

## INDEX

|                                                                |             |
|----------------------------------------------------------------|-------------|
| 1. Objectius.....                                              | pag. 3      |
| 2. La història de la construcció del campanar                  |             |
| 2.1. Construcció del campanar de Sant Feliu al segle XIV. .... | pag.4-10    |
| 2.2. La continuïtat de les obres als segles XV – XVIII .....   | pag. 11-12  |
| 3. La Pedra de Girona                                          |             |
| 3.1. Classificació.....                                        | pag.13-14   |
| 3.2. Formació geològica.....                                   | pag.15-17   |
| 3.3. Les roques sedimentàries .....                            | pag.18-31   |
| 3.4. Composició orgànica.....                                  | pag.32-39   |
| 3.5. Característiques de les roques.....                       | pag.40-48   |
| 4. El morter de calç                                           |             |
| 4.1. El morter .....                                           | pag.49-51   |
| 4.2. Components per l'elaboració de morters.....               | pag.52-79   |
| 4.3. Característiques dels morters.....                        | pag.80-92   |
| 4.4. Comportament dels morters.....                            | pag.93-113  |
| 5. Patologies                                                  |             |
| 5.1. Patologies del campanar.....                              | pag.114-125 |
| 5.2. Plànols de patologies .....                               | pag.126-127 |
| 6. Actuacions                                                  |             |
| 6.1. Actuacions del campanar .....                             | pag.128-144 |
| 6.2. Plànols de les actuacions.....                            | pag.145-147 |
| 7. Conclusions .....                                           | pag.148-153 |
| 8. Bibliografia .....                                          | pag.154-155 |
| 9. Annexes                                                     |             |
| 9.1. Documentació fotogràfica i plànols.....                   | pag.156-166 |
| 9.2. Resultat dels assaigs.....                                | pag.167-232 |
| 9.3. Normativa de pedra.....                                   | pag.233-247 |
| 9.4. Normativa de morter.....                                  | pag.248-253 |
| 9.5. Plec de condicions particulars .....                      | pag.254-269 |
| 9.6. Agraïments.....                                           | pag.270-270 |

## **1. OBJECTIU:**

La finalitat del present projecte es l'estudi dels materials de construcció del campanar de Sant Feliu de Girona, es a dir com son la pedra de Girona i el morter de calç del que esta fet, analitzant el seu comportament i l'evolució soferta en les seves diverses parts des de que va ser construït.

Per aconseguir-ho, després d'analitzar i remirar moltes vegades la torre de prop des de dalt de la bastida en els seus diversos pisos i cares, s'han extret mostres de tots dos materials i de les zones més significatives, per tal d'intentar veure'n les diferències fent els assajos pertinents. D'aquesta manera, i previs els estudis teòrics sobre les matèries corresponents, es podrà valorar les característiques pròpies de la pedra i el morter en qüestió i sabent el desgast sofert en les diferents zones i com han reaccionat davant de les incidències diverses, arribar a un coneixement precís de les patologies i les seves naturaleses.

En resum, en aquest projecte s'intenta analitzar la construcció del campanar, els materials que el formen, don provenen i les solucions que es poden adoptar a l'hora de restaurar un monument com aquest.

## **2. LA HISTÒRIA DE LA CONSTRUCCIÓ DEL CAMPANAR:**

### **2.1. La construcció del campanar de l'església de Sant Feliu al segle XIV.**

El dia 8 de maig de 1368 es signa l'acord entre el capítol de l'església de Sant Feliu de Girona, Berenguer Busquets i Berenguer Ferrer per enderrocar els hospicis (domicilis o cases) d'en Francesc de Cors i d'en Berenguer Hospital on es bastirà el campanar gòtic actualment conservat. El mes de juny de l'any 1368 el mestre d'obra Pere de Coma i l'escrivà Dalmau Corona van travessar el riu Onyar per fer la traça del campanar. I tot seguit apareix la concòrdia feta entre el capítol de Sant Feliu i Pere de Coma, en data 5 de setembre de 1368 per realitzar el nou campanar, on Ramon Gil fa el document notarial. En aquesta concòrdia el mestre es compromet a bastir el *cloquer* – no s'especifica fins a quina alçada – pel preu de 140 sous anuals a més dels 4 sous que rebrà per cada dia que sigui a obra. Per evitar l'absència del mestre, només se'l disculpa si es troba treballant en l'obra del pont major, contractada amb anterioritat, se l'obliga a estar com a mínim una hora en l'obra del campanar. Corren al seu càrrec les despeses de contractació i s'especifica molt clarament que no s'ha de malgastar.

Del campanar començat l'any 1368 es conserva un plànol a l'Arxiu Diocèsà de Girona. Es tracta d'un paper de forma vuitavada, la que té el campanar, d'uns 16 x 16 cm. i escrit per les dues cares. A l'anvers trobem una secció del campanar i en cadascuna de les cares del mur seccionat apareix el mot *alambor*. Ens indica que la base no serà perpendicular al terra sinó inclinada, formant talús. A més apareix situat el mur que l'unirà en el futur amb l'església. En un primer moment aquest campanar es trobava separat de l'església.

Abans de fer el campanar es va comprar l'alberg d'en Francesc Corona i Berenguer Hospital – conegut popularment com hospici o casa d'en Balaguer – per 50 lliures, 8 sous anuals de cens al sagristà mitjà (també anomenat sagrista segon de la Seu), 1 morabeti de l'abat per cada nou titular i per 7 pales de l'alberg d'en Berenguer Hospital, 7 lliures, i enderrocar-ho per poder aixecar el nou campanar. Les obres d'enderroc de l'alberg començaren el dilluns 3 de juliol de 1368. En aquestes feines d'enderroc i retirada de runes trobem treballant a més del mestre, pedrers, manobres i dones (eren encarregades de retirar les runes)

Un cop fetes les feines d'enderroc de l'alberg i oberts els fonaments, la primera pedra del campanar es col·locà el dia 11 d'agost de 1368 amb la presència del bisbe

Ènnec de Valterra. En aquests moments es comença a portar calç per la realització dels fonaments.

El dia 30 d'agost de 1368 es treballa mitja nit en el reforç del campanar romànic per perill de que aquest caigués. Aquesta notícia ens permet deduir que el *cloquer vell* es trobava al costat nord a tocar la façana principal (la occidental) i que un cop enderrocats els albergs aquests van presentar problemes d'estabilitat. Es possible que els seus fonaments quedessin descalçats un cop va ser enderrocats els albergs. I a continuació el dia 6 d'agost es va portar terra per reforçar el campanar.

El 25 de setembre de 1368 s'aturen momentàniament les obres del campanar per començar a fortificar novament l'església.

Les obres al campanar es reprenen en el mes de febrer de 1369. Un fet important és que la segona setmana del mes d'abril, trobem el mestre major junt amb altres treballadors (fusters, ferrers i manobres) construint la llotja per treballar a peu d'obra. Aquesta llotja, porxo, cobert o barraca, es tracta d'una construcció provisional bastida amb fusta i de factura ràpida. Ja apareixia anteriorment durant les obres a l'interior de l'església.

Segons les notícies extretes del llibre d'obra corresponent a les despeses dels anys 1365 al 1370, concretament el 16 de juliol, ja s'hauria acabat la part atalussada i es començarien a pujar els murs verticals al terra del campanar de l'església de Sant Feliu de Girona. Aquest fet el deduïm per dues notícies que apareixen a les despeses el 2 i el 16 de juliol. La primera ressalta el treball que s'està duent a terme en la pedrera, realitzant un tipus molt determinat de carreus, els anomenats somadals, per col·locar en obra. I la segona el fet que es citi que es comença a treballar al campanar i no es descriu ja el mur en talús.

L'arribada de les companyies franceses farien aturar les obres entre mitjans de setembre del 1369 i començament de gener de 1370. El dia 23 de març es torna a aixecar la paret del campanar ja que en Botet cobrà per dos dies 10 sous i 8 diners. Fins el dia 1 d'octubre de l'any 1370, trobem a mestres i operaris treballant en les obres del campanar. Les absències, del mestre, són habituals a causa de la pluja, les festes setmanals, el treball en altres obres, etc.

Malauradament hi ha un buit documental en els llibres d'obres, pel que fa a les despeses entre el dia 1 d'octubre del 1370 i el 1 d'abril de 1374. Aquest fet no ens permet resseguir la construcció del campanar de l'església de Sant Feliu durant aquest període. És en aquest més d'abril quan comencen les despeses relatives a obres de les campanes, es tractava de treballs a les diferents campanes. Aquestes obres correspondrien ja a les campanes situades al nou campanar o les del *cloquer vell*. És evident que es tractaria del campanar vell ja que el nou no havia assolit encara l'alçada suficient per poder situar les campanes ni l'assoliria fins al cap de dos segles.

En acabar l'any es pensa que es procedia a desmuntar la bastida del *cloquer vell*. Aquest campanar es devia fortificar ja que el 26 d'abril es desmunten les verdesques existents.

El mes de novembre de 1375 es reprenen les obres al campanar però no és fins el 24 de maig de 1376 que es comença a treballar *in situ*.

En la represa de les obres del campanar, inicialment, no apareix el mestre Pere de Coma i només trobem *lápicides*. Hem de creure que es tractaria de mestres pedrers que per la seva experiència no necessitarien del mestre d'obres per realitzar el seu treball. No trobem novament esmentat al mestre major fins el 22 de novembre de 1376 on cobra 90 sous en concepte de quantitats que li deuen entre el 5 de maig de 1375 i el dia abans esmentat. La major part de l'any 1376 es treballa a la pedrera i no s'intervé pràcticament, excepte en comptades ocasions, al campanar.

El dia 4 de maig de 1377 es començaria a cobrir la capella del campanar gòtic amb entaulaments i ensargaments. En aquesta capella hi treballaran els pedrers Francesc Cassa i Antoni Escuder. El mestre major, Pere de Coma, no apareix treballant en aquesta obra. Només apareix el mestre d'obres amb motiu del pagament de la seva pensió en data 4 de setembre de 1378.

Les obres al campanar es reprendrien el 23 de maig de 1379, després que quedessin aturades el 12 de juny de 1378, amb els treballs a les pedreres. El mestre d'obres Pere de Coma comença a treballar la darrera setmana del més de juliol de l'any 1379. A partir d'aquesta data apareix el mestre major de l'obra junt amb el seu aprenent Pere Riera de forma continuada. Aquestes obres encara correspondrien a la capella sota el campanar ja que el 21 d'agost de 1379 es compra material per les

reixes. Junt amb les obres del campanar gòtic trobem que el mes de juny de 1379, concretament el dia 28, s'arreglen les campanes del campanar romànic.

A finals d'agost l'obra al campanar ja estaria força avançada, pel que fa a la seva alçada, ja que es fa una nova bastida sobre la ja existent. El mes d'octubre de 1379 s'aturen les obres.

A començament de juny de l'any 1380 s'estarien començant a fer les escales de cargol del campanar i el 3 de febrer de l'any 1381 s'inicia la realització dels formerets (nervis) de la capella. En aquests moments l'esmentada capella es trobaria en la fase final del procés de construcció. El dia 13 d'abril de 1381 es produeix el pagament a Joan Llor, ferrer, de les reixes pels finestrals de la capella del *cloquer nou*. A finals del mes d'abril es paguen 6 sous a Berenguer Serra per les portes d'aquesta escala.

A principis de juny de 1381 trobem que s'estan subministrant carreus escalabornats per bastir la volta de la capella sota el campanar i carreus per l'escala de cargol. Dos dies després es realitza una petita finestra que està ubicada pràcticament a on acaba l'escala de cargol. El primer dia de juny de 1381 es col·loquen les xarneres i les reixes de la finestra del campanar, en aquest cas no s'especifica si es tracta de la finestra de l'escala de cargol. A finals del mes de juny de 1381 es comencen les portes del *caragol*, hem de pensar que es tractaria de dues, una a baix i una altra a dalt. Encara s'hi està treballant en aquestes a finals del mes de febrer.

A començament de l'any 1382 es continua treballant en la volta de la capella sota el campanar i en les escales de cargol d'aquest. Les feines en les escales de cargol es deuen estar acabant ja que es paguen 65 sous per cobrir la citada escala. En la segona setmana d'agost ja s'està realitzant el corredor i la seva coberta. A finals d'abril es munten noves bastides per continuar aixecant les parets del campanar. A començament del mes de maig en Vilarnau, fuster, està realitzant les cintes per poder executar els arcs del campanar. En les despeses que continuen es parla de l'arc major del *cloquer*. El 13 de setembre es compren cairats de roure per fer baranes a l'escala del campanar.

El 27 de setembre de 1382 es paga a en Julià per dues peces de pedra per finalitzar l'escala de cargol. En aquest mateix moment s'està bastint l'arc ample del campanar, es parla de l'arc major. El mateix dia es pagà al pedrer Pere de Torres per

dues peces de pedra per una columna – el capitell apareix més endavant – situada al final de l'espigó de l'escala del campanar nou, que serveix per aguantar la coberta d'aquesta, i l'altra es utilitzada per la llinda de la porta principal del campanar. El dia 30 d'octubre es procedeix a desmuntar el pont del campanar, es tractaria d'una estructura de fusta que serviria per realitzar treballs en alçada i que per la seva forma, estreta i allargada, hauria estat batejat com el *pont del cloquer*. El citat pont podria comunicar el nou campanar amb l'església.

El dia 23 de maig de 1383 apareix a l'obra, el trobem treballant des del 15 de juliol de 1368, el pedrer Pere Ramon. Aquest serà l'encarregat de realitzar la clau de volta de la capella sota el campanar, tot i que el mestre Pere de Coma continua treballant regularment a l'obra. El dia 6 de juliol de 1383 es farà el pagament de la primera clau de volta del campanar comprada feia un temps. El dia 5 d'agost de 1383 es fa el transport de la clau de volta des de la pedrera a peu d'obra. El 6 d'octubre, el mestre, ara se l'anomena així, Pere Ramon comença a *florejar* la volta de la capella sota el campanar. L'esbós dels àngels que apareixien en aquesta clau de volta – la capella és la de Nostra Senyora dels Àngels – el realitza en Guillem Borrassa I pel preu de 3 florins. La clau s'acabaria el dia 27 d'octubre de 1383 i es pagaria el 13 de gener de 1384.

Un cop col·locada la clau de volta de la capella sota el campanar les obres d'aquest no s'aturen i es comença a pujar paret i a bastir la segona volta del *cloquer*. Aquesta volta apareix en altres despeses com a *volta migane*. El dia 20 d'abril de 1384 comencen a arribar a l'obra pedres per realitzar el paviment la qual cosa ens indica que està proper l'acabament del segon cos del campanar. El llibre de depeses acaba el 15 de novembre de 1384 i no s'especifica si ja s'ha fet el paviment del segon cos del campanar. Es treballa en aquesta volta fins el mes de març de 1385.

L'any 1385 es fortifica el campanar aixecant ampits per tal de defensar la ciutat de Girona de les companyies. En el 16 de febrer s'hauran de substituir uns mantelets que el vent havia trencat. I el dia 25 s'està col·locant fusta a les sarges de la segona volta del campanar. Aquesta volta s'apuntalaria el darrer dia del mes de febrer, ja que es compren a en Pin tres dotzenes de berns. El dia 6 de març d'aquest mateix any s'està pujant la paret i col·locant el rebla.

El dia 17 d'abril d'aquest any es tornen a reprendre les obres al campanar de l'església de Sant Feliu i es menciona la realització de l'ara per l'altar situat a la capella

del *cloquer*. Fins el 20 de maig de 1385 no es tornarien a executar els arcs i les voltes en el campanar. A finals de juny, concretament el dia 27, s'estaria acabant de cobrir la segona volta.

L'any 1386 comença amb la continuació de les obres al cloquer on diferents manobres aporten carreus i rebla. A començaments de juny es tornen a aturar les obres en el campanar per tal de reparar les teulades de l'església.

A partir del 14 d'abril de 1388 es reprenen les obres al campanar de Sant Feliu. Sembla que es tractaria de la realització d'una nova bastida per tal que l'obra pogués guanyar alçada i així poder col·locar l'argue per fer pujar el material fins l'alçada on es treballava. El treball durant el mes d'abril i de maig es continuat i hi treballen gran quantitat d'operaris. S'estaria executant l'entaulament del campanar ja que el *macip* de Pere de Coma esta escalabornant pedres per aquest la setmana del 16 de maig.

A finals de juny de 1388 es realitza l'ara per la capella sota el campanar. Per tant veiem que des del mes d'abril de 1385 que es menciona per primera vegada el ara d'aquest altar fins a la seva realització han passat més de tres anys. I encara més, no es col·locarà a la capella fins el 11 d'abril de 1389. En aquest mateix mes ja es procedeix a l'execució del paviment de la volta. El 26 d'agost encara s'està realitzant el paviment ja que es paga a en Pere Basa quatre sous i 8 diners per cana. El mes de setembre ja es col·loca el crespell – rebla – de la volta i el mes d'octubre es fa el paviment. La setmana del 24 d'octubre es comença a col·locar el trespol de la primera volta del campanar i s'aplana a principis de novembre. En el mes d'abril de 1389 s'està acabant el segon tram del campanar i s'estan realitzant unes baranes a la part exterior d'aquest. És en aquests moments que es treu l'argue per pujar el material necessari per la construcció del campanar. S'ha de pensar per tant que en aquests moments es donarien per acabades les feines al campanar. En aquest any no tenim més notícies d'obres al campanar.



## 2.2. La continuïtat de les obres als segles XV - XVIII

El següent pas, un cop finalitzada l'ampliació de l'últim tram de la nau de l'església realitzat a finals del segle XV, va ser l'acabament del campanar de l'església de Sant Feliu. Fins els anys 80 del segle XX els historiadors pensaven que es tractava d'un campanar gòtic iniciat l'any 1368, sota la direcció de Pere de Coma, i finalitzat a la dècada dels 90 (l'any 1392) del mateix segle. Avui sabem, que la part gòtica arribava fins l'alçada de la nau central, i que els cossos escalonats es van bastir al segle XVI. Clara es recolza per realitzar aquesta afirmació en les visites pastorals de l'any 1542 on es diu que el campanar no està acabat i en el contracte signat amb el mestre Joan de Bellojch l'any 1532 per continuar l'obra. Que el campanar es va acabar al segle XVI era ben fàcil de comprovar: pujant al campanar es pot veure que l'última clau de volta és de l'any 1572.

El contracte es va fer entre mestre Joan de Belljoch, d'origen francès, i els obrers de l'obra laica Lluís Desvern, Narcís Amat, Pere Llopis i Gaspar Terres. Aquest també era mestre major de la Seu de Girona. El mestre es comprometia a aixecar aproximadament uns 11 metres, o sigui del nivell 2 al nivell 3 del campanar. El mestre havia de cobrar 50 lliures barceloneses distribuïdes de la següent forma: 5 lliures per l'administració, 15 lliures pel treball de la pedra i el transport aprop de l'església, per començar a realitzar els murs 15 lliures i un cop acabada l'obra 15 lliures més. Es concreta que també es paguin a raó de tres sous i mig per dia a cadascun dels picapedrers encarregats de *picar* pedra. Totes les eines necessàries per la realització de l'obra corrien a càrrec de Joan de Belljoch.

Sembla ser que aquest mestre va deixar les obres a mitges, segons Clara, per algun problema en les obres de la catedral. Arribats a aquest punt, els eclesiàstics i els laics, els obrers i parroquians de l'església de Sant Feliu de Girona van encarregar dos informes tècnics per veure si es podia continuar l'obra del campanar. Aquests informes tècnics van ser encarregats a Pau Mateu mestre de cases i Antoni Carbonell fuster un i l'altre a Joan López de Pulcro Podio mestre d'obres. El primer és de data 7 de febrer de 1536 – apareix citada una maqueta de Joan Belljoch – i el segon és de data 20 de juny de 1538. Això vol dir que com a molt Joan de Belljoch va treballar entre 1532, data de la realització del contracte, i finals de 1535 o principis 1536, data del primer informe. Tots dos informes arriben a la conclusió que l'obra es pot continuar sense cap problema fent unes petites millores com: reforçar les parets utilitzant un morter més bo, col·locar perpanys que lliguin pedres d'una sola peça que lliguin les cantonades.

El mestre Enric Gelabert continuarà de l'obra. El contracte sembla ser, no s'ha trobat el document original, va ser signat l'any 1540 davant el notari Miquel Garbí tal com apareix en uns rebuts posteriors. El mestre d'obres cobrà, el 7 de gener de 1551, 40 lliures barceloneses tal com apareix en els rebuts abans esmentats. La darrera data que es té constància que es treballava al campanar és l'any 1571 ja que en els llibres municipals de la taula de canvi d'aquest any apareix Pere Boris com mestre de l'obra i un seguit de picapedrers amb les quantitats cobrades. Com veiem aquesta data coincidiria amb la de l'última clau de volta del campanar (1572).

Sembla ser que la forma actual del campanar de Sant Feliu, amb l'agulla central truncada, va ser deguda a la caiguda d'un llamp. Vindrien a ser uns 15 metres mentre que en els documents es parla de 4 canes (6 metres) i 6 canes (9 metres). Ni tampoc cap dels autors no coincideix en la data de la caiguda del llamp en els diferents documents consultats. En el llibre publicat l'any 1993 per Francesc Llorens i Miquel Angel Chamorro es diu que *“Per l'estudi exhaustiu que s'ha realitzat d'aquest campanar, segons el nostre punt de vista va ser acabat tal com és ara. El van deixar així perquè no el sabien acabar a causa de les irregularitats de la base de l'agulla o per falta de recursos econòmic per finançar l'obra”*.

### 3. LA PEDRA DE GIRONA

#### 3.1. CLASSIFICACIÓ

La pedra de Girona és una calcària nummulítica de l'Eocè mitjà (lutecià) d'aspecte massiu microcristalí on destaquen els nummulits. És una roca compacta, coherent i relativament homogènia. La podem trobar de dos colors: gris (blau) o beix, o inclòs una barreja de les dues tonalitats (raig).



FOTOGRAFIA Nº 1: MACROFOTOGRAFIA D'UNA MOSTRA PEDRA DE GIRONA

Pertany al grup de les roques sedimentàries. Són roques carbonatades, compostes bàsicament per carbonat calci.

Està formada, bàsicament per calcita, dolomita, feldspat i quars. Els percentatges d'aquests minerals són els següents: calcita un 83%, dolomita un 2.5%, feldspat un 9.5% i quars un 5%. La seva textura és clàstica, granosuportada amb nummulits de grans dimensions. Intersticialment trobem una matriu arenosa i en algunes zones ciment espàtic. És una roca que presenta pocs espais buits (porus) i aquests es troben en la fracció arenosa.

### 3.2. FORMACIÓ GEOLÒGICA

Durant el Cretaci i fins el Miocè (fa més de 100 milions d'anys) la subplaca ibèrica, que estava individualitzada, té uns moviments de rotació i lliscament que donen lloc a la formació del golf de Biscaia i al desenvolupament de la conca sedimentària pirinenca i, finalment, a la gènesi de l'origen Pirinenc.

En una època més tardana, l'Oligocè, una part del marge de la placa ibèrica i euràstica, desde Provença fins a València, es veu afectada per un procés d'aprimament de l'escorça que tendeix a allunyar-ne la vora, on ja s'ha edificat una part de l'origen alpi, que enllaçava la Serralada Bètica amb els Alps. Les Pitiüses, Mallorca i Cabrera són parts d'aquest segment d'enllaç. Entre elles i el continent el procés d'aprimament és moderat i no s'arriba a la ruptura de l'escorça continental.

A la Serralada Costero Catalana es troben estructures que són el resultat de situacions compressives, entre les quals son remarcables les desenvolupades a l'Eocè, més o menys contemporànies de les etapes principals de deformació dels Pirineus. A Catalunya, durant aquest període es produeixen aflorament complexos gairebé en tot el territori. A Girona ocupa la major extensió, passant a Lleida, des de la que es dirigeix a l'oest fins a Astúries, seguint els Pirineus. Una altra faixa que es dirigeix cap al Sud voltant el Montseny, passant per Vic, Manresa, Montserrat i Igualada, per acabar estretant-se molt a Tarragona. La fauna que poblava la Terra eren els avantpassats dels cocodrils, caimans, serps, etc. Ja no hi ha Dinosauris, i les aus no han evolucionat gaire respecte èpoques passades. Els moluscs, celenteris i equinoderms estan representats per casi totes les famílies actuals. En aquests temps els foraminífers aconsegueixen el màxim desenvolupament: Nummulites, Alveolines, Miliolides, Orbitolites, etc. Les roques dominants de l'època són les calcàries nummulítiques, molt utilitzades com pedra de construcció i ornamental.

Al Miocè superior un sistema de fractures es propaga terra endins, pels Pirineus Orientals i la Serralada Ibèrica, i encara més al Sud, i arribarà a afectar a gran escala la part oriental de l'origen Bètic. L'activitat volcànica (Olot, La Selva, etc) del Neogè, i l'activitat sísmica als Països Catalans es manifesten especialment lligades les estructures de fractura desenvolupades en aquesta època, en la qual encara ens trobem. Aquests esdeveniments geodinàmics són també els determinants quant a l'evolució del relleu. A partir del Miocè Mitjà, els Pirineus adquireixen la qualitat d'alta muntanya.

**Els Pirineus:** S'han originat al llarg de la zona de contacte entre la placa ibèrica i la placa eurasiàtica. Degut a una sèrie de moviments, durant el Cretaci, la placa ibèrica tendí a separar-se de l'eurasiàtica. Al mateix temps s'hi produí una rotació en sentit contrari al de les busques del rellotge, lliscant cap al Sudest. A la part més occidental (Golf de Biscaia), es va arribar a la ruptura i formació progressiva d'una escorça oceànica. Més cap a l'Est, als Pirineus ístmics, s'originà una depressió relativament profunda, a la qual es diposità una potent sèrie sedimentària.

Més tard a l'Eocè, la placa ibèrica es comprimeix entre la placa africana i la europea. La zona pirenaica, amb la litosfera més prima i afectada per fractures anteriors, pateix la concentració de les deformacions ocasionades per la col·lisió. Tant el sòcol com la cobertura es veuen sotmesos als plegaments i escataments, i el Pirineus adquireixen el seu caràcter oregen.

**Les Serres i depressions costaneres i la conca CatalanoBalear:** Les fases del Roselló, l'Empordà i la Cerdanya es rebleixen amb gruixos importants de sediments durant el Miocè i el Pliocè. Aquestes foses es creen gràcies als efectes de les estructures de fractures de l'àrea Pirinenca. Aquestes estructures continuen vers el Nordest del Baix Llenguadoc, es relacionen amb les fases del Massís Central francès i la de Bresse, i amb la fosa del Rin. Cap al Sudest, el sistema de foses continua al llarg de la costa Mediterrània, travessa el Mar d'Alborán i arriba al Nord del Rif. Continua també pel fons marí entre Catalunya i les illes.

L'àrea de la Serralada Costero Catalana mostra d'una manera molt neta la influència de la tectònica de blocs. La diferenciació de serres i depressions ha estat una conseqüència d'aquesta tectònica. El substrat d'alguna d'aquestes foses pot estar pregonament enfonsat sota milers de metres de rebliment Miocè, com és el cas d'una part del Vallès i del Penedès. A cavall entre l'àrea Pirinenca i la Serralada Costero Catalana, a l'Empordà, la Garrotxa, el Gironès i la Selva s'ha desenvolupat una remarcable activitat volcànica que ha aprofitat algunes de les fractures en qüestió. Iniciada al Miocè, a l'Empordà, ha tingut les seves darreres erupcions en èpoques força recents ( menys de 50.000 anys prop d'Olot ) a la Garrotxa.

**La Depressió de l'Ebre:** L'única àrea que no està afectada pels processos de fracturació i eixamplament és la Depressió de l'Ebre. S'enfonsà durant el primer temps de l'Era Terciària, associat a un basculament progressiu que tendeix a aixecar-la a l'Est i enfonsar-la a l'Oest. L'enfonsament ha estat relacionat amb el desenvolupament

de l'oregen Pirinenc. Al mateix temps, quantitats de materials provenint de l'erosió de la mateixa serralada fan que es formi sobre l'espai de la depressió, una cobertura, el gruix de la qual arriba a 5.000 m. en algun indret de la seva part occidental. A Catalunya, però, no arriba enlloc als 3.000 m.

### 3.3. LES ROQUES SEDIMENTÀRIES

S'anomena roca sedimentària a aquella roca coherent originada a partir d'altres preexistents degut a l'acció dels agents geològics externs. Tota l'acció dels agents geològics externs es pot resumir en tres aspectes clarament delimitats: erosió, transport i dipòsit.

L'erosió es pot portar a terme disgregant les roques, el que condueix a l'aparició de porcions de tamany diferents de les roques afectades (erosió física) i a vegades simultàniament es produeixen reaccions químiques amb els canvis de composició resultant (erosió química o alteració).

#### PROCESSOS SEDIMENTOLÒGICS

Es poden classificar en dos grans grups: físic o mecànics i químics.

Els processos físics inclouen la disgregació de les roques degut a l'atmosfera (meteorització física), per l'aigua corrent, pel gel, pel vent i pels éssers vius. En tots els casos el resultat és el mateix: una ampla gamma de fragments de roques o de grans de variat tamany que queden més o menys solts i poden ser transportats.

