas de la calcita.

Figura 45. A/B/C/D x400 a LT/1/4  $\lambda$ / PP/ $\lambda$  respectivamente. Film superficial de un enlucido de cal en pasta ejecutado en 2007. Se observa dos cristales euhédricos de calcita de crecimiento helicoidal.

Figura 46. A: x400 1/4 $\lambda$ . Superficie de enlucido -sin pintar-. Cristales aciculares de hábito esferulítico o en gavillas B: x400  $\lambda$ . Superficie de enlucido -sin pintar-. Cristales aciculares sueltos que se desagregan de un agregado en gavilla. C: x400 1/4 $\lambda$ . Aglomerado de pigmento -partículas oscuras- y cristales de carbonato cálcico 8h después de ejecutar la pintura. Se observan distintos hábitos de tipo ortorrómbico, romboédrico, trigonal. D: x400 XP. Cristal de crecimiento radioaxial rodeado de microcristales -blanco y negro-. E y F: x400 PP y XP. Distintas imágenes de un mismo macrocristal radioaxial creciendo sobre un aglomerado de cristales.

Figura 47 A: x400  $\lambda$ . Microcristales de estructura poco definida que se desarrollan sobre la superficie planar (001) de un cristal de portlandita en proceso de disolución. B: x1.000 1/4 $\lambda$ . Cristales de portlandita en formación de castillo de naipes rodeados de microcristales de calcita -blanco y negro- y una masa indefinida a modo de nebulosa que se ha identificado como el conjunto de carbonatos amorfos.

Figura 48. Espectro de FT-IR tomada de la superficie de un fresco 24h después de su ejecución. Las líneas punteadas delimitan las bandas de absorción del grupo hidroxilo A/B/C (A se asocia con el hidróxido cálcico/portlandita) y del ion carbonático D/E/F(asociado a los carbonatos de calcio, relacionándose F con la presencia de calcita). Como se puede

apreciar, la región que destaca en intensidad es la D, no relacionada con los carbonatos de calcio cristalinos.

Figura 49. A: x100 a TL. Aspecto del film superficial del *reenlucido* pintado a los 27 minutos de su ejecución. Se observa una textura mixta de macro y microcristales sobre la que se dispone un film que unifica la superficie. B: x400  $1/4\lambda$ , imagen del agua de cal en al que se observa una fase cristalina botroidal y ameboide del carbonato cálcico con partículas de tamaño heterogéneo. C: x40 XP. Imagen general de la superficie del film del *reenlucido* pintado al fresco a los 6 minutos de su ejecución. Se observan algunos aglomerados de microcristales, cristales grandes y euhédricos como el característico cristal romboédrico de calcita -en blanco- y el resto está formado por un gran número de microcristales que parecen inmersos en una nebulosa. D: x400  $1/4\lambda$ . Superficie del film del *reenlucido* pintado al fresco tras dos horas de su ejecución. Se observan miles de cristales micrométricos -obviamente los nanométricos no son observables- y apenas unos cuantos mayores a 5 micras.

Figura 50. A-F x400. Macrocristales de agregados axiales de calcita sobre la superficie del agua de cal ("velo de la cal"). A, TL. B, PP. C y D, XP. Dos posiciones donde se puede observar la extinción de algunos de los cristales. E,  $\lambda$ . F,  $1/4\lambda$ .

Figura 51. Dibujo esquemático de un crecimiento en estructura sectorial.

Figura 52. A/B x400 XP/ $\lambda$ . Microcristales de carbonato cálcico embebidos en agua. C/Dx400 TL/ XP. Cristales botroidales y ameboides de diversos tamaños, aislados o aglomerados. E x1.000 XP. Cristales botroidales de tamaño importante en iluminación plena. Se puede observar su crecimiento a partir de un centro común. F x1.000 XP. Cristales lenticulares que parecen separarse de un aglomerado inicial. Algunos presentan formas cercanas al romboedro. Todas estas muestras han sido aisladas de aire pero mantenidas en el agua original, por eso la imagen puede resultar poco definida en algunas ocasiones.

Figura 53. A/B/C x100 TL/PP/XP respectivamente. D/E/F ampliación y volteo horizontal de A/B/C a x400 TL/PP/XP respectivamente. Se aprecian partículas heterogéneas siendo la moda mayoritaria la de tamaño inferior a la micra.

Figura 54 -izquierda-. Formación de esferulitos.

Figura 55. A/B x40 XP/ $\lambda$  respectivamente. Se aprecian pequeñas partículas esféricas distribuidas por la muestra. C/D x400  $1/4\lambda$  y  $\lambda$  respectivamente. Detalle de los cristales con forma de finas fibras que conforman un agregado esferulítico tridimensional. E/F x400 XP/PP respectivamente, tomadas a 60 minutos de la ejecución del *enlucido*. E detalle del crecimiento sectorial a partir de un núcleo central. F muestra la unión de dos de las partes desarrolladas con el núcleo (formando una figura similar a una pajarita) mientras las otras dos parecen no estar conectadas a este núcleo.

Figura 56 A/B x400 XP/ $\lambda$ . Imágenes tomadas 60 minutos después de la puesta en obra donde se puede apreciar la desagregación de los agregados en gavilla que aparecen en el momento de la puesta en obra.

Figura 57. A/B x100 XP/ $\lambda$ . Imágenes de *reenlucido* acabado de tender. Macropartículas en proceso de desagregación siguiendo el patrón de orientaciones cristalinas. Los macrocristales presentan propiedades ópticas homogéneas para cada orientación. C/D x400 XP/ $\lambda$ . Partículas con comportamiento óptico diferente a las anteriores. Se observan comportamientos ópticos heterogéneos dentro de cada orientación de crecimiento cristalino (1) mientras otra partículas parecen mostrar comportamientos ópticos mas homogéneos para cada orientación.

Figura 58. A/B/C/D x100 LT/PP/XP/ $1/4\lambda$ . Imágenes de *reenlucido* acabado de pintar. A/B muestran la textura superficial de la masa cristalina submicrométrica mayoritaria. Se observan algunos aglomerados de cristales grandes cristales medianos aislados. C/D permiten la observación de un gran número de microcristales cuyo comportamiento óptico se alterna en extinción/iluminación para C y colores de interferencia de primer orden para D. La imagen E, x1.000  $1/4$ , es un detalle del aglomerado de cristales hexagonales de portlandita que exhiben colores de interferencia de segundo orden. La imagen F, x1.000

1/4, muestra un cristal aislado de portlandita poblado de cristales submicrométricos de carbonato cálcico. Aparece rodeado de microcristales de carbonato cálcico que exhiben sus característicos colores de interferencia de primer orden.

Figura 59 A x400 PP. Imágenes de *reenlucido* acabado de pintar. No ha sido embutida pero si aislada del aire. Se aprecia la textura superficial de la masa cristalina mayoritaria en el rango de la micra o inferior. En la parte superior se observan parcialmente 3 grandes cristales de portlandita unidos entre si a modo de castillo de naipes. B, x100 XP, se observa la imagen general del film donde un grupo de grandes cristales euhédricos está rodeado de una masa de pequeños cristales. C y D, detalle de la anterior, tomada a x400 XP y  $1/4\lambda$  respectivamente. Los cristales presenta forma hexagonal más o menos definida. Entran en contacto a través de los bordes cristalinos.

Figura 60. A /B x40 XP y PP respectivamente. Se observa una densificación de las masas formadas por cristales del rango de la micra o inferior respecto al intervalo temporal anterior, En la parte superior se observan parcialmente 3 grandes cristales de portlandita unidos entre si a modo de castillo de naipes. B, x100 XP, se observa la imagen general del film donde un grupo de grandes cristales euhédricos está rodeado de una masa de pequeños cristales. C y D, detalle de la anterior, tomadas a x400  $1/4\lambda$ . Los cristales presenta forma hexagonal más o menos definida. Entran en contacto a través de los bordes. E, x1.000, aglomerado de cristales euhédricos de mayor tamaño rodeados de microcristales. F, x400  $1/4\lambda$ , permite apreciar partículas aisladas de forma lenticular y cristales de crecimiento sectorial en damero. La partícula redondeada del fondo parece tener forma de gavilla o esferulito.

Figura 61. A x400, TL y B imagen en detalle x1.000 TL. Cristal de portlandita rodeado de cristales más pequeños de pigmento y carbonato cálcico.

Figura 62. A, x100 XP y B, la misma imagen con filtro de relieve sobre un plano de enfoque concreto. Ambas imágenes muestran como el film se densifica a base de pequeños cristales. Los cristales grandes son minoritarios. C, x1.000 XP, aglomerado de cristales hexagonales de portlandita en disposición de castillo de naipes.

Figura 63. A, x40 XP y B, detalle a x100 PP. A muestra como el film se densifica a base de pequeños cristales. Los cristales grandes de portlandita están en fase de disolución. C y D, x400 en TL y XP respectivamente, muestran la gran masa de microcristales y dos cristales con núcleo central y 4 sectores de crecimiento, según la estructura de crecimiento en estructura sectorial.

Figura 64. A/B, x100 TL/XP y C, detalle a x400  $\lambda$ . A/B muestra el aumento en la densidad del film. C, detalle de la imagen B, muestra un cristal de portlandita en fase de disolución. D, x400 en  $\lambda$ , aglomerado de cristales de diversos tamaños donde destaca en color rosado un cristal de portlandita. E, x400  $1/4\lambda$ , cristal radioaxial en contacto con un aglomerado de microcristales. F, x1.000 XP, cristal de calcita -en blanco- asociado a una masa cristalina indefinida, siguiendo el modelo de crecimiento por nucleación heterogénea.

Figura 65. A, x100  $1/4\lambda$ . Vista general del film superficial donde se aprecia el mayor número de micro y submicrocristales sobre otros tamaños superiores. B, x400 TL, detalle del aglomerado de partículas redondeadas dispuesto desde un núcleo central. Crecen en forma fibroradial. La pequeña flecha amarilla muestra un cristal sectorial. Rodeándolo se observa el film compuesto por una masa que envuelve el cuerpo de cristales de tamaño heterogéneo con claro predominio de las modas micro y submicrométricas. C x120  $1/4\lambda$  y D x100 XP, partícula hexagonal de portlandita en proceso de descomposición. E y F, X400 XP y  $1/4\lambda$ , muestran en detalle el crecimiento radioaxial en forma acicular que se desarrolla en el borde del cristal mientras la superficie es recubierta por microcristales. Ambos son procesos de disolución de la portlandita.

Figura 66. Progresión de la evolución de un cristal de crecimiento en estructura en sectores.

Figura 67. A/B/C x400 XP,  $1/4\lambda$  y  $\lambda$  respectivamente. Disgregación de un agregado de cristales lenticulares redondeados. En el fondo se aprecian cristales de crecimiento sectorial exhibiendo su característica forma de damero. D y E, x400  $1/4\lambda$  y  $\lambda$  respectivamente. Se



observa el film compuesto por partículas de rango de la micra o inferior. Se aprecia un cristal de crecimiento sectorial en fase inicial de desarrollo y otra en forma de pajarita que es una evolución del primero. F, detalle de las anteriores tomada a x400 XP con red de medición de  $1 \times 1 \mu$  para mostrar el tamaño mayoritario de las partículas.

Figura 68. Direcciones principales de un cristal laminar de portlandita (Rosell, J.R., 2013).

Figura 69. A/B x100 XP. Gran cristal de portlandita en proceso de disolución por dos vías: precipitación en superficie y crecimiento fibroradial en los bordes. C, x400  $1/4\lambda$ , superficie del film donde un cristal de portlandita de color rosado está en proceso de disolución. D, x100 XP, otro ejemplo del proceso de disolución de un cristal de portlandita. E, x40 XP, visión general del film donde se aprecia un cristal mayor. F, x400  $1/4\lambda$ , detalle de la imagen anterior. Cristales desarrollados por crecimiento radioaxial a partir de un conjunto de cristales aglomerados.

Figura 70. Cuadro de inspección visual sobre la evolución técnico-pictórica en el periodo de 24 horas y su correspondiente gráfica.

Figura 71. A x400  $1/4\lambda$ , muestra la densidad del film superficial. B, x1.000  $1/4\lambda$ , es una imagen de cristales de portlandita en disposición de castillo de naipes. Se puede apreciar el proceso de disolución afectando a las propiedades ópticas. C y D, x400  $\lambda$  y  $1/4\lambda$  respectivamente, evolución de los agregados en gavilla hacia los agregados esferulíticos.

Figura 72. A/B, x100, PP y XP. Imagen general del film donde destaca un aglomerado de partículas de pigmento sobre el que se ha desarrollado un grupo de cristales siguiendo el sistema de crecimiento paralelo en forma de drusa. D x400 XP, núcleos cristalinos diseminados por la muestra. F, x 400 XP/ $\lambda$ , cristal poligonal sobre el que se depositan partículas de pigmento.

Figura 73. Izquierda. Formación de un esferulito a partir de la nucleación sobre un centro (a,b) y a partir del proceso de *split growth* (Viedma, 1989<sup>116</sup>). Derecha. Imagen del desarrollo de un cristal nanoflor de sulfuro de bismuto (Tang., Alivisatos, 2006).

Figura 74 A/B/C a  $1/4\lambda$  y x100/400/1.000 respectivamente. Dentro del film ya muy denso se observa un cristal de crecimiento sectorial. C muestra la superposición de estos cristales a modo de prisma. Es una fase de crecimiento sectorial que se transforma en crecimiento esferulítico a través de proceso de *split growth*. La evolución de estos apilamientos de esferulitos son los cristales flor. D/E x400  $1/4\lambda$ , muestran la formación de cadenas de cristales. F, x1.000  $1/4\lambda$ , muestra un cristal de crecimiento sectorial donde se puede apreciar su núcleo que presenta un aspecto muy tridimensional. A partir de éste se desarrolla el cristal sectorial de aspecto más bidimensional. Se aprecian cristales micrométricos y submicrométricos. Se observa un pequeño cristal de portlandita -colores de interferencia de segundo orden.

Figura 75. A, a x100 XP. Imagen general del film entre 12-24 h. Muestra un aspecto muy denso. B, x400 XP, cristales sectoriales de tamaño heterogéneo. Se presentan aislados o en pequeños aglomerados o cadenas y exhibiendo aspecto de damero. C, a x 400  $\lambda$ , cristal sobre el que se han adherido partículas de pigmento (color oscuro). Sobre el pigmento se ha precipitado o adherido microcristales de carbonato cálcico. D a x100  $1/4 \lambda$ , zona menos densa de la muestra donde se observan grandes cristales sectoriales en proceso de fragmentación. E/F x400  $1/4 \lambda$  y XP respectivamente. Detalle de uno de los cristales sectoriales. Sus colores de interferencia son anómalos debido posiblemente a la densidad diferencial del cristal en crecimiento.

Figura 76. A ,x1.000 LT. Partículas cristalinas dispuestas en cadena. B/C, x1.200 PP. Detalle de la anterior donde se aprecia como los cristales se unen por los bordes. Se aprecia el núcleo cristalino en las partículas 1 y 2. Ambas partículas exhiben comportamiento óptico pero atenuado. D/, x1.000 a PP y TL respectivamente. Detalle y medición del núcleo cristalino de la partícula 2 que presenta forma de triple aspa. F x400,  $1/4\lambda$ . Partículas cristalinas con forma lenticular y romboédrica exhibiendo colores de interferencia de primer orden. En el



fondo algunas partículas sectoriales con su característico comportamiento óptico en forma de damero.

Figura 77. A/B, x100  $1/4\lambda$  y XP respectivamente. Cristales sectoriales aislados exhibiendo su característico comportamiento óptico a modo de damero. C/D, x400 XP y  $1/4\lambda$  respectivamente, detalle de las imágenes anteriores y E/F ampliación sobre imágenes a x400  $\lambda$  y PP. Se observa la textura interior de los cristales donde se aprecia en crecimiento zonado en forma de anillos concéntricos y la separación incipiente de los dos cristales no unidos al núcleo.

Figura 78. A, x400  $\lambda$ , vista general del film, con comportamiento cristalino más definido. Se observan partículas aisladas con comportamiento óptico sectorial. B, x400  $1/4\lambda$ . Partículas con comportamiento óptico sectorial muy suave y morfología poco definida. C/D x400  $\lambda$ /PP respectivamente. Muestran un cristal de calcita que ha crecido por dislocación helicoidal. Se aprecia la estructura interna de crecimiento. E/F x400  $\lambda$ /PP respectivamente. Posiciones alternativas del cristal anterior donde se pueden apreciar otros aspectos de la morfología interna del cristal.

Figura 79. A, x400 XP. Aspecto del film. Se observa la presencia mayoritaria de microcristales. B x400 XP con tamiz de  $1 \times 1 \mu$ . Se puede apreciar un gran conjunto de cristales que se acota a la luz del tamiz. C ampliación de una imagen tomada a x400 TL. Se observa una partícula redondeada de textura rugosa con un núcleo cristalino central en forma de triple aspa.

Figura 80. A, x100 XP. El film superficial presenta un aspecto compacto y denso. Los cristales son principalmente micrométricas y submicrométricas. Los cristales mayores parecen tener una distribución modal más homogénea. B, x400 XP. Detalle de la zona central de la imagen anterior. Se aprecia con mayor detalle la preponderancia de los modos micrométricas y submicrométricas. Se aprecia una masa cristalina que envuelve todo el cuerpo de cristales. Se aprecia la presencia de una masa de aspecto nebuloso que tiende al color dorado/amarillento.

Figura 81. A/B x 400 XP/ $1/4\lambda$  respectivamente. Vista del film donde se aprecia el gran número de microcristales y submicrocristales que lo componen. Por encima de éste, se encuentra una masa cristalina de aspecto nebuloso que recubre todo el conjunto de cristales. Destacan dos cristales mayores, que coinciden con la descripción de la portlandita en fase de disolución que se ha venido observando durante este estudio descriptivo.

Figura 82. A/B x 400  $1/4\lambda$  /XP. Film superficial tras 8 años de curado. Predominan las modas submicrométricas. Se observa una masa de aspecto nebuloso y color dorado que recubre la superficie. C x1.000  $1/4\lambda$ . Detalle de la zona central de la imagen A. Se han insertado dos escalímetros de 0.5 y 1  $\mu$ . D x1.000  $1/4\lambda$ . Ampliación aglomerado de cristales submicrométricos. E/F x400  $\lambda$ . Dos cristales sectoriales de tamaño mayor rodeados de pequeños cristales sectoriales de tamaño submicrométricos.

Figura 83. Tipologías cristalinas caracterizadas en el transcurso de esta investigación.

Figura 84. Gráfico que muestra la historia cristalina de la superficie de un reenlucido pintado al fresco según las especies cristalinas caracterizadas en el transcurso de esta investigación.

Figura 85. A/B, x40  $1/4\lambda$  y XP. Superficie de reenlucido bruñido. Se observa la masa de aspecto nebuloso más compacta y de color dorado más intenso. C/D/E, x1.000  $1/4\lambda$ , XP y  $\lambda$ . Superficie de un enlucido. Gavillas, más densificadas.

Figura 86. Tipologías cristalinas caracterizadas en el transcurso de esta investigación.

Figura 87. Gráfico que muestra la historia cristalina de la superficie de un reenlucido pintado al fresco según las especies cristalinas caracterizadas en el transcurso de esta investigación.

Figura 88. Distribución de tamaño de partículas de 0-60 minutos según parámetros  $d_{MAX}$  Feret, área y perímetro.

Figura 89. Distribución de tamaño de partículas de 0-24 horas según parámetros  $d_{MAX}$  Feret, área y perímetro.

Figura 90. Distribución de tamaño de partículas de 0-29 días según parámetros  $d_{MAX}$  Feret, área y perímetro.

Figura 91. Superposición de gráficas relativas al mismo periodo -0-24h-: la gráfica de área en escala de grises de valoración técnica y la gráfica lineal de distribución de partículas por parámetro de área.

Figura 92. Imagen de electrones retrodispersados (BS). Imágenes del agua de cal. Se observan cristales aciculares tipo *fluffy*, lenticulares, crecimientos en estructura sectorial y crecimiento por nucleación heterogénea.

Figura 93. Cristales de portlandita dispuestos en castillo de naipes (Rosell, 2013).

Figura 94. Imagen de electrones retrodispersados (BS). Film superficial 0-30 minutos.

Figura 95. Imagen de rayos X- mapa de elementos- del film superficial del *reenlucido* de cal pintado en la fase inicial del periodo de 0-30 minutos.

Figura 96. Imagen de electrones retrodispersados (BS). A, textura de la parte interior del film, en contacto con el *reenlucido*. B, textura del film, de aspecto geliforme, englobando cristales de portlandita (en color blanco).

Figura 97. Imagen de rayos X- mapa de elementos-. Área de contacto entre el film y la superficie del *reenlucido*.

Figura 98. Imagen de electrones retrodispersados (BS) Cristal prismático de portlandita en disolución rodeado de partículas botroidales.

Figura 99. Imagen de rayos X- mapa de elementos-. Textura del film en su plano externo, entre 30-60 minutos tras la ejecución de la pintura al fresco.

Figura 100. Imagen de electrones retrodispersados (BS). Densificación del film geliforme a 60 minutos de la ejecución de la pintura.

Figura 101. Imagen de electrones retrodispersados(BS). Cristal prismático de portlandita en proceso de disolución. Mediante análisis EDS multipunto se obtiene el espectro y el análisis SEM-EDS semicuantitativo expresado en peso atómico según muestra la tabla adjunta.

Figura 102 . Imágenes de electrones secundarios (SE). A Imagen de la parte interior del film. B imagen de la superficie del *reenlucido*. Ambas tomadas a las 2 horas de la ejecución de la pintura al fresco. La diferencia en la textura cristalina es significativa.

Figura 103. Cuadro de inspección visual sobre la evolución técnico-pictórica en el periodo de 24 horas y su correspondiente gráfica.

Figura 104. Imágenes de electrones retrodispersados (BS). Textura del film a 3 horas de la ejecución de la pintura al fresco.

Figura 105. Imagen de rayos X- mapa de elementos-. Film-gel a las 3 horas de ejecución de la pintura al fresco. La presencia de Mg por debajo del film indica que el carbonato cálcico que conforma el film no proviene de partículas previas, si no que es un precipitación.

Figura 106. Imágenes tomada en electrones retrodispersados (BS) Textura del film-gel superficial a las 11h de su ejecución.

Figura 107. Croquis de formación de la calcita calcita flotante -escala 100 micras- (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1975).

Figura 108. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Detalle de la superficie externa del film-gel de aspecto geliforme y su parte interior.

Figura 109, a (x400 XP) muestra un apilamiento de esferulitos planares en proceso de desagregación incipiente (11 horas tras la ejecución de la pintura). Las imágenes b y c (ambas en XP y a x100 y x400 respectivamente) muestran el desarrollo de los cristales de crecimiento en estructura sectorial, mostrando b el aspecto de esta tipología cristalina a las 11 h tras la ejecución del enlucido y c la imagen de su evolución entre 1-15 días tras la ejecución.

Figura 110. Imágenes de electrones retrodispersados (BS). Film-gel tras 11 horas de la ejecución de la pintura al fresco. A, muestra la presencia de cristales escalenoédricos y cristales aciculares intersticiales. Se observan fragmentos de cristales esferulíticos radiales adheridos a la masa cristalina. La imagen B, muestra el desarrollo de un cristal de crecimiento en estructura sectorial (cristal damero).

Figura 111. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Interior del film donde se aprecia el crecimiento y desarrollo cristalino observado a las 16 horas.

Figura 112. Izquierda. Cristal tipo flor/nanoflor desarrollado a partir de un esferulito de sulfura de bismuto (imagen extraída de Tang, Alivisatos, 2006). Derecha. Cristal nanoflor de óxido de níquel (imagen extraída de Le Xin, Yang, Teng *et alii*, 2013).

Figura 113. imágenes en electrones retrodispersados. A y B. Desarrollo de cristales nanoflor a partir de esferulitos. Cristales de calcita de hábito escalenoédrico (flecha blanca).

Figura 114. A. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Textura de la parte interna del film, con presencia de cadenas de calcita, cristales aciculares, cristal tipo "nanoflor" y gran cantidad de cristales nanométricos. B. Detalle de la anterior donde se observa un cristal romboédrico en proceso de redisolución.

Figura 115. Imagen a x400 XP de un cristal de crecimiento en estructura sectorial (cristal damero). Dibujo de la progresión de la evolución de un cristal de crecimiento en estructura en sectores.

Figura 116. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). A. Cristal de crecimiento en estructura sectorial en proceso incipiente de desagregación de los sectores (cristal damero). B, imagen de uno de los sectores ya desprendido.

Figura 117. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). A. Textura cristalina de la superficie del reenlucido. Los cristales están bien desarrollados y con formas definidas. B, se aprecia la desagregación de los cristales de crecimiento en estructura sectorial y los fragmentos provenientes de esa desagregación.

Figura 118. A. Imágenes en electrones retrodispersados (BS). Aspecto del film y la superficie del *reenlucido* a los 160 días. Se puede apreciar la presencia del film de aspecto geliforme. La generación de este film está relacionada con la aplicación de un film acuoso -pintado al fresco-, pero su desarrollo en el tiempo no parece depender de la presencia directa del agua. B. Imagen de rayos X- mapa de elementos- Imagen composicional del film geliforme y la superficie en contacto con el reenlucido tras 160 días de curado.

Figura 119. Evolución de la textura de los diferentes estratos del film-gel que se produce en la superficie de una pintura al fresco.

Figura 120. Se han señalado en el espectro las áreas de banda de absorción relacionadas con los diferentes compuestos según las bandas de frecuencia de vibración expresadas en la tabla adjunta.

Figura 121. Espectros correspondientes a agua de cal, cal en pasta y momento inicial del periodo de fresco.

Figura 122. Espectros correspondientes a 6 minutos 30 segundos, 29 minutos 15 segundos y 60 minutos respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

Figura 123. Espectros correspondientes a 4 horas, 8 horas y 12 horas respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

Figura 124. Espectros correspondientes a 16 horas, 20 horas y 24 horas respectivamente desde el inicio del periodo de fresco.

Figura 125. Espectro correspondiente a 160 días desde el inicio del periodo de fresco.

Figura 126. Integración de áreas de las bandas de absorción IR en la que se compara cuantitativamente la evolución de las bandas asociadas al anión carbonático versus las bandas asociadas al grupo hidroxilo.

Figura 127. Croquis de formación e imagen de la estratigrafía de la calcita calcita flotante -escala 100 micras- (Pomar, Ginés, Ginés *et alii*, 1975/Pomar, Ginés, Fontarnau, 1976).

Figura 128. Cristales formados sobre el agua de cal. Se producen sobre el agua que cubre la cal en pasta al dejarla reposar, cuando la fase sólida se decanta y se va al fondo del recipiente. Es conocida en el argot profesional como el "velo de la cal". Estos cristales se forman a mucha velocidad, en minutos.

Figura 129. Cristal de portlandita en proceso de disolución transformación. Imagen izquierda x100 XP entre 1-2 horas tras la ejecución. Imagen derecha, x100  $1/4\lambda$  entre 30-60 minutos tras al ejecución.

Figura 130. Algunos hábitos cristalinos tipo *splith growth* propios de la Etapa 2. Imagen izquierda, x400  $1/4\lambda$  entre 30-60 minutos tras al ejecución del enlucido. Imagen izquierda x400 XP entre 1-15 días tras la ejecución

Figura 131. Derecha. Imagen, x1000 XP. Superficie de un *reenlucido* pintado al fresco (pincelada densa). Se ha generado una capa sólida microcristalina sobre el film pictórico, proceso de fijación posterior al periodo de fresco. Izquierda. Imagen, x400 XP  $\lambda$ . Partículas e pigmento que se han adherido sobre un cristal presente en el film (nucleación heterogénea) y a su vez el pigmento sirve como base para la nucleación (heterogénea) de microcristales de carbonato cálcico, fijando el pigmento dentro del film.

Figura 132. Izquierda. El dibujo describe los principales hábitos cristalinos que se desarrollan en función de los diferentes estratos del film pictórico. Derecha. Imágenes de los tres estratos en SEM.

## 9.2. Tablas.

Tabla 1. Valores de pureza de los diferentes tipos de cal cálcica.

Tabla 2. Número de muestras estudiadas.

Tabla 3. Parámetros de medición y rangos.

Tabla 4. Ejemplo de tabla excel para el parámetro área donde se refleja la distribución de el volumen total de partículas y su distribución por tamaños.

Tabla 5. Frecuencias de absorción diagnósticas del anión carbonato presentes en los espectros de las muestras de las probetas de pintura al fresco. Acrónimos: mf: muy fuerte; f: fuerte; m: mediana; (d): débil; (ag): aguda; (am): ancha; (h): hombro.

Tabla 6. Rangos de distribución de tamaños en función del parámetro.

Tabla 7. Peso molecular de los compuestos hidróxido de calcio y carbonato cálcico. Relación entre Ca/O para cada uno de ellos.

Tabla 8. Frecuencias de absorción diagnósticas del anión carbonato presentes en los espectros de las muestras de las probetas de pintura al fresco. Acrónimos: mf: muy fuerte; f: fuerte; m: mediana; (d): débil; (ag): aguda; (am): ancha; (h): hombro.



## 9. ANEXOS.

### 9.1. Anexo 1. Ampliación de aspectos iconográficos de la pintura mural de la Némesis. Fragmento de la Tesina Doctoral *Estudi de la metodologia de recerca per la pintura mural romana: la Némesis de l'Amfiteatre de Tàrraco*. Luciana Pocostales. 2008.

#### I. Iconografia i mitologia

**Nemesi** és una de les filles de la Nit. Zeus la persegueix i ella defuig transformant-se múltiples vegades fins que es transforma en oca. Zeus es transforma doncs en cigne i finalment s'uneix a ella. Nemesi va posar un ou del que va nàixer Leda i d'aquest ou sortiren Hel·lena i els Dioscurs. Nemesi representa a través d'aquest mite "la venjança divina" especialment dirigida a controlar la desmesura – Hybris o Hybristes-, des de la extrema bondat d'un mortal fins a l'orgull desmesurat d'un rei, concepció heretada del món hel·lènic. A la pintura surt representada sota el peu de Nemesi.

A Rhamnonte –l'Àtica- va tenir el més cèlebre dels seus santuaris. En aquest santuari la història diu que hi havia una estàtua de Nemesi que va tallar el mateix Fídies d'un tros de marbre emportat per els perses per fer un trofeu una vegada haguessin pres Atenes. La seva seguretat de victòria, signe de desmesura, els va fer empènyer a la derrota.

**Símbols més comuns:** la griu, la roda de la fortuna, la balança, les ales, la griu amb la roda, representació que es troba en ambient funerari –estela funerària de un fill de militar romà de la Legio II Trajana al *The Brooklyn Museum NY*-. La griu amb la roda passarà al món cristià de l'antiguitat tardana, representada a un mosaic probablement trobat dins una església síria de meitat del V dC.

**El culte a Nemesi** es concentra principalment al Baix Egipte, Alexandria, les vil·les de Fayoum i al voltant de Memphis, és a dir, on predomina la població d'origen grec i egipci influenciada per cultura grega hel·lenística –recordem que el concepte Nemesi-Hybris, la mesura, és un concepte del món grec-. A l'alt Egipte, on la població no tenia aquesta procedència o una influència hel·lenística tan marcada, els rastres del culte a Nemesi són molt més pobres.

Les **dades arqueològiques** i escrites sobre el seu culte són molt més pobres que l'extensió dels testimonis onomàstics encara que, evidentment, la localització d'aquestes monedes no es pot mai considerar com a un índex dels indrets on era venerada. Tot i així el seu culte, sigui lligat a la moda, a una tradició familiar o a migracions de població, és evident que va tindre una gran popularitat com indica la documentació existent –veure *Nemesis a Egypte ancien*, B. Lichocka 2004-.

El seu culte, practicat ja a Egipte, Síria i Grècia, va tindre una ampla **difusió** a partir del II dC., especialment a les províncies danubianes on era molt venerada als múltiples camps de legionaris donà també al nord de l'Àfrica –Cirenaica i Tripolitana- a Hispania i, esporàdicament, a Britannia i Germania. Segurament, tenint en compte la predominant presència d'orientals a l'exèrcit de l'època, es pot considerar als militars com els principals responsables de la difusió d'aquest culte a l'Occident.

La Nemesi és una deessa amb molts **sincretismes**. La divinitat coneguda com a Nemesi té una iconografia variada, adoptant signes iconogràfics de deesses amb les quals té una relació de significat: Nemesi/Nike (= Venjança justa/Victòria), Nemesi/Artemisa (=lluita i deessa de la guerra, dona independent representada per la lluna, com és el cas de la Nemesi-Artemisa present a la pintura.) - i altres divinitats que complementen la seva divinitat.

També, segons alguns investigadors, semblar tenir una connotació més popular, dins el món de la **màgia** (protecció, amulet) i fins i tot l'astrologia –s'han trobat representacions amb estels-. La seva iconografia és complexa degut a la seva sincretització. Es pot considerar com a una deessa multiforme que transmet diverses formes de sincretisme, amb un caràcter panteista i que pot arribar a tractar amb el mateix dimoni.

Però quina és la Nemesi de Tàrraco? A continuació es descriurà breument la seva iconografia amb



la intenció de poder ubicar la peça dins un context històric i social i, dins lo possible, poder comprendre l'objectiu simbòlic dins la seva ubicació original: dins la sala dels gladiadors de l'amfiteatre de Tarraco.

Dins la seva iconografia destaquen els **aspectes militars**, i sembla que fou una deessa popular entre els soldats a l'Egipte romà. Destaca amb vestit curt, calçat militar "*calcei*" i moltes vegades representada amb un cap lleoní– tipologia Nemesi- Nike-. D'aquesta deessa agafa el símbol de les ales. Aquest *calcei* militar és també representatiu d'Artemisa, iconografia que trobem a la Nemesi de Tarraco –tipologia Nemesi-Artemisa-. La representació amb toga llarga i sandàlies representaria els aspectes més "civils" de la deessa. Una de les assimilacions més comunes va ser amb la deessa **Fortuna**, de la qual va absorbir les funcions –segons fons escrites de l'any 214 dC, veure *Nemesis a Egipte antic*, B. Lichocka 2004.- Potser, el personatge femení de la pintura que porta la cornucòpia es refereix a una representació conjunta de ambdues deesses, tant estretament relacionades.

**La tipologia Nemesi-Artemisa** sembla tindre origen a Egipte –originàriament Isis-Nemesi-, que sembla influenciar la iconografia de la Nemesis-Nike posteriorment. Tot i això, aquesta iconografia pot tenir un origen a la moda específica de la vestimenta militar que es reflexa a l'iconogràfica dels Dioscurs, Horus i Anubis dins el mon romà.

Aquesta mateixa font d'inspiració pot haver influenciat la manera de representar físicament la deessa. Per exemple: les cames, fortament musculades que no correspondrien a una anatomia femenina. Aquesta característica és clarament expressada a la pintura de l'amfiteatre de Tarraco. Hi ha un exemple clar de la relació de la deessa amb els militars i la seva masculinització al relleu del Museu Egipci del Caire -8757-.pl 11-1. s. III-IV d.C., on Nemesi porta cuirassa, cinturó tipus *cingulum* –ampli cinturó militar amb ornamentació-, un *sagum* –tela o pell basta quadrangular amb un forat per al cap que es pot girar per protegir les espatlles- i les *calcei*. Al cap sembla que porta una *corona radiata*, símbol solar molt apreciat a l'armada romana. Aquesta representació del Caire sembla ser la més recent de la Nemesi militar. Segons H. Seyrig –citada per Lichocka-, aquestes divinitats armades tenien una interpretació particular a Egipte i Síria, on es consideraven apotropaïques – amb la capacitat màgica de allunyar el mal o propiciar el bé- i símbol d'allò invencible-.

La representació militar i el personatge als peus, a mena de captiu o com a trofeu, donen una idea concreta de la deessa, sobrepasant el seu valor abstracte de punidora i persecutora. Cap el segle III d.c. als *castra* de l'*Ala V Praefectorium* fou admesa dins culte oficial ocupant un lloc central. A Doura Europos –extrem S-E de Síria, a l'Eufrates-, es va trobar a l'interior de la guarnició un relleu representant la deessa encara que la seva funció no sigui clara –actualment Yale University Art Gallery-. Un altar consagrat a Nemesi per un *ess(edarius)* –gladiador amb quadriga- es trobà a prop d'una de les entrades principals de l'Amfiteatre militar de *Carnuntum* –Austria, al *limes* del Danubi-, de manera semblant a l'altar de Tarraco.

**L'expansió del culte** es pot deure a diverses raons. Segons l'anàlisi dels temples coneguts mitjançant les fonts antigues i les restes arqueològiques, es podria relacionar el seu culte amb la població grega existent a aquells indrets. No obstant, la seva relació amb l'armada fa que sigui un culte amb molta capacitat de mobilitat per si mateix. Els soldats podien esdevenir transmissors d'aquest culte així com d'altres costums i, fins i tot, d'esquemes iconogràfics dins un flux recíproc. És sabut que les legions eren culturalment molt heterogènies i que a més absorbien població dels indrets on eren destinats.

Hi havia una relació entre Nemesi i l'*αγών* –l'enfrontament i el desafiament-, els gremis/confraries i inclús amb l'estadi, el hipòdrom i l'amfiteatre, on a Tarraco tenim un clar exemple. Sembla que la relació de la deessa amb l'àmbit de competició és més aplicable a la part occidental del mon romà. Encara que l'extensió de la pràctica de la lluita de gladiadors està testimoniada per tot l'imperi és especialment important a les províncies occidentals com ho testimonien les restes a Tarraco, Itàlia, Grècia i Gran Bretanya -2 estàtues a Olímpia a la porta de l'entrada de la cripta de l'estadi, *Carnuntum*.a Àustria...- tot i que pot ser degut a que en general, a l'Egipte romà, els testimoniatges de gladiadors són escassos –no per la manca de jocs-.

**Nemesi representava la victòria als jocs** de circ i assimila els trets dels seu corresponen mite. També tenia relació amb els gremis, com el dels actors que la veneraven també. Per les gemes trobades sembla que era considerada com a amulet per l'*αγών*, la caça, i els jocs en general, tasques per les que es demanava el seu ajut com a "patrona" d'aquestes activitats.

Per altra banda el culte a Nemese semblà tenir una **part màgica i cosmològica**. Nemese, deessa de la venjança i el càstig, era també la deessa justa que castiga només al que fa una falta. Era requerida per els “**exorcismes**”. Hom cregué que les gemes amb la seva talla treien els dimonis del cos –Harpocracion, gramàtic grec Alexandrí II dC. citat per Lichocka-. La seva figura es relaciona amb invocacions màgiques que criden a la mesura del sentiments, com ara la culpabilitat, la gelosia o la còlera. Es representava, com és el nostre cas, versus Hybris - personificació de la desmesura i la violència-, confrontació clàssica dins el ideari grec. Era venerada **per defensar-se de mentides i calumnies i com a testimoni als juraments d'amor**. La seva imatge de lluitadora contra la Hybris la relacionen amb l'àmbit de la **justícia**, de la que es diu és filla. La balança és un dels seu símbols. Justícia també és relaciona amb Fortuna, de la qual ja em dit arribà a assimilar completament.

Té també una **connotació funerària**: representa l'enveja dels morts de la llum atorgada als vius. També formà part del *Equites Danuvinii*, culte desenvolupat a la conca del Danubi i de forta connotació militar.

Nemese arriba al panteó de les grans divinitat Olímpiques i es associada a la figura del emperador i la seva família, rebent tracte de *augusta o dea regina*. En aquest sentit es relaciona amb Juno, qui li confereix el rol de *Dea Madre*.

La **Tiké**: aquesta deessa d'origen grec personifica el destí i la fortuna de la ciutat. Durant l'hel·lenisme cada ciutat donà una iconografia única a la seva Tike a través d'una versió icònica de la corona imitant la muralla característica de la ciutat – veure imatge 4, Tiké d'Antioquia d'Eutíquides, 300 aC., M.Vaticà-. Molt relacionada amb Nemese i Agathos Daimon (el bon esperit). Una de les característiques essencials d'aquesta deessa era que tenia el poder de decidir quina era la sort de qualsevol mortal juntament amb el seu ajudant Plutó. A diferència de Nemese, **Tiké decidia la sort en funció de criteris arbitraris**. Per això la deessa Tiké es representa iconogràficament jugant amb una esfera –a mode de pilota -unes vegades cap a dalt i altres cap a baix com a metàfora de la incertesa de les seves decisions. Si algú, per excés de fortuna, es vanagloriava dels seus èxits i no era agraït als deus, Nemese era llavors l'encarregada del càstig i la justa mesura. La deessa va ser assimilada com a concepte dins els cultes a Nemese i Fortuna

L'os -4- es presenta en actitud de salt cap el costat contrari de l'escena, i es portat per l'oferent. Tindria relació amb la disciplina que exercia dins els jocs del circ.

## II. Temàtica de l'escena i funció

Les interpretacions varien. Podria ser un altar a la deessa, que regia entre d'altres professions les del circ, o un exvot, on l'oferent seria el personatge 3, vestit de blau i amb l'os.

És molt interessant la possibilitat de que el personatge femení amb palma o cornucòpia, identificat com s'ha dit anteriorment amb Tike o Tiké, estigui en relació directa i activa amb Nemese – ambdues deesses tenen la mà una en direcció a l'altra, en una actitud d'acció, com si es passessin alguna cosa o si més no en una acte de comunicació-. La combinació d'aquests dos personatges podria tenir un sentit equilibrador, doncs l'esfera ha passat a mans de Nemese, encarregada de la justa mesura. Juntament donen a la incertesa de la sort l'element de justícia i equilibri que li manca.

En general, degut a la ubicació i la seva forma semblant als altars lararis, és acceptada l'opinió que es tracta d'un altar on els gladiadors i gent del circ reverenciaven demanant una justa sort i fortuna abans de sortir a la sorra.

El culte a Nemese, com s'ha descrit, no era un culte arrelat als sectors patricis de la societat sino als soldats, als gremis de gent del circ i el teatre i, en general, a la superstició popular.

Per la seva limitada qualitat artística i tècnica i la seva ubicació, més que per la seva temàtica, la Nemese es pot considerar una pintura d'ordre menor encara que, per a nosaltres, és un gran testimoni que dona molta informació sobre les pràctiques rituals i màgiques de la població de Tàrraco, si més no, de personatges actius dintre de l'amfiteatre, un dels edificis claus per a entendre la sociologia de la ciutat romana.

La pintura mural de la Nemese va ser datada –Garcia Bellido- al de III-IV dC. La seva ubicació dintre de la classificació dels estils no es gaire senzilla degut al fet que és una

pintura aïllada, a mode de quadre i no sembla que formés part d'un conjunt decoratiu molt més ampli. La seva funció ritual o màgica de protecció la descontextualitza dintre dels àmbits estilístics –estils pompeians presents a la península- que habitualment són l'esquema de referència per a l'estudi de restes amb una funció principalment ornamental.

Aquestes representacions, presents a l'àmbit públic i privat –veure Pompèia, D, IX, 7/7 façana d'una tenda on apareix Mercuri, protector del comerç- no són molt nombroses i les que s'han trobat són de factura senzilla i no són sotmeses als esquemes iconogràfics coneguts. Són importants testimonis de la religiositat sincrètica i popular que es donava en aquell període. Testimonia especialment l'amplia difusió i sincretització de cultes orientals dins el món romà, com ara és el cas de la Nemesi. Aquest tipus d'escenes tenen un estil particular on els colors es presenten més contrastats. El seu objectiu no persegueix el realisme si no remarcar la funció simbòlica i protectora de la pintura –al estil de les pintures lararies-. De fet, la Nemesi originàriament tenia la part superior com un temple del tipus larari. A la imatge 5, que és anterior al seu arrencament, es pot observar aquesta característica encara que, malauradament, la decoració superior no es conservi. Actualment la pintura es presenta seguint la forma del carreu i el morter que la suporten –puntejat blanc-. La factura senzilla i ràpida, la composició iconogràfica estereotipada i simplificada (desenvolupada al següent apartat) i la tècnica no depurada de la pintura de la Nemesi, a més de la seva funció "pràctica" que no dins un projecte ornamental de conjunt, són característiques que fàcilment la ubiquen dins una pràctica regional de pintura mural, on artífex autòctons, amb més o menys qualitat, varen satisfer les necessitats rituals dins les seves propies províncies.

La presència o ausència de tallers ornamentals a Hispania és una qüestió controvertida. Tot i que sabem l'existència a finals de I d.C. de repertoris ornamentals propis, fet que presuposa l'existència de tallers permanents amb àrea d'influència, malauradament no es pot demostrar l'estabilitat dels tallers dins un nucli urbà perquè no ha sigut trobat material que doni testimoni d'un procés evolutiu a la seva producció. La manca de proves recolza la presència de pintors itàlics a Hispania per el fet de la difusió coetània dels estils pompeians a la península Ibèrica, tallers que segurament realitzaven totes les obres d'una mateixa ciutat, com demostren les decoracions de IV estil de *Bilbilis* –veure C. Guiral Pelegrin i M. Martín Bueno a *Bilbilis: Decoración pictòrica i estucos ornamentales*-. Carrillo recolza aquesta opció durant el període de desenvolupament del III estil –final I 2/2 II d.C.-, acceptant la tesi de la transmissió mitjançant el viatge de cartons compositius. Aquesta controversia es trasllada a les províncies romanes limítrofes amb Hispania. A la Gal·lia, segons Bastet, el III estil es desenvolupa en 5 fases, suposant dos generacions de pintors: una primera d'origen itàlic i una segona autòctona, que desenvolupà els estils més particulars de les dues últimes fases. Respecte a Hispania, Carrillo no veu aquesta evolució sino una difusió feta a través de quadrilles de pintors itàlics i, donada l'alta romanització a Hispania, mitjançant quadrilles de pintors afincats a la Península Ibèrica. La Nemesi, com ja s'ha mencionat, no entra dins dels estils propiament dits, però si és pot ser una evidència de la existència de professionals autòctons, amb més o menys qualitats artístiques.

Respecte a la relació de la pintures amb altres restes pictòriques de la província, no hi ha a la Tarraconensis una pintura mural de característiques similars. Les pintures més properes són les restes pictòriques dels Munts -última ocupació amb nivell d'incendi 260 dC.-. Els Munts, amb el seu meravellos corpus de pintures conforma tot un programa ornamental que inclou escenes al·legòriques –com ara les estacions del sostre dels Munts- o mitològiques -el cap de Neptú conservat al museu del jaciment-. Aquestes pintures no es poden relacionar estilísticament amb la Nemesi ni per temàtica ni per estil.

**9.2. Anexo 2. Caracterización de la pintura mural de la Némesis de Tárraco. Memoria resumida del informe realizado por Luciana Pocostales para el CRCBMGC. 2006.**

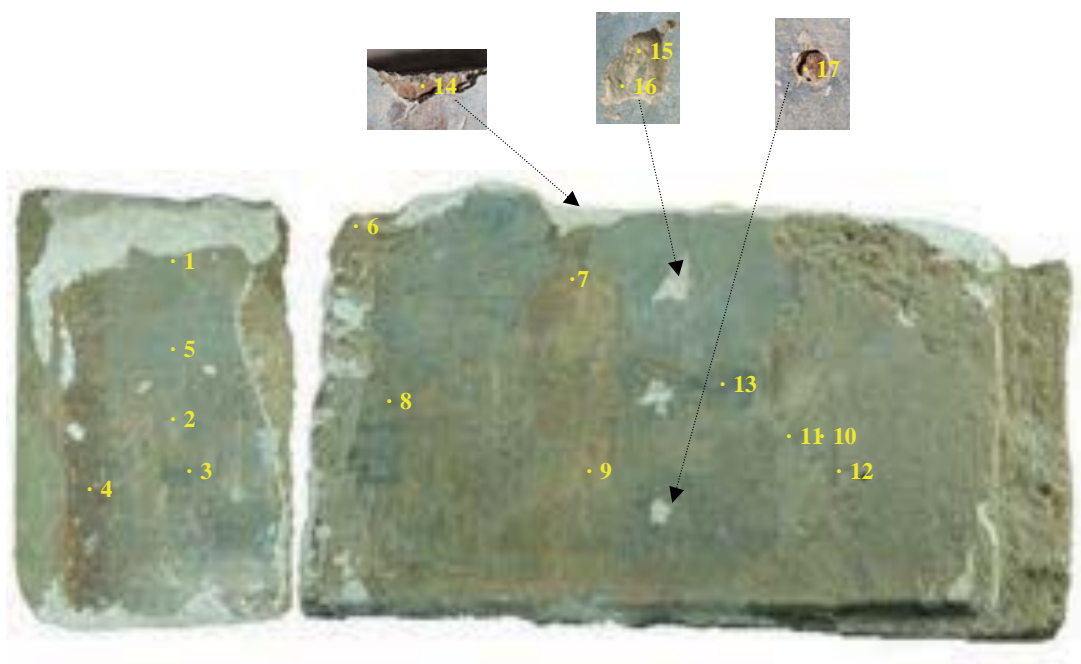
**INDEX DE MOSTRES 9898 NEMESI**

FRAGMENT A –PETIT-

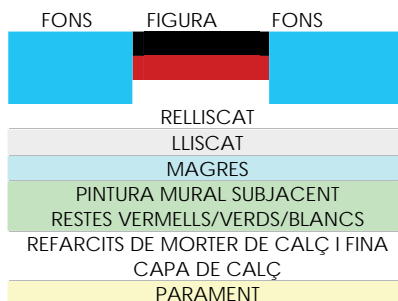
1. Pigment blau
2. Pigment terra
3. Pigment negre
4. Pigment ocre vermell
5. Capa de superfície

FRAGMENT B –GRAN-

6. Pedra carreu
7. Pigment ocre groc
8. Pigment blau línia vestit -diversitat pigments-
9. Pigments ocres línia genoll -diversitat pigments-
10. Pigment blanc-blau vel personatge femení -diversitat pigments-
11. Pigment blau cinta vestit personatge femení-diversitat pigments-
12. Pigment ocre-verdós de la cinta que baixa del costat del personatge femení -diversitat pigments-
13. Pigment verd fosc font central -diversitat pigments-
14. Pigment vermell capa perimetral -pintura subjacent-
15. Pigment blanc fons pintura subjacent orifici 1
16. Pigment verd fulla pintua subjacent orifici 1
17. Pigment vermell fons pintura subjacent orifici 3
18. Estratigrafia doble



### Esquema de la pintura mural Nemesi i la pintura subjacent



#### Pintura Nemesi

- Pintura al fresc –sobre una capa de relliscat de calç molt fina i pura sense cap àrid- presentada en dos fragments:
  - morter de calç sobre carreu amb una possible pintura decorativa subjacent –fragment gran- i
  - morter de calç sobre material de farciment –fragment petit- amb bona consistència respecte el seu pesi volum. Sobretot tenint en conte que es va patir un arrencament,

El seu estat de conservació es òptim segurament per que va quedar oculta en un ambient relativament sec –tenint en conte que la seva ubicació era molt propera al mar.

- Estructura de la pintura: reserves de fons figura solapats als limits.
- El fragment gran te una altra pintura a sota.
- Colors importats : cinabri, blau egipci o fritta, crisocol·la, terra verda. Aquest pigments parlen de materials importants. La possibilitat d'una fritta d'origen hispà es té en conte i és en procés de recerca.

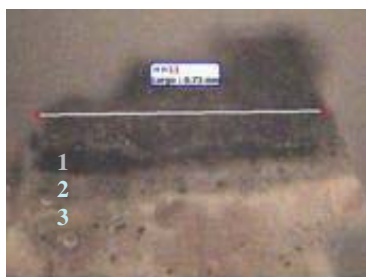
#### Pintura decorativa subjacent

- Feta sobre una finissima i dura capa de calç directament sobre el carreu. Farciment amb morter de calç –tou- de les irregularitats del carreu
- Aplicació d'una capa molt dura de calç com a preparació de la pintura. Podria tractar-se de calç hidràulica. En investigació actualment.

\*Dins la investigació de la pintura, actualment hi en curs un estudi estratigràfic que abasteix ambdues pintures.

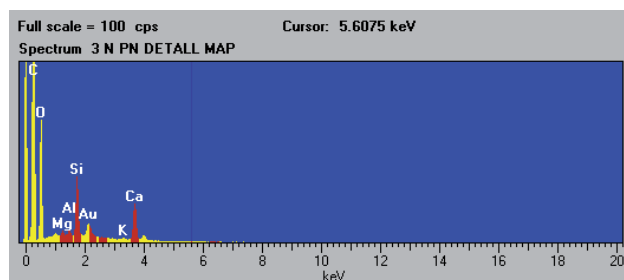
DESCRIPCIÓ CAPA PICTORICA NEGRA  
REFERÈNCIA N3  
COMENTARIS

### MICROSCOPIA ÒPTICA

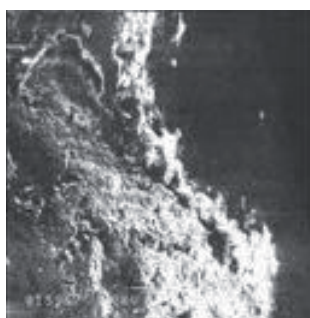


Capa 1 Capa policroma negra  
Capa 2 Lliscat de calç  
Capa 3 Morter de calç

### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM) ESPECTRE (XEDS)

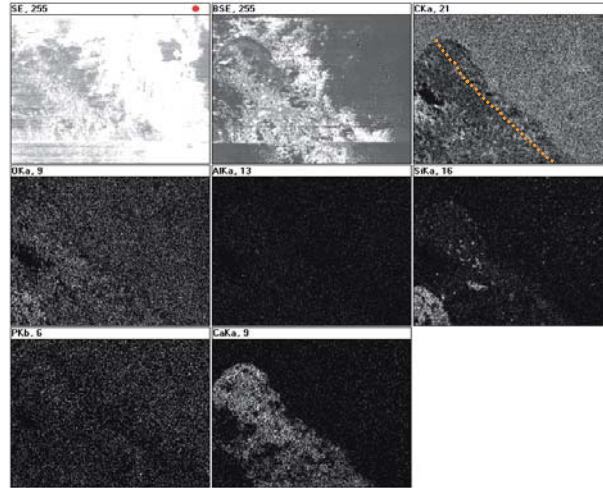


### BSEI X500





### MAPPING EDX X500



### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** c

**Interpretació:** Negre artificial de vinya

La manca de material inorgànic combinat amb el carboni –com ara el Si– descarta que es tracti d'un negre mineral. La grandària de partícula no coincideix amb el patró del negre d'ossos, de partícules molt fines i amb contingut de fosfat i calç que no es fa present en aquest cas. El fet que sigui un negre amb inclinació cap el blau el defineix com a negre de vinya, molt comú al món romà.

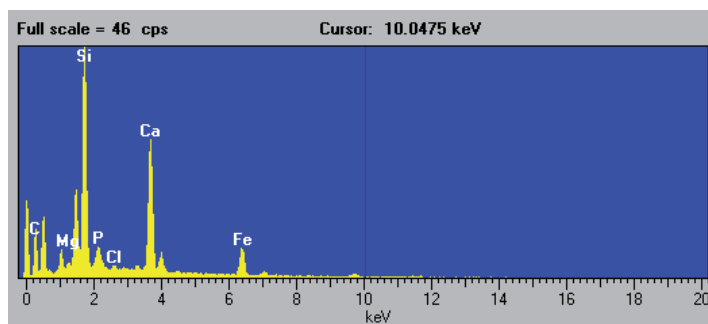
DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA VERMELLA  
REFERÈNCIA N4  
COMENTARIS

### MICROSCOPIA ÒPTICA

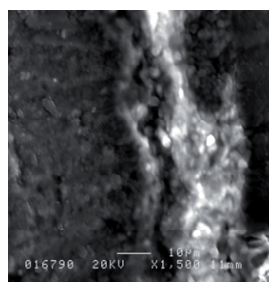
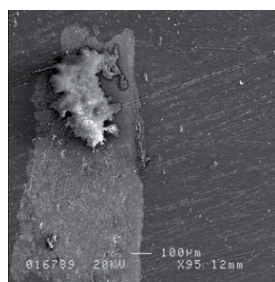


Capa 1 Capa policroma vermella  
Capa 2 Relliscat de calç  
Capa 3 Morter de calç

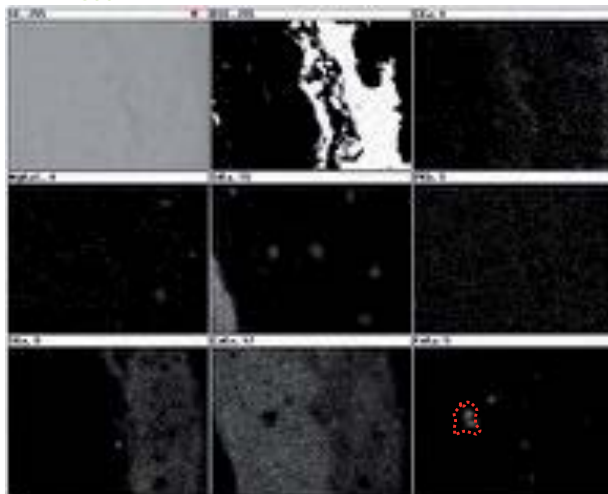
### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM) ESPECTRE (XEDS)



### BSEI X95/1500



#### MAPPING EDX X1.500



Es pot observar una fina matriu composta per Si, Mg... -argiles - i una partícula gran de Hematites

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

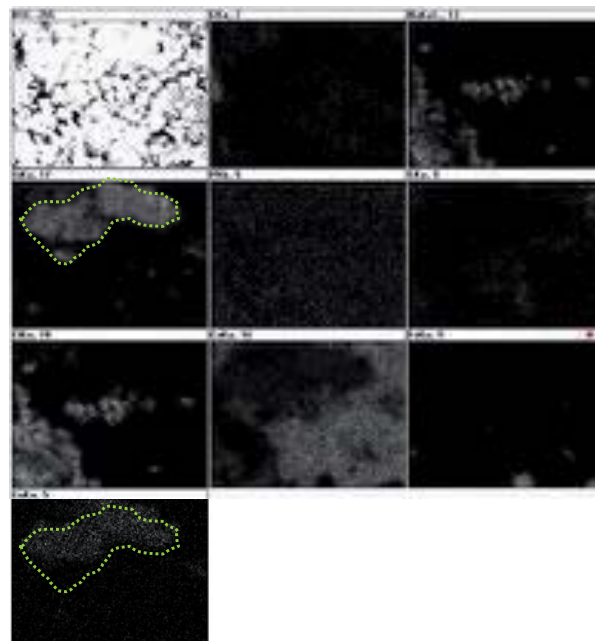
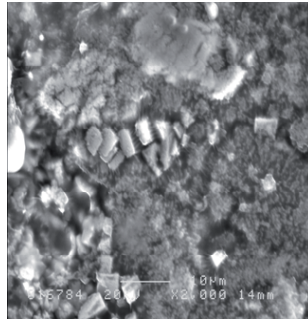
**Elements fonamentals:** Fe i Si/Mg/Al -veure espectre-.