Un cas important de procés físic és la dissolució. L'aigua és el millor dissolvent natural que existeix. Des del punt de vista mineralògic no tindria importància si no fos un procés que inclou dissociació de la majoria de molècules naturals. És per aquesta dissociació que l'aigua potencia extraordinàriament la possibilitat de noves reaccions químiques en el si de les seves dissolucions. En el cas que no hi hagi noves reaccions químiques, el producte resultant de la dissolució, quan precipita torna a ser el mateix que al principi, normalment més pur que el primitiu, o amb altres impureses diferents (les que ara hi ha al nou dipòsit).

Els processos químics inclouen reaccions químiques de les molècules minerals existents amb algun reactiu natural. Aquests són l'aigua, l'oxigen i el diòxid de carboni. Com a resultat, apareixen noves molècules, més estables en les noves condicions termodinàmiques (pràcticament són les ambientals). Quan és l'oxigen l'encarregat de les reaccions parlarem d'oxidacions; si és el diòxid de carboni; carbonatacions; i si és l'aigua, hidratacions - quan l'aigua es limita a introduir-se dintre de la xarxa del mineral com a molècula d'aigua – hidròlisi quan l'aigua, dissociada en els seus ions integrants

$\text{OH}_3^+$  i  $\text{OH}$ , s'introdueix en determinats punts de la xarxa trencant les unions entre els elements químics que la formen i saturant-los d'alguna dels dos grups. Com a conseqüència d'aquests processos químics s'originen molècules més solubles que poden ser més fàcilment transportades, sobre tot per l'aigua.

El pas següent és el transport, on les partícules soltes es poden portar a punts diferents dels d'origen. La magnitud del transport és la distància que recorre des del seu punt d'origen fins al seu lloc de dipòsit. En la majoria dels casos l'agent de transport és l'aigua líquida, ja que aquesta actua en tota la superfície de la Terra, encara que amb intensitats variables.

El vent, degut a la seva baixa densitat, només pot arribar a transportar quan aconsegueix arribar a velocitats significatives i espais oberts. En aquestes condicions pot mobilitzar partícules de pols, llims i inclòs sorres.

Quan la velocitat de les corrents disminueix, la capacitat de transport queda molt reduïda, llavors es dipositen tots els materials que la corrent ja no és capaç de transportar, començant com és obvi pels més pesants, o amb densitat més alta (minerals pesats com casiterita, volframita, plata, or, platí, etc.) La màxima disminució de la velocitat pels rius es produeix quan arriba a la desembocadura en els grans llacs o al mar. Això explica que a prop de la platja es trobin materials més grans i mar endins, paulatinament, els més petits.

Així doncs depèn del tipus de transport i del de partícules (sòlides o dissoltes) podem fer dos grans grups de sediments. I en un tercer grup integrem els dipòsits formats per restes d'éssers vius.

- **Sediments detrítics:** Tots els formats per acumulació de partícules que han sigut transportades en estat sòlid per arrossegament o suspensió. El dipòsit es realitza per gravetat quan la corrent no té capacitat per continuar mantenint-les barrejades amb el fluid.
- **Sediments de precipitació:** Tots els formats per precipitació de substàncies transportades en dissolució. Es dipositen en mitjans en calma i amb més intensitat quan hi ha un canvi de composició del mitjà i, sobretot, de concentració, al cas més general, per evaporació. La precipitació pot ser potenciada per éssers vius, especialment bacteries, però també algues i fins i tot cormofites.
- **Sediments orgànics:** Tots els constituïts majoritàriament per restes de éssers vius (petxines, ossos, tiges, etc.) més o menys transformats (carbó, petroli, etc.).



Quan els sediments es van acumulant en un ambient sedimentari i aconsegueixen un gruix considerable, els de la base de la columna es veuen sotmesos a un increment progressiu de la pressió i de la temperatura. La pressió com a conseqüència del pes dels sediments que estan per sobre i la temperatura degut a que cada vegada s'endinsen a l'interior de l'escorça i es veuen afectats, a part d'altres, pel gradient tèrmic terrestre.

Com a conseqüència directa de l'augment de pressió, es dona una compactació dels sediments que tendeixen a disminuir la quantitat de porus i el seu tamany, amb el que disminueix la porositat i conseqüentment, augmenta la densitat.

Tanmateix, l'increment de temperatura escalfa l'aigua que es troba en aquests porus augmentant el seu poder dissolvent. Però com que la compactació disminueix el volum de porus disponibles, i l'aigua es veu obligada a emigrar en sentit ascendent (de menor pressió), el que comporta una disminució de pressió i temperatura. Tal com va pujant per la columna sedimentària, l'aigua va dipositant els porus que travessa part de les substàncies que havia dissolt a les capes més profundes de les que prové. Això suposa un procés de cimentació que accentua la disminució del volum de porus, col·laborant a agregar-los i donar coherència al sediment.

També pot passar que simultàniament a la cimentació, alguns ions dissolts per l'aigua reaccionin amb alguns minerals que es troben al sediment al que arriben, condicionant substitucions que originaran minerals nous (un exemple: dolomita a partir de la calcita), acompanyats de canvis de textura o no. Aquestes innovacions, que poden començar immediatament després del dipòsit, continuen a vegades fins èpoques força posteriors. En alguns casos, el canvi és només mineralògic, no químic, doncs al augmentar la mobilitat de les partícules els hi permet adoptar xarxes cristal·lines més estables en les noves condicions.

Diagnosi: Tot aquest conjunt de canvis que es donen al sediment i que el converteixen en una roca sedimentària coherent.

## **ELS COMPONENTS DE LES ROQUES SEDIMENTÀRIES**

L'origen de bona part dels components d'un sediment cal cercar-lo en la meteorització de les roques que queden exposades a la superfície terrestre. La majoria

de minerals que constitueixen les roques ígnies i les metamòrfiques no són estables en condicions superficials i s'alteren fàcilment. Com a resultat d'aquesta alteració els ions més solubles es posen en solució i la resta origina nous minerals estables. Els productes que resulten de l'alteració depenen de la composició de la roca que es meteoritza i de les característiques del medi, però els minerals d'alteració més habituals són els òxids i hidròxids de ferro i els minerals de les argiles. Tanmateix, no tots els minerals de les roques endògenes són igualment alterables; alguns com el quars, certs silicats (zircó, granats) i òxids (magnetita, rútil) són molt resistents a les condicions físico-químiques dels medis superficials i se'ls troba com a grans detrítics incorporats a les roques sedimentàries.

Els productes de la meteorització poden ser transportats dissolts a les aigües o bé, quan es tracta de partícules sòlides, ser arrossegats pels corrents d'aigua, per les glaceres, pel vent, per les onades i corrents marins, etc. cap de les àrees on es produeix la deposició de partícules sòlides i la precipitació química i bioquímica de les substàncies dissoltes a l'aigua.

Observant un sediment podem distingir partícules de diversos orígens i composició. Els Clasts o Grans detrítics són fragments que resulten de l'esmicolament de roques preexistents, transportats i dipositats per mecanismes físics. Un segon grup és el constituït per les restes d'éssers vius. Aquestes restes poden ser les parts esquelètiques (conquilles, espícules, ossos, etc.) o bé les parts orgàniques, especialment els teixits dels vegetals. En el primer cas, aquestes restes més o menys transformades constitueixen el gruix de les roques carbonatades, silíciques i fosfatades, i en el segon cas, originen els dipòsits de carbó. Els fragments esquelètics es comporten respecte dels processos sedimentaris com qualsevol altre gra detrític i per aquest motiu reben el nom de bioclasts. El tercer grup de components són els d'origen químic que es formen per precipitació química de les sals dissoltes a l'aigua de la conca. Aquesta precipitació pot ser totalment inorgànica o bé ser controlada o afavorida directa o indirectament pels éssers vius que viuen en el medi.

## **ESTRUCTURA DE LES ROQUES SEDIMENTÀRIES**

Quan l'ordenació dels elements que formen una roca sedimentària és observable a l'escala d'un aflorament es parla d'estructura sedimentària. L'estructura sedimentària més característica és l'**estratificació**, és a dir, la disposició dels components de la roca en cossos paral·lels entre si anomenats **estrats** o capes.

L'aparició de les superfícies d'estratificació és conseqüència de canvis en la quantitat i qualitat de les partícules, i de la velocitat de sedimentació. Així doncs, cada estrat cal interpretar-lo com el dipòsit produït durant un determinat període de temps. En un conjunt d'estratificacions, sinó hi hagut deformacions a posteriori, els estrats més baixos seran els més antics i com més pugen, seran més recents.

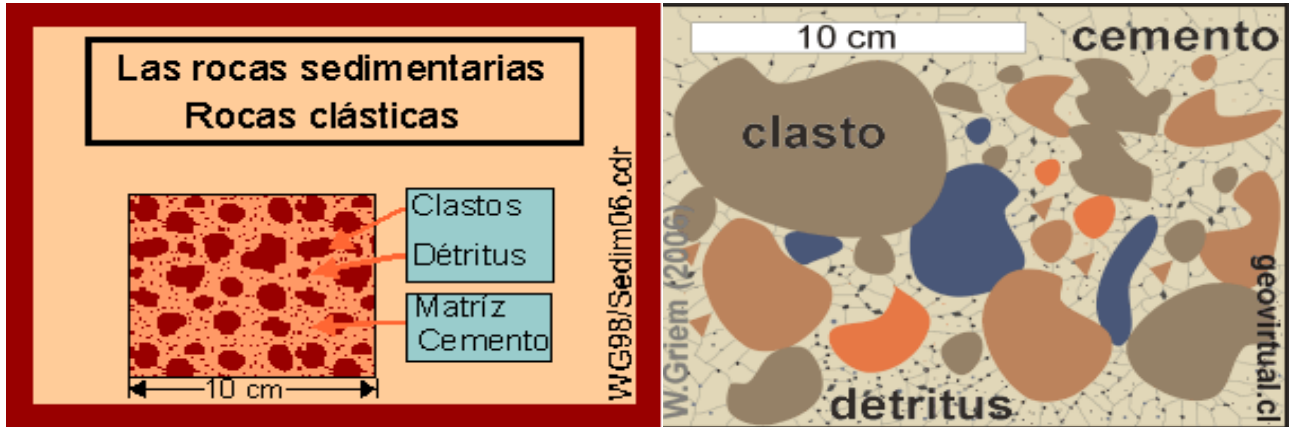
El gruix dels estrats rep el nom de **Potència**. Pot ser molt variat, des d'un mil·límetre fins desenes de metres. Les partícules poden ser més o menys de la mateixa mida (homomètriques) o de diferent (heteromètriques). Es parla d'estructura massiva quan la roca es mostra compacta i uniforme en gruix mètric. Si mostren làmines d'inclinacions diferents que es tallen mutuament i amb les superfícies d'estratificació, parlem de laminació creuada (arenisques fluvials o deltaïques, per exemple). Si les partícules són heteromètriques i mostren una distribució a l'atzar (morrenes glaciars) s'anomenen agraduades; en cas contrari, si el tamany varia de gran a petit conforme anem pujant en la columna sedimentària, parlarem de granuloclassificació.

## TEXTURES DE LES ROQUES SEDIMENTÀRIES

Amb textura, es vol designar les relacions entre els components d'una roca, especialment les determinades per la forma i la mida dels grans, la seva orientació i la relació que mostren amb els altres components. Hi ha tres tipus bàsics de textura:

- **Carcassa:** conjunt de partícules o grans de tamany més gran.
- **Matriu:** els espais buits que deixa la carcassa són ocupats per grans de mida més petita.
- **Ciment:** material precipitat després de la sedimentació que uneix el conjunt.

Respecte a la forma dels grans ens fixarem en l'esfericitat d'aquest i en la rodadura, que contempla la suavització dels vèrtexs i arestes dels grans. Per tal de relacionar aquests dos aspectes es mostra una taula.



L'orientació és fàcilment observable en les partícules allargades o laminars. També cal destacar la forma en que estan en contacte els grans uns amb els altres. Si els grans els trobem distribuïts de tal manera que deixen una gran quantitat d'espais buits (que són els determinants de la porositat) l'empaquetament serà baix; si pel contrari, els grans estan adossats i saturats, amb un volum de buits petit (porositat mínima) l'empaquetament serà alt.

El ciment, constituït bàsicament per calcita o sílice en alguna de les seves formes pot ser de dos tipus: amorf (òpal, calcedonia o colofana) i granular (intersticial: calcita; de creixement: orientat; poiquiloblàstic: en cristalls que inclouen grans de la mateixa o altre composició).

La matriu, constituïda per definició, per grans més fins que els de la carcassa, pot ser sorrenca però, pràcticament sempre, serà llim-argilosa.

## CLASSIFICACIÓ DE LES ROQUES SEDIMENTÀRIES

Les roques sedimentàries es formen a partir de processos molt variats, els quals originen roques de composició i característiques molt diverses. Molt rarament els seus components tenen un origen i una composició únics. Tanmateix, per establir una classificació es té en compte la composició majoritària i el procés principal que ha intervingut en la seva formació. Segons el procés que les ha originades tenim roques **detrítiques, químiques, bioquímiques, biogèniques i orgàniques**. A grans trets, es

pot dir que les roques siliciclàstiques són detrítiques; les evaporites i les roques ferruginoses són essencialment d'origen químic. Mentre que els carbonats, els cherts, els fosfats i els carbons són d'origen bioquímic, biogènic o orgànic, tot i que una petita part de carbonats i cherts són sediments químics.

### **1) LES ROQUES DETRÍTQUES:**

Les roques detrítiques o clàstiques són aquelles que s'originen per acumulació de fragments que provenen de l'alteració i disgregació d'altres roques. En general els seus components provenen de l'erosió de les terres emergides i llavors reben també el nom de terrigèniques.

Poden tenir associacions mineralògiques molt diverses ja que pel seu origen no representa situacions d'equilibri entre els minerals que les formen i el medi. El grup més nombrós està constituït per aquelles que són formades en una gran part per silicats (roques siliciclàstiques), però tot i que en menor proporció també hi ha de constituïdes per grans carbonatats, guixencs, fosfatats.

Cadascuna de les partícules detrítiques que les componen rep el nom de gra o clast. Teòricament qualsevol mineral es pot trobar com a gra detrític, però en realitat, només alguns minerals són relativament abundants. N'hi ha que provenen de roques preexistents com el quars, que és un mineral molt abundant a les roques endogèniques i molt comú a les detrítiques. Altres minerals propis de les roques endògenes són els feldespatos i les miques, especialment la moscovita.

### **2) LES ROQUES CARBONATADES**

Són aquelles que es componen majoritàriament de carbonat de calci i de dolomita. En el cas de carbonat de calci pot presentar-se en dos formes, d'aragonita o calcita, i s'anomenen calcàries, i les dolomies en el cas de la dolomita.

Són les més abundants després de les detrítiques, constitueixen un 15% de les roques sedimentàries, i es formen tant en medis marins com continentals.

## LES CALCÀRIES:

Una part molt important de les aportacions de carbonat càlcic als sediments és deguda a fragments esquelètics d'organismes que posseeixen conques o recobriments calcaris. Molts dels components no esquelètics són producte del metabolisme d'éssers vius o resulten de la precipitació química relacionada directa o indirectament amb l'activitat orgànica.

- Bioclasts: esquelets calcaris sencers o parts d'aquests esquelets desarticulats per descomposició dels lligaments orgànics que les unien o fragments trencats per l'acció mecànica de l'aigua.
- Micrita: és la fracció més fina de les roques calcàries i és constituïda per partícules de mida inferior a 4 micres i d'origen molt divers. Rep també el nom de fang calcari; en general, es troba com a matriu de les roques calcàries i, d'algunes, n'és l'únic constituent. Una gran part d'aquest fang prové d'algues verdes que tenen recobriment d'agulles d'aragonita d'alguns micròmetres de llargada. També es forma micrita per acció d'organismes que graten o excaven galeries a les partícules carbonatades, i per abrasió o fragmentació mecànica de restes esquelètiques per efecte d'onades o corrents. Tot i que la majoria de micrita és detrítica també se'n forma per precipitació química o bioquímica.
- Ooides: són partícules esferoïdals constituïdes per capes concèntriques de carbonat de calci disposades al voltant d'una partícula carbonatada o no que fa de nucli. Generalment tenen un diàmetre comprés entre 0,2 i 0,5 mm. i se'ls atribueix un origen orgànic o bioquímico.
- Peloides: són grans esfèrics, cilíndrics o angulosos sense estructura interna, constituïts per micrita i d'un diàmetre generalment inferior a 0,5 mm. Si són d'origen fecal s'anomenen pèl·lets, aquests són generats per animals (anèl·lids, gasteròpodes, etc) que mengen fang per extreure la part inorgànica en forma de grans esferoïdals o cilíndrics.
- Intraclasts: són fragments irregulars formats a la conca de sedimentació per retreballament de sediments carbonatats parcialment endurits.

Tots els components descrits són constituïts per carbonat de calci i es formen a la conca on es dipositen. Acompanyant-los, sempre hi ha una certa proporció, a vegades molt petita, de grans detrítics que provenen de l'exterior de la conca i que poden ésser carbonatats o no.

## **A) LA COMPOSICIÓ MINERALÒGICA DE LES CALCÀRIES**

Els sediments calcaris actuals són constituïts per calcita i/o aragonita segons quins siguin els organismes que hi facin aportacions o controlin la sedimentació. En el cas, molt difícil, que hi hagi precipitació inorgànica de carbonat de calci es fa en forma d'aragonita. Tanmateix, durant la diagènesi l'aragonita es converteix en calcita que és la forma més estable del carbonat de calci. A més d'aquest canvi mineralògic, durant la diagènesi es produeix la precipitació de ciment, dissolucions, recristal·litzacions i substitucions mineralògiques que modifiquen la composició i textura originals.

Acompanyant la fracció carbonatada, que en algunes calcàries pot constituir més del 95% de la roca, hi ha sempre una certa proporció de minerals terrigènics, especialment quars i minerals de les argiles, i matèria orgànica. En petites quantitats també poden contenir chert, guix, pirita, hematites, etc.

Les calcàries poden presentar una gran diversitat de colors, sovint degut a les impureses. En la majoria dels casos predomina el gris, en diferents tonalitats, i més rarament el beige i el groc. Excepcionalment apareixen colors vermellorsos (calcària griotte). Pel que fa a la pàtina, és més uniforme i gairebé sempre és gris clar, cosa que facilita el reconeixement d'aquestes roques a distància. És freqüent veure en les pàtines zones verdoses produïdes per plantes unicel·lulars o pluricel·lulars microscòpiques (algues i fongs) que hi viuen al damunt.

El color sempre va en funció de la composició mineralògica de la roca, per exemple, el color vermell indica l'òxid fèrric i el gris fosc la presència de matèria orgànica.

Les calcàries, roques fossilíferes, es reconeixen amb facilitat perquè quan són atacades per l'àcid clorhídric produeixen una clara efervescència. Així mateix, les calcàries són roques solubles en aigua carregada d'àcid carbònic, aquesta propietat és la responsable del relleu càrstic que sovint presenten els massissos calcaris, amb formació de coves, estalactites, estalagmites, etc.

## B) LA CLASSIFICACIÓ DE LES CALCÀRIES

Es poden establir diverses classificacions segons quins siguin els criteris que es tinguin en compte. Així els carbonats es poden classificar segons la mida de gra, segons quina sigui la natura dels seus components o segons la textura.

La classificació segons la textura, la més utilitzada, té en compte la proporció de grans i de matriu, independentment dels seu origen, i la seva disposició. Aquesta classificació divideix les calcàries segons que tinguin el fang carbonatat com a component predominant o bé siguin els grans els que constitueixen la carcassa de la roca. Les roques amb fang se subdivideixen en *mudstones* i *wackestones* segons tinguin més o menys d'un 10% de grans. Les formades bàsicament per grans se subdivideixen en *packstones* quan els grans estan en contacte, però hi ha matriu, i *grainstones* quan només són formades per grans. Un cinquè grup de calcàries, el *boundstone*, és el constituït per roques construïdes per éssers vius com, per exemple, les calcàries d'escull i els estromatòlits.

La compacitat d'una roca sedimentària ve donada per la cohesió entre les seves partícules constituents, que és màxima per cimentació. Recordem que la precipitació química és la base genètica de les calcàries, i el ciment carbonàtic (format per cristalls de calcita o d'un altre mineral carbonat) és present en la majoria de calcàries i en moltes altres roques sedimentàries com les detrítiques. Per aquest fet les calcàries són quasi sempre molt compactes i difícils de trencar amb el martell. Els plans de fractura són corbats (fractura concoide).

Aquestes propietats manquen en els sediments carbonàtics per falta de cimentació, és el cas de les sorres bioclàstiques o de les graves de còdols calcaris.

## C) AMBIENTS DE FORMACIÓ

Les calcàries es poden formar tant en medis marins com continentals i també se'n poden trobar en els sòls en forma de crostes i concrecions.

En medis marins es poden formar a la plataforma continental, des de les zones costaneres emergides fins al talús, i també en mar obert. Cada zona, segons les seves condicions (fondària, energia de l'aigua, salinitat, etc.), tindrà unes comunitats vegetals i animals específiques que produiran una sedimentació característica. En medis no



marins es poden trobar calcàries de la mateixa composició mineralògica i amb els mateixos components que les roques marines, generats per organismes que viuen en medis lacustres. Tot i això n'hi ha algunes calcàries de precipitació química pròpies de medis continentals.

Els travertins són roques que resulten de la precipitació de carbonat de calci, sovint al voltant de tiges o damunt les fulles de vegetals en zones fluvials o lacustres, o al voltant de dolls d'aigua. En massissos càrstics es poden produir dipòsits de carbonat de calci per precipitació química, en forma d'estalactites, estalagmites o recobriment calcaris, a partir de les aigües riques en carbonat que hi circulen.

## **LES DOLOMIES**

Les dolomies són roques en les quals la dolomita és el carbonat predominant. Segons el contingut d'aquest mineral podem dividir les roques carbonatades en calcàries (menys d'un 10% de dolomita), calcàries dolomítiques (entre un 10% i 50%), dolomies calcàries (entre un 50% i un 90%) i dolomies (més d'un 90%).

La dolomita pot precipitar com a mineral intersticial en llacs hipersalins continentals i zones costaneres àrides, quant les condicions químiques són les apropiades. Llevat d'aquests casos de precipitació primària, bastant escasses, el gruix de la dolomita prové de la substitució d'altres minerals carbonatats. Aquest procés rep el nom de dolomitació i es pot produir immediatament o molt de temps després de la sedimentació. En el primer cas, el magnesi necessari per a la formació de la dolomita prové de l'aigua de mar i, en el segon, és aportat per solucions que circulen a través del sediment. Com a prova que moltes dolomies procedeixen de calcàries preexistents hi ha el fet que moltes contenen fòssils que originàriament eren formats per carbonat de calci.

## **3) LES ROQUES CARBONOSSES**

Els teixits orgànics que s'incorporen als sediments en morir els éssers vius, sofreixen un procés d'oxidació i es descomponen en  $\text{CO}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ , quan es troben en un ambient oxidant, però si en el medi hi ha dèficit d'oxigen la descomposició no és total i els compostos orgànics inicials es transformen en d'altres més estables que s'incorporen al sediment. Com que la majoria d'ambients són oxidant gairebé totes les

roques sedimentàries contenen molt poca matèria orgànica i, només excepcionalment es troben dipòsits que constitueixen els diversos tipus de carbons.

Els carbons són roques estratificades compostes per restes molt transformades de vegetals mesclades amb quanties petites de materials inorgànics. Es troben en capes de pocs centímetres fins a 1 a 2 metres de gruixària que es comporten com qualsevol altra roca estratificada.

Estudiant el carbó al microscopi es veuen unes unitats, anàlogues als minerals d'una roca, que reben el nom de macerals i serveixen per fer una descripció de tipus petrogràfic. Cada maceral deriva d'un tipus diferent de restes vegetals (fulles, espores, tiges, etc.) i té una morfologia i unes propietats característiques. Si són mesclats amb els components orgànics hi ha minerals detrítics (quars, minerals de les argiles, etc) i d'altres, formats durant la diagènesi, i propis dels medis reductors tals com la siderita, pirita, etc.

#### **4) LES ROQUES FOSFATADES**

Es coneix amb el nom de fosforites els dipòsits fosfatats d'origen sedimentari que es troben a tot el registre sedimentari tant en roques marines com no marines. Pràcticament tot el fòsfor d'aquestes roques es troba en forma d'apatita o d'hidroxiapatita. Els fosfats es presenten en les mateixes formes que els carbonats: com a ciment, en fragments de mida de sorra (ooides, pèl·lets, bioclasts, etc) i en forma de fang microcristal·lí. També es troben fosfats als sòls en forma de crostes i de concrecions.

El fòsfor és un nutrient essencial per a la vida i una part del fòsfor inorgànic s'incorpora als vegetals i als animals i retorna al domini inorgànic amb els excrements i els cadàvers. Tot i que hi ha fòsfor en solució, la precipitació inorgànica a partir de la dissolució a l'aigua és pràcticament nul·la.

El fòsfor arriba als llacs, als rius i als oceans en forma de grans d'apatita, absorbint a les argiles, com a component de restes orgàniques i en solució. Els fosfats es troben en formes nodulars d'alguns centímetres de diàmetre i d'aspecte terròs a les quals s'atribueix un origen diagenètic. També es troben fosfats estratificats que són formacions rocoses constituïdes per capes amb més d'un 80% de fosfat intercalades en d'altres més argiloses.

## **5) EL CHERT**

S'anomena chert a qualsevol dipòsit silícic sedimentari. Els cherts són roques de gra fi constituïdes per quars micro i criptocristal·lí, calcedònia i òpal. Es presenten en capes i nòduls i poden contenir algunes impureses, especialment argila, calcita, hematites i matèria orgànica, les quals els confereixen els aspectes i colors diversos que constitueixen les diferents varietats: jaspi (vermell), porcellanita (blanca i d'aspecte de porcellana), sílex (gris o marronós), lidita (negra), entre altres.

## **6) LES EVAPORITES**

Són aquelles roques que es produeixen per precipitació inorgànica de sals dissoltes a l'aigua quan aquesta s'evapora. Aquestes roques, que només constitueixen un 3% del conjunt de les sedimentàries, es troben associades tant a materials marins com continentals, ja sigui en grans masses, en capes de poca gruixària o disperses entre altres roques.

Els minerals evaporites es formen per precipitació a partir de salmorres concentrades les quals s'originen per evaporació de cossos restringits d'aigua de mar o d'aigües continentals salades. Els paràmetres més importants en la formació d'evaporites són el clima i la composició de la salmorra.

Les evaporites són roques monominerals, és a dir, constituïdes generalment per més d'un 95% d'un sol mineral. La resta de components es troben dispersos a la roca i poden ser molt diversos: matèria orgànica, òxids de ferro, minerals de les argiles, etc. La roca té el nom del mineral que la constitueix: halita, guix, anhidrita, carnal·lita, silvita.

## **7) ROQUES FERRUGINOSES**

El ferro és el quart element més abundant de la litosfera i es pot presentar en dos estats de valència. Aquesta propietat fa que el seu comportament sigui fortament controlat pel potencial d'oxidació-reducció dels medis superficials. Hi ha molts minerals de ferro i sovint en un jaciment es troben associacions d'aquests minerals. Els més

usuals a les roques ferruginoses són: òxids i hidròxids (hematites, goethita), carbonats (sideritat), silicats (glauconita, chamosita, greenalita), i sulfurs (pirita, marcassita).

Les roques ferruginoses constitueixen els jaciments de ferro de més importància econòmica i per aquesta raó han estat molt estudiades. S'accepta que la sedimentació del ferro es produeix per precipitació química, potser amb influències biològiques, però encara no es coneixen clarament ni l'origen del ferro ni els mecanismes de precipitació.

### 3.4. COMPOSICIÓ ORGÀNICA

#### A. FORAMÍNIFERS:

Els foraminífers són protozous rizòpodes, és a dir, organismes unicel·lulars, caracteritzats per tenir uns pseudopodis que els hi serveixen per la seva locomoció, nutrició i construcció de la closca que els envolta. Aquesta closca, inicialment de quitina, inclou a la major part dels gèneres substàncies minerals del medi on viu l'animal, o que són segregats pel protoplasma (ectoplasma) del propi individu.

Els pseudopodis surten a l'exterior a través d'unes petites obertures denominades foràmens (obertura), caràcter que ha donat lloc a la denominació d'aquest grup d'organismes.

#### LA CLOSCA:

La composició de la closca és molt variada. Podem considerar els següents tipus fonamentals: pseudoquitinosa o queratinosa (són les menys freqüents), aglutinada (formada per grans de sorra, lluquets de mica o altres materials), calcètica, aragonítica i silíceica (aquestes dos últimes no gaire freqüents).

Les closques calcítiques estan formades per aquest mineral i s'agrupen en tres tipus fonamentals:

- a) Microgranulars: Constituïdes per petits grànuls subesfèrics (< 5 nanom) de cristalls de calcita, cimentats per un material d'igual natura, i tot el seu conjunt agafa un aspecte desordenat.
- b) Aporcellanades: Formades per criptocristalls de calcita ordenats i orientats parcialment en una direcció. Per regla general, els organismes que construeixen la closca per aquest procediment solen presentar una capa interna basal proteinidea.
- c) Hialines: Constituïdes per petits grànuls cristal·lins iguals, amb la mateixa o diferent orientació òptica. Aquests cristalls de calcita es situen, la major part de les vegades, perpendiculars a la superfície de la closca –els nummulits presentant aquest tipus de closca-.