**Interpretació:** Ocre vermell

Tradicional pigment ocre vermell compostat per argiles més òxid de ferro hematites.

---

### MAPPING EDX X2000 PARTICULES



Partícula de Silicat de Cu

---

### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Si/Cu

**Interpretació:** Crisocol·la o material vitroceràmic a partir de productes amb silicats de Cu.

Per la seva composició podria tractar-se del pigment mineral natural conegut com crisocol·la, que té una coloració que varia en funció de les seves impureses des de un blau-verdós –com és el cas- a un terra fosc. Per una altra banda, la grandària de la partícula i la composició entren al grup dels

succedanis o derivats de la manufactura de la frita o blau egipci o dels cerulis hispànics pràcticament sense investigar. La seva diferenciació es complexa. En procés de recerca actualment.

Es habitual al Piemonte, a Cúmbria i , segons Vitruvi, era també un producte extret a les mines de coure de Macedonia. Així doncs és un pigment d'importació.

---

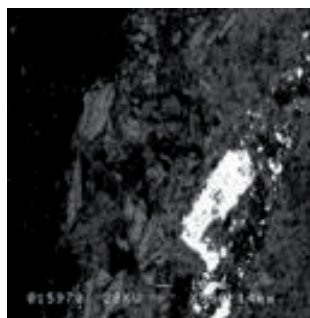
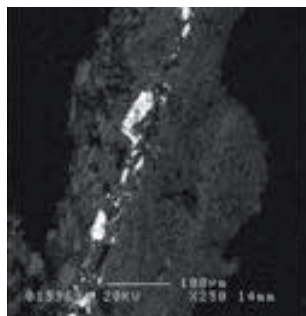
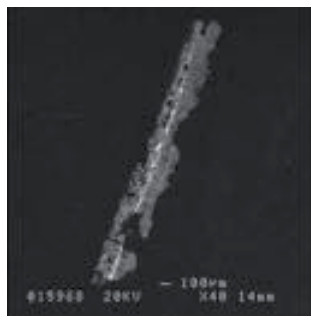
**DESCRIPCIÓ** ESTRATIGRAFIA BLAU-VERMELL PERSONATGE FEMENI  
**REFERÈNCIA** N11  
**COMENTARIS** INFORMACIO ESTRATIGRAFICA I MATERIALS

**MICROSCOPIA ÒPTICA**

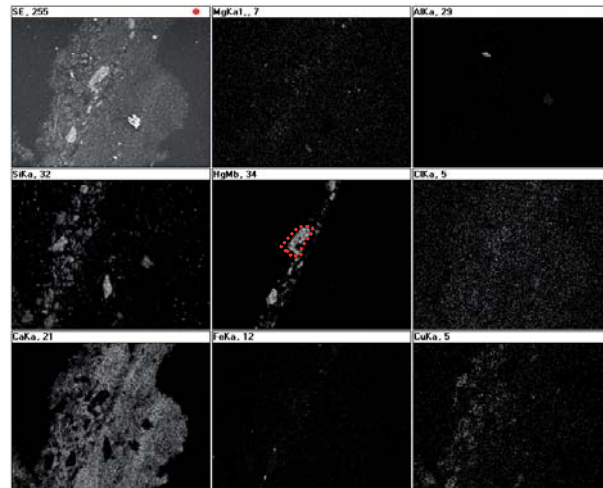


Capa 1 CAPA BLAVA  
Capa 2 CAPA VERMELLA  
Capa 3 RELLISCAT DE CALÇ

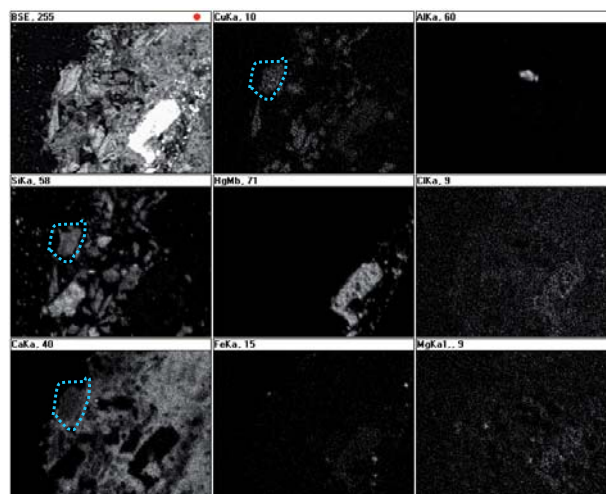
**MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)**  
**BSEI X40/250/550**



MAPPING EDX X250 / X550



Partícula de mercuri – pigment de Cinabri-



Partícula blava de composició Ca, Cu i Si



## MOP



llum tramesa x 10

llum ll x 40

Es poden observar cristalls blaus que llum polaritzada son birefrangents amb pleocroisme variable, incoloros -calcita i quarz- i grogençs

---

## INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Cu/ Si / Ca

**Interpretació:** Blau egipci o Fritta egipcia

Silicat doble de Coure i Calci -Ca O. Cu O. 4 Si O<sub>2</sub>.

Es un producte artificial - de fet, el primer pigment artificial ben conegut des de l'Antiguitat i de fet el blau comú a les pintures murals de l'època antiga per que era el més estable -comparat amb el lapislazuli i altres pigments de coure més inestables com ara l'azzurita-. Segons les receptes de Vitruvi, es preparava escalfant entre 850-1.000 °C juntament carbonat càlcic i productes amb coure -com ara aliatges restes de coure o minerals com ara la malaquita -, sílice i l'extracte d'una planta que contenia potassa. Després es molturava poc fins aconseguir partícules relativament grans que donaven un color més intens que molturat finament. Segons Plini i Vitruvi el blau egipci es manufacturava en Puzzuoli on es podien trobar diverses varietats es funció de la qualitat dels materials de partida i la temperatura de cocció, doncs si no s'arriba als 850 °C es forma un materials de fusió incorrecte o vitre amorf de escassa qualitat.

Encara que es un pigment bastant estable, a la pintura s'observa que la capa superficial es presenta lleugerament més fosca i verdosa, però a la part interna de la capa te un color més propi del mineral sense alterar. Es tracta segurament d'una lleu reacció química en superfície -possiblement malaquita/atacamita per la tendència cap el verd- segurament per el fet que esta aplicat al fresc.

A la península ibèrica es troba informació de la fabricació de pigments d'aquesta família, especialment el Caeruleum Hispaniense. Tradicionalment s'ha pensat que es tracta d'un material relacionat amb la fabricació dels pigments verds. Per aquesta raó sembla raonable dir que la fritta egipcia que troben a aquesta pintura es tracta d'un producte importat des de el gran centre de producció de pigments i materials vitroceràmics que va ser Puzzuoli.

Cinabri: Sulfur de Hg.

Pigment mineral natural. Es un pigment molt estable i es pot aplicar en qualsevol tècnica i combinat amb tots els pigments. No obstant es fotosensible,

formant-se el metacinabri de color negre. Es habitual trobar-ho al fresc en època romana i al tremp a èpoques posteriors. Segons Plini, la seva explotació era a Sisapo a la península Ibèrica –segurament es refereix a les famosíssimes mines de Almadén. Per tal de poder certificar l'origen del cinabri s'ha de fer un estudi exhaustiu que no es descarta en un futur dins el projecte de recerca.

---

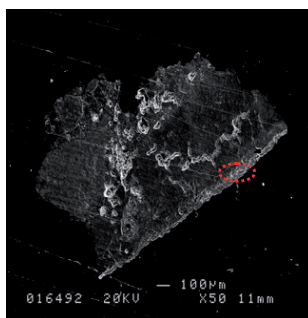
DESCRIPCIÓ N12  
REFERÈNCIA PIGMENT OCRE/TERRA  
COMENTARIS

MICROSCOPIA ÒPTICA

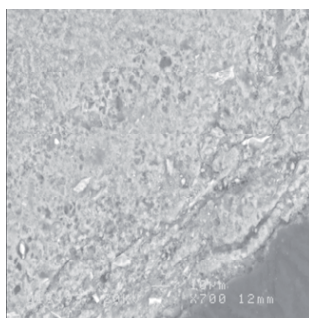


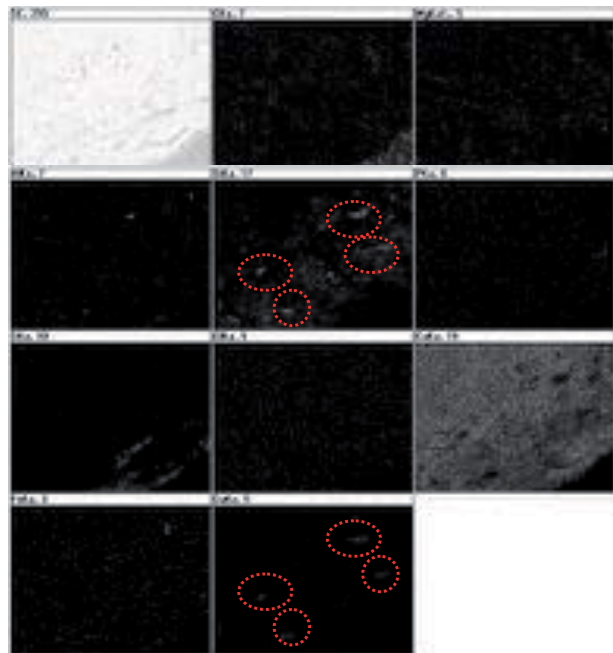
Capa 1 MORTER DE CALÇ  
Capa 2 LLICAT DE CALÇ  
Capa 3 CAPA POLICROMA NEGRA

MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
BSEI X500



MAPPING EDX X700





Silicat de Cu amb Al. Crisocol·la amb impureses d'alumini, que segurament inclinen el color cap a terra-negre

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Si / Cu

**Interpretació:** Crisocol·la

Pigment natural –baixa cristallinitat– que varia des de un color verd-blau fins a terra-negre depenent de les impureses. Es forma com a mineral secundari de l'azzurita i la malaquita i altres minerals amb coure –oxidació d'aquests minerals–. Es bastant estable encara que la seva alteració s'inclina a l'enfosquiment com a tots els pigments amb coure.

Es habitual al Piemonte, a Cúmbria i, segons Vitruvi, era també un producte extret a les mines de coure de Macedònia. Així doncs és un pigment d'importació.

---

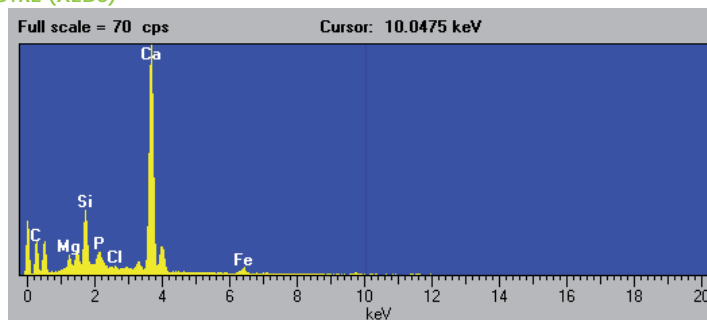
DESCRIPCIÓ CAPA VERMELLA PERIMETRAL  
REFERÈNCIA N14  
COMENTARIS

### MICROSCOPIA ÒPTICA

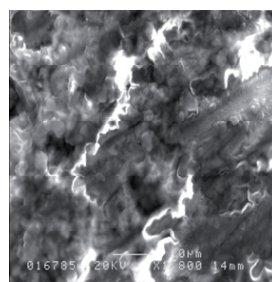
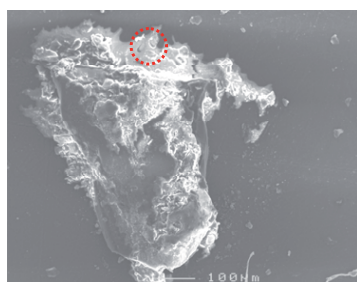


Capa 1 PIGMENT VERMELL  
Capa 2 CAPA DE PREPARACIO DE CALÇ DIRECTA SOBRE LA ROCA

### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM) ESPECTRE (XEDS)

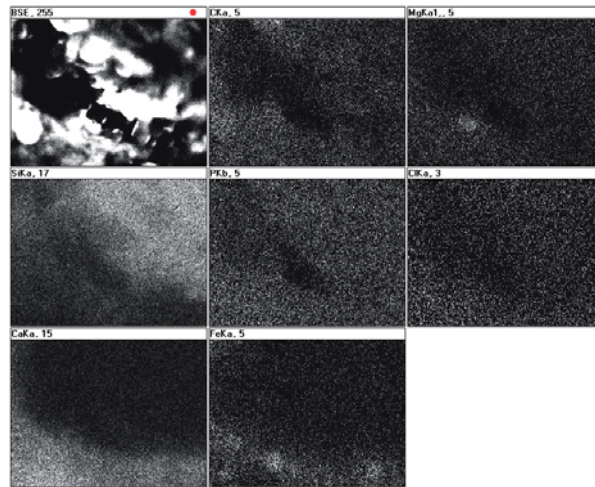
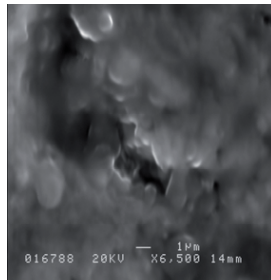


### BSEI X500/1.800



### MAPPING EDX X6.500

Descripción de las fases de carbonato cálcico en la superficie de enlucidos de cal en pasta pintados al fresco.



---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: Fe/ Si/ Al/ Mg

Interpretació: Ocre vermell

Tradicional pigment ocre vermell compostat per argiles i òxid de hematites.

---



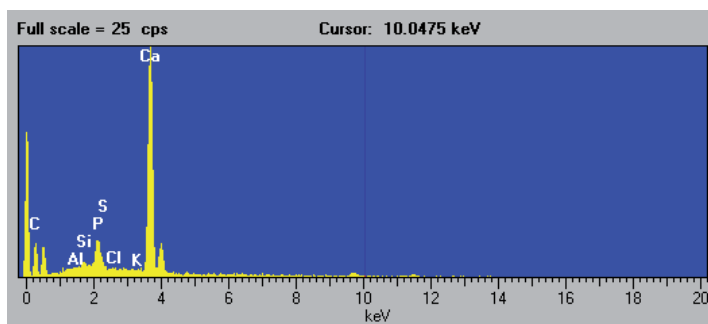
DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA BLANCA SUBJACENT  
REFERÈNCIA N15  
COMENTARIS

MICROSCOPIA ÒPTICA

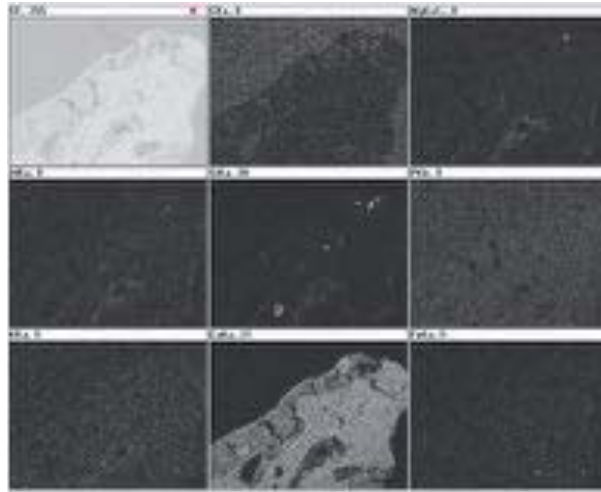


Capa 1 CAPA POLICROMA BLANCA  
Capa 2 SUSTRAT -RESTES DE MORTER-

MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



#### MAPPING EDX X60



---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Ca/C

**Interpretació:** Carbonat càlcic, blanc de calç

Blanc de calç sobre farcit de morter de calç molt fi, tipus lliscat –aplicat a les imperfeccions de la superfície pètria-.

---

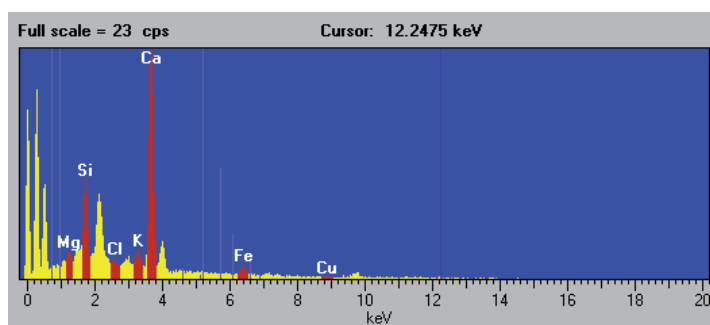
**DESCRIPCIÓ** CAPA POLICROMA VERDA PINTURA SUBJACENT  
**REFERÈNCIA** N16  
**COMENTARIS**

**MICROSCOPIA ÒPTICA**

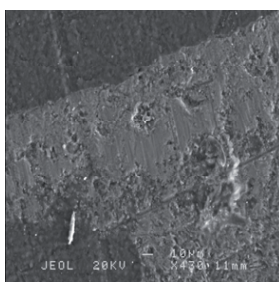


Capa 1 RELLISCAT DE CALÇ  
Capa 2 CAPA POLICROMA VERDA

**MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)**

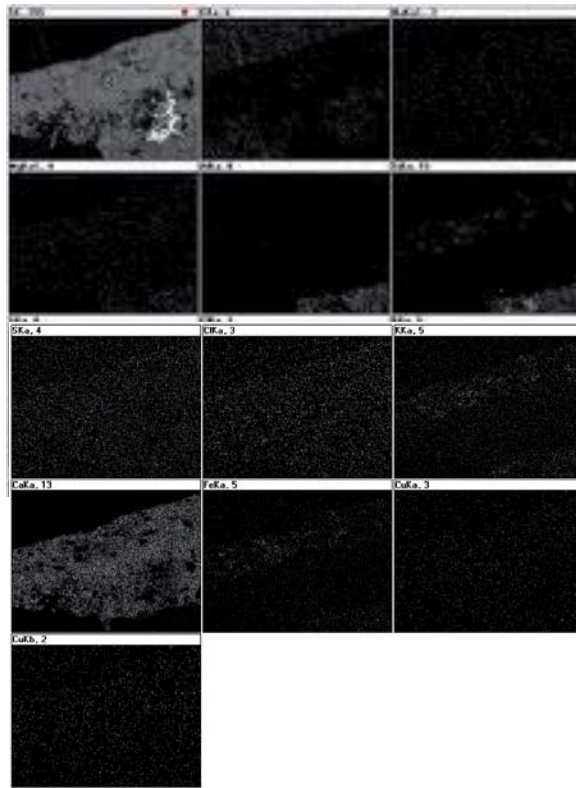


**BSEI X430**

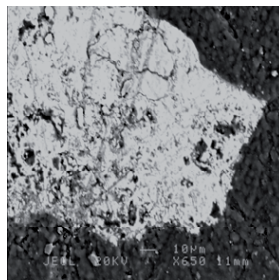


MAPPING EDX X400 / X500

ESTRATIGRAFIA GENERAL

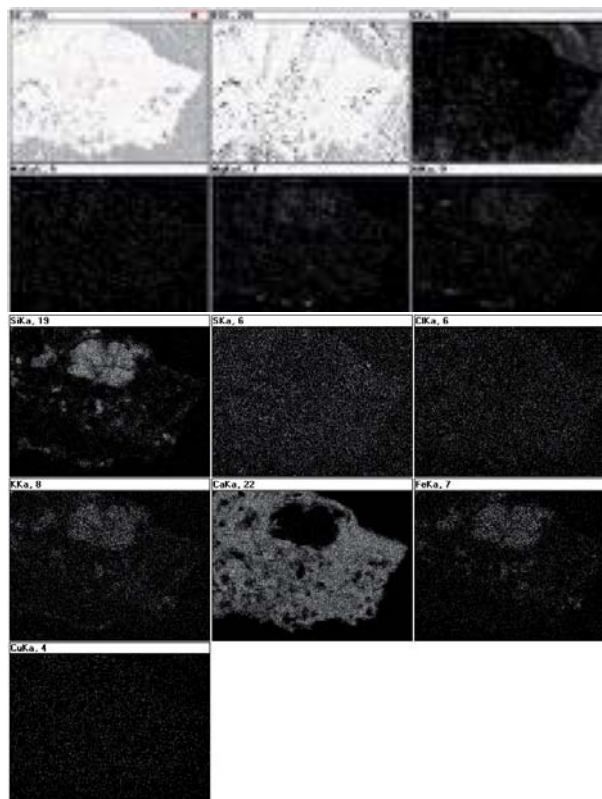


BSEI X650



MAPPING EDX X 650

DETAIL



---

**INTERPRETACIÓ DE RESULTATS**

**Elements fonamentals:** Fe + Al Si Ca

**Interpretació:** Terra Verda (glauconita/celodonita)

silicat ferros/fèrric amb sals de K/Al/ Mg. Amb aquesta composició química tant concreta podem parlar d'un clàssic pigment Terra Verda. Aplicat des de l'Antiguitat es coneix el seu ús durant l'època romana. Pigment sense problemes d'aplicació i molt estable. El seu origen és a Chipre, Verona –Verd de Verona- i Tirol. Així doncs es tracta d'un pigment importat.

---

### 9.3. Anexo 3. Caracterización de la pintura mural de la Sant Miquel de Cruïlles(Girona). Memoria resumida del informe realizado por Luciana Pocostales para el CRCBMGC. 2005-6.

#### INDEX DE MOSTRES

REFERÈNCIA	CR A
DESCRIPCIÓ	PINTURA MURAL TAPIS DE CRUILLES MUR
LOCALITZACIÓ	MONESTIR BENEDICTI DE CRUILLES EMPORDÀ-
UBICACIÓ	MUR E

#### FOTOGRAFIA GENERAL DE L'OBRA ANALITZADA

##### UBICACIÓ DE LES MOSTRES



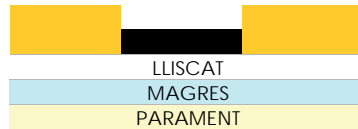
#### CODI DE MOSTRES RESUM

1	■	CRA V1 E	Blanc/vermell	finestra esq
2	■	CRA V1 PV2	Verd	finestra esq
3	■	CRA CF PZ1	Blau	
4	■	CRA CF PO	Ocre groc	
5	■	CRA CF PR	Ocre vermell	
6	■	CRA CF PTS	Terra	
7	■	CRA CJ PZ	Blau	
8	E	CRA LE2	estratigrafia	
9	■	CRA LPN2	Ungla lleó	

## TÈCNICA

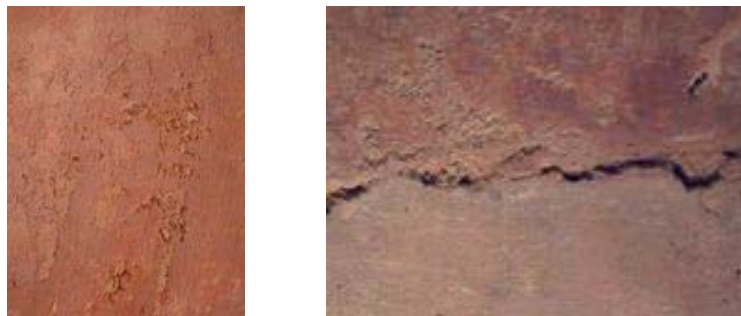
- La extrem semblança entre els lleons apunta a l'ús de plantilles per els lleons, fent reserves a la zona dels animals que s'ajusten amb el color de fons. Per això el vermell esta per sota del limit del cossos dels lleons. Combinació de grans masses de colors al fres i detalls en sec perduts. Pot ser amb aglutinant o amb aigua de calç. Actualment en fase d'estudi amb provetes experimentals.
- El model del dibuix es importat: correspon als tapissos bizantins que s'imiten a través de la pintura mural. Es dona molta atenció a aquesta part de la pintura per sobre del cortinatge i la sanefa que es van fer amb gran precisió –plantilla segurament per a la sanefa, que es presenta amb un ritme molt elegant- però de manera més senzilla.
- Els materials són assequibles a l'àrea geogràfica de l'Empordà i Pirineus. La potència del vermell de fons podria correspondre a un ocre vermell de la zona de Cúmbria, que deu el seu color a la presència de bauxita. No obstant, el rastreig de mostres no dona aquest resultat. L'estudi petrogràfic en fase de desenvolupament i per ara no es demostrable l'origen forània. Si es va importar la plantilla no és estrany que el pigment també fos importat
- La pintura CRA –Lleons- no es comparable amb l'estil de la pintura CRB –sants-, clarament de qualitat tècnica inferior encara que la tècnica és la mateixa: el fresc combinat amb detalls al sec. La factura de la pintura dels sants es més ràpida i menys acurada, de tractament més senzill i menys detalls a posteriori. Aquest fet fa pensar en una possible importació de artesans per confeccionar el mural del tapis, segurament italians per el fet de ser un monestir benedictí, i per el contrari la pintura dels sants sembla pròpia dels pintors locals.

### Estructura de la pintura del mural dels sants



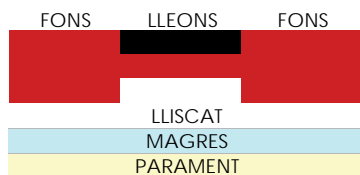
A les fotografies es pot apreciar la rapidesa i transparència del traç i la manca d'una tècnica acurada.

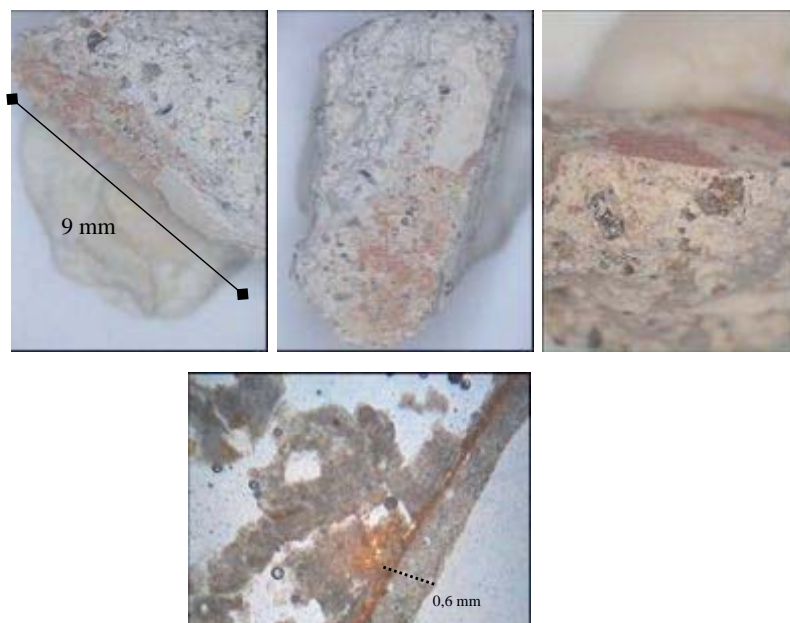




A les fotografies es pot observar una alteració –pendent de recerca encara- i el detall de la jornada entre la sanefa amb grafia i el cortinatge.

Estructura de la pintura del mural del tapis



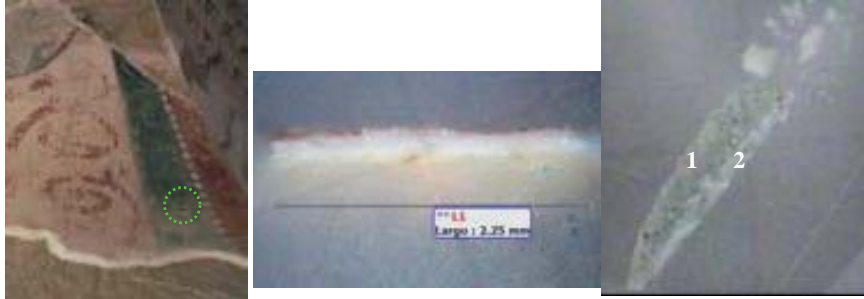


Detall cos de lleó per sobre del vermell amb el qual es solapa a la zona limit. El vermell no esta per sota de tot el cos del lleó, s'ajusta al perímetre de la figura.



Les fotografies corresponen a la sanefa geomètrica de la finestra central on es pot veure una factura més senzilla al fresc directa -transparència de capa

negra sobre ocre-. A la imatge de MOP esta marcada la capa d'ocre groc per sota de la capa negra.



En aquest cas es va aplicar un relliscat de calç que va fer de fons i preparació per a les capes següents. Per la seva estructura sembla un fresc saturat –en fase d'investigació experimental-.

**MATERIALS**

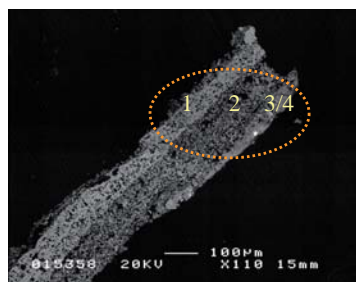
**DESCRIPCIÓ** CAPA POLICROMA VERMELL SOBRE BLANC  
**REFERÈNCIA** CRA V1 E  
**COMENTARIS** BLANC/VERMELL/RELLISCAT

**MICROSCOPIA ÒPTICA**



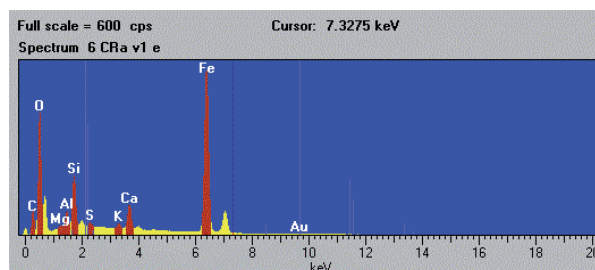
**MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)**

Microfotografia BSEI

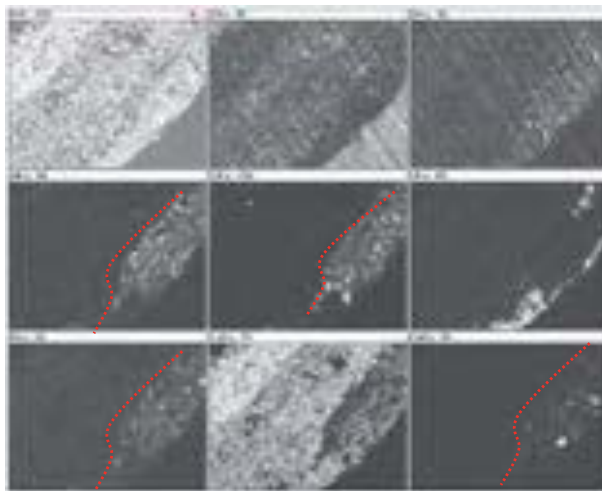


- Capa 1 Relliscat de calç
- Capa 2 Capa policroma blanca
- Capa 3 Capa policroma vermella
- Capa 4 Capa de superfície -.guix-

**Espectre (XEDS)**



### Mappings EDX



Les diverses capes de l'estratigrafia s'interpreten de la següent manera.

- Capa 1      lliscat de calç
- Capa 2      Relliscat de calç base blanca del dibuix geomètric de la pintura
- Capa 3      Capa policroma vermella
- Capa 4      Capa de superfície -guix-

---

### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Fe/Si/Al/K

**Interpretació:** Ocre vermell amb argiles

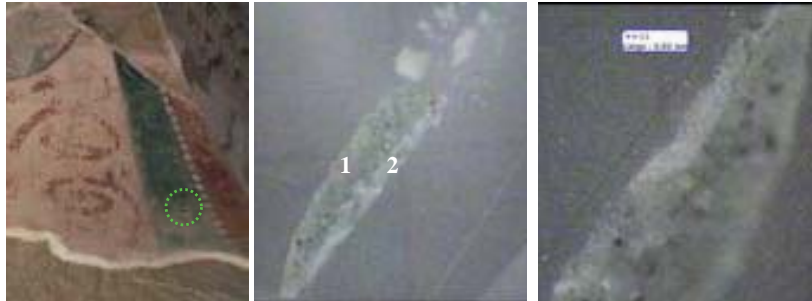
Com es propi de l'ocre vermell, es presenta com argiles ric en hematites, mineral que li dona el seu particular to vermell. Es tracta d'un pigment de qualitat.

Es un pigment molt comú a la conca mediterrània lo que dificulta la seva ubicació geogràfica. No s'ha trobat cap particularitat per delimitar geogràficament el seu origen –es podria tractar del vermell de Cúmbria per la seva intensitat. Aquest pigment te la particularitat de contenir bauxita –òxids de Alumini- que no s'han trobat en els diferents sondejos ni amb MOP i per tant no es pot -.

---

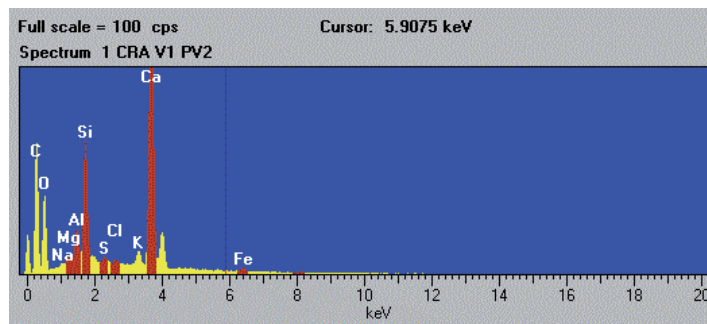
DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA VERDA  
REFERÈNCIA CRA V1 PV2  
COMENTARIS

MICROSCOPIA ÒPTICA

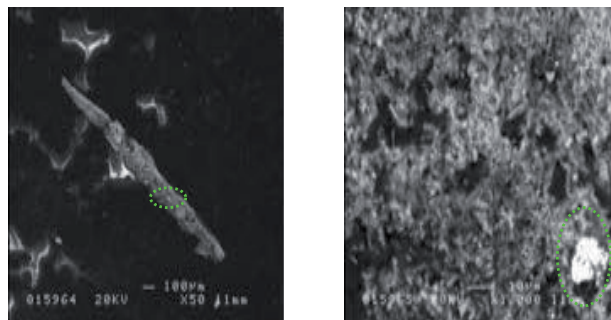


Capa 1 Capa policroma verda  
Capa 2 Lliscat –possible lliscat o relliscat- de calç

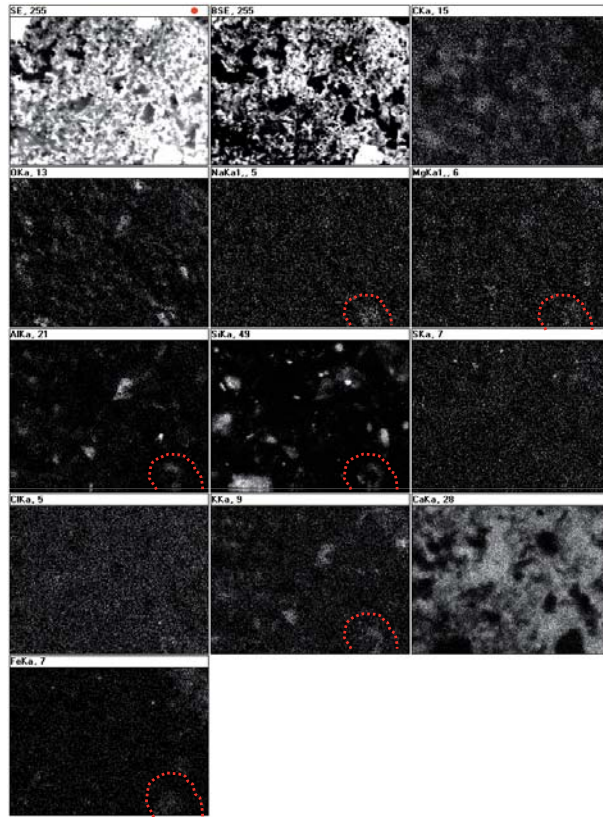
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X50 / X1000



### MAPPING EDX X1000

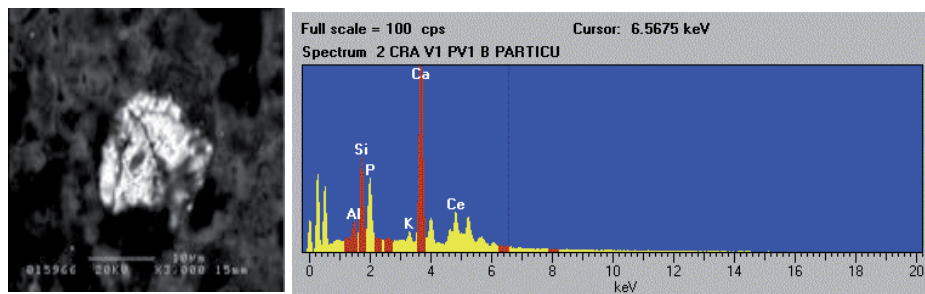


Correspon a la formulació de Terra verda -silicat ferrós i fèrric amb sals de K, Mg i Al-

### ESTUDI PARTÍCULA CONCRETA

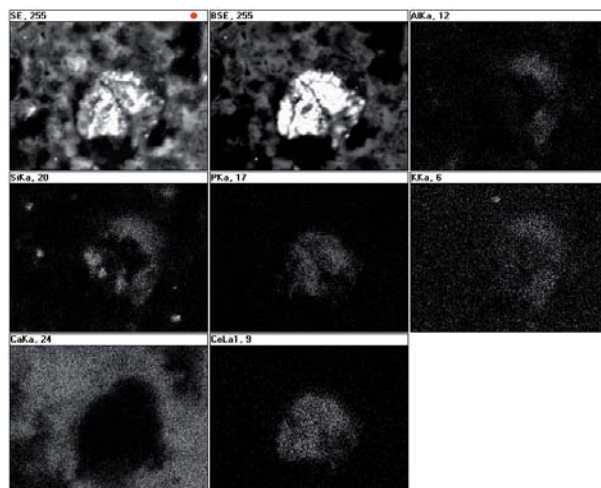
BSEI X3000

ESPECTRE (XEDS)





### MAPPING EDX X3.000



La partícula concreta està formada principalment per cesi i fòsfor i apareix associada a sillicats, encara que sense ferro: és un fosfat ric en cesi propi de roques granítiques gneiss.

---

### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** dos tipus de matèria cromàtica dividida en

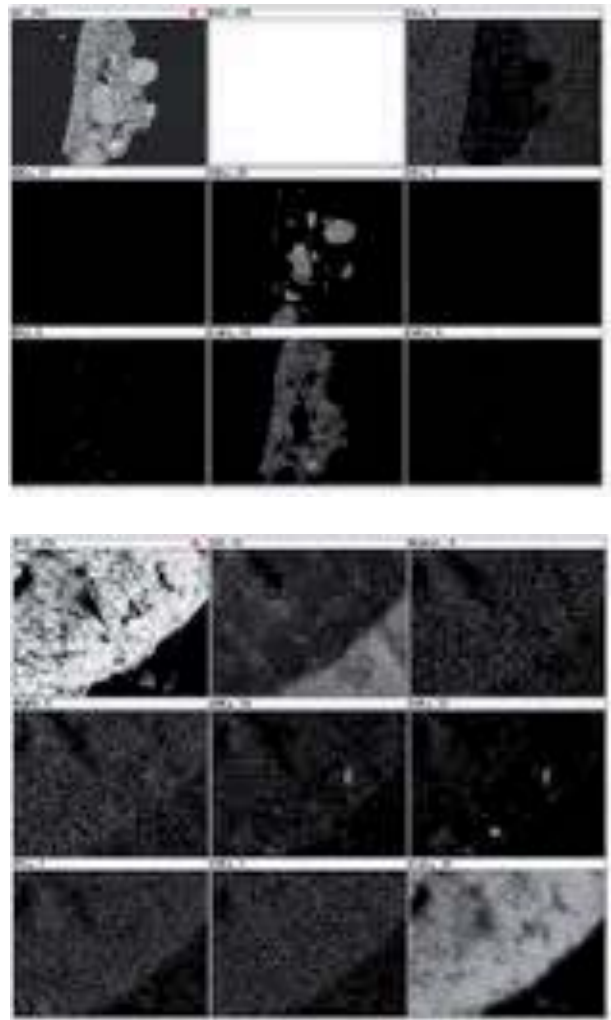
- A Fe/Si/Al, Mg, K
- B Ce/P/S -solapat al mapping-

**Interpretació:** varietat de Terres Verdes

Per la seva composició entra dins l'heterogeni grup de la terra verda - monacita-. Es tracta de restes de pissarres blavoses i verdes barrejades amb altres materials com ara la monacita. Aquest mineral és fonamental per a la interpretació degut a que es tracta d'un cristall -no sedimentari- que es troba dins de sorres granítiques que es formen a partir de gneïsses. És un material que es pot trobar dins el context geològic a l'Empordà i a la zona pirenaica.

---

Mapping EDX100/500



La seva composició es heterogènia amb partícules grans carbonoses i silicats – especialment de Mg-.

**MOP**

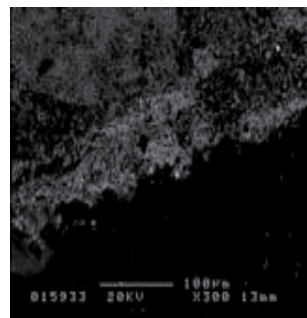
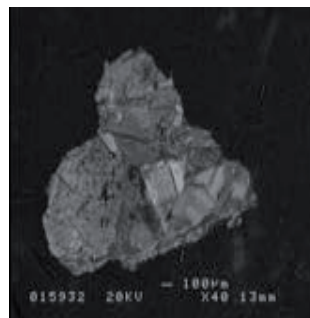
<b>CODI MOSTRA</b>	<b>CRA CF PZ1: pigment blau</b>	
<b>LLUM TRAMESA</b>		
		
X 100		
X 400		
<b>LLUM II</b>		
<b>RELLEU</b>	No	
<b>EXFOLIACIO</b>	No	
<b>PLEOCROISME</b>	No	
		
X 400		
<b>LLUM+</b>		
	Isòtrop	
<b>RETARD <math>n\lambda</math></b>	-	
<b>RETARD <math>n\lambda\frac{1}{4}</math></b>	-	
		
<b>90° <math>\lambda</math></b>		<b>90° <math>\lambda\frac{1}{4}</math></b>
<b>CONCLUSIONS</b>		
Matriu molt fina de partícules de grandària i comportament òptic heterogeni -argila- amb partícules carbonoses de grans dimensions forma definida i isòtrops -carbó i òxids de ferro-.		

DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA OCRE SANEFA  
REFERÈNCIA CRA CF PO  
COMENTARIS

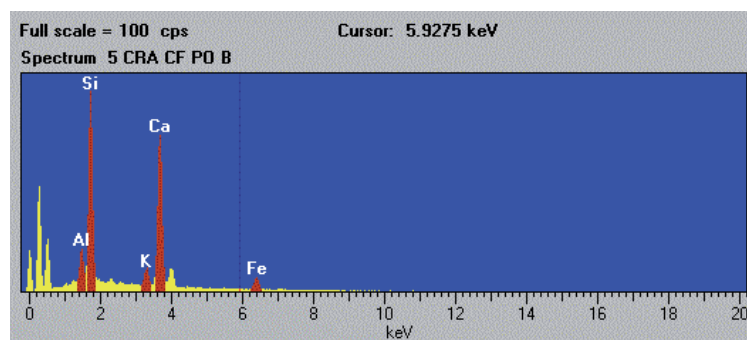
MICROSCOPIA ÒPTICA



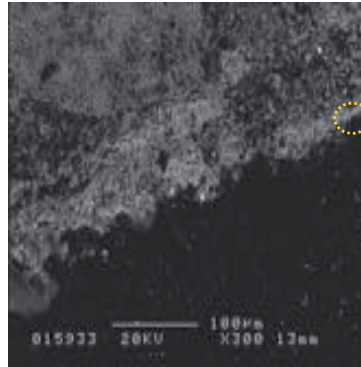
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
BSEI X40 / X300



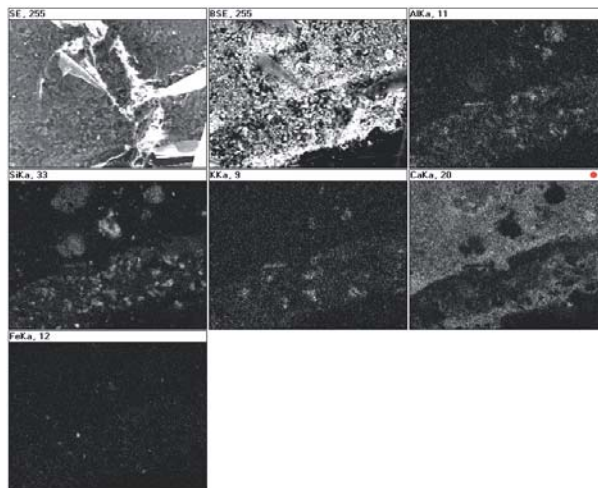
ESPECTRE (XEDS)



BSEI



Mapping EDX X300



---

**INTERPRETACIÓ DE RESULTATS**

Elements fonamentals: Fe/Si/Al/K

Interpretació: Ocre groc

Tradicional pigment ocre groc compostat per argiles i òxid de ferro limonita.

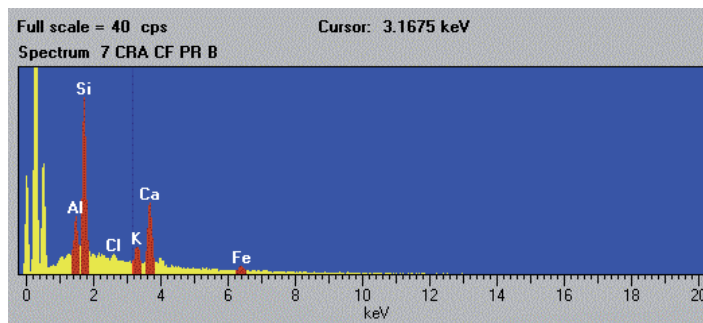
---

DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA VERMELLA  
REFERÈNCIA CRA CF PR  
COMENTARIS

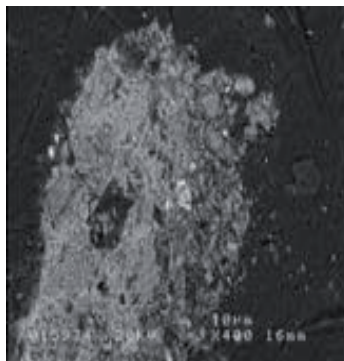
MICROSCOPIA ÒPTICA



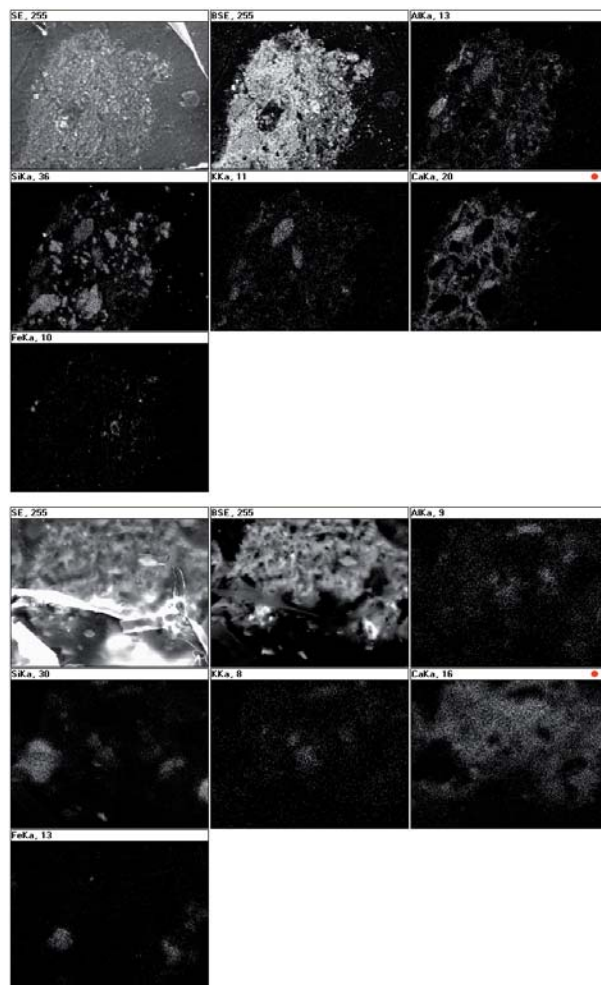
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X 400



### Mapping EDX x400/550



---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: Fe/Si/Al/K

Interpretació: Ocre vermell

Tradicional pigment ocre vermell compostat per argiles i òxid de ferro hematites

---

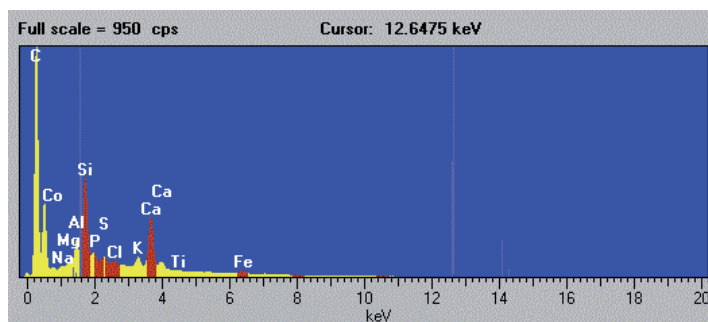


DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA -TERRA NATURAL-  
REFERÈNCIA CRA CF PTS  
COMENTARIS

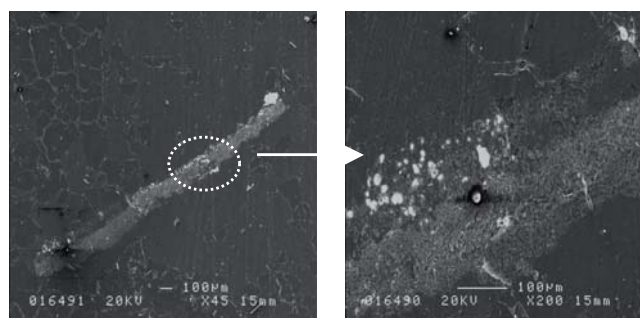
MICROSCOPIA ÒPTICA



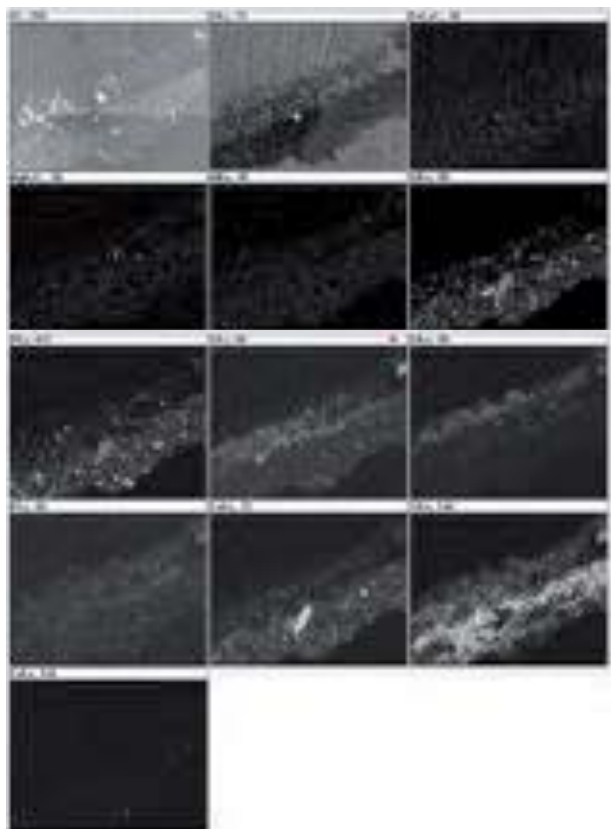
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X100 /x200



#### MAPPING EDX X400



Destaca la partícula romboèdrica composta per Si/Ca/P

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Ti/P/Si/Ca/Fe Cl/Mg/K/S

**Interpretació:** argila metamòrfica blavosa

Argila -silicats diversos- amb minerals heterogenis de tipus metamòrfic o igni rics en Titani i combinats amb feldespats.

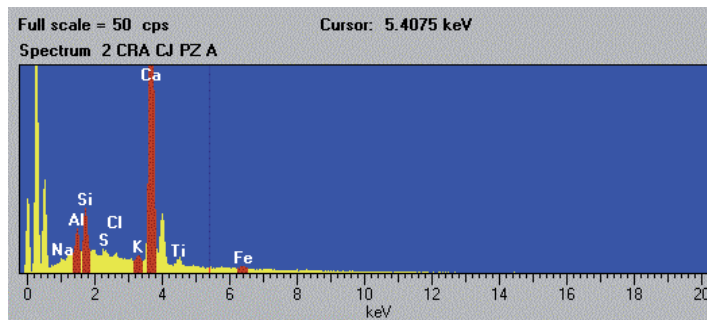
---

DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA BLAVA  
REFERÈNCIA CRA CJ PZ  
COMENTARIS

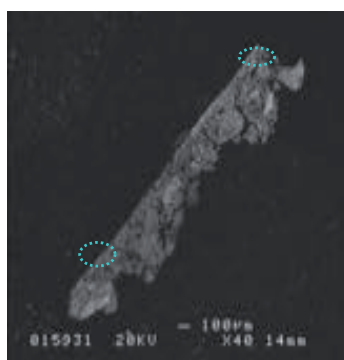
MICROSCOPIA ÒPTICA



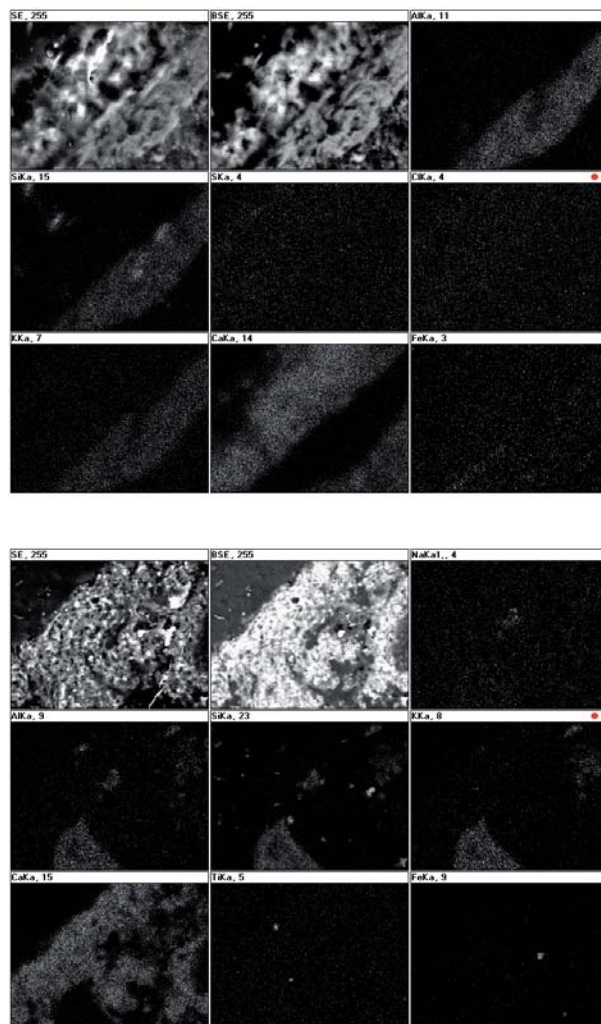
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X40



### Mapping EDX X400 / X500



---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** Si/K/Al/Ti/Fe

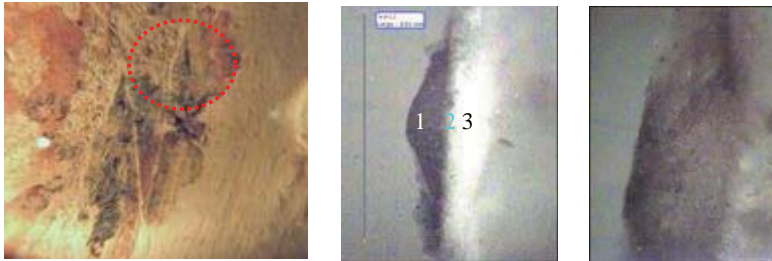
**Interpretació:** Argila metamòrfica blavosa

Fines particules de silicats diversos que desestimen la possibilitat de un pigment blau definit- amb minerals heterogenis de tipus metamòrfic.