Reben el nom de closques uniloculars o monotalàmiques les d'aquells foraminífers que només posseeixen una sola cambra. I pluriloculars o politalàmiques quant durant el desenvolupament de l'individu es formen varies cambres, comunicades entre si per obertures simples, grups de perforacions, tubs rectes o canals flexuosos. En aquests últims, a partir de la cambra inicial o poluculus, el foraminífer va desenvolupant la resta de les seves cambres disposant-les en sèries, segons el tipus següent:

- Uniserial
- Biserial
- Espiral
- Espiral plana (Planispiral): porta com a conseqüència closques simètriques, lenticulars (com les dels nummulits o fusiformes) i que lateralment ensenyen totes les seves cambres (closques evolutes, com la dels nummulits), o només les de l'última volta (closques involutes)
- Trocospiral
- Estreptospiral
- Cíclica

La forma de les cambres és molt divers: irregulars, cilíndriques, ovoides, rectangulars, etc. Es presenten separades unes de les altres per envans o septes que queden marcats a l'exterior de la closca, per sutures de forma variable.

#### REPRODUCCIÓ:

Els foraminífers presenten dues modalitats de reproducció: sexuada i asexuada. Per regla general s'alternen i la conseqüència final es l'abandonament o absorció de la closca materna.

#### ECOLOGÍA:

Els foraminífers són organismes adaptats al medi aquàtic. La majoria de les espècies són marines i bentòniques, només de 2 a 3 % són planctònics. Alguns han escollit una vida sèssil i viuen fixats durant tota la seva existència damunt d'un substrat, i generalment cimentats per mitjà de la closca. D'altres només es fixen

temporalment i, per tant, poden desplaçar-se lliurement mitjançant els pseudopodis, que poden arribar a tenir una llargada superior a dues vegades el diàmetre de la closca; la velocitat de desplaçament és d'alguns centímetres per hora.

La nutrició la realitzen a través dels pseudopodis (formats per fins filaments d'una substància gelificada). Creen un corrent de convecció que introdueix a l'interior del protoplasma les partícules alimentàries i que expel·leix les que excreta. Es sobretot de tipus vegetal: diatomees, flagelats i zoospores d'algues. La màxima producció de fitoplacton té lloc durant la primavera i la tardor. Serà en aquestes èpoques que els foraminífers tindran el major desenvolupament, passant l'hivern en estat de vida vegetativa. Els nitrats de l'aigua també els ajuden en el seu creixement.

La ingestió es semblant a les dels altres Protozous, capturen l'aliment mitjançant els pseudòpods, que és atacat per ferments segregats per l'animal fins que en estat semilíquid passa a l'interior de la closca.

Segons el contingut d'oxigen dissolt en l'aigua el número d'espècies de foraminífers és major o menor.

El grau d'acidesa a basicitat de l'aigua del medi, és en molts casos, responsable del tipus de closca. Les aigües amb un PH baix, àcides, no afavoreixen la formació de closques calcàrees i afavoreixen les de tipus aglutinat i silícees. En canvi, les aigües amb un PH alt són òptimes en molts casos per a la construcció de closques hialines (com les dels nummulits).

La variació de la concentració de carbonat càlcic de l'aigua influeix de manera notable en el desenvolupament de la ornamentació de la seva closca i el seu gruix. Per regla general, les formes que viuen en aigües fredes o en estuaris i deltes on la concentració de sal és baixa, tenen una closca fina i poc ornamentada, al contrari de les que viuen en aigües càlides i en mar obert.

Les onades són les responsables de l'enriquiment en nutrients de les capes superficials de l'aigua. A més provoquen una barreja d'aigües fredes i càlides. Si a conseqüència d'aquests factors augmenta el contingut d'elements detrítics en suspensió i s'enterboleix l'aigua, llavors pot augmentar el número d'espècies aglutinades que en un principi aprofitarien aquest material per a construir els seus plasmostracs.

Els foraminífers habiten en aigües **hiposalines** (<33 per mil), de salinitat normal (del 32 al 37 per mil), i en alguns casos hipersalines (>37 per mil). El tipus de substrat en que pot viure és molt variat, les espècies fixes seleccionen els seus fons. En altres casos, només la possibilitat d'obtenció d'aliment condiciona la seva presència en determinats substrats. Solen trobar-se en sediments fins (els prefereixen als gruixuts), sobre vegetació o sobre d'altres animals.

La temperatura influeix en els foraminífers. Els d'aigües fredes formen un conjunt bastant uniforme caracteritzat per les seves closques de tipus aglutinat i sense ciment calcari. En aigües més temperades s'afavoreix la presència d'un elevat nombre d'espècies tant amb closca calcària, com aglutinada. Les aigües tropicals, amb el seu alt contingut de carbonats, són òptimes per la formació de closques calcàries molt ornamentades.

## ELS PRINCIPALS GRUPS DE FORAMINÍFERS

Dins l'àmbit de la sistemàtica, la classificació de l'ordre dels foraminífers més utilitzada és la de Loeblich i Tappan. Aquest sistema de classificació considera l'ordre dels foraminífers subdividit en cinc subordres:

- els al·logromins (*Allogromiina*)
- Textularins (*Textulariina*)
- Fusulinins (*Fusulinina*)
- Miliolins (*Miliolina*)
- Rotalins (*Rotaliina*)

### ELS AL·LOGROMINS

Són foraminífers que tenen la closca membranosa i pseudoquitinosa, o en alguns casos, amb petites quantitats de material aglutinat. Són els existents actualment.

### ELS TEXTULARINS

Les seves closques estan constituïdes per elements externs, estranys a l'animal, aglutinades amb varis tipus de ciment per unir-los. Són molt abundants a Catalunya, a Prada (Alt Urgell), a les calcàries del Montsec i a les d'Aulet (Alta Ribagorça).



## ELS FUSULINS

Les formes més primitives, presenten la closca formada per calcita microgranular, formades per una sola capa, els més moderns amb dos o més capes diferenciades en la paret d'aquesta closca. Els fusulinacis són rars als Països Catalans.

## ELS MILIOLINS

Foraminífers de closca calcària, aporcellanada. Amb freqüència presenten un embolcall pseudoquitinós i en alguns casos inclou materials estranys a la seva paret. Els estats postembrionaris són imperforats. Inclou diversos grups de macroforaminífers que tenen una gran importància bioestratigràfica del Cretaci Superior, el Paleogen i el Neogen. Destaquen, per la seva importància, els meandropsínids (*Meandropsinidae*), els sorítids (*Soritidae*) i els alveolínids (*Alveolinidae*).

Un dels grups importants de macroforaminífers aporcellanats, és el que constitueix els miliòlids i els alveolínids. En el primer cas tenim formes com *Lacazina*, *Fabularia* o *Periloculina*, abundants a les plataformes carbonatades tant del Cretaci Superior, com del Paleogen. Tenen com a característica principal la presència d'un endosquelet en forma de capa basalt que pot arribar a formar envans i a individualitzar cambretes. L'obertura (*Trematoporus*) també és un caràcter distintiu.

Els alveolínids constitueixen un grup homogeni, de forma des d'esfèrica fins a fusiforme i d'enrotllament planispiral involut. L'endosquelet és igual al dels Miliòlids (capa basal) i té envans que divideixen la cambra en nombroses cambretes.

Entre els alveolínids, n'hi ha de cretácis que, comunament anomenats prealveolins, engloben diversos gèneres (*Praealveolina*, *Olvalveolina*, *Cisalveolina*), de paleògens (*Alveolina*), comuns en tota la plataforma soma durant l'Eocè mitjà i superior, i de neògenes i actuals com *Borelis*, *Fosculinella* i *Alveolinella*. El gènere *Bullalveolina* és restringit a l'Oligocè.

## ELS ROTALINS

Dins de l'ordre dels rotalins se situen tots els foraminífers laminats perforats. Els podem diferenciar en tres grans grups: microforaminífers, macroforaminífers i foraminífers planctònics.

Els macroforaminífers perforats pertanyen principalment a dues superfamílies, la dels orbitoïdacs (*Orbitoidacea*) i la dels rotaliacs (*Rotallia*).

- Els orbitoïdacs inclouen els macroforaminífers anomenats en general "orbitoïdals" pel tipus de construcció de les seves cambres. Tenen cambres de dos tipus: les equatorials, amb creixements orbitoïdal, i les laterals, que les flanquegen.
- Els rotaliacs són més complexos i també més coneguts. Cal distingir els rotàlids, amb formes trocospirals (*Ammonia*, *Rotalina*), els miogipsínids, en els quals les cambres adultes tenen desenvolupament orbitoïdal (*Miogypsina*, *Miogyosinoides*) i els calcarínids, un grup molt important del Cretaci Superior (*Siderolites*, *Pseudosiderolites*) que apareixen en el Prepirineu, però també té representant en el Paleogen (*Miscellanea*, *Pellatispira*) i a l'actualitat (*Calcarina*).

Els nummulítids, que a més dels Nummulites inclouen altres gèneres com *Operculina*, *Heterostegina* i *Ciclodypeus*, foren extraordinàriament importants en les mars eocèniques, fins al punt que, durant molt de temps, l'home va anomenar l'Eocè període nummulític. Es tracta de formes planispirals, evolutes o involutes, algunes de les quals poden esdevenir cícliques (ciclocypeus). Els sediments que contenen nummulits i altres gèneres afins són molt abundants als Països Catalans. Apareixen al Gironès, a la Plana de Vic, a Mallorca, al País Valencià, etc.

La pedra nummulítica s'ha utilitzat temps enrere per a la construcció, per citar un exemple la Catedral de la ciutat de Girona.

- Els elfídids amb formes planispirals presenten unes característiques pròpies en la closca, conegudes com a processos retrals.

La Pedra de Girona està formada bàsicament per nummulits, però també cal destacar d'altres foraminífers com Alveoline o Miliònids. A més de pès d'equinids i ostracees, en menor quantitat.

## B. ELS NUMMULITS

Els foraminífers que trobem a la pedra de Girona són del subordre dels rotalins, dintre d'aquest, pertanyen a la subfamília dels rotaliacs, dins de la família del nummulítids.

### DESCRIPCIÓ

Tenen la closca calcàrea amb desenvolupament planispiral, simètrica i involuta, amb un elevat nombre de cambres i amb un complex sistema de canals. Tant la

làmina espiral com el canal espiral són evolutes. El creixement espiral és lent, formant-se curts envans arquejats que es disposen obliquament respecte al radi de la closca.

La boca apareix amb tall en forma d'arc en la base de l'envà extern. Donat que no existeixen representants actuals d'aquest gènere, només podem fer una aproximació paleoecològica del mateix, basant-nos en els sediments amb els que apareix associat. Així podem dir que el nummulits vivien en aigües càlides amb temperatura superior als 20°C, de salinitat normal i a poca profunditat.



FOTOGRAFIA N<sup>a</sup> 2: MICROSCOPIA ÒPTICA DELS NUMMULITS

## DISTRIBUCIÓ

A Espanya són molt freqüents els sediments del Terciari Inferior (Paleogè) a la Serralada Cantàbrica, Pirineus, zona Costero Catalana, i a les Serralades Bètiques amb les seves extensions a les illes de Mallorca, Eivissa i Cabrera. Varen existir dins del Paleogè, des del Paleocè Superior (Thanetiense) fins l'Oligocè Inferior (Estampiense).

Els nummulits que trobem a la pedra de Girona són del període d'Eocè mitjà (Luteciense), estem parlant de fa 38 – 50 milions d'anys.

## LA IMPORTÀNCIA DELS NUMMULITS

Els nummulits són importants a la pedra estudiada per les següents característiques:

- a) Per saber l'edat de les roques
- b) Per a la seva resistència
- c) Com ornamentació

a) L'aplicació geològica de la Paleontologia és molt important, doncs no existeixen encara millors procediments de datació dels sediments que els basats en els fòssils que conté. Les restes d'animals i plantes que trobem enterrats en les roques sedimentàries, vivien precisament en el lloc i l'època en que aquestes varen ser formades. Per tant, podrem utilitzar-los per conèixer la seva edat. Les espècies vegetals i animals no són iguals en tots els períodes geològics, sinó que han anat desapareixen unes i formant-se unes altres, per tant, no trobem en les formacions de diferent edat els mateixos fòssils, sinó diferents en la totalitat o immensa majoria.

Segons això, dos capes, sigui quina sigui la seva naturalesa i distància, si tenen les mateixes restes orgàniques, són de la mateixa edat.

b) Quan un ser orgànic és enterrat en les capes geològiques, va perdent poc a poc tota la seva matèria orgànica, i l'espai lliure que deixa, l'ocupen les matèries minerals que arriben dissoltes en les aigües d'infiltració, així es va substituint cada molècula de la substància orgànica per la mineral i transformant-se en pedra.

L'agent petrificant algunes vegades és calcita, altres és sílex, la pirita, etc. El sílex penetra a vegades directament reomplint els forats inicials de l'animal (com és en el cas dels foraminífers) i produeix excel·lents petrificacions, dures, de fàcil conservació.

Els nummulits donen duresa a la pedra calcària, per la seva formació de la closca, i pel reompliment posterior.

c) El fet que la pedra de Girona contingui fòssils nummulítics ajuda a que tingui un caràcter ornamental característic, molt apreciat en la construcció, sobretot polít, que és quan els nummulits destaquen més, per citar un exemple la mateixa façana de l'església de Sant Feliu.

### 3.5. CARACTERÍSTIQUES DE LES ROQUES

#### ESTRUCTURA:

S'entén per estructura la disposició dels constituents de les roques, o a la seva associació mineral. L'estructura de les roques constitueix el conjunt de característiques generals que presenta a escala macroscòpica, determinats, gairebé sempre, per la orientació d'alguns minerals o grups d'ells francament visibles, i a vegades, fins i tot a nivell de mostra.

#### COHESIÓ

És el major o menor grau de resistència que ofereix un material al trencament, deformació, aplastament, curbatura o pulverització. Els diferents graus de cohesió són:

- Fràgil: es pulveritza fàcilment. Ex. quars o sofre
- Mal-leable: es poden extreure làmines o fulles del material sense gaire dificultat. Ex. or, plata, coure i estany.
- Sectil: es poden extreure virutes amb un ganivet.
- Dúctil: es pot reduir a fils o filferros fins. Ex. or, plata i coure.
- Flexible: es pot deformar fàcilment però un cop rep una pressió, no recupera la forma inicial. Ex. guix i talc.
- Elàstic: es pot deformar i quan es deixa de rebre pressió, recupera la forma primitiva. Ex. mica.

#### DENSITAT

És la relació que hi ha entre el pes i el volum d'un material. En funció del volum de referència obtindrem diversos tipus de densitats:

- Densitat absoluta ( $D_A$ ): és la relació entre el Pes ( $P$ ) i la resta del Volum Total ( $V$ ) i del Volum de Porus de la Roca ( $H_t$ ).
- Densitat relativa o real ( $D_R$ ): és la relació entre el Pes i la resta del Volum Total i del Volum dels porus exteriors ( $H_a$ ).
- Densitat aparent o elemental ( $D_E$ ): és la relació entre el pes i el Volum Total

A les roques compactes el volum de porus tendeix a zero i els valors de les diferents densitats es van equiparant. En general, les calisses tenen una densitat mitja de 2.700 Kg/m<sup>3</sup>.

## COMPACITAT

És la relació que hi ha entre la densitat aparent o elemental i la densitat relativa o real. La compacitat tendeix a la unitat com més compacte és la roca.

$$C = \frac{D_e}{D_r} = \frac{P/V}{P/V - H_e} = 1 - \frac{H_e}{V}$$

## POROSITAT

És la relació entre el volum de porus d'un sòlid i el volum total d'aquest. Pot ser considerable quan la roca prové de la solidificació de magmes amb moltes bombolles gasoses, o degut a precipitacions químiques en aigües tumultuoses o sobre arrels de vegetació.

Les diferències en la porositat tenen gran importància, no només en la relació de pes per unitat de volum ( $D_e$ ), sinó per la cohesió, absorció, permeabilitat i resistència a la meteorització.

Porositat absoluta ( $P_A$ ): és la relació entre el Volum Total de buits ( $H_t$ ) i el Volum de la mostra ( $V$ ).

$$P_A = \frac{H_t}{V} = 1 - C = \frac{D_r - D_e}{D_r}$$

Veiem que la compacitat més la porositat absoluta sumen el 100%, per tant quan la porositat augmenta, la compacitat disminueix.

Porositat relativa ( $P_R$ ): és la relació entre el Volum dels porus accessibles des de l'exterior i el Volum de la mostra.

$$P_R = \frac{H_e}{V}$$

## **ABSORCIÓ:**

És el percentatge d'aigua absorbida en relació a la massa del material sec. L'absorció màxima es produeix quan s'arriba a la saturació del material. És a dir, que l'aigua ha arribat a tots els porus accessibles des de l'exterior.

L'absorció en estat natural és diferent a l'absorció en laboratori, degut a que al laboratori es submergeix la mostra en aigua bullint i se li aplica en buit previ per extreure tot l'aire que ocupa els porus. Aquesta diferència d'absorció s'anomena coeficient de saturació.

## **PERMEABILITAT:**

És la facilitat que presenta un material per tal de deixar-se travessar per un fluid quan existeix una diferència de pressió entre ambdós extrems del material. La més important és la permeabilitat a l'aigua. Generalment es pot dir que la permeabilitat augmenta quan:

- Augmenta la diferència de pressió entre els extrems del material.
- Increment de la temperatura.
- Augment del radi mig de la xarxa porosa del material.

La permeabilitat disminueix quan:

- Augmenta el gruix del material a travessar.
- Disminució del radi mig de la xarxa porosa.

## **CAPILARITAT:**

És la propietat per la que un líquid penetra i puja pels porus d'un material degut a l'acció de la tensió superficial del fluid. Els porus que permeten aquest efecte són de diàmetre reduït i no poden presentar eixamplaments, ja que segons la llei de Jurin, l'ascensió capilar és inversament proporcional al diàmetre del capilar.

### **GELADICITAT:**

L'aigua al glaçar-se augmenta un 9% el seu volum, quan l'aigua interior d'un material es glaça, aquesta expansió li provoca una sèrie de tensions que el poden arribar a disgregar. Si els porus del material no estan completament plens d'aigua, aquests poden absorbir una part d'aquest augment de volum. Amb un coeficient de saturació del 91%, el material no pateix els efectes destructors dels cicles de gel-desgel.

### **ACCIÓ QUÍMICA:**

És la major o menor reactivitat que presenta la roca o algun dels seus components davant dels agents atmosfèrics. Bàsicament aquests són l'aigua, l'oxigen i el diòxid de carboni. L'oxigen rovella certs minerals com els ferroginosos destruint la seva cohesió i consecuentment, la de la roca. El diòxid de carboni transforma en caolí varis feldespatos, i en bicarbonat soluble el carbonat càlcic.

La hidratació afecta negativament a molts minerals com els minerals ferromagnètics, que es transforma en clorites, per citar un exemple. La meteorització és la principal causa de la destrucció de les roques.

### **DIACLASA:**

Es pot definir com una fissura en la roca originada per moviment del sòl. En trobem a totes les roques compactes, degut a la seva fragilitat, ja que les compressions tectòniques tenen sempre una orientació, les diaclases s'orienten en direccions similars i es disposen paral·leles unes a les altres, formant conjunts anomenats sistemes. En les roques de tipus sedimentari s'aprecien dos grans sistemes, que són el longitudinal i el transversal, que divideixen la massa rocosa en paral·lelepípedos que faciliten l'explotació en cantera.

S'anomenen *fissures o esquerdes*, quan les fractures són sense salts, sense estries, que són les diaclases, i són obertes. S'anomena *filó o beta*, quan les fractures s'han reomplert, posteriorment, amb minerals. No es solen trobar aïllades, sinó que formen sistemes complexes. Gràcies a les diaclases les roques són explotables en cantera.



## **TEXTURA:**

S'entén per textura la disposició dels cristalls a l'interior d'una roca. Podríem entendre-ho com el conjunt de relacions entre els granets que componen la roca i que s'observen a través del microscopi. La textura indica d'una forma general totes les característiques referents a la forma de les partícules, tal com s'aprecien a simple vista. És a dir, l'orientació, magnitud i lligam entre si. La forma exterior de les roques depèn de l'estat d'agregació de les seves partícules, i conseqüentment, del procés de formació a la natura. Hi influeixen en gran manera el temps de formació del procés, la pressió, els agents mineralitzadors i les propietats específiques dels materials que hi intervenen.

La gran majoria dels minerals estan formats per matèria cristal·lina, és a dir, matèria sòlida que té les seves partícules constituents (àtoms i ions) disposades amb una ordenació tridimensional i constant. Molts pocs minerals, com ara l'òpal, són amorfs, és a dir, que les seves partícules no presenten cap mena d'ordenació.

Un cristall és un fragment de matèria cristal·lina de forma regular, limitat per cares, arestes i vèrtexs. La forma regular externa és una conseqüència de l'ordenació interna de la matèria cristal·lina. Cal remarcar que, malgrat que la gran majoria dels minerals estan formats per matèria cristal·lina, rares vegades els minerals apareixen en forma de cristalls ben formats. El procés de formació de cristalls s'anomena cristal·lització.

## **RESISTÈNCIA AL FOC:**

Les roques, generalment són poc resistents al foc i els efectes d'aquest augmenten si es combinen amb els de l'aigua. Els canvis sobtats de temperatura (foc i aigua) provoquen tensions molt elevades a l'interior de les pedres que no poden suportar. Els granets són molt poc resistents al foc. Les calcàries no pateixen deformacions fins els 600°C. Però a partir d'aquesta temperatura es comença a desfer. Els marbres són menys resistents a les altes temperatures i als canvis sobtats de temperatura.

La roca sota el foc augmenta la temperatura. Quan se li aplica aigua la superfície exterior es refreda molt ràpidament, aquesta escorça exterior pateix una contracció ràpida que xoca contra la dilatació del nucli de la pedra, encara calent.

Aquestes dos forces són de gran magnitud i de sentit contrari, que acaben disgregant la roca.

### **EXFOLIACIÓ, PARTICIÓ I FRACTURA:**

Si un mineral, quan se li aplica la força necessària, es trenca deixant dos superfícies planes, es diu que té una exfoliació. Aquestes superfícies sempre són paral·leles a les cares dels cristalls que el componen. No totes les roques tenen exfoliació, i n'hi ha molt poques amb grau elevat.

Quan el mineral està sotmès a tensió o pressió es desenvolupen zones de debilitat. Quan es trenca formant dos cares planes, i ho fa per aquest pla de debilitat, es diu que té una partició. És un fenomen semblant a la exfoliació, però es diferencia en que no és una característica pròpia a un tipus determinat de material. La partició pot ser-hi o no.

Per fractura d'un mineral s'entén la manera en que es trenca quan no pateix exfoliació o partició. Les fractures s'agrupen en:

- Concoidals: tenen superfícies suaus i llises.
- Fibrosa: quan es trenca formant estelles o fibres.
- Ganxuda: trenca amb una superfície abrupta, dentada amb pics afilats.
- Irregular: es trenca formant superfícies bastes i irregulars.

### **BRILLANTOR:**

L'aspecte general de la superfície d'un mineral quan es reflexa la llum s'anomena brillantor. Pot ser metàl·lica o no metàl·lica. Degut a que la frontera entre els dos grups no està clarament definida, hi ha una sèrie de materials que s'agrupen amb el nom de submetàl·lics. Els minerals pertanyen al grup dels metàl·lics són completament opacs a la llum. Els no metàl·lics són de colors clars i són transparents a la llum a través de làmines molt primes.

### **COLOR:**

En alguns minerals el color és una propietat fonamental directament lligada a un dels seus components principals. Així aquest color és una constant característica,

formen el grup dels idiocromàtics. Hi han altres roques en que els components principals són incolors. Però potser algun component secundari pigmenta la roca. La major o menor presència d'aquest element fa modificar el color de la roca, s'anomena alocromàtics.

### **LUMINISCÈNCIA:**

Una emissió de llum per un mineral que no és resultat directe d'una incandescència és una luminiscència.

- Fluorescència i fosforescència: els minerals que es fan luminiscents al ser exposats a l'acció dels raigs ultravioletes, raigs X o raigs catòdics, són fosforescent.
- Termoluminiscència: és la propietat que tenen alguns minerals de produir llum visible quan s'escalfen a una determinada temperatura per sota del vermell. Un exemple ho és la calcita o el feldspat entre d'altres.
- Triboluminiscència: alguns minerals es tornen lluminosos quan són fregats, rallats o molturats. La majoria d'aquests minerals són no metàl·lics. Ho són, però no abundantment, la calcita i el feldspat.

### **RESISTÈNCIA A LA TRACCIÓ:**

És l'oposició que presenta un material a ser trencat per l'acció d'esforços mecànics exteriors.

La cohesió és la força que contrasta l'acció dels esforços exteriors. Quan aquests esgoten la capacitat màxima de cohesió del material, llavors es pot trencar. Malgrat que la força és unitària i localitzada, l'oposició del material es produeix repartida uniformement per tota la superfície de la secció d'aquest. És a dir, tindrem una tensió que expressarà la distribució de forces per superfície ( $\text{Kg/m}^2$ ).

La tensió màxima a tracció indica el punt fins on el material suportarà un esforç exterior d'aquest tipus, sense trencar-se. Els metalls tenen una excel·lent resistència a tracció, tot el contrari que les pedres i roques.

## **RESISTÈNCIA AL TALLANT:**

Si tenim una sèrie d'esforços de sentit contrari, quan sobrepassin un determinat valor, la peça es trencarà. Aquests esforços originen una reacció al material que s'anomena tensió al tallant.

## **RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ:**

S'expressa com el coeficient entre càrrega de ruptura i la secció sobre la que s'actua. A les roques calcàries la resistència depèn del procés de formació.

Generalment la resistència és directament proporcional a la uniformitat de la seva estructura física, i inversament proporcional al tamany dels grans que la formen. En el cas que ens interessa, les calisses tenen una resistència a compressió de 500 – 1200 Kg/cm<sup>2</sup>.

Es sol tenir en compte 1/10 de la càrrega de ruptura com a valor de càlcul. Les roques tenen 1/30 part menys de resistència a tracció que a compressió.

## **RESISTÈNCIA A FLEXIÓ:**

Quan sotmetem una roca a un sistema de forces, transversal a l'eix longitudinal, li estem aplicant una flexió.

La flexió deforma i corba el material, aquesta deformació provoca unes tensions internes de tracció (zona convexa) i de compressió (zona còncava). Existeix un pla en que no es produeix ni tracció ni compressió, que és el que anomenem fibra neutra.

## **RESISTÈNCIA A L'ABRASSIÓ:**

És l'oposició que representa la pedra a ser desgastada per fregament amb un altre material o per successius impactes. A cop d'ull sembla que la resistència a l'abrasió estigui lligada a la duresa del material, però a vegades no és així, sobretot quan es tracta d'abrasió per impacte i no per fregament.

## DURESA:

La duresa és la propietat que expressa la capacitat d'un material per oposar-se a ser ratllat en la seva superfície per un altre.

Aquesta característica depèn directament del tipus d'unió entre els seus ions, àtoms i molècules i augmenta quan s'incrementa la força d'unió entre elles. Així els sòlids amb unions moleculars són relativament tous. Els que tenen enllaços iònics i metàl·lics són més durs; i aquells que presenten enllaços covalents, com el diamant, són els més durs.

Trobem diferents tipus de duresa:

- Duresa a la penetració: expressa l'oposició que un material ofereix a que un altre pugui erosionar-lo per efecte de la pressió. Depèn de la forma i tipus del material agent. Cal especificar les característiques d'aquest perquè pugui ser un valor comparatiu.
- Duresa elàstica: indica el comportament de la superfície d'un material al ser sotmès a l'impacte d'un element que xoca contra ell.
- Duresa al tall: defineix la reacció d'un material a l'acció de tall realitzada per un altre.
- Duresa al ratllat: és el concepte més antic de la duresa i expressa la resistència que oposa un material a ser ratllat per un altre, l'avaluació és relativa.

Segons la taula de Mohs, s'estableix una escala de menor a major duresa:

- 1- Talc
- 2- Guix
- 3- Calcita
- 4- Fluorita
- 5- Apatito
- 6- Ortosa
- 7- Quars
- 8- Topazi
- 9- Corindon
- 10- Diamant

## 4. EL MORTER DE CALÇ

### 4.1. EL MORTER

Els morters formen part dels materials de construcció que s'han anat utilitzant des de la més remota antiguitat, seguint l'evolució dels coneixements empírics i, sobretot, dels científics i tècnics al llarg del temps, tant en el que es refereix als seus components com a la tecnologia de la seva fabricació i posta en obra.

La fabricació de morters ha experimentat canvis importants, passant d'una fabricació artesana a una fabricació industrial, utilitzant productes de qualitat i procediments industrials que permetien garantir la producció de morters de qualitat.