---

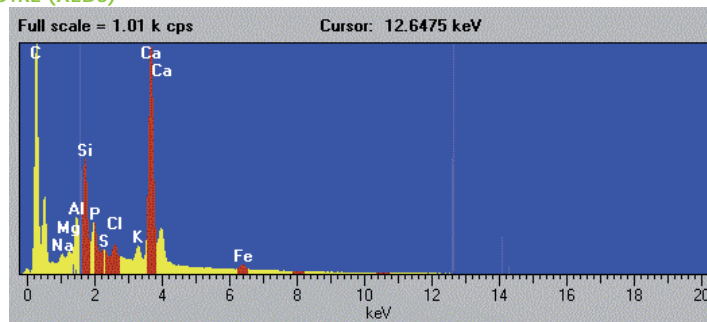
**DESCRIPCIÓ** ESTRATIGRAFIA COS DE LLEÓ  
**REFERÈNCIA** CRA L E2  
**COMENTARIS** ESTUDI ESTRATIGRAFIC

### MICROSCOPIA ÒPTICA

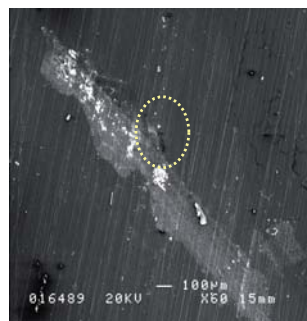


Capa 1      Detalls negres del lleó  
Capa 2      Detalls vermells del lleó  
Capa 3      Relliscat blanc de fons del cos del lleó

### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM) ESPECTRE (XEDS)

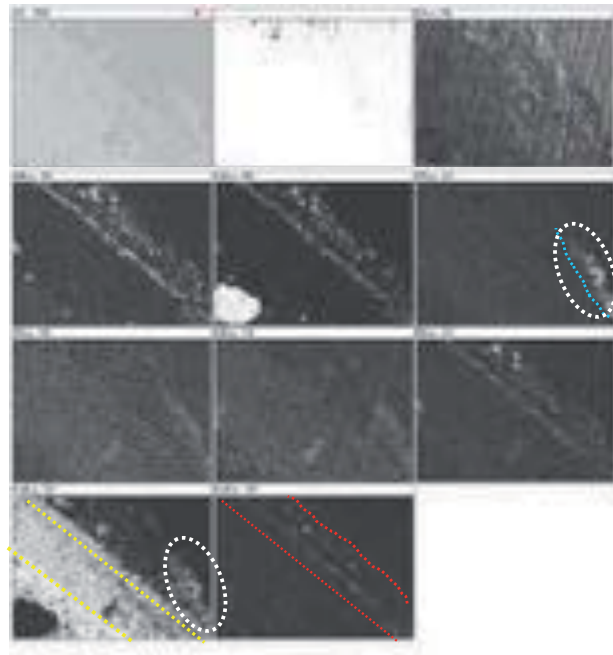


### BSEI X60



MAPPING EDX X400 / X500

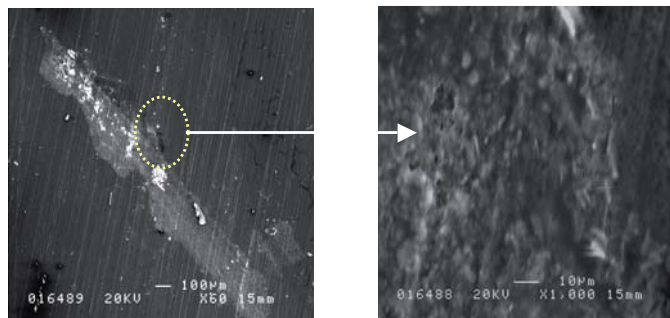
ESTRATIGRAFIA GENERAL



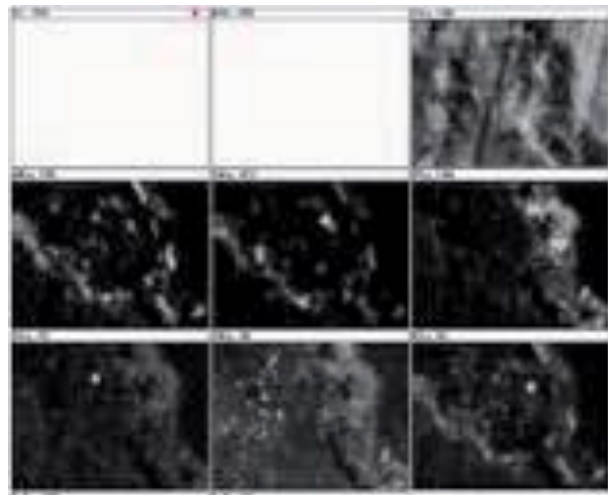
Es pot observar la capa vermella d'òxids de Fe -sobre del puntejat vermell- situada damunt de la capa blanca de reliscat i el lliscat per sota, on es poden veure el fragments més grans d'àrid -ambdues capes delimitades per sota dels puntejats gracs-. Es pot observar clarament com les partícules de calç del lliscat són més grans i definides que al reliscat, que es presenta com una fina matriu molt homogènia. Indica una preselecció de la calç en funció del seu ús. La partícula de P no coincideix amb Ca -no es fosfat càlcic-. Indueix a restes d'un aglutinant de tipus proteínic per el pigment negre -comparar partícules en cercles de puntejat blanc- o pot correspondre a clorofosfat càlcic, apatita possiblement procedent de negre d'ossos



MAPPING EDX X 1000

DETALL NEGRE







Descripción de las fases de carbonato cálcico en la superficie de enlucidos de cal en pasta pintados al fresco.



CODI MOSTRA		CRA L E2	
LLUM TRAMESA			
			
X 100		X400	
LLUM II			
FORMA	Indistingible per el seu infim tamany		
COLOR	negre		
RELLEU	No		
EXFOLIACIO	No		
PLEOCROISME	No		
			
LLUM+			



<b>ISOTROPIA</b>	Isòtrop
<b>RETARDO <math>n\lambda</math></b>	-
<b>RETARDO <math>n\lambda/4</math></b>	-
	
45°	90°
	
90° $\lambda$	90° $\lambda/4$
<b>CONCLUSIONS</b>	
Material negre: completament isòtrop i de partícules molt fines. Degut a la densitat de la capa, la ínfima grandària de la partícula i la resposta òptica es dedueix que es va aglutinar amb un substància orgànica.	

#### INTERPRETACIÓ ESTRATIGRÀFICA

##### Materials:

De interior de la pintura capa exterior.

Carbonat càlcic

Ocre vermell

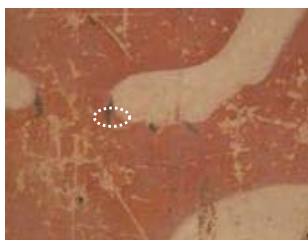
Negre artificial precipitat amb possible aglutinant orgànic. En fase experimental.

##### Interpretació:

Els lleons van ser executats per mitjançant la tècnica de la reserva. Es va aplicar el fons blanc del cos del lleó –Carbonat càlcic- i es va ajustar el perímetre amb el vermell de fons. Es pot deduir a visu que es tracta de fresc. Sobre aquest fons blanc es va anar treballant els detalls –pèl, ulls, nas...- que encara es poden trobar o es poden veure la empremtes en negatiu de la seva presència-. Aquest fet inclinar pensar que es tracta de una tècnica al sec aplicada sobre el fresc en fase avançada de carbonatació.

DESCRIPCIÓ ESTRATIGRAFIA AMB UNGLA  
REFERÈNCIA CRA L PN2  
COMENTARIS

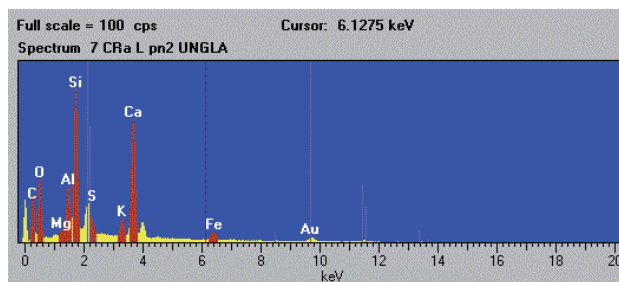
### MICROSCOPIA ÒPTICA



Capa 1 Capa negra -ungla-  
Capa 2 Capa vermella -fons-  
Capa 3 Restes lliscat

### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM/EDS)

#### Espectre(XEDS)



### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: C

Interpretació: Negre de carbó precipitat vegetal

Partícules molt fines i amorfes. El seu aspecte i la petita grandaria de les partícules negres inclina a una aplicació mitjançant aglutinant -que explicaria la massiva pèrdua del detall de les unglas-.

## INDEX DE MOSTRES

REFERÈNCIA	CR B
DESCRIPCIÓ	PINTURA MURAL PERSONATGES DE CRUILLES MUR
LOCALITZACIÓ	MONESTIR BENEDICTI DE CRUILLES EMPORDÀ-
UBICACIÓ	MUR E

## FOTOGRAFIA GENERAL DE L'OBRA ANALITZADA UBICACIÓ DE LES MOSTRES



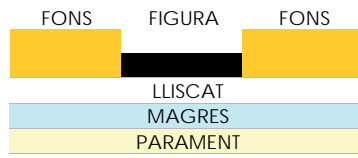
## CODI DE MOSTRES RESUM

1	■	CRB S PNB	BLANC I NEGRE
2	■	CRB S P2	CARNACIO
3	■	CRB S PZ	BLAU
4	■	CRB S M+P7	ESTRATIGRAFIA
5	■	CRB S E1	ESTRATIGRAFIA
6	■	CRB GR PR	OCRE VERMELL
7		MORTER	MORTER DE CALÇ I SORRA DE RIU

---

**TÈCNICA**

Estructura de la pintura



### MATERIALS

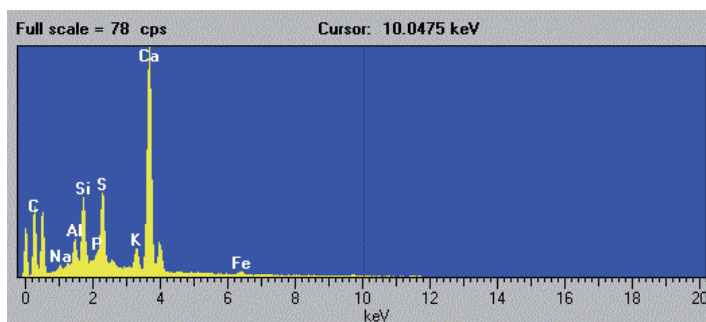
DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA BLANC - NEGRE  
REFERÈNCIA CRB S PNB  
COMENTARIS

### MICROSCOPIA ÒPTICA

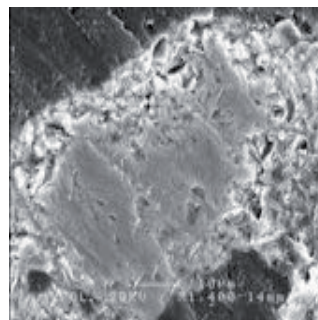
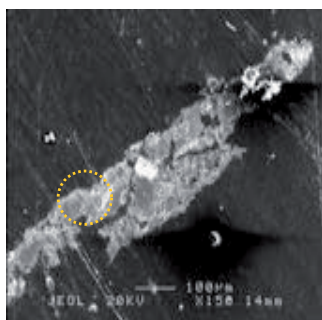


Capa 1 Capa de fons negra  
Capa 2 Capa detall línia blanca

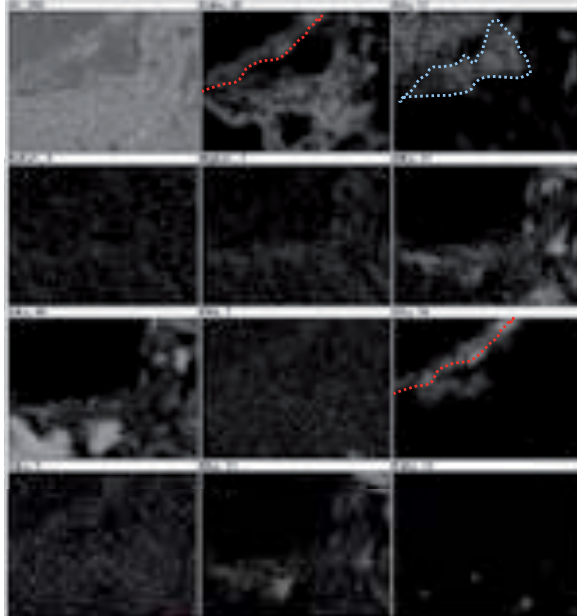
### MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM) ESPECTRE (XEDS)



### BSEI X150/1.400



#### MAPPING EDX X1.500



Partícules de la capa blanca molt fines -puntejat vermell- per sobre de las partícules de la capa negra -més grans-.

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** blanc Ca/S negre C

**Interpretació:**

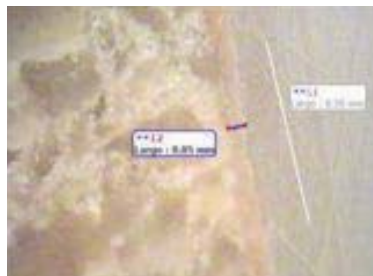
Carbon mineral que per la grandaria de partícula es grafit.

Carbonat càlcic per el blanc. Capa de superfície de sulfat càlcic.

---

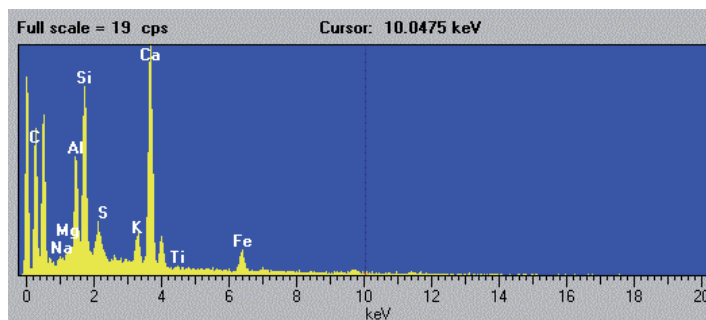
DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA CARNACIO  
REFERÈNCIA CR B S P2  
COMENTARIS

MICROSCOPIA ÒPTICA

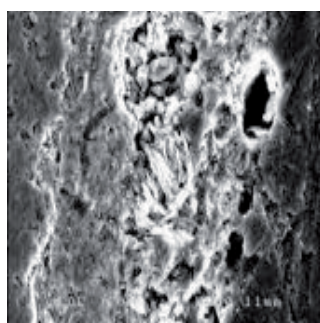


MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)

ESPECTRE (XEDS)

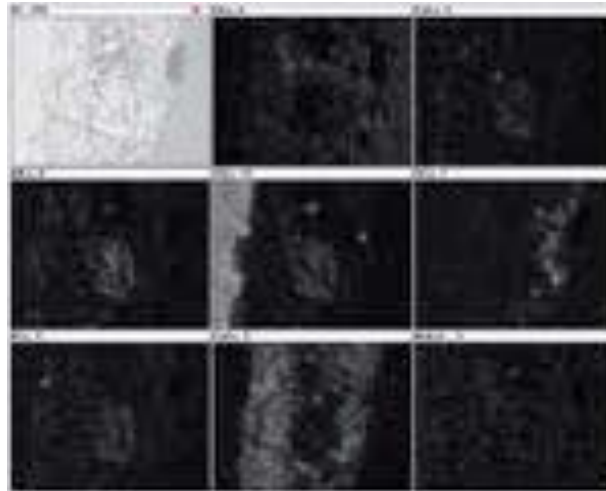


BSEI X250/1.000



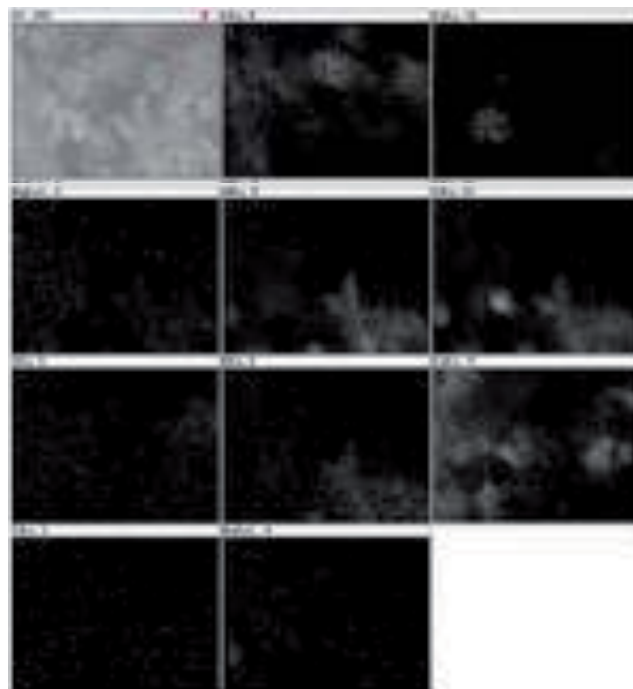


MAPPING EDX X250



Feldespatos rosats. Ortosa barrejada amb minerals de ferro

MAPPING EDX X1.000



INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: Si/Al/K/Na/C i Fe

**Interpretació:** ocre groc

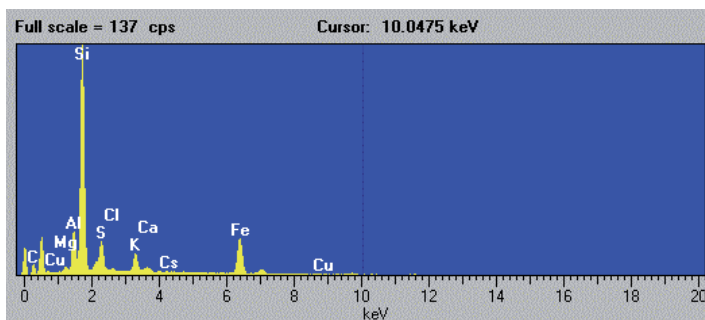
Tradicional ocre groc- segurament barrejat amb una mica de ocre vermell-argiles amb òxid de ferro barrejat en massa amb la calç per tal de aconseguir color carnació de manera senzilla.

DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA BLAVA  
REFERÈNCIA CRB S PZ  
COMENTARIS

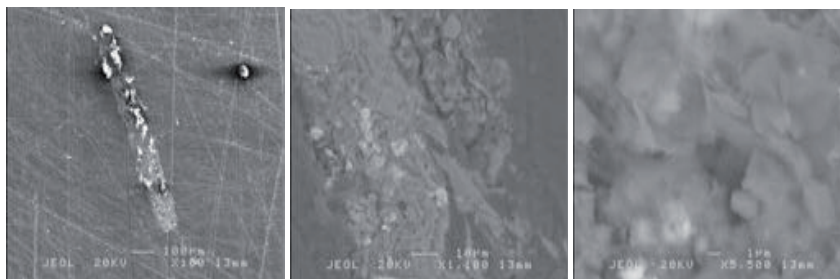
MICROSCOPIA ÒPTICA



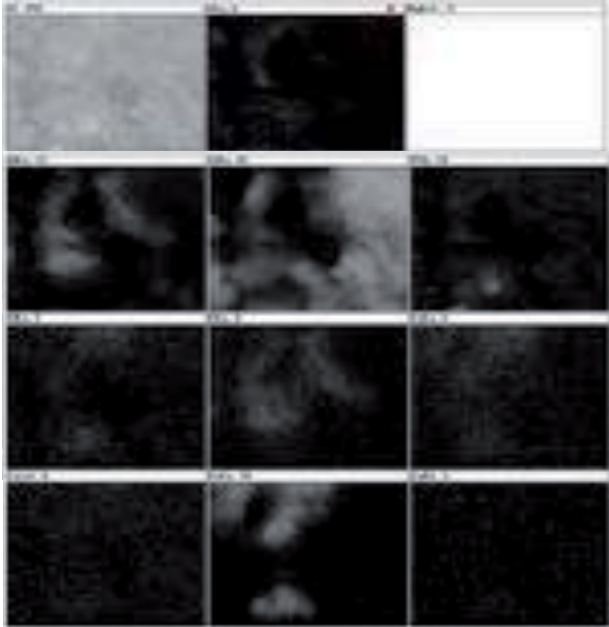
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X100/1.100/5.500

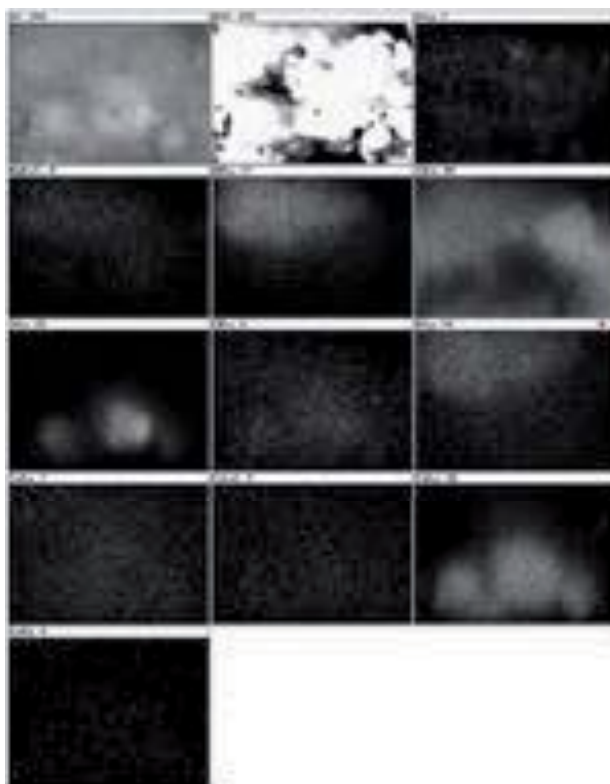


MAPPING EDX X5.500



Minerals de roques metamòrfiques: cianites, glaucofana

BSEI I MAPPINGS X 14.000



---

INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: Si/Al/K/Fe...

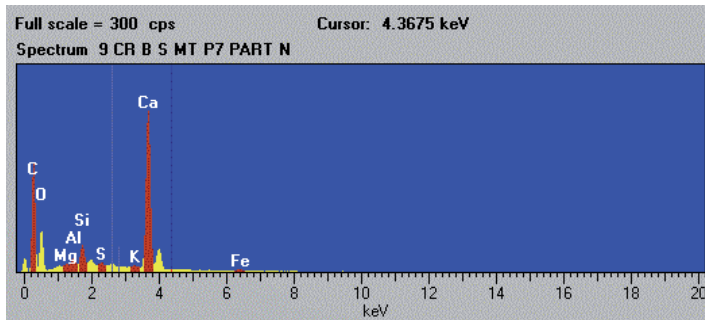
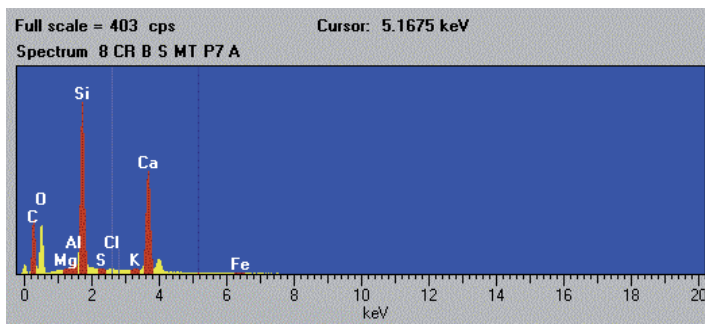
Interpretació:

DESCRIPCIÓ CAPA POLICROMA BLAVA  
REFERÈNCIA CRB S MT+P 7  
COMENTARIS

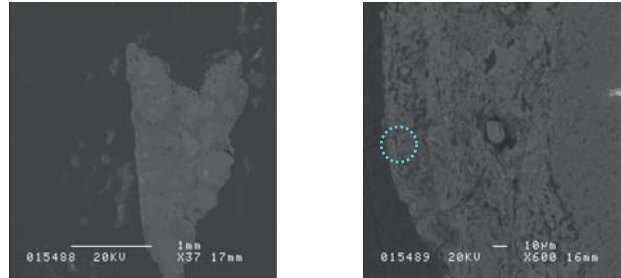
MICROSCOPIA ÒPTICA



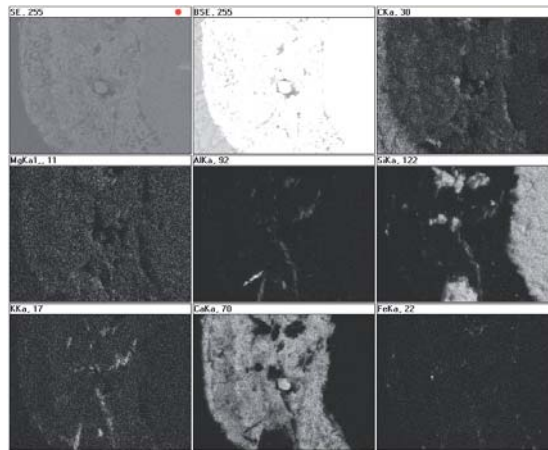
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



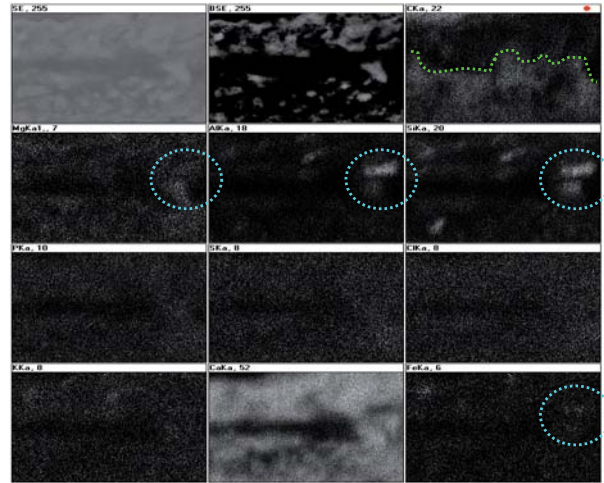
BSEI X500



MAPPING EDX X600 /1.000







Combinació de C més sorra de minerals de roques metamòrfiques mes calç

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

Elements fonamentals: Si/ Al/ C

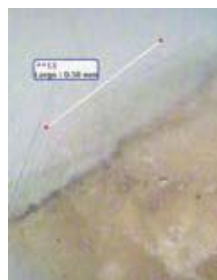
Interpretació: barreja de materials en calç.

Es un color gris blavós confeccionat a base de carbó calç i una terra argila blavosa

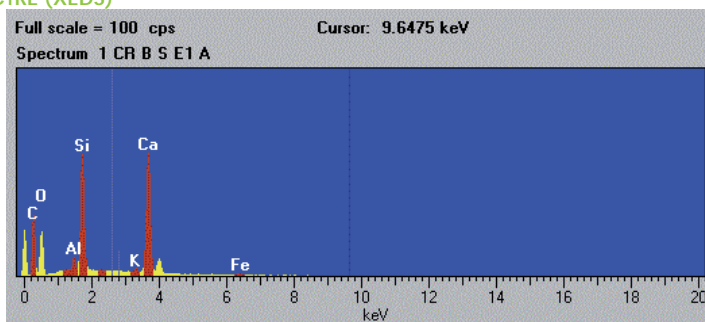
---

DESCRIPCIÓ ESTRATIGRAFIA AUREOLA SANT  
REFERÈNCIA CRB S E1  
COMENTARIS

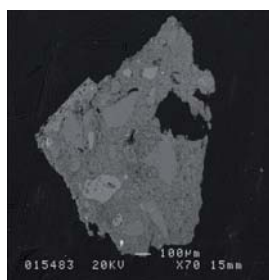
MICROSCOPIA ÒPTICA



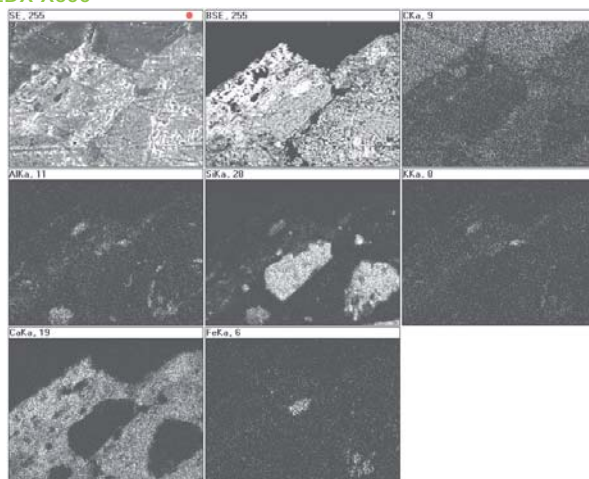
MICROSCOPIA ELECTRÒNICA (SEM)  
ESPECTRE (XEDS)



BSEI X70



#### MAPPING EDX X600



Carboni de la capa superior i ferro de l'òxid de ferro del groc

---

#### INTERPRETACIÓ DE RESULTATS

**Elements fonamentals:** C i Fe/ Si/ Al...

**Interpretació:** Ocre groc i negre de carbó artificial

Sobre el lliscat de calç es presenta una capa de ocre groc tradicional compostat per argiles i òxid de ferro -limonita- i per sobre negre de carbó artificial.