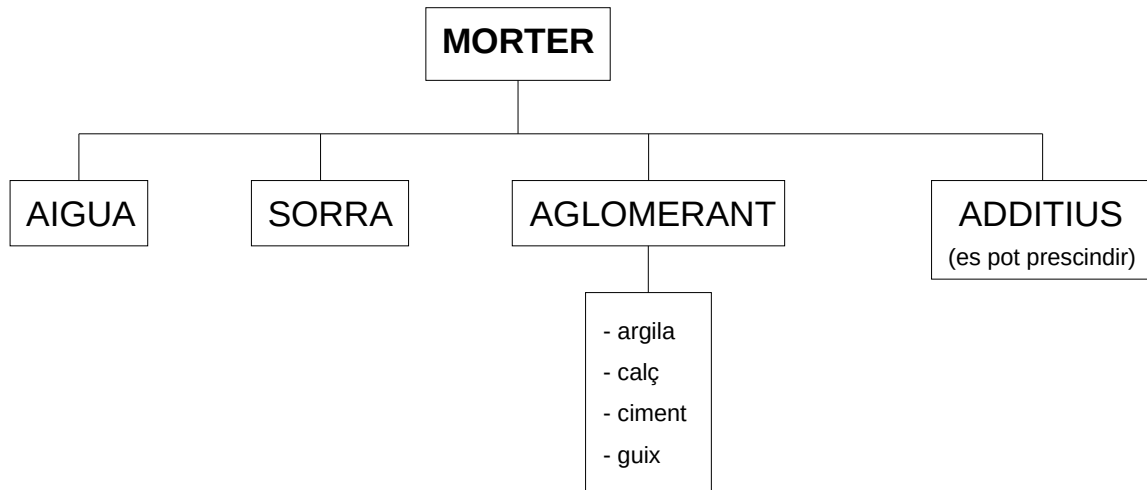
Des d'aquest punt de vista, i degut al seu impuls tecnològic, els morters han quedat relegats a un segon pla. Gràcies al disseny de mescles d'acord amb la seva aplicació, als processos d'elaboració i manipulació, així com als sistemes de posta en obra, les propietats dels morters poden ser modificades profundament i respondre a unes condicions i característiques determinades, i encara millorant-les, pel que els morters es fan imprescindibles en qualsevol edificació.

De definicions sobre el morter n'hi ha moltes, degut a que hi ha molts llibres i normes que tracten el tema, però n'he agafat una prou entenedora per tal de definir els conceptes bàsics.

**Conglomerant:** És una massa formada per diversos elements de manera que tots quedin units d'una forma coherent. Els conglomerants utilitzats en la construcció són de color gris i estan formats per un aglomerant, un material àrid (sec i estèril) i aigua. Segons si l'àrid és sorra o grava, obtenim el morter o el formigó.

**Aglomerant:** Són materials que un cop s'han barrejat amb aigua tenen la propietat d'endurir-se per poder ser utilitzats en una obra. Els aglomerants utilitzats en la construcció es poden classificar en: argila, guix, calç i ciment.

**Morter:** Tota la matèria plàstica obtinguda per la barreja d'un o varis aglomerants, aigua, sorra i possibles additius, dels quals es pot prescindir.



El morter té la peculiaritat de poder ser utilitzat en diferents aplicacions en l'edificació. Aquestes possibilitats venen determinades per tres factors:

- 1. Adaptabilitat formal:** Pot adaptar-se a qualsevol superfície i volum, forma i interstici. Tampoc requereix toleràncies dimensionals.
- 2. Facilitat d'aplicació:** La seva posada en obra no requereix d'especial sofisticació. Es poden aplicar manualment o per projecció.
- 3. Prestacions de disseny:** El morter ofereix la possibilitat d'adaptar les seves possibilitats a les exigències que es deuen conforme a la composició i dosificació precises.

Avui dia, els morters principalment tenen un ús enfocat cap a la paleta comú, si bé poden tenir altres aplicacions derivades de les prestacions específiques dels morters especials.

## 4.2. COMPONENTS PER L'ELABORACIÓ DE MORTERS

Per tal de realitzar l'estudi de substitució de forma racional s'ha de tenir en compte els apartats següents:

L'estudi dels materials que componen els morters és molt important ja que són els que condicionaran en gran mesura les propietats, comportament, qualitat i idoneïtat dels morters. Això no significa que utilitzar uns bons components doni un bon resultat, sinó que depèn de la influència de l'execució, però és molt difícil que amb materials d'escassa qualitat, per molt cuidada i escrupolosa que sigui l'execució s'arribi a obtenir uns bons resultats constructius.

### 1. CONGLOMERANTS:

#### EL GUIX I L'ESCAIOLA:

Com a guix es coneix al conglomerant aeri obtingut per mòlt de productes resultants de la deshidratació de la pedra de guix ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , sulfat de calci dihidratat) i amb la possible incorporació d'additius reguladors del fraguat.

L'escaiola és un guix de major puresa i finor de mòlt, això crea uns paràmetres que originen unes resistències a flexotracció superiors.

El procés de l'acció conglomerant dels guixos consisteix en un procés d'hidratació dels productes deshidratats, per formar després d'una fase normalment molt curta de 10 a 30 minuts (en funció de la classe, normal o lenta), un sòlid fort i dur, constituït per agulles cristal·lines ben empaquetades. A més d'originar l'enduriment per hidratació, el guix continua sent sensible a l'aigua, més que per la seva solubilitat, per la seva pèrdua de resistències, d'aquí que no es permeti utilitzar-lo en exteriors, menys quan la seva impermeabilitat estigui assegurada.

Les característiques que han de reunir els guixos i les escaioles per la seva recepció i els mètodes que s'utilitzin per la determinació de les seves propietats, venen definides pel Plec General de Condicions per la Recepció de Guixos i Escaioles en les Obres de Construcció de 1985 (RY-85).



El guix és un material que amb freqüència apareix en el revestiment tradicional, en contra dels molts detractors amb els que compta en l'actualitat quan es vol utilitzar en els exteriors. En l'actualitat, l'ús del guix es restringeix fonamentalment al revestiment d'interiors, en parets i sostres, com capes continues estesa sobre rajoles i morters, com material auxiliar d'unió, i com elements prefabricats amb fins decoratius. Presenta problemes d'adherència sobre determinades superfícies, com la del formigó prefabricat, per la llisor superficial, o sobre el propi guix llis, degut a que només presenta adherència mecànica i no química. Altre inconvenient és la seva escassa duresa, que el fan sensible al fregament i al ratllat i requereix un revestiment d'acabat.

## **CONGLOMERANTS TRADICIONALS MÉS REPRESENTATIUS A BASE DE GUIX:**

### **Pasta de guix:**

Es fabriquen mitjançant l'amassat d'aigua i guix en diferents proporcions segons el tipus. Les pastes constitueixen la matèria principal per la realització dels anomenats "tendidos", que són revestiments interiors aplicats amb la llana o amb màquina i que generalment s'apliquen en dos capes, una primera de guix negre i altre segona de guix blanc o enlluït.

### **Morters de guix:**

Aquest tipus de morter s'ha utilitzat per revestir paraments interiors principalment. Es componen de guix i sorra fina (exempta de brutícia), en unes proporcions que oscil·len entre la 1:2 i 1:3 en pes, sent convenient amassar primer la pasta de guix i sobre ella abocar la sorra per aconseguir que cada gra quedi perfectament envoltat per la pasta. Si s'augmenta la proporció de sorra, les característiques resistents del morter disminueixen i es fa més fissurable.

El ràpid fraguat d'aquest tipus de morters es pot resoldre afegint coles que al barrejar-se amb la pasta retarden el fraguat.

### **Morters de guix i calç:**

Tradicionalment han tingut molta aplicació, sent un dels més coneguts l'anomenat "trabadillo", morter compost de guix i calç, que pot portar barreja d'àrids (sorra en quasi la totalitat dels casos) i també fibres, palla, pèls i en molts casos additius per retardar el fraguat del guix o millorar les prestacions de la barreja. Es poden aplicar per l'execució de revestiments interiors o exteriors, patis, mitgeres inclòs les façanes.

Es tracta de morters mixtes que estan constituïts per dos conglomerants:

1. **El guix:** aporta la rapidesa de fraguat i el primer enduriment.
- 2 **La calç:** retarda el fraguat del guix i aporta resistència i durabilitat a llarg plaç, sobretot en el cas de que s'utilitzin per exteriors. Poden tenir incorporats àrids, bé de tipus calcari o silici, el que unit a la diversitat de dosificacions dóna lloc a una gran varietat de tipus de morters.

Les dosificacions en volum pels monocapes són 3:10:7 (calç : guix : sorra), i pels bicapes 1:3:2, sent en els dos casos la finor de la sorra de 0 a 3 mm.

Les eines d'aplicació són:

- La talotxa
- La llana
- La rasqueta

L'espessor final d'acabat està al voltant dels 2 cm (1+1 en els bicapa), però també s'accepta les dosificacions de 2-3:1, més àrid o sense ell per morters de construcció i revestiments, i la de 1:6 per la realització de productes ornamentals o decoratius.

### **Guixaries i estucs de guixos:**

Estan formats bàsicament per barreges de guix i coles d'origen animal que retarden el fraguat, augmenten la plasticitat i motllurabilitat de l'estat fresc i milloren l'adherència, duresa i resistència a agents externs, encara que entre les seves formulacions també és freqüent trobar la utilització de calç, marmolina, pigments colorants, sabons, olis, etc.

Les tècniques d'execució existents són múltiples i complexes, depenent de l'artesà estucador que les realitza, i del tipus d'estuc que es vulgui obtenir.

|                              |                                         |                                                                                                       |
|------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ESTUCS MÉS IMPORTANTS</b> | ESTUCS NORMALS                          | De guix fi i cola.                                                                                    |
|                              | ESTUCS MARBRERATS<br>O ESTUC-MARBRE     | Amb vetes per imitar al marbre produïts per la barreja de pastes de diferents colors.                 |
|                              | ESTUC LUSTRE                            | Amb gran brill que s'obté per planxat en calent.                                                      |
|                              | ESTUC TARECEAT O<br>SCAGLIOLA EN ITALIÀ | Amb injecció de guixos colorejats sobre un suport de color homogeni per aconseguir el motiu dibuixat. |

**TAULA1: TAULA RESUM DELS ESTUCS MÉS IMPORTANTS.**

L'execució d'aquests revestiments decoratius sol implicar la realització de com a mínim dos capes: enfoscat i estucat; encara que els millors resultats s'obtenen amb l'aplicació de tres o més capes, tenint aquestes últimes major finor.

En el cas dels estucs andalusins, s'utilitza un morter compost per calç, guix i pols de marbre blanc, sobre el qual i mitjançant la tècnica de l'estarcit es dibuixen les diferents geometries i els arabescos, que es tallen amb posterioritat mitjançant una gúbia. El policromat es pot realitzar sobre el morter encara humit, amb tècniques de fresc, és a dir, amb els pigments dissolts en aigua de calç. Les operacions finals a realitzar són el patinat amb aigua planxada en calent a cullera, i per últim, el "bruñido a muñequita con jaboncillo" (sabó i talc).

## LA CALÇ

La calç és el conglomerant aeri obtingut per calcinació de materials calcaris i posterior apagat dels òxids formats amb aigua. Està composta principalment per hidròxid i òxid de calci ( $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{CaO}$ ), amb quantitats menors de magnesi ( $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{MgO}$ ), silici ( $\text{SiO}_2$ ), Alumini ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) i ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En general, la calç s'utilitza per millorar la plasticitat del morter i aclarir el seu color.

A més de les calçs aèries existeixen altre tipus de calç que són les anomenades calç hidràuliques, compostes principalment per silicats càlcics, aluminats càlcics i hidròxid càlcic, i que es produeixen per calcinació de calcaries argiloses, que s'hidraten i es poden triturar amb posterioritat.

Les calçs utilitzades en els morters poden ser aèries o hidràuliques. Les seves especificacions estan contemplades en la Norma UNE-EN 459-1.

#### **Calç hidràulica:**

Es tracta d'un conglomerant hidràulic constituït fonamentalment per òxids calcaris ( $\text{CaO}$ ) i hidròxid calcari ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) i certa quantitat de silicats, ferrats i aluminats calcaris que confereixen les seves propietats hidràuliques.

De major riquesa en components de caràcter àcid i major finor de gra que les calçs hidràuliques II i III. Les hidràuliques, amassades amb aigua formant pastes que fragüen i endureixen a causa de les reaccions d'hidròlisis i hidratació dels seus constituents.

El procés és més ràpid que en el cas de la calç aèria i dona lloc a productes hidratats, mecànicament resistents i estables, tant a l'aire com sota l'aigua.

#### **Calç aèria:**

Conglomerant aeri constituït fonamentalment per òxid de calci ( $\text{CaO}$ ) o hidròxid de calci ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) amb la possible existència d'òxid de magnesi ( $\text{MgO}$ ) o hidròxid de magnesi ( $\text{MgO}$ ). De major riquesa en components de caràcter bàsic i de major finor de gra que la calç aèria II. S'utilitza preferentment en revocs, blanqueig i per morters de paleta.

Les calçs aèries hidratades (apagades) endureixen únicament amb l'aire. Aquesta calç, amassada amb aigua i exposada a l'acció de l'aire, primer fragua per cristallització del hidròxid càlcic i després endureix al carbonatar-se els cristalls per acció del  $\text{CO}_2$  atmosfèric. El procés és lent i el producte resultant poc resistent a l'acció de l'aigua. Les presentacions comercials de la calç aèries varien en funció del seu contingut en aigua.

D'aquesta manera, es pot trobar:

- **Calç viva en terrossos o mòlta:** és el producte anhidrid.
- **Calç apagada o hidratada en pols:** és el producte que té només l'aigua d'hidratació, la pasta de calç que té més aigua que l'anterior.
- **Lletada de calç:** composta per calç apagada i aigua en un elevat percentatge.

Les propietats conglomerats de la calç van ser conegudes des de molt temps enrere, sent un dels primers productes industrials aconseguits per l'home. Amb ella es va arribar a executar paviments i revestiments en les coves del Neolític, les quals han arribat en condicions bastant acceptables fins els nostres temps.

La calç ha estat el conglomerant principal durant mil·lennis de la Història Humana, fins fa menys de dos segles, així en 1824 quan es substitueixen per l'invent d'Aspdin: el ciment Pòrtland. Des d'aquesta data fins gairebé un segle després, les calç hidratades van compartir amb els ciments com conglomerants més utilitzats.

Els nous tipus de calç àeries definides en la norma vigent es troben en la següent taula:

| TIPUS                 | CL 90                         | CL 80            | CL 70 | DL 85             | DL 80            |
|-----------------------|-------------------------------|------------------|-------|-------------------|------------------|
| Característiques      | Calç d'alt contingut en calci |                  |       | Dolomia calcinada |                  |
| Requisits químics (%) |                               |                  |       |                   |                  |
| CaO + MgO             | >=90                          | >=80             | >=70  | >=85              | >=80             |
| MgO                   | <=5 <sup>1.2</sup>            | <=5 <sup>1</sup> | <=5   | <=30              | <=5 <sup>1</sup> |
| CO <sub>2</sub>       | <=4                           | <=7              | <=12  | <=7               | <=7              |
| SO <sup>3</sup>       | <=2                           | <=2              | <=2   | <=2               | <=2              |

TAULA2. RESUM DEL TIPUS DE CALÇ

Per les calçs vives dels tipus CL 90, CL 80 i CL 70, a més se'ls hi estableixen dos requisits físics:

1. Estabilitat de volum. La qualificació de l'assaig ha de ser acceptable (passa).
2. Rendiment. Ha de ser major o igual de 26 dm<sup>3</sup>/10Kg.

Per les calçs hidratades, pastes de calç i dolomies hidratades, les propietats físiques exigides queden detallades en la taula següent:

| PROPIETATS FÍSQUES                                                                                                                                 | CL 90                                                                                                                                       | CL 80 | CL 70 | DL 85     | DL 80 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-----------|-------|
| <u>Finor</u><br>0.09 mm (%retingut)<br>0.2 mm (%retingut)                                                                                          | <div>&lt;=7</div> <div>&lt;=2</div>                                                                                                         |       |       |           |       |
| <u>Estabilitat de volum</u><br>Pastes de calç i calçs dolomítiques hidratades<br>Altres calçs de construcció<br>Apartat 5.3.1.1<br>Apartat 5.3.1.2 | <div>Passa</div> <div>&lt;=20      &lt;=20      &lt;=20      no aplicable</div> <div>&lt;=2      &lt;=2      &lt;=2      no aplicable</div> |       |       |           |       |
| <u>Assajos sobre morter normal</u><br>Penetració (mm)<br>Retenció d'aigua (%)<br>Contingut d'aire (%)                                              | <div>&gt;20 i &lt;50</div> <div>&gt;65 i &lt;85</div> <div>&lt;=12</div>                                                                    |       |       |           |       |
| Densitat parent (kg/m3)                                                                                                                            | 0.3 a 0.6                                                                                                                                   |       |       | 0.4 a 0.6 |       |
| Aigua lliure (humitat %)                                                                                                                           | <=2                                                                                                                                         |       |       |           |       |

**TAULA 3: PROPIETATS FÍSQUES DE LES CALÇS AÈRIES.**

Com a breu comentari sobre les propietats físiques imposades per les calç per la norma, s'ha de destacar la importància de la finor i l'estabilitat de volum. Aquestes dues propietats ens proporcionen una garantia d'absència de reactivitat química de la calç hidratada amb l'aigua retinguda en el morter, després de la seva execució. Aquesta reactivitat de la calç amb aquest aigua, es deu a la presència de grans de calç viva sobrecalcinada o dolomia calcinada, amb una velocitat de reacció amb l'aigua més lenta que els grans de calç viva (CaO), i que per tant, puguin produir fissures per

expansió i/o ampolles o picadures, durant la seva prolongada hidratació, quan són utilitzats en l'elaboració de morters.

Tradicionalment s'ha valorat molt el procés seguit per l'apagat de la calç viva, distingint tres sistemes clàssics d'apagat: per fusió, per immersió en aigua i per aspersió. A més, es considera necessari un període de repòs de la calç apagada o de la pasta de calç que oscil·la des de varis mesos fins anys abans de la seva utilització, ja que està demostrat que durant aquest període varia la morfologia de la seva cristallització, tornant-se més plàstica, més treballable, amb més capacitat de retenció d'aigua, millorant el ritme de carbonatació del morter. Però també es pot afirmar que aquest repòs tenia més importància en les calçs obtingudes antigament, on no es controlaven adequadament ni la qualitat dels materials càlcics, ni el procés de calcinació (temps i temperatura del forn), sent freqüent la presència de restes no cuites o sobrecalcinats de difícil apagat. En les calç actuals, obtingudes per mitjà de processos industrials controlats es disminueix aquesta problemàtica.

La varietat de morters fabricats a base de calç és realment amplia degut a la combinació de diversos factors entre els que es poden destacar: el tipus d'àrid i la seva granulometria (sobre tot el seu tamany màxim), les possibles combinacions de conglomerats (calç-ciment i calç-guix fonamentalment), el tipus de calç, la incorporació d'additius, etc. De tots ells, s'han destacat els quatre que tenen un ús més extens:

- Morters de calç enfoscats i revocs
- Morters de calç per estucs
- Morters de calç i ciment
- Morters mixtos de calç i guix

#### **Morters de calç enfoscats i revocs:**

Els revocs estan constituïts per una sèrie de capes de morters superposades, esteses o projectades sobre un paràmetre base. La seva elaboració es realitza amb una proporció d'un volum de calç per dos o tres de sorra de riu (1:2 i 1:3), podent-se utilitzar també dosificacions més pobres en calç com la 1:4 i la 1:3. La calç utilitzada pot ser la hidratada en pols o la calç en pasta, el que suposa un reajustament del volum de sorra i aigua a utilitzar per mantenir les proporcions.

La dosificació 1:4 s'utilitza per la realització dels enfoscats o primera capa del revestiment que serveix per regularitzar el suport, i com a base de les següents capes.

Els morters amb proporcions 1:1 a 1:3, s'utilitzen per realitzar els revocs o capes d'acabament que puguin presentar una multitud d'acabats ornamentals.

La preparació dels morters de calç es pot realitzar "in situ" o també es comercialitzen morters secs, llestos per aplicar un cop són amassats amb la quantitat d'aigua recomanada pel fabricant.

### Morters de calç per estucs:

Es designen amb el nom d'estucs a una família de morters de calç utilitzats per l'acabat decoratiu de revestiments en els que la sorra ha estat substituïda per marmolina. Aquest és un àrid càlcic obtingut per el molent de marbre blanc, podent presentar varies granulometries definides per els seus tamanyos màxims (2.5 mm., 1.2 mm., 0.8 mm. i 350 micres), i que donen lloc a diferents usos i textures.

Les dosificacions utilitzades oscil·len entre 1:1 i la 1:3 (en volum), estimant-se per la seva fabricació calç en pasta que hagi estat diversos mesos en repòs per garantir el complet apagat de la mateixa.

És freqüent addicionar pigments en massa per obtenir diferents tonalitats de colors, enriquint d'aquesta manera les opcions del restaurador. Encara que és habitual la utilització de dosificacions en volums, autors com Azconegui et al (1998) citen les dosificacions en pes dels seus components per l'elaboració dels diferents tipus d'estuc com una manera de realitzar-les de forma més precisa.

| TIPUS DE MASSA | ÚS                                        | CALÇ<br>(EN PASTA) | TAMANY MÀXIM D'ÀRID (mm) |        |        |       |
|----------------|-------------------------------------------|--------------------|--------------------------|--------|--------|-------|
|                |                                           |                    | 2,5                      | 1,2    | 0,8    | 0,35  |
| MAGRA          | Primera capa sobre enfoscats reglejat     | 156 kg             | 125 kg                   | 50 kg  | 25 kg  |       |
| MAGRA          | Primeres capes sobre enfoscats fratassats | 156 kg             |                          | 150 kg | 25 kg  |       |
| MAGRA          | Primeres capes i repretats                | 156 kg             |                          |        | 175 kg |       |
| GRASA          | Acabats d'estucs de textura fina          | 156 kg             |                          |        | 50 kg  | 25 kg |

TAULA 4: TIPUS, ÚSOS I DOSIFICACIONS EN PES D'ESTUCATS SEGONS L'AUTOR AZCONEGUI ET AL., 1998



Els estucs s'apliquen sobre l'enfoscats, sent habitual treballar amb dos o tres capes per aconseguir un bon acabat. La varietat de tècniques d'aplicació juntament amb els diferents tipus d'estucs originen una gran quantitat d'acabats ornamentals que es poden agrupar en tres grups (existint, a la vegada dins d'ells subgrups):

- Estucs enlluïts
- Estucs laborats
- Estucs esgrafiats

### **Morters de calç i ciment:**

Molt contràriament de l'opinió generalitzada de que l'origen d'aquests morters va ser l'addició de ciment als morters de calç per augmentar les seves resistències i velocitat de fraguat, la vertadera raó va ser l'addició de calç als morters de ciment per millorar la seva treballabilitat de la calç. La baixa resistència d'aquesta i la seva alta porositat es milloren amb les qualitats del ciment.

Les dosificacions més utilitzades són la 1:1:7 (ciment : calç : sorra), que correspon a un morter tipus M-40 (40 Kg/cm<sup>2</sup>) de resistència a la compressió als 28 dies), i la 1:2:10, que correspon a un M-20. Aquests morters s'utilitzen per l'execució d'enfoscats, fàbrica de rajols, per soleres, etc., però s'ha de tenir en compte que en actuacions de restauració la presència de ciment pot ser perjudicial. El seu ús resulta adequat quan es va acabar el revoc amb un morter de calç i la base de la fàbrica està presa amb ciment.

### **EL CIMENT**

El ciment és un conglomerant hidràulic obtingut mitjançant la calcinació a elevades temperatures (1400 °C-1500 °C) de barreges d'argila i calcàries, que originen un producte intermedi anomenat clíner, el qual un cop refredat es motllura amb guix (regulador del fragata) i barreja amb diferents addicions (filler calcari, fum de sílice, cendres volants, etc.) per donar lloc a diferents tipus de ciments. Tenen unes propietats molt adequades per les especificacions que han d'assolir.

L'invent del ciment s'atribueix a un manobre anglès, Apsdin, que va patentar el seu invent en 1824, moment a partir del qual va començar a produir un canvi total de les tècniques constructives. L'aparició dels ciments tipus Pòrtland a finals del segle passat va marcar el progressiu abandonament dels morters de calç, de guix i calç i de

guix, que van ser substituïts per els de ciment, al proporcionar al morter major resistència mecànica i major resistència a la humitat degut a la seva hidraulicitat.

A partir d'aquí, convé explicar amb major profunditat la principal qualitat del ciment Pòrtland, que a més el caracteritza:

- a) Quan es barreja un conglomerant hidràulic amb una quantitat convenient d'aigua, per obtenir una consistència normal, es forma immediatament una massa de caràcter plàstic, que es moldeja però amb el temps va augmentant la seva viscositat i la seva temperatura. Durant uns 15 minuts, és possible aconseguir una major fluïdesa mitjançant amassat mecànic. Presenta un caràcter "tixotropics".
- b) Quan passa un temps, que pot oscil·lar entre els 15 i els 120 minuts aproximadament (depenent del tipus de components utilitzats), la massa tendeix a tornar-se rígida, donant lloc al "Principi de Fraguar". Al temps que transcorre entre el contacte amb l'aigua i el principi de fraguar se li anomena "temps de fraguar inicial". Quan s'inicia el fraguar, el morter ha d'estar col·locat en obra, tota operació de reamassat, abocament, etc. és perjudicial pel correcte desenvolupament de les propietats del morter.
- c) Des del principi de fraguar la resistència mecànica de la massa augmenta, degut a la formació de fases cristal·lines insolubles, deshidratant parcialment la massa, fins arribar a ser completament indeformable. Aquest instant es coneix com "Fi de Fraguar". El temps que transcorre entre el principi de fraguar i el final de fraguar és el període de fraguar, que pot durar entre 45 minuts i 10 hores, segons els casos.

A partir del final del fraguar, es produeix el "Període d'Enduriment" (4 hores en endavant), fase on existeix un creixement exponencial de les resistències mecàniques de la massa, degut a la consolidació final mitjançant formació de fases cristal·lines que omple els forats i a l'evaporació de l'aigua sobrant. Als 28 dies, en condicions normalitzades, s'obté una resistència a compressió que defineix el tipus de morter. En la resistència final és fonamental la incidència de les condicions ambientals i d'aplicació, en especial el curat.

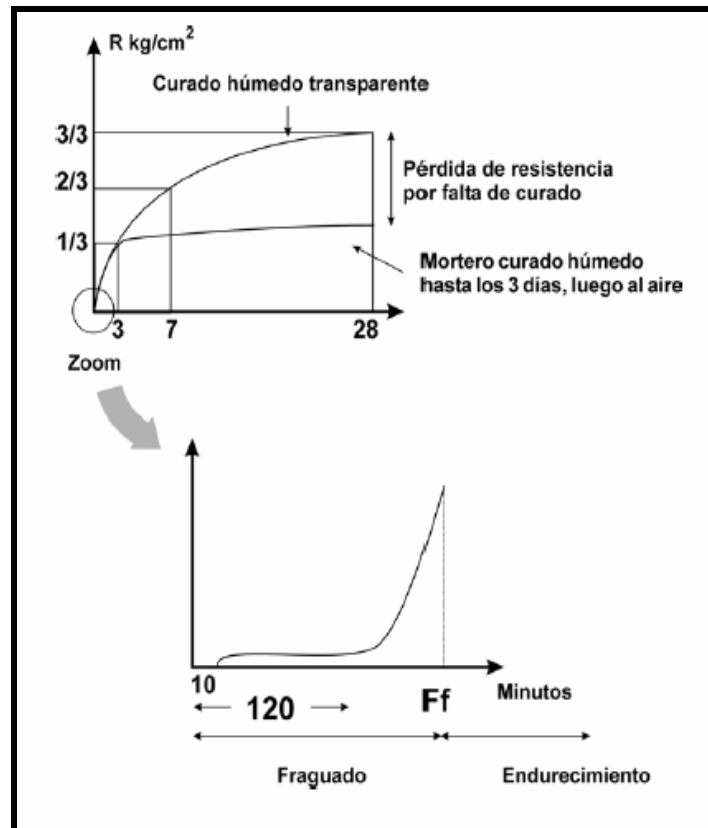


FIG. PROCÉS DE FRAGUAT ENDURIMENT DEL MORTER

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 21

Les proporcions del conglomerant o conglomerats en un morter depenen de la seva aplicació. En qualsevol cas les millors prestacions, rendiments i fiabilitat són més fàcils d'assolir en els morters realitzats en fàbrica pel seu major control de qualitat. La selecció i classificació dels ciments es realitza en funció de l'aplicació del morter, si bé les millors prestacions i fiabilitat s'obtenen en els morters industrials front als elaborats "in situ".

Existeixen ciments especials per paleta, on les seves característiques i proporcions es defineixen en la Norma UNE-EN 413-1. En els morters mixtos s'utilitza a més la barreja amb calç. Les característiques dels ciments venen regulades per la instrucció de Recepció de Ciments RC-97 (en projecte RC-03).

Es distingeixen:

- Ciments comuns (CEM),
- Blancs (BL),
- Resistents a sulfats (SR) i/o a l'aigua del mar (MR).