---

## 9.4. Anexo 4. Porcentajes de distribución de tamaño de partículas.

### 9.4.1. Parámetro: área.

AREA unítat: um per sobre de	PASTA									
	0m 0s 1	3m 10s 1	6m 20s 2	9m 30s 3	12m 40s 4	15m 50s 5	19m 6	22m 10s 7	25m 20s 8	28m 30s 9
0.014	14.71%	38.49%	25.34%	38.49%	25.10%	38.92%	16.68%	17.21%	29.37%	14.56%
0.03	6.86%	4.61%	6.66%	7.97%	5.86%	5.53%	4.35%	4.52%	6.14%	4.96%
0.05	7.11%	3.25%	7.40%	4.62%	4.43%	4.29%	6.85%	7.70%	5.71%	6.33%
0.07	9.10%	2.66%	8.65%	5.60%	5.82%	3.90%	8.02%	9.14%	8.45%	9.01%
0.09	2.62%	4.08%	3.16%	1.88%	2.74%	1.50%	2.38%	4.48%	3.48%	3.07%
0.1	32.17%	16.91%	22.68%	11.35%	16.65%	9.73%	25.46%	27.52%	20.53%	27.91%
0.014-0.1 um	72.57%	69.98%	73.89%	69.91%	60.62%	63.67%	63.74%	70.97%	73.68%	65.85%
0.2	12.59%	8.01%	10.87%	5.69%	8.08%	5.49%	12.13%	9.79%	8.29%	11.75%
0.4	4.36%	4.98%	5.52%	3.72%	5.22%	4.11%	7.61%	4.85%	5.08%	7.28%
0.6	1.87%	3.46%	2.36%	2.89%	3.49%	3.81%	4.88%	2.66%	3.21%	4.15%
0.8	1.75%	2.16%	2.02%	3.20%	3.23%	2.19%	2.46%	2.24%	2.35%	2.78%
1	1.25%	1.99%	1.14%	2.18%	2.33%	1.54%	1.85%	1.73%	1.49%	1.70%
1.2	0.50%	1.61%	0.54%	1.48%	1.92%	1.80%	1.45%	1.59%	1.17%	1.37%
1.4	0.75%	1.21%	0.54%	1.20%	2.14%	1.46%	0.77%	0.93%	0.98%	0.98%
1.6	0.50%	0.71%	0.57%	1.08%	1.32%	1.33%	0.97%	0.75%	0.55%	0.72%
1.8	0.00%	0.71%	0.37%	0.89%	1.01%	0.99%	0.56%	0.42%	0.51%	0.59%
0.2-2 um	23.57%	24.82%	23.92%	22.34%	28.75%	22.72%	32.68%	24.95%	23.62%	31.31%
2	0.87%	1.42%	0.91%	4.15%	3.65%	2.36%	1.09%	1.12%	0.55%	0.91%
2.5	0.62%	0.77%	0.50%	0.00%	2.18%	1.84%	0.56%	0.51%	0.39%	0.46%
3	0.62%	0.56%	0.24%	0.00%	0.94%	1.11%	0.44%	0.42%	0.27%	0.49%
3.5	0.37%	0.31%	0.10%	1.45%	0.94%	0.56%	0.28%	0.33%	0.27%	0.20%
4	0.62%	0.43%	0.07%	0.00%	0.60%	0.81%	0.32%	0.19%	0.27%	0.10%
4.5	0.00%	0.12%	0.10%	0.00%	0.45%	0.69%	0.24%	0.05%	0.16%	0.07%
5-7	0.37%	0.80%	0.13%	0.65%	0.23%	1.76%	0.36%	0.42%	0.35%	0.20%
7-9	0.12%	0.25%	0.00%	0.62%	0.34%	1.03%	0.12%	0.51%	0.08%	0.20%
9-11	0.00%	0.00%	0.00%	0.28%	0.08%	0.60%	0.04%	0.23%	0.08%	0.07%
11-13	0.00%	0.12%	0.00%	0.15%	0.15%	0.64%	0.00%	0.14%	0.08%	0.07%
11-15	0.00%	0.09%	0.03%	0.22%	0.19%	0.34%	0.00%	0.19%	0.00%	0.03%
15 +	0.25%	0.06%	0.10%	0.25%	0.90%	1.67%	0.12%	0.37%	0.20%	0.07%
2-15 + um	3.87%	5.19%	2.19%	7.75%	10.64%	13.42%	3.59%	4.48%	2.70%	2.84%
total particules	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.014-0.1 um	72.57%	69.98%	73.89%	69.91%	60.62%	63.87%	63.74%	70.97%	73.68%	65.85%
0.2-2 um	23.57%	24.82%	23.92%	22.34%	28.75%	22.72%	32.68%	24.95%	23.62%	31.31%
2-15+ um	3.87%	5.19%	2.19%	7.75%	10.64%	13.42%	3.59%	4.48%	2.70%	2.84%
0-2 um	96.13%	94.81%	97.81%	92.25%	89.36%	86.59%	96.41%	95.52%	97.30%	97.16%

AREA unitat: um per sobre de	31m 40s		34m 50s		38m		41m 10s		44m 20s		47m 30s		50m 40s		53m 50s		57m		60m 10s		
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
0.014	18.63%	17.15%	19.48%	15.51%	13.44%	13.71%	16.97%	34.68%	40.66%	15.63%											
0.03	6.09%	6.78%	6.28%	5.54%	5.45%	4.57%	4.83%	8.80%	8.43%	5.07%											
0.05	7.97%	7.20%	6.42%	7.15%	5.81%	5.33%	6.91%	6.88%	8.02%	5.58%											
0.07	9.31%	9.86%	8.45%	8.56%	9.70%	8.72%	9.34%	8.66%	8.32%	8.89%											
0.09	3.97%	4.12%	3.1%	2.82%	3.58%	3.20%	3.73%	3.66%	3.12%	3.68%											
0.1	23.65%	28.30%	25.87%	29.70%	31.71%	27.62%	29.95%	23.91%	18.46%	27.55%											
0.014-0.1 um	69.62%	73.41%	69.62%	69.28%	69.69%	63.15%	71.73%	86.56%	87.00%	66.40%											
0.2	10.38%	10.99%	13.51%	12.35%	13.86%	12.54%	10.51%	6.88%	5.50%	12.68%											
0.4	5.98%	5.20%	6.42%	6.22%	5.88%	7.16%	6.02%	2.55%	2.93%	6.49%											
0.6	3.51%	3.12%	3.14%	3.79%	3.27%	4.76%	3.18%	1.44%	1.26%	3.72%											
0.8	2.55%	1.87%	2.03%	2.67%	1.82%	2.87%	1.92%	0.63%	0.67%	2.48%											
1	1.66%	1.17%	1.19%	1.26%	0.99%	1.74%	1.30%	0.43%	0.52%	2.15%											
1.2	1.24%	0.83%	0.87%	0.79%	0.57%	1.46%	0.75%	0.29%	0.33%	0.95%											
1.4	0.78%	0.50%	0.45%	0.53%	0.62%	0.85%	0.65%	0.14%	0.26%	0.66%											
1.6	0.74%	0.25%	0.38%	0.44%	0.31%	0.71%	0.41%	0.10%	0.19%	0.77%											
1.8	0.53%	0.33%	0.42%	0.34%	0.36%	0.61%	0.27%	0.05%	0.22%	0.62%											
0.2-2 um	27.37%	24.26%	28.42%	28.39%	27.66%	32.70%	25.02%	12.51%	11.86%	30.50%											
2	1.03%	0.75%	0.42%	0.73%	0.73%	0.99%	0.86%	0.34%	0.41%	0.91%											
2.5	0.42%	0.25%	0.42%	0.49%	0.26%	0.47%	0.38%	0.19%	0.11%	0.62%											
3	0.35%	0.17%	0.28%	0.24%	0.16%	0.47%	0.38%	0.05%	0.19%	0.22%											
3.5	0.11%	0.37%	0.14%	0.19%	0.21%	0.33%	0.24%	0.00%	0.04%	0.26%											
4	0.11%	0.17%	0.10%	0.10%	0.36%	0.09%	0.17%	0.10%	0.15%	0.18%											
4.5	0.04%	0.04%	0.10%	0.10%	0.00%	0.33%	0.07%	0.00%	0.04%	0.18%											
5-7	0.21%	0.17%	0.17%	0.05%	0.21%	0.71%	0.48%	0.14%	0.04%	0.26%											
7-9	0.11%	0.08%	0.03%	0.15%	0.16%	0.42%	0.17%	0.05%	0.04%	0.18%											
9-11	0.07%	0.00%	0.21%	0.10%	0.10%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.07%											
11-13	0.11%	0.04%	0.03%	0.00%	0.05%	0.09%	0.03%	0.00%	0.04%	0.04%											
11-15	0.11%	0.04%	0.00%	0.00%	0.05%	0.05%	0.17%	0.00%	0.04%	0.07%											
15 +	0.35%	0.25%	0.03%	0.19%	0.36%	0.19%	0.27%	0.05%	0.04%	0.07%											
2-15 + um	3.01%	2.33%	1.96%	2.33%	2.63%	4.15%	3.25%	0.91%	1.11%	3.06%											
total particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%											
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%											
0.014-0.1 um	69.62%	73.41%	69.62%	69.28%	69.69%	63.15%	71.73%	86.56%	87.00%	66.40%											
0.2-2 um	27.37%	24.26%	28.42%	28.39%	27.66%	32.70%	25.02%	12.51%	11.86%	30.50%											
2-15+ um	3.01%	2.33%	1.96%	2.33%	2.65%	4.15%	3.25%	0.91%	1.11%	3.06%											
0-2 um	96.99%	97.67%	98.04%	97.67%	97.95%	95.85%	96.75%	99.09%	98.89%	96.90%											

AREA unilat: um per sobre de	1H 10m	1H 20m	1H 30m	1H 40m	1H 50m	2H	2H 30m	3H	4H	5H
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0.014	16,91%	16,21%	18,04%	23,91%	15,38%	12,91%	19,66%	19,78%	16,45%	18,22%
0.03	6,39%	4,83%	4,71%	7,24%	4,85%	4,90%	7,57%	6,90%	6,24%	6,23%
0.05	6,63%	7,18%	6,20%	8,95%	6,07%	5,85%	8,14%	6,53%	8,27%	6,68%
0.07	9,95%	9,66%	9,16%	10,19%	8,08%	9,09%	10,80%	11,34%	9,97%	10,25%
0.09	3,40%	3,69%	3,13%	3,95%	4,23%	3,37%	3,46%	3,27%	4,70%	3,18%
0.1	26,21%	28,67%	29,28%	23,32%	31,70%	30,26%	26,03%	25,77%	26,66%	27,17%
0.014-0.1 um	69,60%	70,28%	70,50%	77,56%	70,31%	66,37%	75,66%	73,59%	72,29%	71,73%
0.2	11,81%	11,89%	11,02%	7,36%	13,20%	12,84%	10,64%	8,71%	10,86%	10,12%
0.4	5,50%	6,99%	6,80%	3,42%	5,85%	7,12%	5,16%	5,44%	5,43%	4,60%
0.6	3,16%	2,80%	3,02%	2,77%	3,12%	3,43%	2,42%	2,27%	2,84%	2,85%
0.8	2,35%	1,78%	1,81%	1,77%	1,89%	2,86%	1,37%	0,91%	2,19%	2,33%
1	1,13%	1,27%	1,04%	1,47%	0,84%	1,84%	0,64%	1,45%	1,13%	1,10%
1.2	0,89%	0,95%	1,15%	0,88%	0,39%	1,02%	0,97%	1,09%	1,05%	1,23%
1.4	0,49%	0,95%	0,66%	1,12%	0,72%	0,64%	0,40%	0,54%	0,81%	0,97%
1.6	0,40%	0,32%	0,44%	0,47%	0,28%	0,57%	0,24%	0,73%	0,49%	0,45%
1.8	0,32%	0,19%	0,55%	0,41%	0,28%	0,45%	0,48%	0,82%	0,24%	0,39%
0.2-2 um	26,05%	27,15%	26,48%	19,67%	26,57%	30,17%	22,32%	21,96%	25,04%	24,06%
2	1,62%	0,45%	0,60%	0,82%	0,50%	0,95%	0,24%	1,36%	0,65%	1,10%
2.5	0,73%	0,32%	0,49%	0,41%	0,56%	0,57%	0,24%	0,64%	0,73%	0,32%
3	0,49%	0,25%	0,38%	0,47%	0,06%	0,06%	0,32%	0,27%	0,08%	0,71%
3.5	0,24%	0,51%	0,11%	0,29%	0,39%	0,25%	0,24%	0,27%	0,08%	0,13%
4	0,08%	0,06%	0,05%	0,12%	0,22%	0,00%	0,08%	0,36%	0,24%	0,06%
4.5	0,08%	0,06%	0,16%	0,06%	0,11%	0,13%	0,00%	0,27%	0,08%	0,13%
5-7	0,24%	0,51%	0,33%	0,18%	0,50%	0,06%	0,16%	0,18%	0,49%	0,45%
7-9	0,00%	0,06%	0,27%	0,06%	0,11%	0,32%	0,24%	0,27%	0,00%	0,65%
9-11	0,08%	0,00%	0,11%	0,00%	0,06%	0,13%	0,16%	0,09%	0,00%	0,19%
11-13	0,24%	0,06%	0,00%	0,06%	0,00%	0,06%	0,00%	0,09%	0,16%	0,00%
11-15	0,16%	0,06%	0,11%	0,00%	0,22%	0,06%	0,00%	0,00%	0,08%	0,13%
15 +	0,24%	0,19%	0,33%	0,24%	0,17%	0,19%	0,32%	0,54%	0,00%	0,32%
2-15 + um	4,21%	2,54%	2,96%	2,71%	3,12%	2,80%	2,01%	4,36%	2,59%	4,22%
total Particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
control	99,8%	99,9%	99,9%	99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%
0.014-0.1 um	69,50%	70,25%	70,50%	77,56%	70,31%	66,37%	75,66%	73,59%	72,29%	71,73%
0.2- 2 um	26,05%	27,15%	26,48%	19,67%	26,57%	30,17%	22,32%	21,96%	25,04%	24,06%
2-15+ um	4,21%	2,54%	2,96%	2,71%	3,12%	2,80%	2,01%	4,36%	2,59%	4,22%
0-2 um	95,55%	97,39%	96,99%	97,23%	96,88%	97,14%	97,99%	95,55%	97,33%	95,78%

AREA unat: um per sobre de	6H		7H		8H		9H		10H		11H		12H		13H		14H		15H	
	30	31	32	33	34	35	36	36'	37	38										
0.014	14,28%	23,78%	14,14%	18,54%	13,78%	27,45%	15,83%	18,43%	15,67%	15,64%										
0.03	4,03%	6,46%	4,21%	6,74%	4,67%	10,31%	5,51%	6,49%	5,77%	6,06%										
0.05	6,30%	8,38%	5,58%	8,17%	7,57%	7,54%	8,42%	8,36%	7,24%	6,42%										
0.07	10,03%	10,17%	9,10%	9,61%	9,67%	12,52%	11,47%	9,58%	11,39%	10,70%										
0.09	3,15%	4,16%	3,03%	3,99%	3,71%	4,88%	5,25%	3,73%	4,77%	4,08%										
0.1	34,63%	25,69%	31,02%	28,75%	33,12%	27,30%	37,62%		33,80%	32,60%										
0.014-0.1 um	72,40%	78,64%	67,07%	75,80%	72,52%	89,99%	84,10%		78,64%	75,50%										
0.2	12,81%	8,15%	13,41%	11,64%	11,68%	4,88%	8,86%	8,12%	10,39%	10,70%										
0.4	5,86%	4,67%	7,14%	4,70%	5,64%	1,71%	2,98%	6,41%	4,43%	5,04%										
0.6	2,27%	3,20%	3,42%	2,23%	3,22%	1,11%	1,42%	2,44%	1,89%	2,95%										
0.8	1,54%	1,29%	2,30%	1,63%	1,69%	0,80%	0,74%	1,87%	0,92%	2,04%										
1	1,10%	0,51%	1,37%	0,78%	0,73%	0,45%	0,41%	1,06%	0,81%	1,12%										
1.2	0,37%	0,84%	1,27%	0,60%	0,40%	0,45%	0,22%	1,70%	0,62%	0,46%										
1.4	0,73%	0,56%	0,54%	0,40%	0,64%	0,05%	0,07%	0,81%	0,42%	0,46%										
1.6	0,51%	0,22%	0,64%	0,40%	0,40%	0,05%	0,07%	0,65%	0,31%	0,20%										
1.8	0,37%	0,11%	0,20%	0,40%	0,48%	0,05%	0,04%	0,65%	0,31%	0,20%										
0.2-2 um	25,55%	19,56%	30,28%	22,17%	24,90%	9,55%	14,82%	23,70%	20,09%	23,18%										
2	0,44%	0,51%	0,68%	0,24%	0,40%	0,05%	0,30%	0,89%	0,23%	0,31%										
2.5	0,44%	0,39%	0,49%	0,32%	0,73%	0,05%	0,19%	1,14%	0,19%	0,51%										
3	0,07%	0,22%	0,29%	0,20%	0,32%	0,10%	0,15%	0,41%	0,15%	0,10%										
3.5	0,15%	0,00%	0,24%	0,12%	0,08%	0,00%	0,07%	0,57%	0,19%	0,00%										
4	0,15%	0,11%	0,20%	0,04%	0,08%	0,00%	0,07%	0,24%	0,08%	0,10%										
4.5	0,00%	0,00%	0,10%	0,08%	0,00%	0,10%	0,07%	0,24%	0,12%	0,05%										
5-7	0,29%	0,17%	0,20%	0,16%	0,40%	0,10%	0,04%	0,32%	0,23%	0,10%										
7-9	0,07%	0,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,41%	0,00%	0,05%										
9-11	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,16%	0,05%	0,04%	0,32%	0,00%	0,05%										
11-13	0,00%	0,06%	0,15%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,32%	0,04%	0,00%										
11-15	0,15%	0,00%	0,05%	0,04%	0,08%	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%										
15 +	0,29%	0,11%	0,10%	0,12%	0,16%	0,00%	0,04%	1,06%	0,00%	0,05%										
2-15 + um	2,05%	1,74%	2,50%	1,40%	2,42%	0,49%	1,08%	6,01%	1,23%	1,32%										
total Particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%										
control	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%										
0.014-0.1 um	72,40%	78,64%	67,07%	75,80%	72,52%	89,99%	84,10%	23,70%	78,64%	75,50%										
0.2- 2 um	25,55%	19,56%	30,28%	22,77%	24,90%	9,55%	14,82%	6,01%	20,09%	23,18%										
2-15+ um	2,05%	1,74%	2,50%	1,40%	2,42%	0,45%	1,08%	1,23%	1,23%	1,32%										
0-2 um	97,95%	98,20%	97,36%	98,56%	97,42%	99,55%	98,92%	98,73%	98,73%	98,69%										



AREA unilat: um per sobre de	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	24H	48H
	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0.014	16,46%	15,27%	17,33%	17,06%	17,92%	18,84%	19,73%	15,38%	15,94%	24,72%
0.03	6,41%	6,27%	6,25%	6,47%	7,20%	7,04%	7,38%	5,81%	5,48%	8,23%
0.05	7,15%	8,31%	8,72%	7,66%	8,10%	8,19%	8,15%	7,89%	8,37%	8,59%
0.07	12,99%	10,71%	10,43%	10,75%	11,32%	9,68%	11,28%	11,18%	10,56%	12,52%
0.09	5,94%	4,28%	4,38%	4,93%	4,20%	3,59%	3,38%	3,77%	3,64%	4,85%
0.1	35,65%	33,02%	32,95%	34,78%	34,35%	29,92%	26,40%	31,01%	35,87%	24,60%
0.014-0.1 um	84,60%	77,85%	80,05%	81,64%	83,09%	77,22%	76,32%	75,04%	79,87%	83,51%
0.2	8,83%	10,79%	10,08%	9,35%	8,55%	10,41%	9,74%	11,50%	11,11%	6,00%
0.4	3,10%	4,28%	4,03%	3,58%	3,56%	4,60%	4,87%	5,45%	3,09%	2,94%
0.6	1,10%	2,40%	1,96%	1,89%	1,99%	2,69%	2,67%	3,04%	1,44%	1,79%
0.8	0,58%	1,18%	1,11%	1,04%	0,82%	1,04%	1,74%	1,40%	0,85%	1,43%
1	0,32%	0,73%	0,60%	0,50%	0,37%	0,94%	0,97%	0,88%	0,65%	0,99%
1.2	0,32%	0,53%	0,35%	0,40%	0,11%	0,45%	0,67%	0,60%	0,70%	0,44%
1.4	0,11%	0,49%	0,20%	0,15%	0,15%	0,35%	0,56%	0,32%	0,35%	0,36%
1.6	0,21%	0,33%	0,30%	0,15%	0,19%	0,31%	0,36%	0,32%	0,15%	0,32%
1.8	0,11%	0,20%	0,15%	0,05%	0,11%	0,21%	0,36%	0,32%	0,10%	0,12%
0.2-2 um	14,67%	20,93%	18,79%	17,11%	15,86%	20,97%	21,94%	23,84%	18,44%	14,39%
2	0,21%	0,41%	0,10%	0,25%	0,26%	0,42%	0,46%	0,32%	0,45%	0,64%
2.5	0,05%	0,08%	0,20%	0,15%	0,15%	0,35%	0,26%	0,12%	0,15%	0,20%
3	0,11%	0,16%	0,15%	0,15%	0,15%	0,10%	0,31%	0,12%	0,20%	0,24%
3.5	0,00%	0,00%	0,05%	0,10%	0,04%	0,24%	0,26%	0,08%	0,05%	0,16%
4	0,00%	0,00%	0,05%	0,15%	0,04%	0,07%	0,05%	0,04%	0,00%	0,08%
4.5	0,00%	0,08%	0,10%	0,00%	0,00%	0,03%	0,05%	0,00%	0,10%	0,08%
5-7	0,11%	0,45%	0,15%	0,15%	0,15%	0,14%	0,05%	0,24%	0,20%	0,24%
7-9	0,00%	0,04%	0,00%	0,10%	0,07%	0,14%	0,05%	0,08%	0,25%	0,08%
9-11	0,05%	0,00%	0,15%	0,05%	0,11%	0,03%	0,00%	0,04%	0,00%	0,08%
11-13	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,10%	0,05%	0,00%	0,10%	0,16%
11-15	0,00%	0,00%	0,10%	0,05%	0,00%	0,03%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%
15 +	0,21%	0,00%	0,10%	0,00%	0,07%	0,03%	0,15%	0,00%	0,10%	0,00%
2-15 + um	0,74%	1,22%	1,16%	1,19%	1,05%	1,71%	1,69%	1,12%	1,59%	1,95%
total Particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
control	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	100,0%	99,9%	99,8%
0.014-0.1 um	84,60%	77,85%	80,05%	81,64%	83,09%	77,22%	76,32%	75,04%	79,87%	83,51%
0.2- 2 um	14,67%	20,93%	18,79%	17,11%	15,86%	20,97%	21,94%	23,84%	18,44%	14,39%
2-15+ um	0,74%	1,22%	1,16%	1,19%	1,05%	1,71%	1,69%	1,12%	1,59%	1,95%
0-2 um	99,26%	98,78%	98,84%	98,76%	98,95%	98,19%	98,25%	98,88%	98,31%	97,89%

AREA unitat: um per sobre de	3D		4D		5D		6D		7D		9D		11D		13D		15D		17D	
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
0.014	15.95%	21.06%	18.36%	16.18%	18.03%	14.04%	17.10%	18.55%	17.68%	25.58%										
0.03	5.55%	7.42%	7.64%	5.97%	7.34%	4.93%	6.32%	6.02%	6.64%	7.69%										
0.05	7.82%	7.91%	6.98%	7.19%	7.83%	5.77%	6.56%	8.96%	8.52%	8.20%										
0.07	12.53%	11.74%	11.94%	10.17%	11.44%	9.75%	11.85%	11.00%	12.93%	11.23%										
0.09	4.49%	4.03%	5.11%	4.08%	5.01%	4.02%	4.40%	4.34%	4.94%	4.30%										
0.1	31.41%	30.18%	32.42%	30.98%	34.52%	36.20%	35.69%	34.71%	35.26%	26.65%										
0.014-0.1 um	77.74%	82.34%	82.45%	74.57%	84.17%	74.72%	81.92%	83.57%	85.97%	83.64%										
0.2	11.51%	9.07%	8.09%	12.28%	8.99%	12.90%	9.04%	8.24%	8.33%	7.33%										
0.4	4.44%	3.25%	2.63%	5.93%	3.03%	5.50%	3.00%	3.21%	2.34%	3.00%										
0.6	2.18%	1.89%	1.92%	2.56%	1.20%	2.73%	2.20%	1.40%	1.47%	1.66%										
0.8	1.02%	0.82%	0.86%	1.11%	0.62%	1.48%	0.94%	1.04%	0.38%	0.91%										
1	0.67%	0.39%	0.76%	0.69%	0.41%	0.61%	0.47%	0.54%	0.38%	0.75%										
1.2	0.84%	0.24%	0.35%	0.29%	0.29%	0.38%	0.42%	0.59%	0.26%	0.32%										
1.4	0.40%	0.34%	0.46%	0.50%	0.08%	0.30%	0.37%	0.27%	0.23%	0.20%										
1.6	0.09%	0.10%	0.30%	0.31%	0.33%	0.19%	0.14%	0.14%	0.08%	0.20%										
1.8	0.09%	0.15%	0.20%	0.19%	0.04%	0.19%	0.33%	0.18%	0.08%	0.12%										
0.2-2 um	21.24%	16.25%	15.58%	24.09%	15.00%	24.29%	16.91%	15.61%	13.54%	14.47%										
2	0.27%	0.39%	0.61%	0.38%	0.25%	0.34%	0.37%	0.05%	0.15%	0.47%										
2.5	0.09%	0.24%	0.25%	0.23%	0.04%	0.15%	0.19%	0.23%	0.08%	0.32%										
3	0.18%	0.15%	0.20%	0.15%	0.08%	0.04%	0.09%	0.18%	0.04%	0.12%										
3.5	0.09%	0.15%	0.10%	0.08%	0.04%	0.08%	0.00%	0.05%	0.00%	0.16%										
4	0.13%	0.00%	0.30%	0.11%	0.08%	0.11%	0.05%	0.05%	0.00%	0.12%										
4.5	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.04%	0.11%	0.05%	0.09%	0.04%	0.08%										
5-7	0.13%	0.29%	0.20%	0.19%	0.04%	0.08%	0.23%	0.14%	0.11%	0.39%										
7-9	0.04%	0.00%	0.15%	0.08%	0.04%	0.04%	0.05%	0.00%	0.04%	0.08%										
9-11	0.00%	0.00%	0.05%	0.04%	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.04%	0.08%										
11-13	0.04%	0.05%	0.05%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%										
11-15	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%										
15 +	0.00%	0.15%	0.05%	0.00%	0.12%	0.00%	0.05%	0.05%	0.00%	0.08%										
2-15 + um	0.98%	1.41%	1.97%	1.34%	0.83%	0.99%	1.17%	0.81%	0.49%	1.89%										
total Particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%										
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%										
0.014-0.1 um	77.74%	82.34%	82.45%	74.57%	84.17%	74.72%	81.92%	83.57%	85.97%	83.64%										
0.2- 2 um	21.24%	16.25%	15.58%	24.09%	15.00%	24.29%	16.91%	15.61%	13.54%	14.47%										
2-15+ um	0.98%	1.41%	1.97%	1.34%	0.83%	0.99%	1.17%	0.81%	0.49%	1.89%										
0-2 um	98.98%	98.59%	98.03%	98.66%	99.17%	99.01%	98.83%	99.19%	99.51%	98.11%										

AREA unitat: um per sobre de	19D 59	21D 60	23D 61	25D 62	27D 63	29D 64
0.014	18.07%	18.49%	19.12%	18.96%	17.91%	17.45%
0.03	7.04%	7.28%	7.25%	6.88%	7.07%	7.08%
0.05	8.57%	9.24%	9.56%	10.71%	8.64%	8.63%
0.07	11.75%	13.41%	12.61%	13.29%	13.09%	12.57%
0.09	5.07%	4.85%	5.45%	4.67%	5.28%	4.85%
0.1	34.25%	33.28%	32.84%	32.13%	34.73%	37.13%
0.014-0.1 um	84.75%	86.56%	86.84%	86.63%	86.72%	87.70%
0.2	7.89%	7.40%	7.44%	7.13%	7.17%	6.91%
0.4	2.86%	2.47%	1.80%	2.05%	2.16%	1.85%
0.6	1.01%	1.08%	1.02%	1.29%	1.06%	0.88%
0.8	0.89%	0.77%	0.37%	0.72%	0.55%	0.34%
1	0.44%	0.39%	0.51%	0.40%	0.41%	0.37%
1.2	0.28%	0.27%	0.09%	0.28%	0.32%	0.27%
1.4	0.16%	0.04%	0.18%	0.12%	0.23%	0.24%
1.6	0.20%	0.23%	0.23%	0.28%	0.23%	0.24%
1.8	0.12%	0.04%	0.14%	0.16%	0.14%	0.10%
0.2-2 um	13.64%	12.67%	11.78%	12.44%	12.26%	11.19%
2	0.40%	0.39%	0.28%	0.20%	0.23%	0.37%
2.5	0.24%	0.08%	0.14%	0.20%	0.05%	0.13%
3	0.16%	0.12%	0.18%	0.08%	0.05%	0.00%
3.5	0.08%	0.00%	0.05%	0.12%	0.14%	0.10%
4	0.12%	0.08%	0.00%	0.00%	0.05%	0.03%
4.5	0.04%	0.00%	0.09%	0.04%	0.00%	0.10%
5-7	0.08%	0.04%	0.23%	0.04%	0.05%	0.13%
7-9	0.12%	0.04%	0.05%	0.04%	0.14%	0.07%
9-11	0.12%	0.04%	0.09%	0.00%	0.18%	0.03%
11-13	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%
11-15	0.04%	0.00%	0.05%	0.04%	0.09%	0.00%
15 +	0.00%	0.00%	0.23%	0.12%	0.05%	0.13%
2-15 + um	1.41%	0.77%	1.39%	0.93%	1.01%	1.11%
total Particules	100%	100%	100%	100%	100%	100%
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.014-0.1 um	84.75%	86.56%	86.84%	86.63%	86.72%	87.70%
0.2- 2 um	13.84%	12.67%	11.78%	12.44%	12.26%	11.19%
2-15+ um	1.41%	0.77%	1.39%	0.93%	1.01%	1.11%
0-2 um	98.59%	99.23%	98.61%	99.07%	98.99%	98.89%