El ciment que s'utilitzava per l'execució dels anomenats "revestiments tradicionals" fins els primers anys del segle XX, correspondria als ciments que avui dia es coneix amb el nom de ciment Pòrtland sense addicions (tipus I), ja que l'aparició en el mercat dels ciments amb addicions (tipus II) no es va produir fins després de 1944.

Les aplicacions del ciment per morters de revestiments tradicionals han estat:

- **Morters de ciment per enfoscats.** Les dosificacions més usuals són les de 1:3, 1:4 i 1:6.
- **Morters ciment per revestiments.** S'incorpora el ciment blanc al revestiment en el Plec de la D.G.A. de l'any 1948 com forma d'executar revestiments amb acabats petris, es considera al ciment blanc com el més adequat per l'execució del revestiment, ja que el que fa és imitar a la calç.

Els principals problemes que presenten els morters de ciment són:

1. L'escassa treballabilitat : s'afegeix calç per solucionar-ho.
2. La seva impermeabilitat (positiu o negatiu segons la fàbrica que serveixi de base).
3. La seva falta d'elasticitat.

Una excepció a la falta d'aptitud per l'execució de restauracions el constitueixen els anomenats comercialment morters "draining", dels quals s'exposen a continuació les seves propietats principals:

#### **Morters de ciment "draining":**

Estan compostos de sorra sílice de 0,5 mm a 0,8 mm (20 Kg), ciment Pòrtland gris o blanc (5 Kg) i concentrat draining (90 gr). És un morter impermeable en massa, però amb una elevada porositat que permet l'absorció i evaporació de l'aigua del mur. Es pot aplicar sobre fàbriques de pedra i rajol, formigó i tapies, aconseguint el sec de murs de contenció o voltes amb filtracions, el drenatge i sec de parets exteriors humides i evita la condensació de vapor en habitacions amb elevada humitat relativa.

Un altre tipus de morters de ciment aplicats en restauració són els anomenats morters tixotròpics, caracteritzats per la propietat de fer-se més plàstics i treballables a mesura que s'aplica un major esforç sobre ells i, per tenir llargs períodes de fraguat pel

seu moldejat. Per aquesta raó són idonis per l'execució d'imitacions en relleu amb gran nivell de detall de fàbriques antigues, així com tot tipus de figures, escuts, emblemes i fissures per augmentar el pas del temps sobre elles. Posteriorment, mitjançant l'aplicació de raspallats s'aconsegueixen les diferents textures i amb pintures a l'àcid les policromies, reforçant també la sensació d'antiguitat.

A pesar de les possibilitats estètiques que ofereixen, no són adequats per el revestiment de murs antics per el seu contingut de ciment.

## **2. ÀRIDS**

Els àrids que formen part de morters són materials granulars inorgànics de mesura variable. La seva naturalesa es defineix com inert ja que per si sols no han d'actuar químicament front als components del ciment o front als agents externs (aire, aigua, gel, etc.). Però si influeixen de forma determinant en les propietats físiques del morter, al unir-se amb un conglomerant. En general, no són acceptables àrids que continguin sulfurs oxidables, silicats inestables o components de ferro igualment inestables.

Els àrids que s'utilitzen per la fabricació dels morters tenen com a funció principal, la de proporcionar un esquelet al conglomerant, però també intervenen en:

- L'augment de la resistència al xoc i a l'abrasió.
- Disminució de la retracció.
- Baixen el preu del revestiment per la seva diferència de cost front als conglomerats.
- Doten de color i textura a l'acabat.

### **TIPUS D'ÀRIDS**

Segons la seva procedència i mètode d'obtenció, els àrids poden classificar-se en:

#### **Àrids naturals:**

Són els procedents de jaciments minerals obtinguts només per procediments mecànics. Estan construïts per dos grans grups:

- Àrids Granulars: S'obtenen bàsicament de graveres que exploten dipòsits granulars. Aquests àrids s'utilitzen després d'haver patit un rentat i classificació. Tenen forma arrodonida i, amb superfícies llises i sense arestes, i se'ls anomena "àrids rodats". Són principalment àrids de naturalesa silícia.
- Àrids d'Esmicolament: Es produeixen en pedreres després d'arrancar els materials dels massissos rocosos i sotmetre'ls posteriorment a trituració, mòlta i classificació. Presenten superfícies rugoses i arestes vives. Són principalment àrids de naturalesa calcària, encara que també poden ser de naturalesa silícia.

#### **Àrids artificials:**

Estan constituïts per subproductes o residus de processos industrials, resultants d'un procés que comprèn una modificació tèrmica o altres. Són escòries siderúrgiques, cendres volants de la combustió del carbó, fílleres, etc.

#### **Àrids reciclats:**

Resultant d'un tractament del material inorgànic que s'ha utilitzat prèviament en la construcció, per exemple, els procedents de l'enderroc d'edificacions, estructures de fers, etc.

Encara que les sorres no prenen part activa del fraguat i enduriment del morter, porten a terme un paper tècnic molt important en les característiques d'aquest material, perquè conformen la major part del volum total del morter. Per això, es podria dir que la sorra és l'essència del morter. D'aquí, la importància de conèixer algunes de les seves característiques tant físiques com químiques.

### **PROPIETATS FÍSQUES DELS ÀRIDS:**

#### **1. MESURA DE L'ÀRID**

Els àrids es divideixen en sorres (àrid fi) i graves (àrid gruixut). La diferència entre uns i altres està únicament en la seva mesura.

Sorra és el material granular que passa per un tamís de 4 mm de llum de malla.

Grava és el material granular que queda retingut en aquest tamís.

## 2. MESURA (d/D)

Les sorres reben una denominació nominal (d/D) en termes del menor (d) i del major (D) mesura dels tamisos, dins dels quals es troben la major part de l'àrid (per exemple: 0/2, 0/4, etc.).

Dins de les sorres es poden distingir les sorres gruixudes (2/4) i sorres fines (0.063/2). S'anomena fi o filler d'àrid, al que el seu percentatge en massa que passa pel tamís 0.063 és major del 70%, segons UNE-EN 13139.



FIG. TAMISSADORA PER MESURAR LA GRANULOMETRIA  
DELS ÀRIDS

## 3. GRANULOMETRIA D'UNA SORRA

La composició de les diferents mesures de les partícules que integren un àrid s'anomena granulometria. Aquesta relació ve donada per la norma UNE-EN 933-2 que recull una sèrie de tamisos constituïts pels següents passos de malla:

0.063 - 0.125 - 0.250 - 0.500 - 1 - 2 - 4 mm

Els àrids estipulats per morters segons la designació d/D explicada són:

0/1 - 0/2 - 0/4 - 0/8 - 2/4 i 2/8

Aquesta designació admet alguna quantitat de partícules retingudes en la mesura major (límit superior) o que travessa el tamís menor (límit inferior). Els àrids

marquen un límit inferior i un límit superior referit al percentatge en pes que passa pels tamisos segons la Norma UNE-EN 13139/AC.

L'últim fi de la granulometria és conèixer la corba granulomètrica de la sorra així com el seu mòdul granulomètric.

#### 4. CORBA GRANULOMÈTRICA

Una vegada realitzat el tamissat de la mostra, els resultats obtinguts es representen en un gràfic on en l'eix vertical es col·loquen els percentatges que passen acumulats per cada tamís i en l'eix horitzontal l'obertura dels mateixos. Amb la representació gràfica d'una sorra es pot identificar ràpidament que aquesta té excés de fraccions gruixudes o fines, o la presència de discontinuïtats en la distribució per mides.

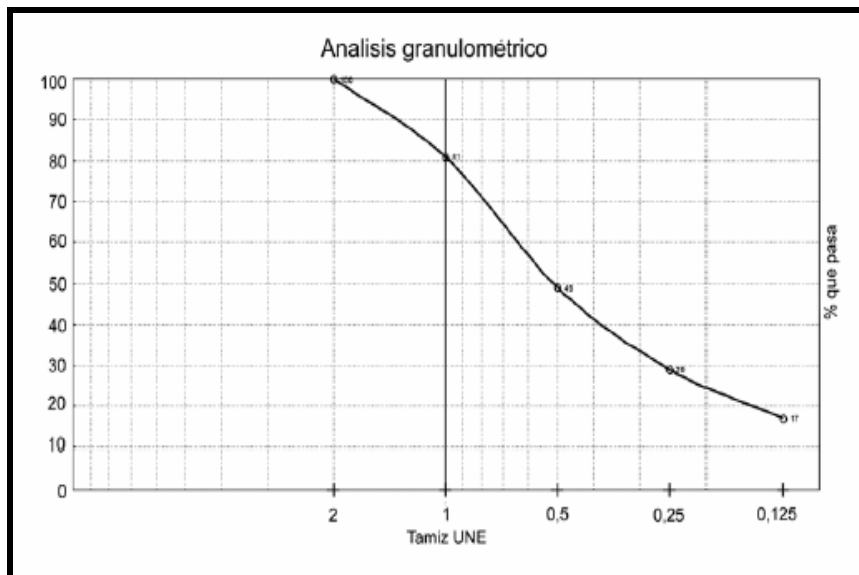


FIG. CORBA GRANULOMÈTRICA PER SORRA 0/2

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 24

#### 5. MÒDUL GRANULOMÈTRIC

Consisteix en la suma dels percentatges retinguts acumulats en els tamisos de la sèrie UNE dividida per 100. El mòdul granulomètric rep el nom també de mòdul de finor.

Aquest mòdul dóna idea de la mesura mitjana de l'àrid utilitzat en un morter. Poden existir infinitat d'àrids amb el mateix mòdul granulomètric, que tinguin granulometries totalment diferents. No obstant, resulta adequat conèixer el seu valor



degut a que totes les barreges d'àrids que posseeixin el mateix mòdul precisen la mateixa quantitat d'aigua per produir morters de la mateixa treballabilitat i resistència.

Això és així sempre que s'utilitzin idèntica quantitat de ciment i de la resta dels components del morter, ja que, variacions en el mòdul dels àrids indiquen que hi ha hagut alteracions en els d'una mateixa procedència.

## 6. FINOR

S'entén per fins la fracció granulomètrica d'una sorra que passa pel tamís 0.063 mm. La quantitat màxima de fins també està regulada segons EN 933-1. Deixant de banda que, els fins incorporen plasticitat al morter, és convenient controlar el seu contingut en el mateix, ja que un excés d'aquests poden provocar un augment de la relació aigua/ciment, amb el resultat de disminució de la resistència mecànica del morter. Per altre part, l'excés de fins poden afavorir l'aparició de fissures per retraccions en el morter.

## 7. HUMITAT

S'ha de controlar el grau d'humitat dels àrids que s'utilitzaran en la fabricació del morter, donat que el contingut d'humitat existent en aquests components pot alterar la relació aigua/ciment prevista.

## 3. AIGUA

En general s'admeten totes les aigües potables i les tradicionalment utilitzades. Les condicions que han de complir l'aigua han variat poc amb els diferents Plecs i Normes, i es poden resumir en els passos següents:

1. Contingut en substàncies dissoltes  $\leq 15$  g/l
2. Contingut en sulfats en  $\text{SO}_4 \leq 1$  g/l
3. Contingut en clorurs en  $\text{Cl}^- \leq 6$  g/l
4. Contingut en hidrats de carboni = 0 g/l
5. Contingut en substàncies orgàniques solubles en èter  $\leq 15$  g/l
6.  $\text{pH} \geq 5$

#### 4. ADDITIUS I ADDICIONS

A més dels materials anteriorment citats, existeix un grup anomenat el quart component dels morters, que està format per els additius i addicions. Els canvis que desenvolupen aquests productes en els morters són molt variats:

- Modifiquen la reologia en estat fresc (plastificants i fluïdificants)
- Modifiquen els temps de fraguat i enduriment (acceleradors i retardadors)
- Modifiquen el contingut d'aire (airejants i generadors de gas)
- Milloren la resistència a les accions físiques (anticongelants i hidrofugants)
- Generen expansió
- Modifiquen el color
- Etc.

Els additius més utilitzats eren productes orgànics naturals: albúmina, cua d'animal, ordi, cervesa, sang, mantega, llet, suc de figa, goma aràbic, sucre, urea, vi, etc. Encara que també els n'ha hagut de naturalesa inorgànica o mineral com podrien ser el grup dels pigments colorants (òxids de ferro com l'almagre i l'ocre, òxids de plom com el mini, òxids de crom i de coure, etc.).

En el següent resum s'exposen alguns dels additius i addicions utilitzats tradicionalment, i també els substitutius que s'utilitzen avui dia, i que han donat lloc a nous desenvolupaments en els morters de calç.

##### **ADDITIUS:**

Són substàncies o materials afegits, abans o durant la barreja del morter, en petites quantitats amb relació a la massa del ciment (la seva proporció no supera el 5% en massa del contingut de ciment). La seva funció és aportar a les propietats del morter, tant en estat fresc com endurit, determinades modificacions ben definides i amb caràcter permanent.

Els additius aptes per morters han de complir les exigències prescrites en la Norma UNE-EN 934 i en el EN 934-3.

Aquests components poden produir una única modificació en les característiques del morter (Funció principal); o bé, a més, modificacions addicionals (Funció secundària).

Els additius més comuns es classifiquen segons les propietats que estan relacionats amb el morter, conforme a la seva funció principal, en els següents grups principals:

A) AIREJANTS. *Modificadors del contingut en aire*

Aquest efecte consisteix en la introducció dins de la massa del morter de petites bombolles d'aire de diàmetre comprés entre 10 i 500 micres durant l'amassat. Aquestes bombolles són molt beneficioses ja que:

- Degut a la seva forma esfèrica i flexible actuen com lubricant del morter en estat fresc, millorant la docilitat.
- Interrompen la xarxa capil·lar de la massa del morter, impeding la penetració d'aigua i productes de l'hidratació del ciment, protegint la massa de l'efecte de les gelades.
- Al incloure aire, disminueix la densitat aparent del morter fresc, això, unit a l'anterior, tendeix a evitar la segregació i sudació del morter en estat fresc.

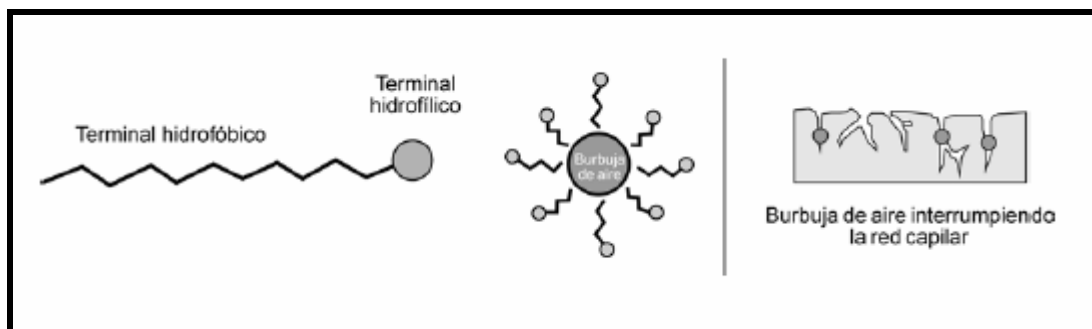


FIG. ESQUEMA D'ACTUACIÓ DELS ADDITIUS AIREJANTS

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 26

El contingut d'aquest additiu ha de ser perfectament controlat ja que el seu excés deriva en una sensible pèrdua de les resistències finals del morter.

B) PLASTIFICANT. *Modificadors de la reologia en estat fresc*

Aquest efecte provoca que augmenti la docilitat del morter en estat fresc. S'aconsegueix mitjançant la dispersió temporal de les partícules de ciment, que origina:

- Reducció de la relació aigua/ciment en benefici de la resistència mecànica i la durabilitat.
- Augment de la plasticitat del morter mantenint-se la barreja fàcil de treballar durant un major període de temps.

Pel contrari, un inadequat contingut dels plastificants pot portar un excessiu temps de fraguat.

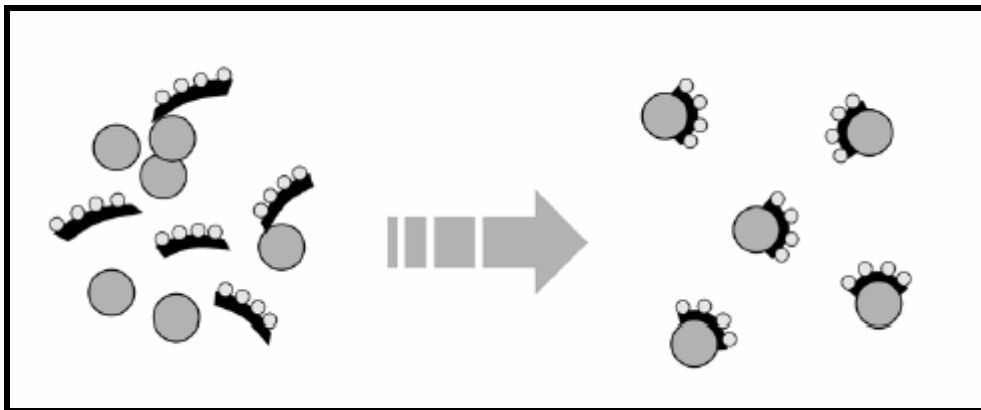


FIG. ACCIÓ DELS ADDITIUS PLASTIFICANTS PROVOCANT EL PROCÉS DE REPULSIÓ ENTRE PARTÍCULES.

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 27

C) RETARDANTS. *Modificadors del temps de fraguat i/o enduriment*  
(retardadors del fraguat)

Són additius que retarden el temps de fraguat del ciment, de manera que augmenta el període necessari per que els morters passin de l'estat plàstic a l'estat sòlid, sense influir notablement en l'evolució de les resistències mecàniques en les edats finals. Així, perllonguen el temps de treballabilitat del morter.

Com en els casos anteriors, s'ha d'anar molt en compte amb les proporcions dels retardants utilitzats per no ocasionar efectes contraproductius en el resultat final de la barreja.

## D) HIDROFUGANTS

Estan compostos principalment per àcids grassos o insaturats. El principal efecte d'aquests additius és minimitzar l'absorció d'aigua pels capil·lars del morter endurit. Aquest no suposa que el morter sigui impermeable (per a això s'ha de recórrer a imprimacions especials), sinó que la seva capacitat d'absorció front a l'aigua a baixa pressió (aigua de pluja) és substancialment menor que un morter fabricat sense aquest additiu.

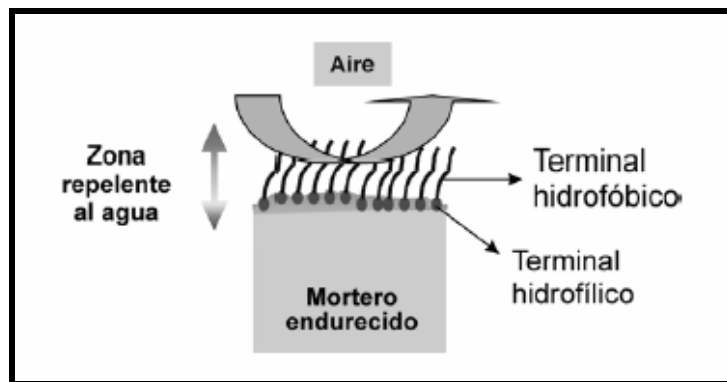


FIG. ESQUEMA DE FUNCIONAMENT DE L'ADDITIU HIDROFUGANT

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 28

Poden estar constituïts per productes naturals (ceres, sabons càlcics, parafines, etc.) i per materials sintètics més o menys compatibles amb els criteris en obres de restauració (organosilícis, siliconats, organometàl·lics, etc.), comercialitzant-se sota la forma d'imprimacions i d'additius en massa. Els efectes protectors d'aquests additius es deuen a les seves propietats hidròfugues que redueixen l'absorció d'aigua a través de l'estructura porosa, millorant la durabilitat dels morters.

Disminueixen:

- La porositat accessible a l'aigua
- La retracció
- L'absorció capil·lar de l'aigua, mentre mantenen inalterades o milloren les resistències mecàniques i la permeabilitat al vapor d'aigua (no s'exhibeix la capacitat de transpiració del morter).

## E) RETENIDORS D'AIGUA

Aquests additius augmenten enormement la capacitat de retenció d'aigua i impedeixen, així, que el morter perdi aigua amb massa rapidesa. Es fonamenta en el increment de la viscositat de la pasta i generen els següents efectes:

- Redueixen l'absorció d'aigua i la seva tendència a la evaporació.
- Mantenen suficient aigua per a que el ciment es deshidrati convenientment i desenvolupi, de manera convenient, totes les seves propietats.
- Modulen la viscositat de la massa de morter.
- Atenuen la tendència a la sudació en els casos de granulometries incorrectes o l'absència de fins.

## F) RESINES

Les resines es defineixen com lligants orgànics polimèrics que aporten, principalment al morter, adherència química. S'utilitzen fonamentalment per la fabricació de morters cola, impermeables, de reparació, etc. Les resines milloren les propietats durant l'aplicació del morter, en el fraguat i al llarg de la seva vida útil. Entre altres efectes, són destacables:

- Augment de la capacitat adherent.
- Augment de l'elasticitat.
- Millora de la impermeabilitat.

Perquè la funció de tots aquests additius sigui realment eficaç i per evitar efectes no desitjables, és imprescindible assegurar quantitativa i qualitativament una adequada barreja de tots els components.

Degut al procés industrial propi de la fabricació del morter sec, aquest producte garanteix al màxim la correcta dosificació d'additius, així com la seva dispersió i homogeneïtzació en la massa del morter degut al seu amassat en sec.

#### G) FLUÏDIFICANTS

Són additius compostats per molècules tensioactives (sabons de resines, lignisulfanat sòdic, etc.), amb una part hidròfuga i altre part hidròfila, per això modifiquen la tensió superficial de l'aigua. La seva principal funció és la de disminuir el contingut d'aigua per una treballabilitat donada, amb el que originen un augment de les resistències mecàniques i disminueix la sudació i l'absorció per capil·laritat. Modifiquen la porositat accessible a l'aigua del morter.

#### H) COLORANTS

En l'utilització de pigments colorants en els morters de calç o ciment, els factors més importants a considerar són la seva estabilitat en el medi alcalí (pH=12) en el que es van trobar, la finor dels mateixos per aconseguir la homogeneïtat del color i la seva estabilitat front a la radiació ultraviolada solar.

Com indicació de caràcter general es pot dir que gairebé tots els pigments basats en òxids minerals inorgànics (de ferro, crom, cadmi, zenc, etc.) són estables en el medi bàsic de calç i a la radiació UV. Es poden utilitzar els colorants de naturalesa orgànica sempre que es tingui la certesa de que no són alterables per la calç.

#### I) ALTRES

Es podrien citar com exemples la utilització d'aigua de calç com retardador del fraguat dels estucs de guix, sabons modificadors com inclusors d'aire, els reductors del contingut d'aigua, les ceres com impermeabilitzants, etc.

### **ADDITIUS TRADICIONALS**

S'ha realitzat una classificació dels additius orgànics utilitzats a través de la història, segons la seva funció:

| ADDITIUS TRADICIONALS              | CARACTERÍSTIQUES                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACELERADORS                        | <p>1.- Disminueixen el temps de fraguat del morter.</p> <p>2.- Faciliten el desenvolupament ràpid de la resistència del material.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>clara d'ou, escorça d'om, aigua de civada, suc de figa, pasta de sègol, mantega de porc, llet quall, sang, sucre, amido, etc.</p>     |
| ADHESIUS                           | <p>1.- Augmenten l'adhesió al substrats.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>gelatina, coles animals i vegetals, gluten, caseïna, resines, etc.</p>                                                                                                                                                         |
| ADDITIUS 1                         | <p>1.- Eviten retraccions.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Cera d'abelles</p>                                                                                                                                                                                                                           |
| ADDITIUS 2                         | <p>1.- Afavoreixen la resistència a les gelades.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Sucre</p>                                                                                                                                                                                                              |
| AGENTS AIREANTS O INCLUSORS D'AIRE | <p>1.- Augmenten la durabilitat del morter, però pot reduir la resistència mecànica).</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>malta, cervesa, orina, pell animal.</p>                                                                                                                                           |
| AGENTS AGLOMERANTS                 | <p>1.- Proporcionen major resistència a la dissolució.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Queratina, caseïna, tanina, oli de licena, cabells humans, palla, arròs, etc.</p>                                                                                                                                |
| ESTABILITZADORS                    | <p>1.- Estabilitzen les emulsions</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Rovell d'ou, olis, grasses i ceres.</p>                                                                                                                                                                                               |
| HIDROFUGANTS                       | <p>1.- Disminueixen l'absorció d'aigua.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Cola animal amb àcid tànnic, betún, emulsió de ceres, oli mineral i cera d'abella</p>                                                                                                                                           |
| PLASTIFICANTS                      | <p>1.- Proporcionen plasticitat al morter.</p> <p>2.- Milloren la treballabilitat.</p> <p>3.- Permeten modificar la quantitat d'aigua.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Sucre, llet, clara d'ou, cola animal, oli vegetal, resina, figues, pasta de ferms, etc.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Sucre</p> |
| REOMPLERT INERT (FILLER)           | <p>1.- Augmenten la duresa.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Sucre, talc, suc de fruita, gluten, arròs, etc.</p>                                                                                                                                                                                         |
| RETARDADORS                        | <p>1.- Augmenten el temps d'enduriment.</p> <p><i>EXEMPLES:</i></p> <p>Sucre, sang (poden generar l'aparició de taques fosques i l'atracció d'insectes i rosegadors), clara d'ou, sacarina, gluten i bòrax.</p>                                                                                        |

Antigament, per millorar la qualitat dels morters, s'utilitzaven gran quantitat d'additius orgànics “casolans”. Segons estudis realitzats comparant additius orgànics front als sintètics, s'ha arribat a la conclusió que, quan sigui possible, en casos de



restauració, s'hauria d'utilitzar els mateixos additius orgànics que van ser utilitzats en l'elaboració original de la mateixa.

## **ADDICIONS**

Les addicions són materials inorgànics que finament dividits es poden utilitzar en la fabricació de morters amb la fi de millorar certes propietats o aconseguir propietats especials. Són preferentment materials inorgànics com: pigments, filers minerals, putzolònics, cendres volants, escòries, de sílice, etc.

Els colorants són pigments, que afegits a la barreja del morter en el moment de la seva fabricació, té per finalitat donar al mateix una coloració diferent a la gris o blanca que normalment presenta, d'acord amb uns requeriments estètics. Els pigments utilitzats han de presentar gran estabilitat davant al pas del temps, variacions tèrmiques i radiació solar.

L'efecte dels pigments és diferent en el morter fresc que en l'endurit. Generalment, en aquest últim, els tons s'aclareixen per el que és convenient realitzar proves prèvies quan es vulguin aconseguir tonalitats de color determinades.

Altres destacats materials entre les addicions són les cendres volants. La seva utilització, ja sigui incorporar les cendres en suspensió directament en l'ànima de la barreja, modifica alguna de les característiques més importants dels morters. Es registra una millora entre les prestacions que són freqüentment exigides tals com:

- La treballabilitat
- La resistència
- La retracció de fraguat
- La calor d'hidratació
- La impermeabilitat
- La durabilitat
- La reacció àlcali-àrid



**FIG. CONTROL DELS PIGMENTS PER MORTER.**

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 30

## **PUTZOLÀNIQUES**

La utilització d'addicions en els morters de calç es remunta als grecs, que van començar a afegir cendres volcàniques i teula picada a aquests per millorar les seves propietats. Posteriorment, els romans van practicar a gran escala afegir a la calç argilosa cuita i sobre tot putzolanes (roca volcànica dels jaciments de Puzzoli), addicions que conferien als morters certes propietats hidràuliques.

Avui en dia, l'aplicació de nous productes comercials amb una intensa activitat putzolànica, com el fum de sílice, que s'ha utilitzat amb èxit per augmentar la resistència i durabilitat dels formigons, i dels morters de ciment, suposa la possibilitat d'un nou morter de calç. Bàsicament aquest producte actua incrementant les resistències mecàniques (incloses les de curta edat), sense produir modificacions importants en quant a la porositat, permeabilitat a l'aigua i al vapor d'aigua del morter. S'ha de tenir en compte l'efecte sobre el morter al posseir aquests materials colors grisos.

## **FIBRES**

La inclusió i dispersió de fibres en el morter és una pràctica molt antiga, havent-se utilitzat en la majoria dels casos fibres d'origen vegetal (juncs, palla de cereals, canyes, rames, etc.), encara que també han aparegut pèls d'origen animal. Les funcions que desenvolupen són la de reforç, aconseguint un augment de les resistències mecàniques a flexió i tracció, i la de disminució de la fissuració per retracció degut a l'evaporació d'aigua.

Actualment, aquest tipus de fibres han estat substituïdes per les d'origen sintètic, normalment de polipropilè o poliacrilonitril, caracteritzades per la seva lleugeresa, petits diàmetres nominals de l'ordre de micres, altes resistències a la tracció i bona durabilitat en els medis alcalins, encara que les funcions que desempenyen continuïn sent les mateixes.

## CÀRREGUES AMB BIOCIDES

La utilització d'addicions minerals com la sepiolita, que poden servir com suport (tenint en compte la seva gran capacitat d'absorció) de compostos amb propietats biocides, són útils per evitar la proliferació de microorganismes (bactèries, fongs, líquens, algues, etc.) que finalitzen deteriorant el morter. Aquesta és la base del desenvolupament de nous morters de reparació amb capacitat per prevenir el desenvolupament de microorganismes.

### **4.3. CARACTERÍSTIQUES DELS MORTERS**

Dins les prestacions que ofereix un morter s'ha de distingir dos etapes diferenciades pel seu estat físic:

- ESTAT FRESC
- ESTAT ENDURIT

La primera respon a la fase del morter un cop barrejat i amassat. La seva duració varia d'acord amb el temps de fraguat requerit per la proporció que integra la barreja, així com per la temperatura, humitat, etc. En aquesta etapa el morter és plàstic i treballable, el que permet la seva posada en obra. Superada aquesta fase el morter endureix fins a consolidar-se. Per això, s'ha de diferenciar diverses propietats i exigències en funció de l'estat en que es trobi el morter.

Les propietats relatives a l'estat fresc es relacionen amb la posta en obra i influiran principalment en el seu rendiment i la qualitat de l'execució. Els requisits derivats, per tant, responen a les exigències del constructor i operaris.

Les propietats en estat endurit són estipulades per les prescripcions de projecte i per el compliment de les exigències normatives i reglamentàries.

Les propietats de l'estat fresc són determinants, doncs influiran en gran mesura en les prestacions finals que oferirà el morter. És necessari remarcar que les característiques dels morters, tant en l'estat fresc com endurit, depenen de la seva aplicació de destí, d'acord amb la classificació anterior.

#### **CARACTERÍSTIQUES DEL MORTER FRESC**

##### **1. Consistència**

La consistència d'un morter defineix la seva manejabilitat o treballabilitat. En alguns manuals es denominen plasticitat però aquesta és un grau de consistència. La consistència adequada s'aconsegueix en obra mitjançant:

- L'addició de certa quantitat d'aigua que varia en funció de la granulometria del morter
- Quantitat de fins
- Utilització d'additius
- Absorció d'aigua de la base sobre la que s'aplica
- Absorció d'aigua sobre les condicions ambientals
- Gust dels operaris que l'utilitzen
- -Etc.

La treballabilitat millora amb l'addició de calç, plastificants o airejants.

La consistència es determina per la taula de sacsejades, d'acord al procediment de la Norma Europea UNE-EN 1015-3.



FIG. TAULA DE SACSEJADES

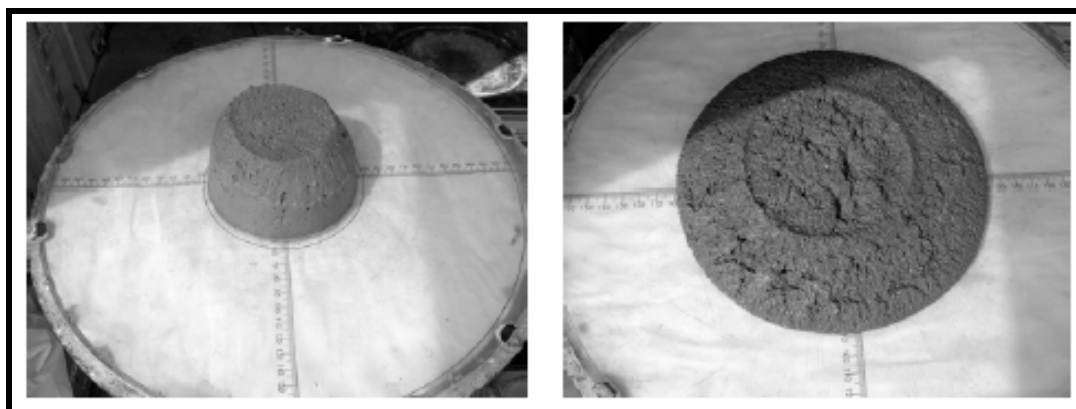


FIG. PROVETA ABANS DEL PROCEDIMENT  
D'ASSAIG DE CONSISTÈNCIA

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 32

FIG. PROVETA DESPRÉS DEL PROCEDIMENT  
D'ASSAIG DE CONSISTÈNCIA

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg.32

El valor ve mesurat per l'escorriment (valor mig del diàmetre en mm) de la proveta assajada. En funció d'aquesta mesura es distingeixen tres tipus de consistència:

| <b>Morter Fresc</b> | <b>Consistència<br/>(Escorriment en mm)</b> | <b>Designació</b> |
|---------------------|---------------------------------------------|-------------------|
| Sec                 | <140                                        | S                 |
| Plàstic             | 140 a 200                                   | P                 |
| Fluid               | >200                                        | F                 |

La treballabilitat s'aconsegueix amb morters de consistència plàstica, que permeten a la pasta conglomerants banyar la superfície de l'àrid. En els altres casos es formen morters excessivament secs no treballables; o bé, molt fluids amb tendència a la segregació.

La consistència s'adquireix mitjançant addició d'aigua a la massa de sorra i aglomerant, aquesta propietat es relaciona directament amb la proporció aigua/ciment, molt important pel complert desenvolupament de les propietats resistents del morter.

## **2. Temps d'utilització o de treballabilitat (temps d'ús)**

Es tracta del temps durant el qual un morter és suficientment manejable i treballable sense la necessitat d'adició posterior d'aigua amb la finalitat de contrarestar els efectes d'enduriment pel principi del fraguat. Es determina conforme al procediment operatiu de la Norma Europea UNE-EN 1015-9. Respon al temps en minuts a partir del qual un morter assoleix un límit definit de resistència a ser penetrat amb una sonda, referenciada en la citada norma. Totes les característiques del morter en estat fresc han de mantenir-se durant aquest temps.

## **3. Temps obert**

Principalment, aquest concepte fa referència als morters cola. Es tracta del temps d'espera admissible des de que s'aplica el producte fins col·locar les peces a adherir al suport sense que es produeixi una merma en els seu poder adhesiu. Es realitza conforme al procediment de la norma UNE-EN-1346.

En els morters per juntes fines també contempen aquest concepte. Aquí, el temps obert fa referència al temps en minuts que pot passar des de que es retira una peça adherida a una capa de morter sense que aquest hagi perdut la seva capacitat adherent, comptat des de que entra en contacte amb aquella. El procediment operatori es determina per la Norma Europea UNE-EN 1015-9.

#### 4. Densitat

La densitat del morter està directament relacionada amb la dels seus materials components, així com el seu contingut en aire. La densitat del morter fresc es determina conforme a la Norma Europea UNE-EN 1015-6.

Els morters lleugers són aquells on la densitat del qual és igual o menor que  $1300 \text{ kg/m}^3$  i són més treballables a llarg termini.



FOTO. BALANÇA DELS LABORATORIS DE LA UDG

#### 5. Adherència

L'adherència consisteix en la capacitat del morter per absorbir tensions normals o tangencials a la superfície de la interfase morter-base. Fa referència, per tant, a la resistència a la separació del morter sobre el seu suport.

Aquesta característica dels morters tant es troba en morters en estat fresc com en estat endurit, encara que la seva capacitat és diferent en un cas que en l'altre. L'adherència del morter fresc és deguda a les propietats reològiques de la pasta de l'aglomerant, on la tensió superficial de la massa del morter fresc és el factor clau per desenvolupar aquest tipus de característiques.

L'adherència, abans de que el morter endureixi, s'incrementa quan major és la proporció de l'aglomerant o la quantitat de fins argilosos. Per contra, l'excés d'aquests components poden perjudicar altres propietats.

## **6. Contingut de ions clorur**

La presència de ions clorur, solubles en l'aigua d'amassat del morter, pot influir en el procés de corrosió en el cas d'existir armadures, així com en l'aparició d'eflorescències. Per això, és necessari determinar el seu contingut per els morters armats, conforme a la Norma Europea UNE-EN 1015-17 o experimentalment. Per aquests casos, la norma UNE-EN 998-2 estableix que el contingut d'aquests clorurs no superarà el 0,1% de la massa de la mostra en sec pressa segons el procediment operatori de la norma UNE 1015-2.

## **7. Capacitat de retenció d'aigua**

D'aquesta propietat depèn la treballabilitat del morter fresc. La retenció d'aigua es troba íntimament relacionada amb la superfície específica de les partícules d'àrid fi, així com amb conglomerant i, en general, amb la viscositat de la pasta. Un morter tendeix a conservar l'aigua justa per hidratar la superfície de les partícules del conglomerant i l'àrid, així com les bombolles d'aire ocults. L'aigua que tingui un excés li cedirà fàcilment per succió del suport sobre el que s'aplica.

La retenció d'aigua influeix en el grau d'hidratació del conglomerant, el que determinarà el ritme d'enduriment del morter.

Aquesta propietat es mesura conforme a la capacitat humectant en els morters cola segons es defineix en la norma UNE-EN 1347.

## **CARACTERÍSTIQUES DEL MORTER ENDURIT**

Des de la col·locació existeixen una sèrie de factors que tendeixen a destruir el morter. La durabilitat és la resistència del morter a l'atac d'un conjunt d'agents, tant propis de l'execució, com de la seva vida, que alteren les seves condicions físiques amb el temps. D'aquestes exigències neix l'estudi de les propietats del morter en estat endurit.



## 1. Resistència mecànica:

El morter en la major part de les seves aplicacions ha d'actuar com element d'unió resistent compartint les sol·licitacions del sistema constructiu del que forma part. El morter utilitzat en juntes ha de suportar inicialment les successives filades de rajols o blocs. Doncs, la resistència del morter influirà, per exemple, en la capacitat d'una fàbrica per suportar i transmetre les càrregues a les que es veu sotmesa. Així mateix, el morter per soleres resistirà el pes de persones i ensers que s'assentin sobre ell.

La resistència a compressió i flexió del morter s'obtenen conforme als resultats de l'assaig de provetes prismàtiques de 40 x 40 x 160 mm de 28 dies d'edat, conservades en laboratori segons condicions normalitzades UNE-EN 1015-11. Els morters es designen segons la seva resistència a compressió a aquesta edat, mesurada en  $\text{N/mm}^2$ .



FIG. PREMSA PER ASSAIJOS MECÀNICS.

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 37

La norma UNE-EN 998-2 estableix designacions característiques en funció d'unes resistències tipificades que substitueixen a les denominacions tradicionals (en  $\text{kp/cm}^2$ ). En el quadre següent es reflecteixi ambdues nomenclatures segons la resistència a compressió.



FIG. ASSAIG A FLEXIÓ

Foto Guia AFAM.

Morteros. Guía General, pàg. 37

FIG. ASSAIG A COMPRESSIÓ

Foto Guia AFAM.

Morteros. Guía General, pàg.37

## 2. Adherència

L'adherència es basa en la resistència a tracció de la unió entre un morter i un suport definit. Resulta especialment important en morters per revocs i morters cola.

Aquesta propietat es determina per un assaig d'arrencament directe perpendicular a la superfície del morter. El procediment operatori de mesura per els morters de paleta està definit per la Norma Europea UNE-EN 1015-12.

L'adherència depèn de tres aspectes fonamentals:

- El morter
- El suport i la seva preparació
- La forma d'aplicació

Constitueixen una propietat fonamental, doncs determina la unió solidària entre les peces o parts unides influent en la resistència del conjunt de, per exemple, una fàbrica. Així mateix, una baixa adherència pot causar desprendiments de les peces de revestiments interiors o exteriors fixades pel morter. En el cas de revocs els desprendiments del morter ocasionen la desprotecció de la façana.

Existeixen dos tipus d'adherència:

- Química. Basada en els enllaços
- Física. Fonamentada en l'ancoratge mecànic entre les peces (adhesió).

L'adherència de tipus fisicomecànic està fomentada en l'ancoratge entre sòlids. El morter s'aplica en estat plàstic sobre la superfície del suport. Aquest ha d'oferir suficients possibilitats d'ancoratge (porositat), perquè el ciment dispers i dissolt del morter penetri en els porus del suport. Després, a l'anar-se formant les agulles de ciment hidratat i anar complementant-se el procés de fraguat, es creen nous punts d'ancoratge entre el morter i la peça sobre la que s'uneix.

Per tant, al aplicar un morter sobre un suport, bé per la realització d'una fàbrica, bé per la formació d'un revestiment és imprescindible que el morter ancli en la superfície que el rebí. No són efectives resistències elevades en el morter si no es produeix aquest efecte.

Els suports molt absorbents sostrauen l'aigua del morter i no permeten la hidratació del ciment en la superfície que els uneix. Per altre banda, els suports totalment impermeables impedeixen la formació de la suficient unió entre ambdós materials.

L'adherència química es fonamenta en la formació d'enllaços químics localitzats en la superfície de contacte entre el morter i el suport. Aquest tipus d'adherència entre els morters cola, està causada per la utilització d'additius de resines polimèriques. En aquests casos resulta en combinació amb l'adherència mecànica o adhesió.

### **3. Retracció**

La retracció és una contracció que experimenta el morter per disminució de volum durant el període de fraguat i principi d'enduriment. Aquesta retracció és provocada per la pèrdua d'aigua sobrant, durant la hidratació del morter.

La retracció s'identifica per la característica fissuració erràtica apreciada en la superfície del morter. Si és molt acusada pot afectar a la impermeabilitat al deixar oberta vies de penetració de l'aigua.

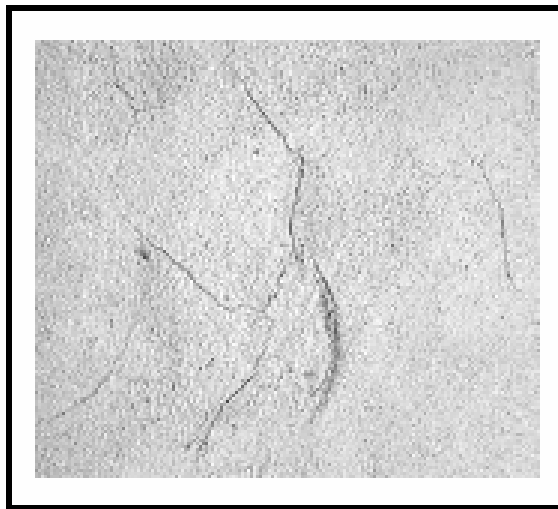
S'ha demostrat que les retraccions són més elevades quant més ric en ciment i elements fins són els morters. També s'ha observat que la retracció augmenta quant major és la quantitat d'aigua d'amassat.

Distingirem tres tipus de retracció:

- Plàstica
- Hidràulica o de secat
- Tèrmica

### Retracció plàstica

És la contracció per dessecació durant el procés de fraguat, quan el morter no és capaç de transmetre ni suportar tensions produïdes per la ràpida evaporació de l'aigua. Dóna lloc a una fissuració freqüentment anomenada d'afogarat, caracteritzada per moltes fissures pròximes que es creuen amb aspecte de pell de cocodril i que no arriben a aconseguir gran profunditat. A major dosificació de ciment major és el valor de la retracció plàstica. La fissuració es produeix fonamentalment en elements superficials, de poc gruix, davant les temperatures elevades amb vents secs i falta de curat.



**FIG. FISSURACIÓ PER RETRACCIÓ PLÀSTICA.**

Foto Guia AFAM. Morteros. Guía General, pàg. 40

### Retracció hidràulica o de secat

És la concentració de morter per evaporació de l'aigua, que es produeix a l'haver finalitzat el fraguat. Si la retracció de secat és intensa, causa un canvi volumètric capaç de crear tensions importants en zones impedides de deformar-se. Si es supera el valor d'adherència del morter, ocasiona que les cantonades s'aixequin.

La retracció hidràulica augmenta amb:

- El gruix de recobriment.
- La riquesa de conglomerant del morter i la finor de molta d'aquest.
- La major relació aigua/ciment.
- La menor relació volum/superfície.

Està influenciada també per la naturalesa dels àrids així com per les condicions i tipus de curat utilitzats.

### Retracció tèrmica

És la concentració experimentada pel morter, per variació en la temperatura de la seva massa durant l'enduriment. Si el calor assolit a l'inici de l'enduriment es deu a la reacció exotèrmica dels grans de ciment, un morter pobre, amb poc ciment, pateix un increment de temperatura inferior a un morter amb més ciment i consegüentment menors retraccions.

## **4. Absorció d'aigua**

Afecta als morters que queden exposats directament a la pluja. La seva importància radica en que l'absorció determina la permeabilitat d'un enfoscament o del morter que forma les juntes d'una fàbrica. Si el morter és permeable a l'aigua, transmetrà aquesta cap a l'interior originant la consegüent aparició d'humitats per filtració. A més, amb la succió de l'aigua exterior s'afavoreix al trànsit de partícules o components no desitjables per la durabilitat del conjunt constructiu, com en el cas de les eflorescències.

L'absorció depèn de l'estructura capil·lar del material, per tant, quant més compacte sigui el morter, menor serà la xarxa capil·lar i, en conseqüència, menor absorció presentarà. La incorporació d'additius hidrofugants, plastificants i airejants també contribueix notablement a disminuir l'absorció capil·lar en els morters que els incorporen.

L'absorció d'aigua per el cas de morters sotmesos directament a la pluja es determina per mitjà de la Norma Europea UNE-EN 1015-18.

## 5. Densitat

La densitat del morter dependrà fonamentalment de la que tinguin els seus components: sorres, addicions, etc. També es determina la granulometria i volum que aquests ocupen en la seva dosificació. A més, incideix en la densitat la relació aigua/ciment del morter. A mesura que augmenta aquesta relació, més porós és el morter.

Es considera que un morter és lleuger, segons la norma UNE-EN 998-2, quan la seva densitat és igual o menor que  $1.300 \text{ kg/m}^3$ .

Per la hidratació del ciment en el morter seria suficient incorporar-li una petita quantitat d'aigua, per contra, d'aquesta forma s'obtidrien consistències massa seques i no treballables. Per això, és necessària una major quantitat d'aigua d'amassat que la estrictament necessària pel fraguat.

Això explica que, durant el fraguat i enduriment del morter, es produeixi una pèrdua de l'aigua sobrant, que no es combina amb les partícules de ciment per la formació i enduriment de cristalls.

Primer es dedueix que, al utilitzar de forma proporcional idèntiques matèries primeres i incorporar aproximadament la mateixa quantitat d'aigua d'amassat, s'observen, en general, majors pèrdues d'aigua i inferiors densitats en aquells morters amb més baix contingut de ciment en el morter.

És lògic pensar que a menor número de partícules de ciment a hidratar major pèrdua d'aigua. La pèrdua d'aigua resulta un indicador de variacions accidentals en el contingut de ciment en el morter.

La densitat en estat endurit es determina continuant el procediment operatiu que figura en la Norma Europea UNE-EN 1015-10.

## 6. Permeabilitat al vapor d'aigua

Si anteriorment s'assenyalava la conveniència d'impermeabilitat en els morters exposats a l'aigua, resulta desitjable, per tant, la seva permeabilitat al vapor. El pas del

vapor a través de l'estructura capil·lar del material afavoreix la seva transpiració impedit l'aparició de condensacions en l'interior, per causes higrotèrmiques.

Existeix un procediment operatiu destinat a mesurar la permeabilitat d'aigua dels morters per revocs exteriors segons la UNE-EN 1015-19.

## **7. Comportament tèrmic**

Aquesta característica ve donada per la conductivitat tèrmica del material que indica la quantitat de calor que passa en la unitat de temps per una superfície unitat del material. La conductivitat depèn de la densitat, porositat, contingut d'humitat, etc. En el cas dels morters aquests paràmetres depenen dels components i proporcions que continguin sent fonamental la densitat final de la barreja. La Norma bàsica NBE-CT-79 fixa els següents valors en funció de la densitat.

## **8. Comportament davant el foc**

Existeixen dos paràmetres fonamentals que caracteritzen el comportament davant un incendi:

- La Reacció (M)
- La Resistència davant el foc (RF)

La Reacció davant el Foc classifica els materials en cinc tipus, M0, M1, M2, M3 i M4, que indiquen la magnitud de menor a major en que puguin afavorir el desenvolupament d'un incendi. Segons la NBE-CPI-96 els morters són classificats en la classe menys perillosa M0 que indica que un material no és combustible davant l'acció tèrmica.

També la transposició de normativa europea sobre seguretat davant incendi en els edificis EN 13501-1 estableix un sistema de classes dels materials de construcció en funció del seu nivell de combustibilitat. El morter, de conglomerants inorgànics, es classifica dins de la classe de reacció davant el foc més baixa A1, sense necessitat d'assaig.

La Resistència davant el Foc indica el temps durant el que un element ha de mantenir les condicions que els siguin exigibles en l'assaig normalitzat conforme a la

UNE 23093. Segons això, els elements constructius es classifiquen en funció de la següent escala de temps: 15, 30, 60, 90, 120, 180 i 240 minuts.

Un morter sotmès a les altes temperatures desenvolupades en un incendi, pateixen una sèrie de canvis que afecten a la seva resistència mecànica. En general, a temperatures superiors a 250 °C, les propietats resistents del morter pateix una caiguda irreversible, quedant també afectat el color d'aquest.

En zones contínuament exposades a elevades temperatures, es recomana l'ús de morters aïllants o refractaris. Per això, són útils els àrids expandits, per la seva baixa conductivitat tèrmica i la utilització d'airejant. També l'ús de sorres calcàries augmenta el poder aïllant, sobretot fins als 500 °C, perquè el calor absorbit pel recobriments s'utilitza en descomposar el carbonat càlcic. No obstant, en aquests casos es produeix un decreixement de les propietats resistents.

La resistència davant el foc dels elements constructius augmenta quan són revestits exteriorment amb morter. És possible obtenir la resistència desitjada assignant el gruix de la capa de morter convenient.



#### **4.4. COMPORTAMENT DELS MORTERS PER MAMPOSTERIA EN MONUMENTS HISTÒRICS**

Els morters segons les seves diferents acceptacions, adquireixen com a funció principal actuar com a material de cohesió que agrupi les diferents peces de paletaeria en els seus diferents formats i materials.

Aquesta vinculació ha d'assegurar un estat monolític que conformi un conjunt solidari segons un únic element estructural, de tancament o partició. A part d'aquesta missió fonamental aquests morters han d'adaptar les variacions dimensional i característiques físiques de les peces que amalgama. Han d'assegurar, per tant, la continuïtat superficial de l'element de mamposteria davant l'exposició a l'aire o a la filtració de l'aigua. Per últim, els morters han de respondre a les exigències estètiques que el projectista dissenyi en fàbriques vistes, referibles a estabilitat dimensional, color, etc.

Es van tractar els morters utilitzats per construir unitats d'obra a partir d'elements col·locats manualment, en els seus diferents materials: petris, ceràmics, de formigó, etc.

Distingirem tres usos principals:

- Estructural
- Tancament
- Separació

El morter es constitueix al voltant d'un 20% del volum total que conforma una paret. En canvi, el seu efecte en el resultat final respecte a la durabilitat i comportament és millor. Entre les missions bàsiques d'aquest tipus de morters s'assenyala:

- Lligar els elements de mamposteria
- Mantenir la resistència necessària de la fàbrica en les juntes.
- Segellar la fàbrica fent-la estanca a l'aigua però permeable al vapor de l'aigua.
- Continuar inalterats estèticament i dimensionalment o amb unes variacions tolerables.

Aquestes funcions afecten al rendiment mecànic de la mamposteria construïda, que poden tenir un caràcter resistent; o no, però en la que s'ha de limitar.

## PROPIETATS

En funció de les exigències que es vol obtenir del morter i de les propietats d'aquest, han de primar alhora de definir-lo. Les exigències fonamentals en els morters i de la seva interacció són:

- Resistència
- Adherència
- Estanqueïtat
- Estabilitat

### A. RESISTÈNCIA

La resistència a compressió és generalment el criteri més utilitzat per identificar i prescriure un morter. La raó és deguda a que és una de les seves propietats més importants i fàcilment mesurable. A més, d'ella se'n poden deduir altres característiques.

La Norma FL-90, permet establir la resistència d'un mur de fàbrica en funció de la resistència i tipus de rajol, juntament amb la resistència i consistència del morter, a més del gruix de la junta.

Taules de resistència de les fàbriques en funció de la resistència dels seus materials i components, segons FL-90:

| Resistencia de cálculo de las fábricas de ladrillo macizo |                         |                             |                                                                                        |      |      |      |                             |                         |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----------------------------|-------------------------|
| Resistencia del ladrillo kg/cm <sup>2</sup>               | Plasticidad del mortero | Espesor de las juntas en cm | Resistencia de cálculo f <sub>d</sub> de la fábrica, en kg/cm <sup>2</sup> con mortero |      |      |      | Espesor de las juntas en cm | Plasticidad del mortero |
|                                                           |                         |                             | M-20                                                                                   | M-40 | M-80 | M160 |                             |                         |
| 100                                                       | magra                   | > 1,5                       | 12                                                                                     | 14   | 16   | —    |                             |                         |
|                                                           | magra                   | 1,5 a 1                     | 14                                                                                     | 16   | 18   | —    |                             |                         |
|                                                           | sograsa                 | > 1,5                       |                                                                                        |      |      |      |                             |                         |
|                                                           | magra                   | < 1,5                       | 16                                                                                     | 18   | 20   | —    |                             |                         |
|                                                           | sograsa                 | 1,5 a 1                     |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | magra                   |
| 150                                                       | grasa                   | > 1,5                       |                                                                                        |      |      |      |                             |                         |
|                                                           | sograsa                 | < 1                         | 18                                                                                     | 20   | 22   | 25   | 1,5 a 1                     | magra                   |
|                                                           | grasa                   | 1,5 a 1                     |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | sograsa                 |
|                                                           |                         | < 1                         | 20                                                                                     | 22   | 25   | 28   | < 1                         | magra                   |
|                                                           |                         | > 1,5                       |                                                                                        |      |      |      | 1,5 a 1                     | sograsa                 |
| 200                                                       | magra                   | > 1,5                       |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | grasa                   |
|                                                           | magra                   | 1,5 a 1                     | 22                                                                                     | 25   | 28   | 32   | < 1,5                       | sograsa                 |
|                                                           | sograsa                 | > 1,5                       |                                                                                        |      |      |      | 1,5 a 1                     | grasa                   |
|                                                           | magra                   | < 1                         | 25                                                                                     | 28   | 32   | 36   | < 1                         | magra                   |
|                                                           | sograsa                 | 1,5 a 1                     |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | sograsa                 |
| 300                                                       | grasa                   | < 1                         | 28                                                                                     | 32   | 36   | 40   | 1,5 a 1                     | magra                   |
|                                                           |                         |                             |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | sograsa                 |
|                                                           |                         |                             | 32                                                                                     | 36   | 40   | 45   | < 1                         | magra                   |
|                                                           |                         |                             |                                                                                        |      |      |      | 1,5 a 1                     | sograsa                 |
|                                                           |                         |                             |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | grasa                   |
|                                                           |                         |                             | 36                                                                                     | 40   | 45   | 50   | < 1                         | sograsa                 |
|                                                           |                         |                             |                                                                                        |      |      |      | 1,5 a 1                     | grasa                   |
|                                                           |                         |                             | 40                                                                                     | 45   | 50   | 58   | < 1                         | magra                   |
|                                                           |                         |                             |                                                                                        |      |      |      | > 1,5                       | sograsa                 |

#### RESISTÈNCIA MÍNIMA A COMPRESSIÓ DE CERTES ROQUES

| GRUP | TIPUS DE ROQUES                                       | RESISTÈNCIA MÍNIMA A COMPRESSIÓ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| A    | Calcària, travertí, toves volcàniques                 | 200                                                   |
| B    | Arenisques toves i calcàries argiloses                | 300                                                   |
| C    | Calcàries compactes, dolomies, marbre, lava basàltica | 500                                                   |
| D    | Arenisques quarsoses (amb ciment silíce)              | 800                                                   |

TAULA IV, RESISTÈNCIA MÍNIMA A COMPRESSIÓ DE CERTES ROQUES, PÀG. 82, RESTAURACIÓN DE EDIFICIOS MONUMENTALES

## **Morter**

L'augment de la resistència del morter suposa un increment de la resistència final de la mamposteria.

És aconsellable prescindir de la resistència suficient que assegura la resposta mecànica projectada sense excessos, doncs podrien comprometre's altres propietats que es descriuran més endavant.

En l'obra, establir una barreja exacta dels components del morter per assolir una resistència, no sempre és segur, ja que normalment apareixen múltiples factors negatius alhora de portar-lo a la pràctica:

1. Falta de rigor en les dosificacions.
2. Mà d'obra poc qualificada.
3. Escàs control dels components.
4. Desprotecció dels mateixos.
5. Excés dels temps d'utilització.
6. Afegit d'aigua per recuperar treballabilitat, etc.

Les variables que incideixen en la resistència del morter són múltiples, entre les més destacades es poden distingir les següents:

1. Contingut de ciment.
2. Relació aigua/ciment.
3. Retenció d'aigua.
4. Contingut en calç.
5. Contingut en aire.
6. Additius.
7. Curat.

### **1. CONTINGUT EN CIMENT**

L'augment de la quantitat de ciment incrementa la resistència del morter. Generalment, el ciment Pòrtland és el conglomerant que conforma la major resistència al morter.

El ciment aporta un ràpid guany de resistència, però el seu excés origina una major rigidesa a la barreja, el que en cas de que la fàbrica quedi sotmesa a petits moviments podria fissurar-se per la seva falta de flexibilitat.