### 9.4.2. Parámetro: perímetro.

PERÍMETRO unitat: um per sobre de	PASTA SAC CN	3m 10s								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.330	5,61%	29,00%	6,97%	27,38%	16,01%	28,68%	4,43%	4,90%	17,95%	3,66%
0.440	9,10%	6,80%	18,17%	10,92%	8,04%	9,56%	12,17%	12,22%	10,09%	10,87%
0.580	10,97%	4,98%	11,41%	7,48%	8,57%	5,70%	8,54%	8,82%	7,82%	8,55%
0.720	1,00%	1,79%	2,05%	3,11%	1,73%	2,31%	2,50%	2,05%	3,29%	2,15%
0.860	11,85%	2,50%	9,69%	5,23%	5,86%	4,33%	8,14%	11,80%	7,98%	9,96%
1	31,92%	20,08%	23,32%	14,46%	17,85%	10,89%	26,51%	28,96%	22,14%	28,44%
<b>ENTRE 0.330-1</b>	<b>70,45%</b>	<b>65,13%</b>	<b>71,60%</b>	<b>68,58%</b>	<b>58,06%</b>	<b>61,47%</b>	<b>62,29%</b>	<b>68,75%</b>	<b>69,26%</b>	<b>63,63%</b>
2	16,08%	11,75%	14,27%	7,66%	10,52%	7,63%	16,36%	12,55%	12,28%	14,79%
3	4,86%	6,92%	6,29%	5,57%	7,82%	7,03%	9,19%	6,34%	6,84%	8,78%
4	2,99%	4,79%	2,86%	4,74%	4,96%	4,54%	4,39%	3,54%	3,68%	4,80%
5	1,37%	3,15%	1,55%	3,11%	4,02%	3,26%	2,46%	2,19%	2,42%	2,71%
6	1,50%	1,92%	1,14%	1,85%	2,56%	2,79%	1,29%	1,59%	1,60%	1,63%
7	1,00%	1,33%	0,54%	1,32%	1,80%	2,06%	1,05%	0,75%	0,82%	1,08%
8	0,87%	1,08%	0,47%	1,42%	1,65%	1,50%	0,81%	0,75%	0,82%	0,62%
9	0,12%	0,62%	0,47%	0,80%	1,28%	1,24%	0,48%	0,79%	0,31%	0,39%
10-11	0,25%	0,49%	0,27%	0,71%	0,98%	0,73%	0,44%	0,37%	0,39%	0,26%
<b>ENTRE 1-10</b>	<b>29,05%</b>	<b>32,06%</b>	<b>27,86%</b>	<b>27,17%</b>	<b>35,59%</b>	<b>30,78%</b>	<b>36,46%</b>	<b>28,87%</b>	<b>29,17%</b>	<b>35,08%</b>
11	0,25%	0,87%	0,24%	1,38%	1,62%	1,97%	0,77%	0,70%	0,74%	0,75%
14	0,00%	0,83%	0,10%	0,74%	0,90%	1,29%	0,16%	0,51%	0,20%	0,16%
17	0,00%	0,28%	0,00%	0,58%	0,83%	1,07%	0,16%	0,05%	0,16%	0,13%
20	0,00%	0,28%	0,07%	0,43%	0,53%	0,94%	0,00%	0,33%	0,27%	0,10%
23	0,00%	0,15%	0,00%	0,37%	0,34%	0,39%	0,08%	0,33%	0,12%	0,10%
26	0,12%	0,19%	0,00%	0,22%	0,68%	0,43%	0,00%	0,19%	0,00%	0,00%
29	0,12%	0,06%	0,00%	0,18%	0,23%	0,26%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%
32	0,00%	0,09%	0,07%	0,12%	0,19%	0,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
35	0,00%	0,03%	0,03%	0,15%	0,08%	0,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>+35</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,03%</b>	<b>0,03%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,98%</b>	<b>0,56%</b>	<b>0,08%</b>	<b>0,23%</b>	<b>0,08%</b>	<b>0,07%</b>
<b>ENTRE 11-35</b>	<b>0,50%</b>	<b>2,81%</b>	<b>0,54%</b>	<b>4,16%</b>	<b>6,35%</b>	<b>7,76%</b>	<b>1,25%</b>	<b>2,38%</b>	<b>1,56%</b>	<b>1,31%</b>
<b>total partícules</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>
control	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
0-1 um	70,4%	65,1%	71,6%	68,6%	58,1%	61,5%	62,3%	68,8%	69,3%	63,6%
2-11 um	29,1%	32,1%	27,9%	27,2%	35,6%	30,8%	36,5%	28,9%	29,2%	35,1%
11-35+ um	0,5%	2,8%	0,5%	4,2%	6,4%	7,8%	1,2%	2,4%	1,6%	1,3%
0-2 um	<b>99,50%</b>	<b>97,19%</b>	<b>99,46%</b>	<b>95,75%</b>	<b>93,65%</b>	<b>92,24%</b>	<b>98,75%</b>	<b>97,62%</b>	<b>98,44%</b>	<b>98,69%</b>

PERÍMETRO unítar: um per sobre de	31m 40s	34m 50s	38m	41m 10s	44m 20s	47m 30s	50m 40s	53m 50s	57m	60m 10s
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0.330	5.74%	4.74%	5.69%	4.51%	3.53%	3.72%	4.42%	19.00%	23.11%	3.90%
0.440	12.71%	12.36%	13.79%	4.08%	9.92%	10.00%	12.53%	15.58%	17.35%	1.70%
0.580	10.55%	10.49%	10.27%	16.21%	8.77%	7.83%	8.08%	8.71%	8.88%	8.42%
0.720	2.23%	2.54%	1.82%	2.43%	2.18%	1.41%	2.43%	5.05%	5.17%	1.75%
0.860	10.91%	11.86%	9.25%	9.95%	10.54%	10.04%	11.37%	8.47%	7.92%	9.73%
1	24.96%	29.50%	27.72%	28.97%	33.44%	28.24%	30.09%	25.11%	20.74%	27.62%
<b>ENTRE 0.330-1</b>	67.10%	71.49%	68.54%	66.13%	68.38%	61.24%	68.91%	81.91%	83.47%	63.12%
2	14.06%	13.32%	16.06%	16.64%	16.56%	15.94%	14.00%	10.20%	8.06%	16.98%
3	7.58%	6.12%	7.19%	6.84%	6.85%	9.15%	6.68%	3.75%	3.72%	7.18%
4	3.82%	3.50%	3.11%	3.88%	2.60%	4.57%	3.32%	1.92%	1.97%	4.26%
5	2.51%	1.71%	1.78%	2.28%	1.66%	2.50%	2.05%	0.63%	0.63%	2.62%
6	1.31%	0.87%	1.19%	1.02%	0.88%	1.89%	1.16%	0.29%	0.52%	1.49%
7	0.57%	0.75%	0.66%	0.68%	0.73%	1.08%	0.58%	0.34%	0.63%	1.20%
8	0.81%	0.42%	0.28%	0.58%	0.36%	0.57%	0.45%	0.38%	0.19%	0.51%
9	0.39%	0.33%	0.17%	0.58%	0.10%	0.38%	0.38%	0.14%	0.15%	0.69%
10-11	0.42%	0.21%	0.14%	0.39%	0.36%	0.24%	0.41%	0.10%	0.33%	0.33%
<b>ENTRE 1-10</b>	31.48%	27.22%	30.59%	32.90%	30.11%	36.30%	29.03%	17.75%	16.20%	35.28%
11	0.42%	0.54%	0.31%	0.39%	0.57%	0.99%	0.72%	0.05%	0.45%	0.51%
14	0.14%	0.33%	0.10%	0.15%	0.21%	0.61%	0.34%	0.10%	0.11%	0.40%
17	0.14%	0.04%	0.24%	0.19%	0.16%	0.19%	0.34%	0.05%	0.00%	0.11%
20	0.04%	0.08%	0.07%	0.00%	0.05%	0.24%	0.17%	0.05%	0.00%	0.04%
23	0.18%	0.04%	0.03%	0.05%	0.00%	0.09%	0.03%	0.00%	0.07%	0.22%
26	0.04%	0.00%	0.03%	0.00%	0.05%	0.09%	0.07%	0.00%	0.00%	0.11%
29	0.07%	0.00%	0.07%	0.00%	0.21%	0.05%	0.10%	0.05%	0.00%	0.11%
32	0.11%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
+35	0.28%	0.21%	0.00%	0.15%	0.26%	0.19%	0.24%	0.05%	0.00%	0.11%
<b>ENTRE 11-35</b>	1.42%	1.28%	0.87%	0.97%	1.56%	2.45%	2.05%	0.34%	0.63%	1.60%
<b>total Particulas</b>	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0-1 um	67.1%	71.5%	68.5%	66.1%	68.4%	61.2%	68.9%	81.9%	83.2%	63.1%
2-11 um	31.5%	27.2%	30.5%	32.9%	30.1%	36.3%	29.0%	17.7%	16.2%	35.3%
11-35+ um	1.4%	1.3%	0.9%	1.0%	1.5%	2.5%	2.1%	0.3%	0.6%	1.6%
0-2 um	98.58%	98.71%	99.13%	99.03%	98.49%	97.55%	97.95%	99.66%	99.37%	98.40%

PERÍMETRO unidades: µm	1H 10m	1H 20m	1H 30m	1H 40m	1H 50m	2H	2h30m	3H	4H	5H
per sobre de	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0.330	4.38%	4.58%	4.94%	6.12%	3.73%	3.81%	5.00%	5.09%	4.38%	5.46%
0.440	12.56%	11.53%	13.06%	17.73%	11.53%	9.09%	14.67%	14.71%	11.99%	12.74%
0.580	9.32%	9.29%	8.12%	11.90%	8.97%	8.33%	12.01%	10.99%	10.37%	10.14%
0.720	2.92%	2.48%	2.30%	2.83%	1.39%	1.65%	2.74%	2.27%	3.40%	2.01%
0.860	10.78%	10.50%	10.53%	12.19%	9.14%	9.98%	11.44%	11.53%	11.59%	10.85%
1	27.23%	29.39%	29.51%	24.73%	34.15%	30.07%	26.83%	25.52%	28.77%	28.59%
<b>ENTRE 0.330-1</b>	67.18%	67.81%	68.46%	75.50%	68.91%	62.94%	72.68%	70.12%	70.50%	69.79%
2	14.83%	15.84%	14.81%	9.60%	14.99%	16.78%	13.78%	12.35%	13.61%	12.61%
3	7.13%	7.12%	6.64%	5.24%	6.91%	7.95%	6.12%	5.54%	6.32%	5.65%
4	2.51%	2.99%	3.07%	2.83%	3.23%	4.20%	2.58%	3.00%	3.08%	3.96%
5	2.19%	2.04%	1.59%	2.06%	1.50%	2.73%	1.13%	1.63%	2.27%	1.82%
6	1.46%	1.34%	1.70%	1.41%	0.95%	1.59%	0.89%	2.18%	1.38%	1.69%
7	1.30%	0.57%	0.44%	0.88%	0.72%	1.14%	0.64%	1.09%	0.73%	0.84%
8	1.13%	0.38%	0.77%	0.47%	0.56%	0.57%	0.56%	0.64%	0.57%	0.52%
9	0.65%	0.32%	0.44%	0.29%	0.50%	0.51%	0.00%	0.64%	0.24%	0.71%
10-11	0.24%	0.06%	0.05%	0.18%	0.28%	0.25%	0.16%	0.27%	0.32%	0.32%
<b>ENTRE +10</b>	31.44%	30.66%	29.51%	22.97%	29.64%	35.73%	25.87%	27.34%	28.53%	28.14%
11	0.24%	0.70%	0.77%	0.59%	0.28%	0.38%	0.48%	0.82%	0.24%	0.45%
14	0.16%	0.25%	0.38%	0.35%	0.33%	0.06%	0.24%	0.64%	0.41%	0.52%
17	0.08%	0.13%	0.05%	0.12%	0.17%	0.06%	0.40%	0.09%	0.16%	0.19%
20	0.16%	0.13%	0.33%	0.00%	0.11%	0.25%	0.00%	0.27%	0.08%	0.39%
23	0.00%	0.00%	0.05%	0.12%	0.11%	0.00%	0.08%	0.00%	0.00%	0.13%
26	0.16%	0.00%	0.11%	0.06%	0.14%	0.13%	0.16%	0.09%	0.00%	0.06%
29	0.08%	0.06%	0.11%	0.06%	0.00%	0.19%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
32	0.16%	0.13%	0.05%	0.06%	0.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
+35	0.32%	0.13%	0.16%	0.18%	0.17%	0.25%	0.08%	0.64%	0.08%	0.32%
<b>ENTRE 11-35</b>	1.38%	1.53%	2.03%	1.43%	1.45%	1.34%	1.45%	2.54%	0.97%	2.06%
<b>total Particulas</b>	100.00%	100.00%	100.00%	99.89%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
<b>control</b>	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0-1 µm	67.2%	67.8%	68.5%	75.5%	68.9%	62.9%	72.7%	70.1%	70.5%	69.8%
2-11 µm	31.4%	30.7%	29.5%	23.0%	29.6%	35.7%	25.9%	27.3%	28.5%	28.1%
11-35+ µm	1.4%	1.5%	2.0%	1.5%	1.4%	1.3%	1.5%	2.5%	1.0%	2.1%
0-2 µm	98.62%	98.47%	97.97%	98.47%	98.55%	98.66%	98.55%	97.46%	99.03%	97.92%

PERÍMETRO unítat: um	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	24H	48H
per sobre de	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
0.330	3.36%	3.38%	4.43%	4.23%	4.24%	4.56%	4.31%	4.21%	3.74%	6.28%
0.440	12.99%	11.85%	12.90%	12.79%	13.69%	14.14%	15.38%	11.18%	12.21%	18.40%
0.580	10.78%	11.20%	11.13%	10.50%	11.77%	11.63%	11.43%	10.86%	9.92%	12.76%
0.720	2.37%	2.69%	2.42%	1.94%	2.40%	2.68%	3.59%	1.56%	2.44%	2.70%
0.860	14.51%	12.30%	13.10%	13.43%	13.54%	11.67%	11.84%	12.94%	13.25%	14.15%
1	38.07%	33.75%	33.05%	35.07%	34.38%	29.64%	27.52%	31.29%	36.42%	26.91%
<b>ENTRE 0.330-1</b>	<b>82.07%</b>	<b>75.16%</b>	<b>77.03%</b>	<b>77.96%</b>	<b>80.01%</b>	<b>74.93%</b>	<b>74.06%</b>	<b>72.04%</b>	<b>77.98%</b>	<b>81.20%</b>
2	11.15%	12.58%	12.64%	12.79%	11.40%	13.76%	11.84%	14.54%	12.95%	8.59%
3	3.58%	5.74%	4.74%	4.53%	4.16%	4.91%	6.56%	6.81%	3.64%	4.05%
4	1.16%	2.36%	2.52%	1.94%	2.06%	2.44%	2.41%	2.64%	1.84%	1.91%
5	0.53%	1.55%	0.76%	0.90%	0.67%	1.46%	2.00%	1.08%	1.05%	1.31%
6	0.63%	0.81%	0.55%	0.25%	0.34%	0.70%	0.97%	0.96%	0.60%	0.48%
7	0.16%	0.49%	0.45%	0.50%	0.34%	0.52%	0.46%	0.56%	0.35%	0.52%
8	0.11%	0.37%	0.25%	0.19%	0.19%	0.35%	0.36%	0.40%	0.20%	0.36%
9	0.16%	0.16%	0.20%	0.15%	0.11%	0.35%	0.10%	0.24%	0.10%	0.32%
10-11	0.05%	0.12%	0.05%	0.10%	0.11%	0.14%	0.10%	0.08%	0.00%	0.32%
<b>ENTRE +10</b>	<b>17.51%</b>	<b>24.19%</b>	<b>22.17%</b>	<b>21.29%</b>	<b>19.39%</b>	<b>24.63%</b>	<b>24.81%</b>	<b>27.32%</b>	<b>20.73%</b>	<b>17.85%</b>
11	0.11%	0.16%	0.25%	0.20%	0.26%	0.42%	0.51%	0.24%	0.40%	0.28%
14	0.00%	0.12%	0.15%	0.25%	0.11%	0.10%	0.21%	0.16%	0.20%	0.16%
17	0.11%	0.12%	0.05%	0.05%	0.07%	0.00%	0.15%	0.08%	0.30%	0.24%
20	0.00%	0.04%	0.10%	0.10%	0.04%	0.24%	0.00%	0.00%	0.15%	0.08%
23	0.00%	0.00%	0.10%	0.05%	0.04%	0.03%	0.05%	0.04%	0.05%	0.08%
26	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.04%	0.03%	0.05%	0.00%	0.05%	0.04%
29	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.04%	0.00%	0.04%
32	0.00%	0.04%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
+35	0.21%	0.12%	0.15%	0.00%	0.04%	0.17%	0.15%	0.08%	0.10%	0.04%
<b>ENTRE +1-35</b>	<b>0.42%</b>	<b>0.65%</b>	<b>0.81%</b>	<b>0.75%</b>	<b>0.60%</b>	<b>1.04%</b>	<b>1.13%</b>	<b>0.64%</b>	<b>1.30%</b>	<b>0.95%</b>
<b>total Particulas</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0-1 um	82.1%	75.2%	77.0%	78.0%	80.0%	74.3%	74.1%	72.0%	78.0%	81.2%
2-11 um	17.5%	24.2%	22.2%	21.3%	19.4%	24.6%	24.8%	27.3%	20.7%	17.8%
11-35+ um	0.4%	0.7%	0.8%	0.7%	0.6%	1.0%	1.1%	0.6%	1.3%	1.0%
0-2 um	99.58%	99.35%	99.19%	99.25%	99.40%	99.96%	98.87%	99.36%	98.70%	99.05%



PERÍMETRO unítat: um	3D	4D	5D	6D	7D	9D	11D	13D	15D	17D
per sobre de	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
0.330	3.07%	5.39%	3.59%	3.52%	4.35%	3.30%	3.84%	4.25%	4.56%	6.46%
0.440	12.88%	15.62%	14.62%	12.66%	13.59%	10.74%	13.26%	14.25%	13.12%	19.12%
0.580	9.91%	12.47%	11.68%	9.87%	11.98%	8.01%	10.49%	11.36%	11.01%	12.61%
0.720	2.44%	1.99%	2.53%	1.99%	1.82%	1.67%	1.69%	2.40%	2.34%	2.33%
0.860	14.66%	13.00%	13.40%	12.47%	13.97%	11.84%	13.63%	12.85%	15.69%	12.93%
1	33.50%	30.91%	34.75%	31.47%	36.76%	36.74%	36.30%	36.20%	36.54%	27.83%
<b>ENTRE 0.330-1</b>										
2	76.45%	79.36%	80.58%	71.97%	82.47%	72.30%	79.20%	81.31%	83.26%	81.28%
3	13.86%	11.16%	10.22%	15.56%	10.73%	15.98%	11.66%	10.54%	10.52%	10.13%
4	4.53%	4.80%	3.49%	6.35%	3.36%	5.84%	3.89%	3.89%	3.32%	3.71%
5	2.09%	1.70%	1.92%	2.41%	1.24%	2.43%	1.87%	1.99%	1.28%	1.66%
6	1.29%	0.87%	0.71%	1.22%	0.66%	1.48%	1.22%	0.72%	0.64%	0.55%
7	0.44%	0.39%	0.71%	0.88%	0.50%	0.65%	0.61%	0.59%	0.30%	0.71%
8	0.49%	0.24%	0.51%	0.38%	0.17%	0.34%	0.47%	0.27%	0.11%	0.24%
9	0.04%	0.05%	0.25%	0.46%	0.25%	0.34%	0.28%	0.14%	0.11%	0.39%
10	0.18%	0.49%	0.25%	0.19%	0.00%	0.19%	0.14%	0.09%	0.08%	0.43%
10-11	0.09%	0.19%	0.30%	0.11%	0.17%	0.11%	0.14%	0.18%	0.19%	0.12%
<b>ENTRE +10</b>										
11	23.01%	19.89%	18.36%	27.67%	17.07%	27.36%	20.28%	18.42%	16.55%	17.93%
14	0.22%	0.44%	0.25%	0.19%	0.12%	0.11%	0.23%	0.23%	0.04%	0.28%
17	0.22%	0.10%	0.30%	0.15%	0.08%	0.08%	0.14%	0.00%	0.15%	0.28%
20	0.00%	0.00%	0.15%	0.04%	0.00%	0.11%	0.05%	0.00%	0.00%	0.04%
23	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.08%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.12%
26	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.04%	0.05%	0.00%	0.00%	0.04%
29	0.04%	0.10%	0.10%	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
32	0.04%	0.00%	0.15%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.10%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
+35	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>ENTRE +1-35</b>										
total Particulates	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
control	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
0-1 um	76.5%	79.4%	80.6%	72.0%	82.5%	72.3%	79.2%	81.3%	83.3%	81.3%
2-11 um	23.0%	19.9%	18.4%	27.6%	17.1%	27.4%	20.3%	18.4%	16.6%	17.9%
11-35+ um	0.5%	0.7%	1.1%	0.5%	0.5%	0.3%	0.5%	0.3%	0.2%	0.8%
0-2 um	99.47%	99.27%	98.94%	99.54%	99.54%	99.66%	99.48%	99.73%	99.81%	99.21%

PERÍMETRO unitat: um	19D	21D	23D	25D	27D	29D
per sobre de	59	60	61	62	63	64
0.330	3.94%	3.54%	4.67%	4.07%	3.72%	3.40%
0.440	14.08%	14.95%	14.41%	14.90%	14.19%	14.05%
0.580	11.75%	12.87%	13.26%	13.61%	12.68%	12.67%
0.720	2.78%	2.47%	2.36%	2.82%	2.20%	2.09%
0.860	13.96%	15.64%	15.15%	15.30%	15.43%	14.82%
1	35.57%	34.94%	34.41%	33.41%	36.05%	37.33%
<b>ENTRE 0.330-1</b>	<b>82.09%</b>	<b>84.40%</b>	<b>84.25%</b>	<b>84.10%</b>	<b>84.29%</b>	<b>84.37%</b>
2	10.22%	9.44%	9.24%	9.06%	9.10%	9.91%
3	3.42%	3.08%	3.00%	2.90%	2.94%	2.49%
4	1.41%	1.23%	0.88%	1.41%	1.38%	0.94%
5	0.97%	0.58%	0.69%	0.89%	0.69%	0.64%
6	0.44%	0.62%	0.46%	0.68%	0.46%	0.51%
7	0.36%	0.23%	0.32%	0.24%	0.28%	0.20%
8	0.16%	0.12%	0.14%	0.08%	0.09%	0.20%
9	0.28%	0.00%	0.14%	0.12%	0.09%	0.00%
10-11	0.08%	0.08%	0.14%	0.12%	0.05%	0.17%
<b>ENTRE 1-10</b>	<b>17.34%</b>	<b>15.37%</b>	<b>15.01%</b>	<b>15.50%</b>	<b>15.07%</b>	<b>15.06%</b>
11	0.24%	0.12%	0.14%	0.12%	0.23%	0.24%
14	0.20%	0.08%	0.09%	0.08%	0.14%	0.10%
17	0.08%	0.00%	0.14%	0.00%	0.09%	0.03%
20	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.00%	0.03%
23	0.00%	0.04%	0.09%	0.00%	0.05%	0.10%
26	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%
29	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%
32	0.00%	0.00%	0.09%	0.00%	0.05%	0.00%
35	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
+35	0.00%	0.00%	0.05%	0.16%	0.05%	0.07%
<b>ENTRE 11-35</b>	<b>0.56%</b>	<b>0.23%</b>	<b>0.74%</b>	<b>0.40%</b>	<b>0.64%</b>	<b>0.57%</b>
<b>total Partícules</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>
control	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0-1 um	82.1%	84.4%	84.2%	84.1%	84.3%	84.4%
2-11 um	17.3%	15.4%	15.0%	15.5%	15.1%	15.1%
11-35+ um	0.6%	0.2%	0.7%	0.4%	0.6%	0.6%
0-2 um	<b>99.44%</b>	<b>99.77%</b>	<b>99.26%</b>	<b>99.60%</b>	<b>99.36%</b>	<b>99.43%</b>

### 9.4.3. Parámetro: diámetro máximo de Feret.

MAX FERET unitat: um per sobre de	PASTA SAC CN 0	3m 10s 1	6m 20s 2	9m 30s 3	12m 40s 4	15m 50s 5	19m 6	22m 10s 7	25m 20s 8	28m 30s 9
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	5,61%	29,00%	6,97%	26,92%	16,01%	28,69%	4,51%	4,90%	17,95%	3,66%
0,2	9,10%	6,80%	18,17%	10,92%	8,04%	9,52%	12,17%	12,22%	10,09%	10,87%
0,3	16,58%	6,83%	15,68%	10,58%	10,00%	8,10%	12,33%	14,74%	10,56%	12,93%
0,4	12,84%	6,43%	10,60%	8,06%	8,38%	6,56%	11,08%	13,71%	12,40%	11,75%
0,5	34,29%	22,69%	27,56%	15,26%	21,04%	12,47%	30,22%	29,38%	24,68%	32,09%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>78,43%</b>	<b>71,75%</b>	<b>78,97%</b>	<b>71,75%</b>	<b>63,47%</b>	<b>66,32%</b>	<b>70,31%</b>	<b>74,95%</b>	<b>75,67%</b>	<b>71,30%</b>
1	11,85%	11,00%	11,71%	9,45%	12,29%	10,76%	15,59%	11,43%	11,97%	13,81%
1,5	4,61%	6,52%	4,44%	7,17%	7,89%	6,52%	6,65%	5,18%	5,28%	7,38%
2	1,75%	3,65%	2,36%	3,63%	4,70%	4,11%	3,30%	3,22%	2,82%	3,40%
2,5	0,40%	2,47%	1,02%	2,01%	2,87%	2,57%	1,58%	0,96%	1,36%	1,67%
3	1,12%	1,21%	0,81%	1,54%	2,25%	2,19%	0,89%	0,93%	0,98%	0,82%
3,5	0,12%	0,80%	0,20%	1,38%	1,13%	1,20%	0,60%	0,93%	0,63%	0,72%
4	0,12%	0,43%	0,13%	0,65%	1,05%	1,07%	0,32%	0,19%	0,20%	0,26%
4,5	0,12%	0,39%	0,10%	0,58%	0,79%	0,86%	0,16%	0,33%	0,08%	0,20%
<b>ENTRE 1-5</b>	<b>20,10%</b>	<b>26,68%</b>	<b>20,77%</b>	<b>26,41%</b>	<b>32,98%</b>	<b>29,27%</b>	<b>29,09%</b>	<b>23,16%</b>	<b>23,30%</b>	<b>28,24%</b>
5	0,00%	0,65%	0,03%	0,83%	0,94%	1,33%	0,16%	0,42%	0,35%	0,13%
6	0,12%	0,37%	0,00%	0,43%	0,75%	0,73%	0,08%	0,33%	0,16%	0,13%
7	0,00%	0,31%	0,07%	0,15%	0,45%	0,73%	0,08%	0,23%	0,08%	0,03%
8	0,00%	0,15%	0,03%	0,25%	0,26%	0,39%	0,00%	0,14%	0,04%	0,00%
9	0,12%	0,09%	0,00%	0,00%	0,11%	0,43%	0,00%	0,09%	0,04%	0,03%
10	0,00%	0,00%	0,00%	0,18%	0,41%	0,81%	0,00%	0,19%	0,00%	0,03%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>0,25%</b>	<b>1,58%</b>	<b>0,17%</b>	<b>1,85%</b>	<b>2,93%</b>	<b>4,41%</b>	<b>0,32%</b>	<b>1,40%</b>	<b>0,66%</b>	<b>0,36%</b>
<b>total partícules</b>	<b>98,78%</b>	<b>100,00%</b>	<b>99,91%</b>	<b>100,01%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,01%</b>	<b>99,72%</b>	<b>99,51%</b>	<b>99,64%</b>	<b>99,91%</b>
<b>control</b>	<b>98,78%</b>	<b>100,00%</b>	<b>99,91%</b>	<b>100,01%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,01%</b>	<b>99,72%</b>	<b>99,51%</b>	<b>99,64%</b>	<b>99,91%</b>
0-0,9 um	78,43%	71,75%	78,97%	71,75%	63,47%	66,32%	70,31%	74,95%	75,67%	71,30%
1-5 um	20,10%	26,68%	20,77%	26,41%	32,98%	29,27%	29,09%	23,16%	23,30%	28,24%
5-10 + um	0,25%	1,58%	0,17%	1,85%	2,93%	4,41%	0,32%	1,40%	0,66%	0,36%
0-5 um	<b>98,53%</b>	<b>98,42%</b>	<b>99,74%</b>	<b>98,16%</b>	<b>96,45%</b>	<b>94,59%</b>	<b>99,40%</b>	<b>98,11%</b>	<b>98,97%</b>	<b>99,55%</b>