## 2. RELACIÓ AIGUA/CIMENT

L'augment d'aquesta relació, significa un descens de la resistència del morter. Però alhora de quantificar aquesta relació s'ha de considerar el conjunt constructiu format per les peces i el morter en la interacció de la qual la clau és el component aigua. Si el contingut en aigua és insuficient pot impedir-ne la convenient hidratació dels conglomerants.

Un morter pot adquirir major resistència individualment amb una menor aportació d'aigua, però no per ell sol, pot augmentar la resistència final del conjunt.

## 3. RETENCIÓ D'AIGUA

La capacitat que mostra un morter per retenir l'aigua del seu amassat, influirà en la resistència final de les juntes un cop endurit. Quan les peces de mamposteria entren en contacte amb el morter tendeixen a absorbir la seva aigua d'amasat. Una pèrdua significativa d'aquesta aigua es tradueix en una insuficient hidratació del conglomerant que pot inhibir l'efecte aglutinant del morter. En aquesta relació, resulta determinant la capacitat de retenció d'aigua del morter.

Si la retenció d'aigua és baixa el material resumirà humitat i alterarà les seves propietats. Al contacte amb les peces, l'aigua pujarà cap a la part superior del **tendel** i cap als porus de les peces formant conductes capil·lars en el morter que debilitaran la resistència de la junta. Paral·lelament, els àrids disminuiran i generarà intersticis sota la peça superior a més de minorar-se també la resistència per l'augment de la relació aigua/ciment en la interfase superior de la junta. Així, en el conjunt de **llagues tendels** respon a una estructura porosa que provoca poca resistència i escassa durabilitat.

## 4. CALÇ

Els morters que utilitzen només com conglomerant la calç, són menys resistents que els formats amb ciment i no adquireixen la mateixa velocitat d'enduriment. Però, si es considera el conjunt de la fàbrica, l'aportació de calç per

formar morters mixtes pot ser beneficiosa. Encara que la calç contribueix poc a la resistència i la seva utilització per morters convencionals requereix la seva combinació amb altre conglomerant, millora altres propietats com la treballabilitat o retenció d'aigua.

La utilització de morters mixtos proporciona una major resistència a flexió de l'element construït al dotar les juntes de major plasticitat que absorbeixi les possibles el·longacions en tensions de tracció sense trencar-se<sup>1</sup>.

En qualsevol cas, si es decideix aportar calç per formar un morter mixt, ha d'evitar la presència de grànuls de calç viva, ja que origina expansions que debiliten el material.

## 5. CONTINGUT EN AIRE

El contingut en aire resulta un paràmetre altament influent en el conjunt de propietats del morter. L'aire en l'interior d'un morter es pot ocasionar per mitjà d'efectes mecànics o per la incorporació en la seva massa d'additius airejants.

L'augment d'aire minorarà la resistència a tracció i flexió de l'element. No obstant, un cert contingut en aire pot beneficiar altres propietats.

## 6. ADDITIUS

L'ideal és aplicar el morter un cop amassat, reduint el període de temps que queda emmagatzemat fins la seva disposició. La raó és evitar l'aireació superficial i l'evaporació de l'aigua del material i que s'inhibeixi la hidratació del conglomerant. Per evitar-ho poden utilitzar-se additius retardadors de fraguat que dilaten el temps de la seva utilització.

La utilització de retardants poden allargar el seu temps d'ús (en fresc) fins 48 hores o més. Donat aquest llarg període aquests morters abans d'iniciar el seu fraguat i enduriment queden exposats a les condicions ambientals durant un llarg interval. Aquestes circumstàncies poden facilitar l'evaporació de l'aigua d'amassat i derivar en un morter en la seva fase endurida fàcilment disgregable.

---

<sup>1</sup> "Mortars for Brick Masonry". Technical Notes on Brick Construction 600/1989/0004. Brick Institute of America. Nov.1989. p.5.

## 7. CURAT

Donat que la resistència de les peces s'estima constant, la resistència global de la fàbrica augmenta progressivament en funció del guany de resistència del morter des de que s'inicia el seu període d'enduriment.

La resistència final s'estima aconseguida als 28 dies. En aquest procés resulten decisives les condicions de maduració a que queda sotmesa la fàbrica:

- Ambient.
- Exposició.
- Curat.

S'ha comprovat que el curat en humit aporta majors resistències finals en les fàbriques que el mateix procés en sec a la intempèrie. L'aportació d'humitat en edats tempranes impedirà que les altes temperatures o l'exposició a vents intensos dessequin el morter garantint que existeix aigua suficient en el seu se per consolidar les seves reaccions internes.

| Causas         | Efectos    | Propiedad                       | Agente    | Característica    | Factor                                                                                   | Recomendación / Comentario                                                                                        |
|----------------|------------|---------------------------------|-----------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carga Vertical | Compresión | RESISTENCIA de la FABRICA $f_k$ | Mortero   | Resistencia $f_m$ | El aumento de $f_m$ aumenta la resistencia de la fábrica $f_k$ pero no proporcionalmente | Cemento: Aumentar la cantidad                                                                                     |
|                |            |                                 |           |                   |                                                                                          | Aire: Disminuir la cantidad                                                                                       |
|                |            |                                 |           |                   |                                                                                          | a/c: Mantener la proporción baja pero suficiente para hidratar totalmente                                         |
|                |            |                                 |           |                   |                                                                                          | Áridos: Equilibrar la curva granulométrica                                                                        |
|                |            |                                 | Pieza     | Resistencia $f_b$ | El aumento de $f_m$ aumenta la resistencia de la fábrica $f_k$ pero no proporcionalmente | Usar piezas de resistencia característica suficiente                                                              |
|                |            |                                 | Diseño    | Aparejo           | Tamaño piezas                                                                            | A menor tamaño, menor rigidez, más deformabilidad y menor posibilidad de fisura                                   |
|                |            |                                 |           |                   | Número de juntas                                                                         | A mayor número, menor rigidez, más deformabilidad y menor posibilidad de fisura                                   |
|                |            |                                 | Ejecución | Curado            |                                                                                          | Aporte de agua frecuente para evitar la deshidratación, pero sin saturar para no alterar las resistencias finales |

Nota: las recomendaciones y comentarios especificados atienden al factor referido y no al conjunto de las prestaciones del mortero.

### TAULA. RESUM DE RESISTÈNCIES

## **B. ADHERÈNCIA**

De l'adherència depèn que els diferents materials es comportin i responguin com un únic element integrat.

L'adherència depèn de nombroses variables. El morter ha de ser capaç d'absorbir els esforços que sol·licita la mamposteria, que no són simplement a compressió, servint de lligant entre les peces, perquè no es separin i s'origini fissuració.

El concepte de resistència, fa referència a la resistència a compressió de l'element. La resistència a tracció d'un mur de mamposteria està condicionada per l'adherència entre el morter i les peces components.

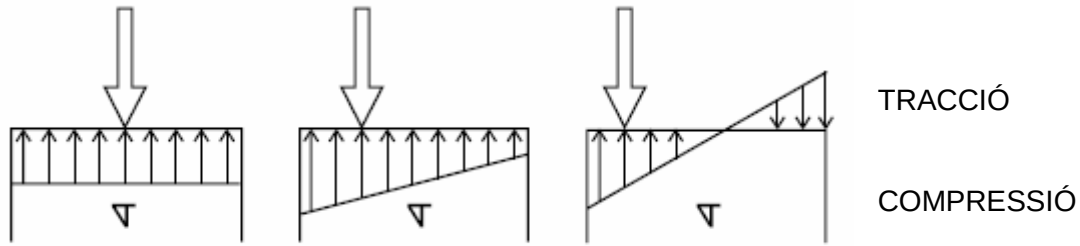
Els murs no només estan sotmesos a accions que sol·liciten aquest sistema a una compressió pura. Es pot distingir una sèrie d'accions i causes que compliquen la resposta i que es fonamenta en l'excentricitat de les accions resultants sobre una secció de la mamposteria.

L'excentricitat és la desviació que existeix entre la càrrega aplicada i l'eix del mur. Aproximadament, s'assumeix que si l'excentricitat queda dins del terç central de la secció, tota ella es troba comprimida. Però, quan l'excentricitat rebassa aquest límit aproximant-se cap a una cantonada de la mateixa, aquesta part apareix més comprimida i l'altre extrem traccionat.

En general, els murs de mamposteria han de projectar-se per suportar només compressions doncs les traccions que pot resistir una fàbrica són molt petites. En aquests casos, es posa a prova la resistència a tracció del morter i la capacitat de que el conjunt morter-peça no es separi obrint fissures.

Les excentricitats poden donar-se en qualsevol direcció de la secció resistent depenent de l'acció sol·licitant. Si en ocasions l'excentricitat resultant és excessiva respecte a l'amplada de la secció i transcendeix un determinat límit, es produeixen esforços de tracció sobre el mur que posen a prova l'adherència en aquella secció.





Les principals excentricitats es provoquen per:

### 1. Desigualtat sol·licitant a ambdós costats del recolzament

Els forjats que recolzen en murs externs o la diferència de llums i càrregues entre els dos costats del mur de recolzament interns, produeix esforços que no sol·liciten tota la secció del mur amb la mateixa tensió.

### 2. Canvis de secció

La variació no coaxial de l'amplada del mur pot originar també excentricitats en **el travàs** de la càrrega cap a la secció inferior.

### 3. Toleràncies constructives

Encara que poden ser mínimes, són quantificables desviacions en la verticalitat del mur que impliquen excentricitats en la directriu teòrica de la càrrega. Degut a les desviacions pròpies de l'execució, poden ser considerades un percentatge de l'alçada del mur.

### 4. Accions horitzontals

Els murs i tancaments exteriors queden sotmesos a l'acció del vent mentre els murs de soterrani suporten l'empenta del terreny. Davant aquestes accions horitzontals, repartides en tota la superfície de la fàbrica, es produeix una flexió del mur des dels seus elements de recolzament horitzontals (forjats). La flexió provoca tensions de compressió cap a la cara externa del mur i tensions de tracció tant majors quant més pròximes a la cantonada de la secció.

## 5. Repartiment global del vent

L'acció de vent genera a més, una repercussió d'esforços horitzontals sobre tots els murs de la planta en funció de la seva inèrcia en la direcció de dita acció, siguin exteriors o no.

Les forces horitzontals es combinen amb les càrregues verticals provocant el desplaçament de la resultant sobre la secció. Tots aquests mecanismes poden produir esforços de tall i ocasionalment traccions en els elements de la mamposteria que han de ser absorbits per les juntes de morter i la seva unió a les peces. La resposta a aquests mecanisme depèn fonamentalment de l'adherència en la secció de morter i en l'adquirida entre els dos materials. Per això, és fonamental assegurar una bona adherència del material i la seva interfase.

També s'ha de ponderar el número de juntes entre les que es reparteixen aquests esforços. Usualment, les mamposteries formades per peces grans (blocs) són més rígides al comptar amb un menor número de juntes capaces de repartir les tensions comentades. El mateix succeeix amb el grau de deformació de les juntes per una excessiva rigidesa del morter. En els dos casos es produeix una fàbrica poc "flexible" i si els esforços superen certs valors provoquen la ruptura traduïda en lesions estructurals, d'estanqueïtat i estètiques.

### **Mecanisme adherent**

Per comprendre l'acció adherent que cohesiona monolíticament una mamposteria, és necessari explicar el mecanisme de la unió mecànica entre el morter i les peces de paleta, que pot identificar-se en les següents fases:

- Succió de l'aigua des del morter a les unitats col·locades que s'inicia instantàniament al contactar i dura minuts o inclòs hores.
- Transport del conglomerant per l'aigua succionada i introducció en els porus de la peça.
- Hidratació i cristallització del conglomerant en els porus colmatats, provocant els ancoratges entre la pasta i les peces.

L'àrea crítica en el sistema morter-peça sol localitzar-se, segons la majoria dels assaigs realitzats, en la secció de la junta de morter amb la peça superior. Conseqüentment, resulta crucial per assegurar el monolitisme (resistència) i absència de fissures en el conjunt (estanqueïtat) garantir la penetració, en la major mesura possible, del morter en les superfícies i **oquedades** de la peça superior.

Es pot quantificar l'adherència com el producte de la tensió adherent entre els materials i les superfícies adherents resultants de la seva posta en contacte.

### **TENSIÓ ADHERENT**

Aquesta tensió resistent assolida en la interfase morter-peça, depèn de l'anclatge dels cristalls de ciment del morter en els porus de la peça.

En aquest procés intervenen la quantitat, el grau de penetració i la hidratació del conglomerant dels porus.

La tensió adherent augmentaria quant major quantitat de ciment sigui capaç de transmetre's a les peces i quan es garanteixi un adequat nivell d'hidratació que activi l'acció lligant del ciment. Això confirma novament la importància de pal·liar el "dessecat" del morter degut a peces no humectades prèviament, amb excés en la seva demanda inicial absorbent.

### **SUPERFÍCIE ADHERENT**

Quant major sigui l'àrea de contacte eficaç entre la pasta de morter i les unitats de la mamposteria, major número d'ancoratges s'estendran i major adherència final posseirà el conjunt.

En la superfície adquirida entre els dos materials intervé les característiques del morter, de les peces i de l'execució.

### **Morter**

La característica fonamental del morter que incideix en l'adherència del conjunt és la seva treballabilitat. És difícil ponderar la treballabilitat d'un morter a l'hora de la

seva posta en obra però es pot fer referència a tres factors claus que influeixen en aquest aspecte:

- La seva consistència.
- La retenció d'aigua.
- El temps d'ús.

## CONSISTÈNCIA

Aquest paràmetre ve determinar per la norma UNE-EN 1015-3 en funció de l'escorriment.

Consistència plàstica s'adquireix a l'obtenir un diàmetre de la proveta assajada en la taula de sacsejades d'entre 140 i 200 mm.

Resulta poc treballable, no es garantir el través del morter cap als porus de la peça.

Consistències seques o més fluides són desaconsellables, perquè existeix segregació, la pasta es flueix cap a baix dificultant l'adherència amb la peça a col·locar a sobre. A més s'assoleixen nivells de porositat en el morter desaconsellables.

| Mortor Fresc | Consistència (escorriment en mm) | Designació |
|--------------|----------------------------------|------------|
| Sec          | < 140                            | S          |
| Plàstic      | 140 a 200                        | P          |
| Fluid        | > 200                            | F          |

## RETENCIÓ D'AIGUA

Consisteix en el poder de conservar l'aigua d'amassat que posseeix el material davant sol·licitacions externes (atmosfèriques, absorció de les peces, etc.).

Una adequada retenció permet mantenir la plasticitat de la pasta per a que les peces puguin ser col·locades i anivellades, el que es relaciona directament amb la seva treballabilitat.

La retenció d'aigua és encara més transcendent quan les peces presenten alta absorció. En general les unitats de mamposteria han de preparar-se perquè al contactar amb el morter, tinguin la humitat idònia per no extreure l'aigua d'aquest a gran velocitat, i donar temps a que el ciment activi la seva acció adherent.

Resulta usual humectar peces instantes abans de ser col·locades, el que no sempre facilita l'esperable interacció entre el morter i les unitats de paletaria. Si quedés una pel·lícula d'aigua envoltant aquestes, augmenta la proporció aigua/ciment del morter i a més es dificulta la succió. Per evitar-ho és preferible saturar les peces amb antelació suficient a la seva posta i disposar-les un cop que les seves parets adquireixin l'estat de succió.

Per minorar la pèrdua d'aigua d'un morter resulta clau reduir el tamany dels seus porus. En aquest sentit és favorable l'existència de fins en la granulometria de l'àrid. Per altra banda, per un volum donat, la presència de partícules fines implica major superfície envoltant per on s'absorbeix l'aigua, és a dir, major retenció. El mateix succeeix amb el tamany de les partícules del conglomerant. Els índex que augmenten la capacitat de retenció d'aigua i el seu maneig en aquest sentit són:

- Àrids.
  - Augmentar el contingut en fins.
  - Assegurar una distribució granulomètrica ben ajustada.
- Conglomerants
  - Ciment: augmenta el contingut i la seva finor
  - Calç: augmentar el contingut i la seva finor
- Additius
  - Ús d'airejants
  - Ús de plastificants
- Addicions
  - Ús d'addicions fines (cendres volants, putzolanes, etc.)
- Preparació
  - Augment del temps de barreja

En l'altre extrem, una retenció d'aigua molt elevada és desaconsellable si, per exemple, la mamposteria es compona d'unitats de baixa succió. En aquest cas, es ressentiria la interacció entre els materials i les peces gairebé flotarien sobre el morter.

## **TEMPS D'ÚS**

El morter és un material viu en el sentit que va alternant la seva naturalesa des del moment que quedi llest per la seva posta, degut a la interacció entre els materials que l'integren i els processos desenvolupats en el seu se (fragat enduriment, ...). No obstant, tot morter ha de disposar d'un temps suficient durant el que ofereixi una treballabilitat tolerable per la seva disposició.

L'aplicació del morter per formar les juntes ha de realitzar-se dins del temps d'ús que aquest tingui especificat segons la norma UNE-EN 1015-9. Durant tal període queda garantitzat que el morter conserva totes les seves propietats en estat fresc.

No és convenient reacondicionar el morter per fer-ho més treballable afegint-li aigua un cop que s'ha superant el seu temps d'ús, doncs podem modificar les seves propietats inicials (consistència, densitat, adherència en estat fresc, etc.). Per altre par, a l'efectuar aquesta pràctica altarem, entre altres paràmetres, la relació aigua/ciment el que pot minorar el poder lligant en les interfase morter- peça disposta, i en tot cas la seva durabilitat.

## **Peces**

En l'altre component de la fàbrica executada incideixen igualment variables influents en el procés adherent. En general els seus factors més determinants són:

- Material (ceràmic, formigó, sílice-calcàri, etc.)
- Format (rajol, bloc).
- Superfície (oquetats: tipus, número, tamany, disposició, rugositat, etc).
- Característiques (absorció, succió, etc).

De la naturalesa del material es desprenen característiques que influeixen en la interacció final amb el morter al condicionar el grau de penetració de la pasta en el material col·locat. Segons les fases en que es desenvolupa el procés adhesiu resulta determinant l'absorció de l'aigua per part de les peces al morter per travessar parts de

conglomerant fins els porus de les unitats. A més, aquests han d'afavorir la hidratació i cristallització de les partícules transportades per crear els ancoratges mecànics entre els dos materials.

## SUCCIÓ

En aquest procés, un primer factor a considerar **atent** a la succió que caracteritza el material de les peces. La succió es relaciona amb la velocitat d'absorció inicial ( $\text{g/cm}^2 \cdot \text{min}$ ) i mesura la quantitat de fluid que una peça és capaç d'incorporar immediatament després de posar-se en contacte amb ell.

Aquest factor és considerat com el principal índex de les peces de paleta en relació amb la seva adherència. La succió depèn del nombre de porus capil·lars de la peça però no de la seva estructura. Així, peces amb succions semblants de diferent naturalesa preses amb un mateix morter, proporcionen fàbriques amb diferent adherència.

Estudis que relacionen la succió i l'adherència apunten que la resistència de la fàbrica davant traccions augmenta amb la succió però fins valors moderats d'aquesta. Per altes succions disminueix, degut a la forta interacció amb les peces inferiors i pèrdua d'adherència amb la filada superior.

El temps durant el que el material és capaç d'absorbir l'aigua del morter incidirà especialment en l'adherència final de **l'ormeig**. Aquest factor depèn de la quantitat d'aigua del morter, del grau de colmatació dels porus capil·lars de la peça i de l'estructura d'aquests doncs es relaciona amb el seu diàmetre. Els porus de major diàmetre (més de 5 micres) no provoquen cap interacció amb el morter, doncs no es produeixen forces capil·lars suficients per vèncer la de la porositat d'aquell. Aquests porus només capturen aigua lliure però no contribueixen a extraure aigua del morter.

D'aquesta forma, una alta capacitat de succió de líquid per la peça no garanteix sempre una elevada interacció amb el **número**. El temps d'absorció condiciona la interfase morter-peça al considerar el procés d'execució de la mamposteria. Durant l'interval des de que es diposita el morter sobre la filada inferior fins que es col·loca la peça superior, aquella absorbeix gran quantitat d'aigua i disminueix la treballabilitat de la pasta que disminueix l'adherència final amb la filada superior. Aquest efecte és més pronunciat quant més temps transcorre.

## **SUPERFÍCIE**

Quant major sigui l'àrea de contacte entre els materials que integren la fàbrica, major número d'ancoratges són potencialment desenvolupables. En aquest sentit, l'existència de perforació en les unitats afavoreix la penetració de la pasta incrementant-se la interfase morter-peça. Els buits han de tenir una obertura suficient perquè la pasta del morter pugui penetrar i banyar les parets verticals dels orificis. Si les obertures són petites el morter no penetra i les passa com si de ponts es tractés.

També incideix en l'adherència la qualitat superficial de les cares de contacte de les unitats de paletaria amb el morter. A major rugositat de les superfícies millor resposta adherent presentarà la fàbrica davant les sol·licitacions.

## **EXECUCIÓ**

Deixant de banda les variables intrínseques a la naturalesa i propietats dels materials d'una unitat de mamposteria, també condicionen la seva adherència final factors relatius a la seva preparació i a l'execució manual. Encara es recullen nombroses recomanacions en l'apartat de posta en obra podem ressaltar els següents factors que tenen especial rellevància en l'apartat de l'adherència:

- Preparació del morter.
- Humectació de les peces.
- Temps de col·locació.
- Forma de col·locació.

## **PREPARACIÓ DEL MORTER**

Abans de la seva posta en obra el morter ha d'estar perfectament barrejat i resultar una massa homogènia sense exsudació. A l'hora de la seva aplicació el més aconsellable és disposar la pasta acabada de preparar evitant que transcorri molt temps des de que és amassada fins a la seva disposició.

Des del moment que el morter és barrejat pateix processos interns que van alternant la seva constitució. El material va perdent aigua en el **se** de la seva massa fruit de l'evaporació a l'aire i de l'absorció de la sorra. Dita pèrdua es tradueix en una alteració de la seva consistència perjudicant la seva treballabilitat.



El contingut insuficient d'aigua no proporciona la hidratació necessària per a que el conglomerant realitzi el seu efecte aglutinant. El més ideal, per tant, és disposar la quantitat de morter que es va a consumir per executar les unitats d'obra previstes en un temps raonable, evitant excedents que perdin les seves condicions inicials.

És freqüent per corregir la treballabilitat aportar aigua a la barreja que ha perdut condicions inicials i reamassar-la. Aquesta pràctica resulta perjudicial si s'ha iniciat el fraguat doncs incidirà en una merma de resistència i durabilitat.

En síntesi, en el que respecta a l'adherència, un morter amb manca d'aigua no aconseguirà proporcionar el flux del material fins als porus de la unitat. L'escassa penetració de la pasta, segons les fases explicades anteriorment, i la falta d'hidratació de les partícules conglomerants impediran la formació d'ancoratges mecànics en la interfase morter-peça. El resultat és un descens dràstic de la resposta de la fàbrica davant les sol·licitacions relacionades amb l'adherència.

## **HUMECTACIÓ DE LES PECES**

Les unitats de paleta han d'estar dotades d'un contingut d'aigua suficient per no inferir-la dels processos interns que formen el morter; ni excessiva, que impedeixi l'entrada del mateix en l'estructura porosa de la peça.

En la pràctica és necessari mullar les unitats abans de ser col·locades tal i com indica la prolixa reglamentació existent. No obstant, han de controlar-se el grau d'humitat resultant doncs el seu excés no deriva en la interacció òptima morter-peça. L'aigua remanent en la superfície de les unitats, augmentarà la proporció aigua/ciment del morter al contacte amb ella i pot doncs inhibir-se la succió total o parcialment segons el grau de colmatació dels porus superficial de les peces col·locades.

Així doncs, resulta més idoni saturar les peces amb antelació suficient a la seva posta en la fàbrica executada i no col·locar-les fins que desapareixi la pel·lícula d'aigua superficial d'aquelles. D'aquesta forma, s'assegura l'absorció a través de les parets externes de la unitat que afavoriran la seva adherència.

## **TEMPS DE COL·LOCACIÓ**

L'interval de temps entre la operació d'aplicar el morter i situar les peces suposa un factor que condiciona l'adherència de la filada que es col·loca respecte a la inferior. El més aconsellable és reduir els intervals de posta de les peces al mínim. L'aigua del tendel del morter disposat és absorbida per la filada sobre la que s'assenta i es redueix el flux cap a les unitats superiors quant més temps transcorre.

## **FORMA DE COL·LOCACIÓ**

El factor individual més influent en l'adherència final respon a la pressió d'assentament amb que l'operari disposa les peces. Al pressionar la unitat contra el morter s'aconsegueix un doble efecte. En primer lloc, es força l'aigua a ascendir per els porus de les parets en contacte amb la pasta incrementant-se la tensió d'adherència. A més, augmenta la superfície de contacte de la interfase al impregnar-se major àrea de les parets de les perforacions.

És contraproductiu moure o colpejar les peces ja col·locades, per realinear-les o corregir-les un cop superats els moviments d'anivellació inicials. Començada la interacció entre els materials els desplaçaments trenquen els ancoratges establerts i les unitats no es tornaran a adherir bé al morter.

## **C. ESTANQUEÏTAT**

Una de les exigències fonamentals d'un tancament consisteix en impedir el pas d'aigua exterior en forma de pluja, humitat, etc. a la vegada que, a través de les seves diferents capes assegura la seva permeabilitat al vapor per evitar condensacions internes.

Assaigs de pluja realitzats demostrant que la principal font de filtració d'aigua succeeix a través de les microfissures que es poden abrigar entre les peces i el morter degudes a una insuficient adherència entre aquests. En molts casos, això pot estar provocat per: l'escassa hidratació del morter en els inicis del fraguat.

L'aigua pot accedir a la massa del material segons dos fenòmens:

- Capil·laritat.
- Pressió.

- Al considerar els mecanismes de permeabilitat assenyalats en el sistema constructiu de les mamposteries, estudis realitzats revelen que la contribució atribuïble a la capil·laritat és ponderable si es presenten capil·lars de diàmetre inferior a 0,5 mm i de pendent pròxima a la horitzontal.

Pel contrari, la permeabilitat derivada de la pressió hidrostàtica resulta més acusada quant major sigui el diàmetre dels canals (superiors a 0,5 mm) i lògicament quant major sigui la pressió exercida per l'aigua.

Habitualment no és en la massa del morter on poden localitzar-se les principals vies de penetració d'humitat sinó en a interfase d'unió amb les peces de paleta.

Els fluids segueixen la línia de menor resistència i si existeixen intersticis en la interfase executada aquests es converteixen en petites vies d'accés, que sumades provoquen una filtració evident. Per assegurar l'estanquitat s'ha d'aconseguir un contacte absolut entre el morter i les peces del que es dedueix la interrelació d'aquesta propietat amb l'adherència. En aquesta incideix especialment la capacitat de retenció d'aigua. Aquest factor permet controlar el fenomen d'exsudació comentat anteriorment per el que els components de la massa amb menor pes específic s'elevan i els més pesats es sedimenten en la capa inferior.

L'aigua, per la seva menor densitat, ascendeix i origina conductes capil·lars en les juntes de morter. En paral·lel a aquest procés, l'assentament de les partícules debilitarà l'àrea superior de la junta on es poden ocasionar **oquedades** en el contacte amb les peces superiors que comportin filtració.

Es dedueix que l'àrea més crítica de les fàbriques de paleta radica en la interfase morter-peça. Per tant, assegurar una superfície capacitat de retenció d'aigua en el morter fresc, que garantir l'adherència, redundarà igualment en l'estanquitat dels tancaments vistos.

Altres aspectes per augmentar l'estanquitat en relació amb l'adherència del morter radica en augmenta la quantitat de ciment i la utilització d'additius hidrofugants. Però, si la quantitat de ciment és excessiva poden aparèixer retraccions que generen fissures apareixent novament el problema de filtracions que volíem evitar. En conseqüència, es necessària una dosificació molt precisa i controlada en l'elaboració

del morter o acudir a una barreja ja preparada, com és el cas dels morters secs industrials.

## EXECUCIÓ

L'aspecte més rellevant relatiu a l'estanquitat en la seva relació amb la posta en obra del morter radica en l'execució de les llagues (juntres verticals). Aquestes unions han de quedar totalment reomplertes en tot l'espessor del mur o tancament. Colmar la junta només per l'exterior augmenta sempre les possibilitats de filtració.

### D. ESTABILITAT

Fa referència principalment a evitar o controlar l'efecte de la seva retracció. Com la resta de materials, els morters al llarg de la seva vida útil, pateixen canvis de volum deguts a diferents causes.

Es distingeix així retraccions plàstiques de secat i tèrmiques com causes que derivaven en la contracció final del morter. Aquestes variacions es produeixen en les fases de fraguad i enduriment del material.

Apareixen tensions superficials que causen compressions sobre les parets dels intersticis arrossegant la contracció del morter. Aquest mecanisme es relaciona directament amb el tamany dels porus existents. Quant més elevat és el contingut en fins i el del conglomerant, major és la retracció hidràulica potencialment assolible. A més, el morter a l'interaccionar amb les unitats de mamposteria, pateix l'absorció d'aquestes incrementant-se la seva retracció hidràulica. Aquest efecte és més acusat quant major és la velocitat d'absorció inicial per la succió de les peces en contacte.