MAX FERET unitat: um per sobre de	31m 40s 10	34m 50s 11	38m 12	41m 10s 13	44m 20s 14	47m 30s 15	50m 40s 16	53m 50s 17	57m 18	60m 10s 19
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	5,74%	4,74%	5,69%	4,51%	3,53%	3,72%	4,41%	19,00%	23,10%	3,90%
0,2	12,71%	12,36%	13,79%	11,01%	9,91%	10,00%	12,53%	15,58%	17,34%	11,70%
0,3	15,51%	14,40%	13,79%	14,36%	12,82%	11,32%	12,59%	14,33%	14,30%	11,81%
0,4	11,93%	14,61%	11,03%	11,01%	13,44%	11,50%	13,79%	12,41%	11,96%	12,43%
0,5	28,65%	31,84%	31,60%	33,77%	37,00%	31,64%	32,07%	26,46%	21,43%	32,84%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>74,54%</b>	<b>77,94%</b>	<b>75,91%</b>	<b>74,67%</b>	<b>76,70%</b>	<b>68,18%</b>	<b>75,39%</b>	<b>87,78%</b>	<b>88,12%</b>	<b>72,67%</b>
1	12,96%	11,32%	14,66%	13,78%	13,23%	15,70%	12,15%	7,79%	6,50%	12,86%
1,5	5,98%	5,83%	4,68%	5,43%	4,93%	7,40%	5,48%	2,41%	2,53%	6,71%
2	3,12%	1,91%	2,48%	2,23%	1,71%	3,58%	2,87%	0,67%	1,26%	3,24%
2,5	0,90%	0,77%	0,77%	1,08%	0,77%	1,11%	1,02%	0,40%	0,62%	1,33%
3	0,74%	0,58%	0,49%	0,87%	0,57%	0,94%	0,68%	0,29%	0,30%	1,20%
3,5	0,53%	0,46%	0,14%	0,44%	0,42%	0,61%	0,51%	0,05%	0,26%	0,62%
4	0,25%	0,29%	0,24%	0,24%	0,10%	0,66%	0,38%	0,14%	0,11%	0,22%
4,5	0,07%	0,21%	0,10%	0,15%	0,21%	0,38%	0,44%	0,05%	0,07%	0,33%
<b>ENTRE 1-5</b>	<b>24,55%</b>	<b>21,97%</b>	<b>23,57%</b>	<b>24,23%</b>	<b>21,95%</b>	<b>30,39%</b>	<b>23,54%</b>	<b>11,80%</b>	<b>11,65%</b>	<b>26,51%</b>
5	0,32%	0,08%	0,21%	0,15%	0,21%	0,42%	0,38%	0,14%	0,00%	0,22%
6	0,04%	0,08%	0,03%	0,10%	0,10%	0,09%	0,14%	0,00%	0,00%	0,11%
7	0,11%	0,04%	0,07%	0,00%	0,16%	0,09%	0,17%	0,00%	0,04%	0,11%
8	0,11%	0,12%	0,03%	0,00%	0,10%	0,19%	0,07%	0,05%	0,07%	0,04%
9	0,04%	0,00%	0,03%	0,05%	0,10%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,11%
10	0,18%	0,08%	0,03%	0,19%	0,16%	0,05%	0,17%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>0,78%</b>	<b>0,42%</b>	<b>0,42%</b>	<b>0,49%</b>	<b>0,83%</b>	<b>0,85%</b>	<b>0,96%</b>	<b>0,19%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,58%</b>
<b>total Particules</b>	<b>99,87%</b>	<b>99,73%</b>	<b>99,90%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,48%</b>	<b>99,42%</b>	<b>99,89%</b>	<b>99,78%</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,76%</b>
<b>control</b>	<b>99,87%</b>	<b>99,73%</b>	<b>99,90%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,48%</b>	<b>99,42%</b>	<b>99,89%</b>	<b>99,78%</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,76%</b>
0-0,9 um	74,54%	77,94%	75,91%	74,67%	76,70%	68,18%	75,39%	87,78%	88,12%	72,67%
1-5 um	24,55%	21,97%	23,57%	24,23%	21,95%	30,39%	23,54%	11,80%	11,65%	26,51%
5-10 + um	0,78%	0,42%	0,42%	0,49%	0,83%	0,85%	0,96%	0,19%	0,11%	0,58%
0-5 um	<b>99,09%</b>	<b>99,32%</b>	<b>99,48%</b>	<b>98,90%</b>	<b>98,65%</b>	<b>98,57%</b>	<b>98,93%</b>	<b>99,58%</b>	<b>99,76%</b>	<b>99,18%</b>

MAX FERET unitat: um per sobre de	1h 10 minuts 20	1h 20 minuts 21	1h 30 minuts 22	1h 40 minuts 23	1h 50minuts 24	2H 25	2h 30m 26	3H 27	4H 28
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	4,37%	4,58%	4,93%	6,12%	3,73%	3,81%	5,00%	5,08%	4,38%
0,2	12,54%	11,57%	13,05%	17,73%	11,53%	9,09%	14,67%	14,70%	11,99%
0,3	13,83%	13,73%	12,39%	17,20%	12,37%	11,89%	17,81%	14,07%	15,48%
0,4	13,43%	12,33%	11,57%	13,84%	11,59%	12,52%	12,89%	14,43%	14,10%
0,5	29,69%	32,36%	33,17%	25,32%	37,49%	33,50%	29,98%	28,13%	31,04%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>73,87%</b>	<b>74,57%</b>	<b>75,11%</b>	<b>80,21%</b>	<b>76,71%</b>	<b>70,82%</b>	<b>80,34%</b>	<b>76,41%</b>	<b>76,99%</b>
1	12,62%	14,11%	13,32%	8,95%	12,65%	14,88%	11,36%	10,25%	12,24%
1,5	5,83%	5,59%	4,55%	4,77%	4,85%	5,79%	3,87%	4,36%	5,02%
2	2,59%	2,48%	2,19%	2,77%	2,17%	4,07%	1,93%	2,72%	2,43%
2,5	0,77%	0,59%	1,02%	0,74%	0,43%	1,02%	0,15%	0,65%	0,53%
3	1,38%	0,64%	0,93%	0,47%	1,23%	0,76%	0,56%	1,63%	0,89%
3,5	0,40%	0,32%	0,49%	0,47%	0,50%	0,51%	0,40%	0,54%	0,16%
4	0,24%	0,38%	0,38%	0,18%	0,28%	0,13%	0,24%	0,45%	0,16%
4,5	0,00%	0,00%	0,22%	0,18%	0,06%	0,13%	0,08%	0,54%	0,32%
<b>ENTRE 1-5</b>	<b>23,83%</b>	<b>24,11%</b>	<b>23,11%</b>	<b>18,53%</b>	<b>22,16%</b>	<b>27,28%</b>	<b>18,61%</b>	<b>21,16%</b>	<b>21,76%</b>
5	0,16%	0,32%	0,49%	0,12%	0,45%	0,25%	0,40%	0,27%	0,16%
6	0,32%	0,06%	0,16%	0,18%	0,11%	0,25%	0,16%	0,18%	0,16%
7	0,16%	0,06%	0,05%	0,12%	0,11%	0,06%	0,08%	0,09%	0,08%
8	0,08%	0,00%	0,11%	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%	0,36%	0,00%
9	0,08%	0,06%	0,05%	0,00%	0,00%	0,13%	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,24%	0,19%	0,11%	0,18%	0,06%	0,13%	0,16%	0,27%	0,00%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>1,05%</b>	<b>0,70%</b>	<b>0,99%</b>	<b>0,59%</b>	<b>0,78%</b>	<b>0,83%</b>	<b>0,81%</b>	<b>1,18%</b>	<b>0,41%</b>
<b>total Particules</b>	<b>98,75%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,21%</b>	<b>99,33%</b>	<b>99,65%</b>	<b>98,92%</b>	<b>99,75%</b>	<b>98,74%</b>	<b>99,15%</b>
<b>control</b>	<b>98,75%</b>	<b>99,38%</b>	<b>99,21%</b>	<b>99,33%</b>	<b>99,65%</b>	<b>98,92%</b>	<b>99,75%</b>	<b>98,74%</b>	<b>99,15%</b>
<b>0-0,9 um</b>	<b>73,87%</b>	<b>74,57%</b>	<b>75,11%</b>	<b>80,21%</b>	<b>76,71%</b>	<b>70,82%</b>	<b>80,34%</b>	<b>76,41%</b>	<b>76,99%</b>
<b>1-5 um</b>	<b>23,83%</b>	<b>24,11%</b>	<b>23,11%</b>	<b>18,53%</b>	<b>22,16%</b>	<b>27,28%</b>	<b>18,61%</b>	<b>21,16%</b>	<b>21,76%</b>
<b>5-10 + um</b>	<b>1,05%</b>	<b>0,70%</b>	<b>0,99%</b>	<b>0,59%</b>	<b>0,78%</b>	<b>0,83%</b>	<b>0,81%</b>	<b>1,18%</b>	<b>0,41%</b>
<b>0-5 um</b>	<b>97,70%</b>	<b>98,68%</b>	<b>98,22%</b>	<b>98,74%</b>	<b>98,87%</b>	<b>96,10%</b>	<b>98,95%</b>	<b>97,56%</b>	<b>98,74%</b>

MAX FERET unitat: um per sobre de	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	*
	29	30	31	32	33	34	35	36	36'	36'
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	5,45%	3,29%	7,08%	3,13%	5,30%	2,75%	14,23%	2,87%	3,90%	3,90%
0,2	12,71%	10,83%	16,69%	11,01%	13,24%	11,07%	12,37%	12,92%	12,92%	14,45%
0,3	13,75%	12,23%	16,13%	11,45%	16,15%	14,05%	17,09%	16,01%	16,64%	16,64%
0,4	13,23%	13,25%	13,10%	11,99%	13,28%	13,09%	18,20%	16,54%	12,82%	12,82%
0,5	31,45%	38,43%	29,29%	35,37%	32,81%	35,78%	29,46%	38,88%	27,68%	27,68%
ENTRE 0-0,9	76,59%	78,04%	82,29%	72,95%	80,78%	76,74%	91,35%	87,23%	75,49%	75,49%
1	10,31%	13,18%	8,54%	14,38%	10,65%	13,33%	5,28%	7,97%	10,96%	10,96%
1,5	5,19%	4,54%	5,23%	6,21%	3,91%	4,60%	2,41%	2,50%	5,03%	5,03%
2	3,05%	1,39%	1,80%	2,79%	2,35%	2,10%	0,40%	0,93%	2,27%	2,27%
2,5	0,59%	0,37%	0,53%	0,71%	0,65%	0,31%	0,09%	0,49%	0,71%	0,71%
3	1,04%	0,66%	0,28%	0,83%	0,44%	0,89%	0,15%	0,15%	1,46%	1,46%
3,5	0,71%	0,66%	0,22%	0,54%	0,28%	0,40%	0,10%	0,34%	0,65%	0,65%
4	0,13%	0,00%	0,11%	0,29%	0,20%	0,57%	0,05%	0,07%	0,32%	0,32%
4,5	0,26%	0,07%	0,28%	0,29%	0,04%	0,24%	0,05%	0,00%	0,24%	0,24%
ENTRE 1-5	21,27%	20,87%	17,00%	26,05%	18,51%	22,44%	8,54%	12,45%	21,65%	21,65%
5	0,78%	0,15%	0,06%	0,15%	0,28%	0,08%	0,05%	0,11%	0,49%	0,49%
6	0,19%	0,07%	0,11%	0,05%	0,12%	0,08%	0,00%	0,07%	0,41%	0,41%
7	0,32%	0,07%	0,00%	0,20%	0,00%	0,08%	0,00%	0,04%	0,32%	0,32%
8	0,00%	0,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,16%	0,16%
9	0,06%	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,32%	0,32%
10	0,13%	0,15%	0,06%	0,20%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ENTRE 5-10	1,49%	0,59%	0,28%	0,59%	0,52%	0,24%	0,05%	0,22%	1,70%	1,70%
total Particules	99,36%	99,49%	99,57%	99,59%	99,81%	99,42%	99,94%	99,90%	98,84%	98,84%
control	99,36%	99,49%	99,57%	99,59%	99,81%	99,42%	99,94%	99,90%	98,84%	98,84%
0-0,9 um	76,59%	78,04%	82,29%	72,95%	80,78%	76,74%	91,35%	87,23%	75,49%	75,49%
1-5 um	21,27%	20,87%	17,00%	26,05%	18,51%	22,44%	8,54%	12,45%	21,65%	21,65%
5-10 + um	1,49%	0,59%	0,28%	0,59%	0,52%	0,24%	0,05%	0,22%	1,70%	1,70%
0-5 um	97,86%	98,91%	99,29%	99,00%	99,29%	99,18%	99,89%	99,68%	97,14%	97,14%

MAX FERET unitat: um per sobre de	14H 37	15H 38	16H 39	17H 40	18H 41	19H 42	20H 43	21H 44	22H 45
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	3,62%	3,92%	3,36%	3,38%	4,43%	4,23%	4,24%	4,56%	4,31%
0,2	12,01%	11,72%	12,99%	11,85%	12,90%	12,79%	13,69%	14,14%	15,38%
0,3	15,43%	14,37%	16,35%	16,29%	16,42%	16,07%	17,44%	17,49%	17,07%
0,4	14,90%	14,57%	18,19%	15,31%	15,31%	15,67%	15,30%	12,26%	14,40%
0,5	36,84%	34,44%	36,65%	34,98%	34,76%	35,77%	34,61%	32,32%	28,86%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>82,79%</b>	<b>79,01%</b>	<b>87,54%</b>	<b>81,80%</b>	<b>83,83%</b>	<b>84,53%</b>	<b>85,26%</b>	<b>80,77%</b>	<b>80,01%</b>
1	10,16%	11,77%	8,20%	10,75%	9,87%	9,55%	9,45%	11,74%	11,07%
1,5	3,70%	5,45%	2,21%	3,83%	3,22%	3,48%	3,00%	3,20%	4,10%
2	1,66%	2,19%	1,05%	1,83%	1,41%	0,95%	0,90%	1,95%	2,41%
2,5	0,49%	0,43%	0,22%	0,59%	0,37%	0,15%	0,43%	0,56%	0,59%
3	0,50%	0,25%	0,16%	0,33%	0,35%	0,45%	0,15%	0,73%	0,56%
3,5	0,42%	0,31%	0,16%	0,16%	0,15%	0,15%	0,22%	0,31%	0,10%
4	0,04%	0,00%	0,05%	0,12%	0,05%	0,15%	0,19%	0,03%	0,26%
4,5	0,00%	0,10%	0,00%	0,04%	0,10%	0,20%	0,00%	0,07%	0,21%
<b>ENTRE 1-5</b>	<b>16,97%</b>	<b>20,50%</b>	<b>12,05%</b>	<b>17,65%</b>	<b>15,53%</b>	<b>15,08%</b>	<b>14,34%</b>	<b>18,60%</b>	<b>19,30%</b>
5	0,08%	0,10%	0,00%	0,16%	0,15%	0,10%	0,15%	0,21%	0,05%
6	0,04%	0,00%	0,05%	0,04%	0,07%	0,00%	0,07%	0,14%	0,00%
7	0,00%	0,05%	0,05%	0,04%	0,00%	0,00%	0,04%	0,03%	0,05%
8	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%	0,00%	0,03%	0,05%
9	0,00%	0,00%	0,05%	0,08%	0,00%	0,05%	0,04%	0,03%	0,05%
10	0,00%	0,05%	0,11%	0,04%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,10%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>0,12%</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,26%</b>	<b>0,37%</b>	<b>0,40%</b>	<b>0,30%</b>	<b>0,30%</b>	<b>0,56%</b>	<b>0,31%</b>
<b>total Particules</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,72%</b>	<b>99,85%</b>	<b>99,81%</b>	<b>99,77%</b>	<b>99,91%</b>	<b>99,91%</b>	<b>99,93%</b>	<b>99,61%</b>
<b>control</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,72%</b>	<b>99,85%</b>	<b>99,81%</b>	<b>99,77%</b>	<b>99,91%</b>	<b>99,91%</b>	<b>99,93%</b>	<b>99,61%</b>
0-0,9 um	82,79%	79,01%	87,54%	81,80%	83,83%	84,53%	85,26%	80,77%	80,01%
1-5 um	16,97%	20,50%	12,05%	17,65%	15,53%	15,08%	14,34%	18,60%	19,30%
5-10 + um	0,12%	0,20%	0,26%	0,37%	0,40%	0,30%	0,30%	0,56%	0,31%
0-5 um	<b>99,76%</b>	<b>99,52%</b>	<b>99,59%</b>	<b>99,45%</b>	<b>99,36%</b>	<b>99,61%</b>	<b>99,61%</b>	<b>99,37%</b>	<b>99,31%</b>

MAX FERET unitat: um per sobre de	23H 46	24H 47	48H 48	3D 49	4D 50	5D 51	6D 52	7D 53	9D 54
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	4,21%	3,74%	6,28%	3,07%	5,39%	3,59%	3,52%	4,35%	3,30%
0,2	11,18%	12,21%	18,40%	12,88%	15,62%	14,62%	12,66%	13,59%	10,74%
0,3	16,27%	15,79%	18,36%	15,95%	16,98%	17,00%	14,91%	17,53%	12,45%
0,4	13,74%	15,84%	15,94%	16,39%	15,19%	16,44%	13,73%	16,49%	14,12%
0,5	33,65%	36,67%	26,87%	35,05%	31,88%	34,85%	35,26%	36,10%	39,89%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>79,05%</b>	<b>84,26%</b>	<b>85,85%</b>	<b>83,34%</b>	<b>85,06%</b>	<b>86,49%</b>	<b>80,08%</b>	<b>88,06%</b>	<b>80,49%</b>
1	12,30%	9,77%	7,27%	10,57%	8,88%	7,18%	12,08%	7,71%	11,92%
1,5	5,09%	2,79%	3,18%	3,07%	3,20%	2,63%	4,78%	2,32%	4,36%
2	1,84%	1,15%	1,43%	1,73%	1,16%	1,32%	1,38%	0,75%	1,78%
2,5	0,53%	0,37%	0,62%	0,37%	0,25%	0,46%	0,49%	0,37%	0,56%
3	0,36%	0,25%	0,48%	0,18%	0,63%	0,35%	0,46%	0,12%	0,27%
3,5	0,20%	0,25%	0,20%	0,18%	0,19%	0,40%	0,23%	0,12%	0,27%
4	0,12%	0,30%	0,24%	0,22%	0,19%	0,20%	0,19%	0,12%	0,27%
4,5	0,16%	0,15%	0,08%	0,09%	0,05%	0,15%	0,08%	0,04%	0,08%
<b>ENTRE 1-5</b>	<b>20,60%</b>	<b>15,02%</b>	<b>13,50%</b>	<b>16,41%</b>	<b>14,56%</b>	<b>12,70%</b>	<b>19,69%</b>	<b>11,56%</b>	<b>19,27%</b>
5	0,04%	0,30%	0,20%	0,00%	0,05%	0,20%	0,08%	0,04%	0,08%
6	0,08%	0,05%	0,16%	0,04%	0,00%	0,15%	0,00%	0,04%	0,04%
7	0,00%	0,10%	0,12%	0,00%	0,10%	0,10%	0,04%	0,12%	0,00%
8	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
9	0,04%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,50%</b>	<b>0,48%</b>	<b>0,09%</b>	<b>0,24%</b>	<b>0,51%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,25%</b>	<b>0,11%</b>
<b>total Partícules</b>	<b>99,84%</b>	<b>99,77%</b>	<b>99,82%</b>	<b>99,84%</b>	<b>99,86%</b>	<b>99,70%</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,87%</b>	<b>99,87%</b>
<b>control</b>	<b>99,84%</b>	<b>99,77%</b>	<b>99,82%</b>	<b>99,84%</b>	<b>99,86%</b>	<b>99,70%</b>	<b>99,88%</b>	<b>99,87%</b>	<b>99,87%</b>
0-0,9 um	79,05%	84,26%	85,85%	83,34%	85,06%	86,49%	80,08%	88,06%	80,49%
1-5 um	20,60%	15,02%	13,50%	16,41%	14,56%	12,70%	19,69%	11,56%	19,27%
5-10 + um	0,20%	0,50%	0,48%	0,09%	0,24%	0,51%	0,11%	0,25%	0,11%
0-5 um	<b>99,64%</b>	<b>99,27%</b>	<b>99,35%</b>	<b>99,75%</b>	<b>99,62%</b>	<b>99,20%</b>	<b>99,77%</b>	<b>99,62%</b>	<b>99,76%</b>



MAX FERET unitat: um per sobre de	11D	13D	15D	17D	19D	21D	23D	25D	27D
	55	56	57	58	59	60	61	62	63
0-0,1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,1	3,84%	4,25%	4,56%	6,46%	3,94%	3,54%	4,67%	4,07%	3,72%
0,2	13,26%	14,25%	13,12%	19,12%	14,08%	14,95%	14,41%	14,90%	14,19%
0,3	16,39%	17,38%	18,78%	18,29%	18,67%	19,95%	20,09%	20,93%	18,60%
0,4	15,27%	14,48%	15,80%	13,80%	15,90%	17,18%	16,72%	16,75%	18,28%
0,5	36,86%	35,97%	36,16%	29,25%	34,57%	33,44%	34,00%	31,92%	34,73%
ENTRE 0-0,9	85,62%	86,33%	88,42%	86,91%	87,16%	89,06%	89,88%	88,57%	89,53%
1	7,87%	8,42%	8,11%	7,49%	8,09%	6,90%	6,24%	6,96%	6,34%
1,5	3,51%	2,94%	1,81%	2,64%	2,09%	2,20%	1,34%	2,38%	2,02%
2	1,36%	1,18%	0,83%	0,91%	0,97%	0,92%	0,97%	1,13%	1,10%
2,5	0,59%	0,34%	0,34%	0,59%	0,53%	0,37%	0,34%	0,28%	0,12%
3	0,19%	0,27%	0,15%	0,47%	0,40%	0,23%	0,28%	0,20%	0,18%
3,5	0,09%	0,23%	0,04%	0,24%	0,24%	0,12%	0,09%	0,12%	0,18%
4	0,23%	0,00%	0,15%	0,12%	0,08%	0,04%	0,18%	0,00%	0,05%
4,5	0,05%	0,05%	0,04%	0,16%	0,08%	0,04%	0,00%	0,04%	0,18%
ENTRE 1-5	13,89%	13,42%	11,46%	12,61%	12,48%	10,81%	9,44%	11,11%	10,18%
5	0,14%	0,05%	0,00%	0,16%	0,08%	0,04%	0,23%	0,04%	0,09%
6	0,00%	0,00%	0,04%	0,12%	0,05%	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%
7	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	0,12%	0,05%
8	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%
9	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,04%	0,05%
10	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%
ENTRE 5-10	0,19%	0,09%	0,04%	0,32%	0,20%	0,04%	0,51%	0,24%	0,23%
total Particules	99,70%	99,84%	99,93%	99,84%	99,84%	99,91%	99,83%	99,92%	99,94%
control	99,70%	99,84%	99,93%	99,84%	99,84%	99,91%	99,83%	99,92%	99,94%
0-0,9 um	85,62%	86,33%	88,42%	86,91%	87,16%	89,06%	89,88%	88,57%	89,53%
1-5 um	13,89%	13,42%	11,46%	12,61%	12,48%	10,81%	9,44%	11,11%	10,18%
5-10 + um	0,19%	0,09%	0,04%	0,32%	0,20%	0,04%	0,51%	0,24%	0,23%
0-5 um	99,51%	99,75%	99,89%	99,52%	99,64%	99,87%	99,32%	99,57%	99,71%

Descripción de las fases de carbonato cálcico en la superficie de enlucidos de cal en pasta pintados al fresco.

MAX FERET unitat: um per sobre de	29D 64
0-0,1	0,00%
0,1	3,40%
0,2	14,05%
0,3	19,41%
0,4	15,80%
0,5	36,59%
<b>ENTRE 0-0,9</b>	<b>89,25%</b>
1	7,08%
1,5	1,52%
2	1,04%
2,5	0,15%
3	0,34%
3,5	0,13%
4	0,20%
4,5	0,03%
<b>ENTRE +5</b>	<b>10,50%</b>
5	0,07%
6	0,07%
7	0,10%
8	0,00%
9	0,00%
10	0,00%
<b>ENTRE 5-10</b>	<b>0,24%</b>
<b>total partícules</b>	<b>99,99%</b>
<i>control</i>	<i>99,99%</i>
0-0,9 um	89,25%
1-5 um	10,50%
5-10 + um	0,24%
0-5 um	<b>99,75%</b>

**9.5. Anexo 5. Tabla de integración de áreas de banda de todos los espectros realizados para esta investigación.**

	AGUA CAL	CAL EN PASTA	CN 0	3m 20s	6m 24s	12m	22m
OH CRIST	PROMEDIO 0,753	PROMEDIO 3,091	PROMEDIO 1,385	PROMEDIO 1,627	PROMEDIO 2,222	PROMEDIO 1,163	PROMEDIO 0,466
TENSION OH	109,510	90,462	90,600	95,537	88,883	61,861	20,708
DEFOR OH	9,406	8,646	8,229	8,871	8,109	5,578	2,081
TENS CO3 1	6,690	2,728	2,327	4,215	6,079	9,498	3,895
TENS CO3 2	0,487	0,145	0,113	0,169	0,230	0,358	0,166
CO3 710	0,117	0,002	0,048	0,076	0,068	0,087	0,040
SUMA 2-3 co3	0,604	11,519	10,669	13,255	14,417	15,433	6,141
SUMA CO3	16,583	11,519	10,669	13,255	14,417	15,433	6,141
SUMA OH	119,669	102,199	100,214	106,035	99,214	68,602	23,255

Descripción de las fases de carbonato cálcico en la superficie de enlucidos de cal en pasta pintados al fresco.

	28m	44m	47m	53m	60m	1h 40m	2h 30m
<b>OH CRIST</b>	PROMEDIO 3,110	PROMEDIO 2,076	PROMEDIO 0,206	PROMEDIO 1,109	PROMEDIO 1,830	PROMEDIO 1,946	PROMEDIO 1,413
<b>TENSION OH</b>	86,380	81,771	16,212	55,776	44,015	55,612	78,301
<b>DEFOR OH</b>	7,667	7,297	1,747	5,231	4,080	5,026	7,208
<b>TENS CO3 1</b>	14,581	10,270	1,500	8,744	9,999	9,208	6,712
<b>TENS CO3 2</b>	0,527	0,385	0,072	0,334	0,419	0,407	0,289
<b>CO3 710</b>	0,105	0,083	0,129	0,043	0,061	0,133	0,072
<b>SUMA 2-3 co3</b>	22,775	17,951	3,319	14,309	14,498	14,640	14,208
<b>SUMA CO3</b>	22,775	17,951	3,319	14,309	14,498	14,640	14,208
<b>SUMA OH</b>	97,157	91,143	18,165	9,121	10,479	9,747	7,072

	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
<b>OH CRIST</b>	PROMEDIO 1,252	PROMEDIO 0,629	PROMEDIO 2,048	PROMEDIO 1,500	PROMEDIO 1,878	PROMEDIO 0,509	PROMEDIO 1,416
<b>TENSION OH</b>	36,672	10,800	44,094	67,196	62,723	16,602	47,357
<b>DEFOR OH</b>	3,252	0,911	3,896	13,813	5,573	1,486	4,153
<b>TENS CO3 1</b>	6,854	8,987	13,640	21,863	10,931	7,475	12,614
<b>TENS CO3 2</b>	0,308	0,503	0,647	0,307	0,478	0,417	0,547
<b>CO3 710</b>	0,052	0,102	0,105	0,105	0,102	0,101	0,089
<b>SUMA 2-3 co3</b>	10,414	10,401	18,183	35,982	16,982	9,379	17,314
<b>SUMA CO3</b>	10,414	10,401	18,183	35,982	16,982	9,379	17,314
<b>SUMA OH</b>	7,214	9,592	14,392	22,274	11,511	7,993	52,927

	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h
<b>OH CRIST</b>	PROMEDIO 0,904	PROMEDIO 0,597	PROMEDIO 45,052	PROMEDIO 1,369	PROMEDIO 1,114	PROMEDIO 1,185	PROMEDIO 1,274
<b>TENSION OH</b>	34,314	134,151	335,729	34,165	22,684	34,702	51,674
<b>DEFOR OH</b>	3,260	2,282	0,946	3,298	2,397	3,250	4,784
<b>TENS CO3 1</b>	8,307	4,465	48,774	7,515	7,621	3,497,364	10,646
<b>TENS CO3 2</b>	0,346	0,193	0,480	0,334	0,341	0,401	0,433
<b>CO3 710</b>	0,055	0,033	0,046	0,069	0,044	0,059	0,083
<b>SUMA 2-3 co3</b>	11,913	6,940	50,201	11,147	10,358	3,501,015	15,862
<b>SUMA CO3</b>	11,913	6,940	50,201	11,147	10,358	3,501,015	15,862
<b>SUMA OH</b>	38,477	137,030	381,727	38,831	26,194	39,137	57,732

	18h	19h	20h	21h	22h	24h	160d
<b>OH CRIST</b>	PROMEDIO 1,242	PROMEDIO 1,044	PROMEDIO 0,309	PROMEDIO 0,291	PROMEDIO 0,942	PROMEDIO 0,802	PROMEDIO 0,451
<b>TENSION OH</b>	55,911	38,040	1,823	2,533	27,028	34,228	0,949
<b>DEFOR OH</b>	5,139	3,378	0,218	0,349	2,529	3,213	-0,585
<b>TENS CO3 1</b>	8,119	11,516	2,911	2,820	13,313	7,986	8,554
<b>TENS CO3 2</b>	0,345	0,506	0,183	0,162	0,601	0,343	0,694
<b>CO3 710</b>	0,059	0,059	0,059	0,059	0,136	0,059	0,228
<b>SUMA 2-3 co3</b>	13,602	15,400	3,311	3,332	16,443	11,542	8,663
<b>SUMA CO3</b>	13,602	15,400	3,311	3,332	16,443	11,542	8,663
<b>SUMA OH</b>	62,291	42,462	2,349	3,174	30,499	38,243	0,815

Descripción de las fases de carbonato cálcico en la superficie de enlucidos de cal en pasta pintados al fresco.