Habitualment els paràmetres que augmenten la retracció o la fan més evident són:

- Alt contingut en àrids molt fins.
- Excessiva quantitat de ciment i aigua.
- Secatge de l'ambient i canvis de temperatura.
- Espessor de junta gran.

Els canvis de volum per causes tèrmiques ocasionen contraccions i dilatacions que diferencialment entre els elements de la mamposteria no són significatives. Si són ponderables al considerar globalment el mur o tancament executat si no es preveuen les juntes adequades.

Les retraccions dels morters en les juntes, no solen ser problemàtiques. Lògicament, perquè els volums o espessors que representa, no poden donar origen a alteracions dimensionals considerables, per el seu reduït tamany, en comparació amb la seva aplicació en revestiments.

## **5. ESTAT DE CONSERVACIÓ:**

Abans d'entrar en la definició de les patologies que afecten al Campanar de l'Església de Sant Feliu, s'hauria de fer una classificació segons els agents que incideixen en el deteriorament del campanar, ja sigui de forma individual o combinada:

### **Agents físics:**

Conjunt d'accions mecàniques, tèrmiques i elèctriques que afecten de manera directa o indirecta la solidesa dels materials constructius. Per exemple podem considerar els efectes nocius del vent, que especialment en les zones altes bufa amb intensitat, amb especial incidència de la tramuntana. De la mateixa manera, el salt tèrmic important que pateix la ciutat de Girona amb temperatures altes durant el dia i extremadament fredes durant la nit, durant certes estacions.

### **Agents químics:**

Relacionats amb la composició química dels elements utilitzats a l'obra i la seva capacitat de reaccionar amb el medi extern, com pot ser, la contaminació ambiental o reaccions lentes, per exemple: transformació del carbonat de calci en sulfat de calci. L'eflorescència de salubre no és especialment preocupant al campanar.

### **Agents biològics:**

Gairebé sempre el resultat d'atacs biofísics i bioquímics de naturalesa externa. Dintre d'aquests agents hem d'incloure l'atac que pateix la pedra procedent dels excrements dels coloms, més insistent dins del propi campanar, on aquestes aus arriben a niar.

### **Agents antròpics:**

La intervenció humana vista en aquest cas com un conjunt d'accions concretes que es realitzaren sobre l'obra, és a dir, les intervencions anteriors que, al no haver-se integrat harmònicament en el conjunt artístic, el degraden d'una manera o una altra. Per exemple els ancoratges metàl·lics provocaven més d'una esquerda important i algun desprendiment com a conseqüència de l'oxidació.

Hi ha un altre grup de factors que incideixen en el deteriorament, com pot ser la ubicació de l'immoble, l'emplaçament diferencial entre les façanes i la resta de l'estructura, composició química de la roca, agents contaminants, etc.

Un cop coneguts els agents, crec oportú descriure les patologies que han incidit més en la conservació del campanar. També acompanyaré aquestes descripcions amb fotos que pretenen il·lustrar de forma gràfica la incidència i presència concreta de les lesions.

En sentit general les patologies detectades i cartografiades en els paraments del campanar van ser:

#### **BRUTÍCIA I CROSTES:**

Làmines compactes de material en la part externa de la pedra, resultat d'una transformació superficial, i que la seva naturalesa química mineralògica i característiques físiques són parcial o totalment diferents a les del substrat petri sobre el qual s'assenten.



FOTOGRAFIA Nº 3: BRUTÍCIA I CROSTA NEGRA

Aquesta crosta rep diferents noms (crostes negres, biogèniques, etc) en funció de l'agent responsable de la seva formació. En el nostre cas s'anomena "calcin": quan sobre una calcària actua l'àcid carbònic, resultant de la combinació del vapor d'aigua i de l'anhidric carbònic atmosfèrics, que al reaccionar amb el carbonat càlcic, donen lloc a un bicarbonat càlcic, substància altament soluble. L'aigua de pluja dissol aquest compost i l'arrossega fins la superfície de les fàbriques durant el cicles d'humectació i dessecació, i en ambient sec s'evapora el líquid precipitant-se el carbonat càlcic que s'acumula donant lloc a la crosta de "calcin", ennegrida si està exposada a fums i accelerant la degradació de la roca a l'afavorir l'acumulació d'humitat.

En atmosferes urbanes i industrials, com és el cas de Girona, es generen gasos més nocius com els òxids de sofre que combinats amb el vapor d'aigua donen lloc a l'àcid sulfurós i aquest a la vegada a l'oxidar-se produeix l'àcid sulfúric, el qual, transforma el carbonat càlcic de la calcària en sulfat càlcic. Aquest sulfat en dissolució es mobilitza cap a la superfície dels paraments on cau en forma hidratada com guix "sulfín" ( $\text{SO}_4\text{Ca}_2\text{HO}$ ), que augmenta el seu volum fins a un 30%, i al ocupar porus i fissures provoca la destrucció de la pedra.

Aquesta crosta afavoreix la retenció de la humitat i al tenir un major coeficient de dilatació tèrmica augmenta les probabilitats de desprendiments.

### **DESPLACACIONS:**

Els cicles repetits (l'aigua dissol i mobilitza les sals i aquestes es recristalitzen a l'evaporar-se en la superfície) produeixen una redistribució del material, debilitant el nucli de la pedra, produint-se una estratificació en tres capes del material de fora a dintre: una crosta superficial, una capa descohesionada a la qual s'ha tret material, i finalment la roca inalterada i en bon estat.

El lligat entre els diferents estrats és deficient produint-se una desplaçació, majoritàriament en la calcària numulítica de Girona, que amb el temps i per acció de la gravetat, produeix desprendiments que exposen a la intempèrie parts amagades de la pedra reiniciant-se el procés sobre la roca sana.





FOTOGRAFIA N° 4: DESPLACACIÓ

#### **AFFECTACIONS PER SALS:**

Està directament relacionada amb les acumulacions hídriques resultants del mal estat de cornises i elements estructurals protectors. Les aigües acidulades penetren en la roca aprofitant les juntes, porositat i capil·laritat pròpia de la massa lítica o per altres causes.



FOTOGRAFIA N° 5: AFFECTACIONS PER SALS

Les sals que es produeixen com a resultat de la dissolució de la roca, morters, presència atmosfèrica, etc, queden a prop de la superfície quan s'evapora l'aigua que les contenia. Aquestes sals canvien de grandària degut al seu caràcter higroscòpic, el que provoca, un conjunt de lesions molt nocives pel substrat.

### **BIODEGRADACIÓ:**

Pel que fa al campanar es deu a l'acció individual i/o combinada de:

- Vegetals (superiors i inferiors)
- Microorganismes
- Aus

Els microorganismes són éssers degradadors per naturalesa. Bàsicament la seva activitat nociva està subjectada a la producció d'àcids inorgànics, orgànics, agents quelants, agents surfactants, producció de polisacàrids i accions físiques concretes.



*FOTOGRAFIA Nº 6 I 7: BIODEGRADACIÓ*

Per citar un exemple, els fongs i líquens afavoreixen la retenció d'humitat, actuen com vertaderes esponges amb considerables canvis de volum en funció de la saturació de l'ambient i del règim de precipitacions.

Els líquens malmeten la pedra mitjançant l'excreció d'àcids orgànics resultants de la seva activitat vital, i també mecànicament per la penetració del rizoide i l'alternança d'expansions i contraccions ja citades, en col·laboració amb l'aigua durant

les gelades hivernals. El deteriorament és superficial penetrant només uns mil·límetres des de la superfície.

### **DIPÒSITS SUPERFICIALS:**

Formats per l'acumulació de pols, sutge, excretes i altres materials que es dipositen tant en superfícies horitzontals com verticals, localitzant-se en els interiors, en les obertures dels arcs, sobre mènsules, cornises, etc.



*FOTOGRAFIA N° 8: DIPÒSIT SUPERFICIAL*

Les aus busquen aixopluc i nien en el interior del campanar, en els llocs protegits de sortints, cornises i forats. En el cas dels interiors del campanar són un lloc molt propici per oferir refugi; així i tot, l'acumulació de detritus està circumscrita a llocs concrets, suposem que degut a l'assolellament i les corrents d'aire que fan d'aquests llocs els més adequats. La combinació de la femta amb l'aigua de pluja ataca el carbonat càlcic transformant-lo en nitrat càlcic, que, al ser rentat per l'aigua de pluja disgrega la pedra i la torna polsosa.



*FOTOGRAFIA N° 9: DIPÒSIT SUPERFICIAL*



## **PRESÈNCIA D'ELEMENTS FERROSOS:**

La presència en la fàbrica d'elements metàl·lics, concretament de naturalesa ferrosa, provoca la fractura de la pedra. El ferro quan rep aigua s'oxida augmentant significativament el volum, el que provoca pressions i tensions en la roca que el conté. La posterior fractura i també despreniment de la massa lítica afectada és una conseqüència secundària, però de gran importància per a la conservació, consolidació i cohesió de les fàbriques.



*FOTOGRAFIA Nº 10: FRACTURA PER ELEMENT FERROS*

## **ESQUERDES I FRACTURES:**

Aquesta patologia s'apreciava clarament en els nivells superiors del campanar i representava un perill real.

Gairebé sempre aquest tipus de lesions són degudes a l'acció d'agents físics, molt relacionats amb fenòmens crioclàstics, i molta presència d'ancoratges metàl·lics de naturalesa ferrosa. No es descarta, tot i que no han estat estudiades, esquerdes produïdes per assentament diferencial dels paraments.



FOTOGRAFIA N° 11: FRACTURA DE LA PEDRA

### **PÈRDUA DE VOLUM:**

De forma convencional es considerada com una lesió secundària o derivada. Es tracta de la pèrdua parcial de massa pètria, per la concurrència de lesions com esquerdes i fenòmens de gelifracció.



FOTOGRAFIA N° 12: PÈRDUA DE VOLUM



## INTERVENCIONS ANTERIORS:

Es tracta d'antigues actuacions encaminades a resoldre problemes puntuals, (com pot ser la reposició de morter de juntes amb ciment, etc) amb materials poc afortunats o d'escassa integració amb el suport que els acull. En el campanar era visible en forma d'apedaçats, segellats de juntes i esquerdes, etc. Amb el pas del temps aquest material afegit es desprèn, perdent les seves funcions en el millor dels casos i provocant afectacions diverses en el seu entorn.



FOTOGRAFIA Nº 13: INTERVENCIONS ANTERIORS



FOTOGRAFIA Nº 141: INTERVENCIONS ANTERIORS

### **JUNTES EN MAL ESTAT:**

L'acció lixivadora de l'aigua es fa sentir sobre els morters que cobreixen les juntes, disgregant-los, entre altres raons per la descomposició del carbonat de calci. La junta queda exposada i a través d'ella penetra l'aigua al parament, provocant la retenció d'humitat, permetent a la vegada el creixement de plantes, microorganismes, disgregació, etc. En el campanar aquesta lesió s'acusava de manera important en els pinacles, cornises i paraments llisos.



*FOTOGRAFIA 15 I 16: JUNTES OBERTES*

### **DETERIORAMENT:**

Modificació o canvi del material petri que pot implicar un empitjorament o disminució de les seves característiques físicomecàniques. El deteriorament diferencial és el deteriorament desigual, condicionat per la heterogeneïtat en la composició, textura o estructura del material rocós, i que dóna lloc a nivells de degradació diferents dins d'una mateixa pedra. L'existència de diferents nivells de degradació dels materials petris, dins d'un conjunt d'aquests constitueix un deteriorament selectiu.



FOTOGRAFIA 17: DETERIORAMENT

### **Escorrenties:**

Es tracta de la migració dels materials degradats i aigua des de les zones superiors, observant-se clares petjades del seu pas. Gairebé sempre aquest moviment és motivat pel trencament d'elements com guardapols o cornises.



FOTOGRAFIA Nº 18: ESCORRENTIES



## **6. INTERVENCIIONS DEL CAMPANAR:**

En aquest apartat intentaré descriure els mitjans i sistemes d'intervenció per a resoldre les patologies de cada cas, amb els diferents procediments i criteris tècnics susceptibles d'utilització.

La proposta de restauració contemplava una intervenció de neteja i consolidació dels paraments verticals del campanar per la seva part externa, inclòs cosits de fragments i peces trencades, reintegració de vius i motllures amb petites pèrdues mitjançant morters de reintegració armats, rejuntat dels paraments, tractament de protecció, tractament d'elements metàl·lics i revisió del parallamps, impermeabilització de coberta d'agulla i de terrassa del tercer cos amb planxa de plom, i substitució de grans volums de pedra massissa per noves peces de pedra de Girona, en zones d'imposta, motllures laterals de forats de campanes, i pinacles, contemplant en aquests últims el desmuntatge de les deu primeres filades, pel seu aplom.

Un cop començades les obres i veient en quin estat es trobava realment el campanar, la Direcció Facultativa va proposar a la Comissió de Seguiment de les obres la conveniència de realitzar un projecte modificat, on s'inclourien els interiors del campanar.

L'obra es va desenvolupar dins dels marges de seguretat que imposa la llei, utilitzant tots els mitjans necessaris. Així doncs, l'obra es va iniciar amb les feines de muntatge de la bastida i del tancament perimetral de l'obra.

L'actuació es va realitzar en franges horitzontals, de dalt cap a baix en cada un dels llenços, de manera que els treballs ja fets no pateixin cap afectació.

### **TRACTAMENT BIOCIDÀ**

Començant per la zona superior i continuant fins a baix, es van eliminar tots els organismes biogènics mitjançant tractament biocida (fungicida-algicida) per la destrucció i prevenció de proliferació de noves colonitzacions de microorganismes diversos sobre els suports petris, principalment les superfícies horitzontals o inclinades. Es va fer una primera aplicació en superfície amb pulveritzador air-less d'antisèptic tipus pentaclorofenat sòdic aquós, o dissolució d'aldehid fòrmic al 1% i una segona aplicació d'amoni quaternari dissolució hidroalcohòlica al 3-5%, fent-lo penetrar pels intersticis, i amb un rendiment no inferior a 0,50 l/m<sup>2</sup> retirant posteriorment els detritus biològics secs de forma manual. Es va insistir durant les primeres setmanes per la eliminació total dels líquens i fongs.

Diferent tractament van tenir les figueres que es trobaven als peus de l'agulla, ja que aquestes plantes són molt difícils d'eliminar totalment. Els herbicides comercials

no aconsegueixen acabar amb elles. En aquest cas, l'experiència de l'empresa restauradora amb aquest tipus d'organismes va facilitar la seva desaparició.

El tractament va durar varis mesos. Una vegada es podat, es va sotmetre a banys d'una dissolució de gas-oil, impregnant-les completament, i també injectant-les a les arrels, embolicant tota la planta amb draps humits i polivinil per crear un ambient estanc. Dia rera dia es repetia el procés fins a la seva mort, moment en el qual es van extraure les arrels d'entre les juntes i dessota dels carreus.

Sobre les fulles de les plantes es va aplicar un tractament herbicida mitjançant pulverització manual, amb una solució d'hidròxid amònic seguit d'una solució aquosa de silicofluorur de zenc al 1-2%, eliminant les plantes mortes al cap d'una setmana i tornant a aplicar-hi el producte on fos necessari.

Per a l'eliminació de les plantes es van utilitzar eines adequades, de mida petita, que permetien l'extracció de les arrels de l'interior de les juntes i esquerdes, fent servir raspalls suaus per retirar líquens i fongs de la superfície pètria, repassant constantment durant els dos primers mesos de l'obra.

## **NETEJA PRÈVIA.**

Encaminada a eliminar els dipòsits de pols i excrements secs, les pàtines de brutícia que cobreixen la superfície de la pedra i els diferents tipus de vegetació morta.

Consisteix en una neteja amb raspall de pèl vegetal i aspirador, el que permetrà eliminar pols superficial, sutge sense estratificar, petites plantes, arrels, detritus, apedaçats buits i altres mínimes lesions antròpiques.

Aquest procediment es va realitzar de forma generalitzada en tota la superfície, com a pas previ als altres sistemes de neteja.

## **🔧 Neteja de superfícies de fàbriques.**

La seva finalitat és eliminar de la superfície de la pedra aquells tipus de brutícia que causen deteriorament a la pedra subjacent o que provoquen perturbacions de caràcter estètic per a la percepció del conjunt del campanar.

En aquest sentit, els diferents tipus de vegetació, les pàtines de brutícia, les crostes negres i les sals solubles són els elements eliminats.

Els diferents sistemes de neteja van estar en funció de la patologia específica de cada zona, els quals s'aplicava sobre un mateix objecte de manera successiva, segons ho requeria el tipus de brutícia a eliminar. La zonificació la va establir la

Direcció Facultativa, la qual va marcar les pautes d'intervenció a l'agulla, els pinacles, les cornises, cossos de campanes i parament en general, evitant en lo possible l'afectació de pàtines originals i inscripcions.

#### **Neteja en sec.**

En els paraments llisos i cohesionats on va persistir la brutícia es va fer la neteja per diferents variants de projecció a baixa pressió de microesferes de vidre mitjançant remolí rotatiu i boques de 1 a 3 mm i pressions al voltant de 1,5 kg/cm<sup>2</sup> d'acord amb les instruccions de la Direcció Facultativa pel que fa al tipus d'esfera a projectar i les zones on es poguessin utilitzar.



*FOTOGRAFIA Nº19: NETEJA EN SEC*

Es va començar a aplicar la projecció de pols de fibra de vidre micronitzat en la zona superior, realitzant el tractament de dalt cap a baix, continuant amb la cornisa, pinacles, el cos de campanes incloent el segon cos del campanar, fins la cornisa de gran desenvolupament.

El sistema va continuar així per les demás cornises i paraments verticals, únicament en zones ennegrides.

Ambdós sistemes de neteja es van aplicar, per regla general, a tots els paraments on hi havia zones ennegrides. Evitant, de forma absoluta, aplicar aquests mètodes en les zones descohesionades, ornamentals i escultòriques, prèviament definides per la Direcció Facultativa i que seran tractades amb mètodes de neteja molt menys agressius.

### **Neteja química.**

En zones prèviament definides per la Direcció Facultativa, i on es detectaven incrustacions de grasses, crostes negres, sals, eflorescències i concrecions extenses, es van utilitzar apòsits de pasta de cel·lulosa impregnats amb aigua destil·lada, deixant-les en contacte amb la pedra, coberts amb làmina de polietilè com a mínim 5-7 hores. Aquest tipus de neteja no es va fer en superfícies grans en el campanar, ja que aquesta no és una patologia abundant.

Una vegada aplicats els apòsits, es retira la pasta de cel·lulosa i es procedeix a un raspallat lleuger i una neteja final amb esponja humida amb aigua destil·lada. Es realitzen aplicacions successives fins observar que no apareixen afloraments de sals a la superfície.

En el cas de crostes negres més persistents, difícils d'eliminar mitjançant el procediment anterior, van optar per papetes del tipus AB57, en que la seva pasta està composta de bicarbonat de sodi, EDTA (sal bisòdica) desogen (sal d'amoni quaternari i carboximetil cel·lulosa). Per acabar el tractament es procedeix al raspallat i neteja final amb esponja mullada en aigua destil·lada.

### **Neteja mixta.**

Com ja hem dit abans, consistirà en la projecció de pols de vidre i aigua, a la vegada, en bandes horitzontals, sempre de dalt a baix i amb un exhaustiu control per part de l'operari. Es va realitzar principalment en el primer cos de la torre cap a la part inferior.

## **TRACTAMENT DE JUNTES**

El criteri general marcat va ser el d'obrir únicament aquelles juntes que presentaven una degradació important, que haguessin perdut una part o tot el seu farciment o que el morter, es trobés amb una textura sorrenca.

Amb caràcter general, es va procedir al sanejat de totes les juntes de paraments, elements ornamentals, etc, de la zona superior, és a dir, del cos de campanes fins a dalt, donat que és la zona més exposada a la climatologia adversa; es van eliminar les zones reintegrades en velles intervencions amb morter de ciment o resines, i també els morters descomposats o degradats. Es va posar molt d'èmfasi i compte en no trencar els llavis del carreu, pel que es van fer servir els mètodes i les eines més adequades per cada situació (cisells de diferents mides, microtorns, espàtules, etc).

Una vegada obertes les juntes, es procedeix al bufat amb aire a pressió mitjançant pistoles adequades. Immediatament és necessari desengreixar-les, aplicant dissolvents com el tricloroetilè o alcohol etílic.

Prèviament al rejuntat general, es van realitzar unes proves de morter de rejuntat, per definir textura i color. Les proves van ser realitzades en diferents llocs segons la tonalitat de la pedra, i així tenir un ampli ventall on escollir. Aquest morter està format per calç, àrid de sílici i marmolina, amb càrrega de pigments naturals en massa, com són la "siena natural", el negreombra i el negre. Es tracta d'un morter de fabricació pròpia de l'empresa restauradora, comprovat ja en moltes obres que aquesta empresa ha realitzat, amb uns resultats magnífics pel que fa a durabilitat, duresa i retracció.



FOTOGRAFIA Nº20: TRACTAMENT DE JUNTES

Una vegada la Direcció Facultativa va donar el consentiment de la tonalitat a aplicar, es va iniciar el rejuntat general del campanar, prèvia humectació superficial, amb raspallat final de les juntes abans de l'enduriment.

#### **TRACTAMENT DE FISSURES, ESQUERDES I PECES TRENCADES.**

Totes les esquerdes i fissures de la superfície de la pedra van ser netejades i desengreixades amb nebulitzacions d'alcohol etílic i a continuació segellades amb morter de Mowilith-50, segons els casos aplicat amb espàtula o a pressió.

En el cas d'esquerdes o fractures de major proporció es van efectuar cosits i microcosits de les mateixes d'aquesta manera:

- Cosit de fractures, mitjançant trenat espacial de 2-4 injeccions de resina epoxídica a través de boca especial, armades amb varetes d'acer inoxidable de 4-6



mm de diàmetre i longitud variable segons les necessitats, en trepants fets a la pedra mitjançant perforació per rotació.



FOTOGRAFIA N°21: COSIT

- Microcosits sobre fàbrica de pedra, mitjançant trenat espacial d'injeccions de resina epoxi GY255-HY955 (100/35) armades amb varetes d'acer inoxidable de diàmetres adequats, en trepants fets mitjançant màquina perforadora, en vertical i inclinat.



FOTOGRAFIA N°22 I 23: MICROCOSITS

## ACTUACIÓ SOBRE ELEMENTS METÀL·LICS

Es tracta de grapes, vells ancoratges o peces metàl·liques encastades dins la pedra, que degut a intervencions anteriors no s'aprecien i que provoquen danys a la massa petrea.

Així doncs, de manera convencional van preferir dividir l'actuació en dos grans grups, depenen de la naturalesa i impacte dels elements sobre la fàbrica:

### Elements metàl·lics superficials:

Extracció total de grapes metàl·liques, claus, ancoratges, i qualsevol altre dispositiu de ferro que, per la seva oxidació, haguessin provocat fissures en les fàbriques on estaven allotjades.



FOTOGRAFIA Nº24: ELEMENTS METÀL·LICS SUPERFICIALS

El criteri general va ser el de substituir les grapes funcionals o de muntatge, necessàries per a que continuï la transmissió d'esforços, per d'altres idèntiques fabricades en acer inoxidable, rebudes en la fàbrica amb morter de resina. Pel contrari, les grapes que eren únicament de subjecció van ser directament eliminades, ja que la seva missió acaba en el moment en que les peces trencades són substituïdes per altres de noves de pedra natural. La resta d'elements metàl·lics van ser eliminats, així com els ancoratges del parallamps, van ser substituïts per una base massisa per l'empotrament de l'agulla i el panell metàl·lic.

Per a la substitució és imprescindible l'obertura de la fàbrica, mitjançant eines adequades com trepants, ciselles, etc, fins aconseguir arribar a l'element malmès. A

continuació es procedeix a l'extracció de l'element de ferro per tal de substituir-lo per un altre d'acer inoxidable o fibra de vidre, fixant-lo amb morter de resina.

#### **🔧 Elements de reforços interns:**

Bàsicament ens referim als suports que gramatitzaven la unió de peces.

Tots aquells elements que no van poder ser extrets, es van tractar per granallat i fregat. Posteriorment s'hi apliquen productes antioxidants a partir d'esmalts, pintures epoxi, etc. Abans de tornar a posar les peces de pedra, s'introdueixen juntes de dilatació mitjançant massilles inoques elàstiques, per la posterior fixació amb morter de resina.

### **RENOVACIÓ I REINTEGRACIÓ**

Entenem per renovació l'operació de substitució de les peces de fàbrica que es trobaven en un estat important de degradació per altres de noves, realitzades amb el mateix tipus de pedra, en el nostre cas pedra calcària nummulítica de Girona. Això va suposar un entrebanc, ja que aquest tipus de pedra el comercialitza un sol taller, i el preu era molt més elevat que el del pressupost.

Segons l'estat general de la pedra, es van determinar les peces a substituir o a reintegrar, en funció del seu grau de degradació; quan el nivell de degradació de la peça era superior al 20% del seu volum, es procedia al traneig i reposició de l'element definit en les seves línies arquitectòniques.



**FOTOGRAFIA Nº25: TRANEIG DE LA PEDRA**



El treball de pedra tallada al campanar va tenir una gran importància en el desenvolupament de l'obra, per això es va dotar a l'equip de restauració d'un quadre d'oficials experimentats en aquesta feina que s'encarregaven de treballar les peces en brut, en un taller instal·lat a les afores de Girona. Un cop tallades s'acabaven i es remataven a la mateixa obra.



FOTOGRAFIA Nº26: ACABAT AMB MARTILLINA

El criteri general va ser el de substituir únicament les peces que foren determinants per a l'estabilitat de l'edifici, així com per a la funcionalitat de les seves línies arquitectòniques, cornises, impostes, elements d'evacuació d'aigua, etc.

Així, la falta de pedra degut a erosions sense una gran pèrdua de material, restes que queden després dels atacs de la guerra, o tranetjos executats per la mà de l'home amb diferents finalitats així com elements decoratius, es mantenen en el seu estat, sanejant-los i segellant les fissures per evitar l'entrada d'aigua i el seu progressiu deteriorament.



FOTOGRAFIA Nº27: SANEJAT DE DESPLACACIONS

La pedra de Girona és de gran duresa, tot i la seva aparent fragilitat, i els oficials experts de la pedra tallada van haver d'esforçar-se en gran mesura per aconseguir donar forma als blocs de pedra que els hi subministraven. Aquest subministrament era molt limitat pel que va ser necessari mesurar perfectament la pedra a reposar.

Amb idèntica base metodològica es van col·locar elements que faltaven, però que donades les seves invariants geomètriques, com els mainells dels forats de les façanes del segon cos, element que entenien que era necessari recuperar per a una millor lectura de la resta de l'edifici, eliminant el tancament de carreus que existia en el de la façana nord, utilitzant aquests per la reposició en paraments llisos. De la mateixa manera es va col·locar el emmarcat del forat d'accés a la cornisa en el segon cos de la torre, que estava mutilat.



FOTOGRAFIA Nº28 I 29: MAINELL ELIMINAT I POSTERIOR RESTAURACIÓ

Igualment, i com a criteri general, van ser susceptibles de renovació parts dels carreus en avançat estat de degradació, impossible de recuperar, aplicant el criteri de que no tinguessin una disminució de material superior al volum a sanear.

Per altra banda, existien lesions d'elements petris en vorades de cornises, sortints de peces, etc, i també en paraments plans, on els efectes hostils d'humitats i successives gelades havien ocasionat faltes volumètriques no massa importants. En aquests casos, l'operació a realitzar era la reintegració.



*FOTOGRAFIA Nº30: DEGRADACIÓ DE LA PEDRA*

Les faltes lleus es van reintegrar amb morter de restauració, amb criteri de pròtesis reversibles i segons el següent procediment:

Microtrepants per a la incorporació de varetes de petit diàmetre ancorades en morter de resina; posteriorment es formen capes successives de morter de restauració amb càrrega de pedra i amb addició de pigments naturals en massa, fins a obtenir el resultat cromàtic i textura sol·licitades en cada unitat d'intervenció. L'operació finalitza amb el treballat i posterior raspallat de la superfície acabada.

Els pinacles van tenir un tractament especial, segons les necessitats, es va desmuntar les deu primeres filades de pedra per a procedir al seu aplom, donat l'estat d'inclinació del coronament d'algun d'ells, i per la col·locació d'un ancoratge estructural per evitar-ne el seu desplom. Es tracta d'una barra d'acer inoxidable roscada de 20 mm de diàmetre i amb una longitud de 2 metres.



*FOTOGRAFIA Nº31: DESMUNTATGE DE PINACLE*





*FOTOGRAFIA N°32: REPOSICIÓ DE PINACLE AMB BARRA D'ACER*

### **ENTONACIÓ CROMÀTICA, HIDROFUGACIÓ I IMPERMEABILITZACIÓ**

L'entonació cromàtica es va fer una vegada realitzades totes les operacions de restauració, únicament allà on la pròpia obra ho demanava. La impregnació a base d'una solució d'acetona i pigments naturals, aplicada per mitjans naturals, a manera de vel fins aconseguir l'entonació requerida va ser suficient perquè les reintegracions noves, les peces de pedra natural substituïdes i altres imperfeccions passin desapercebudes.

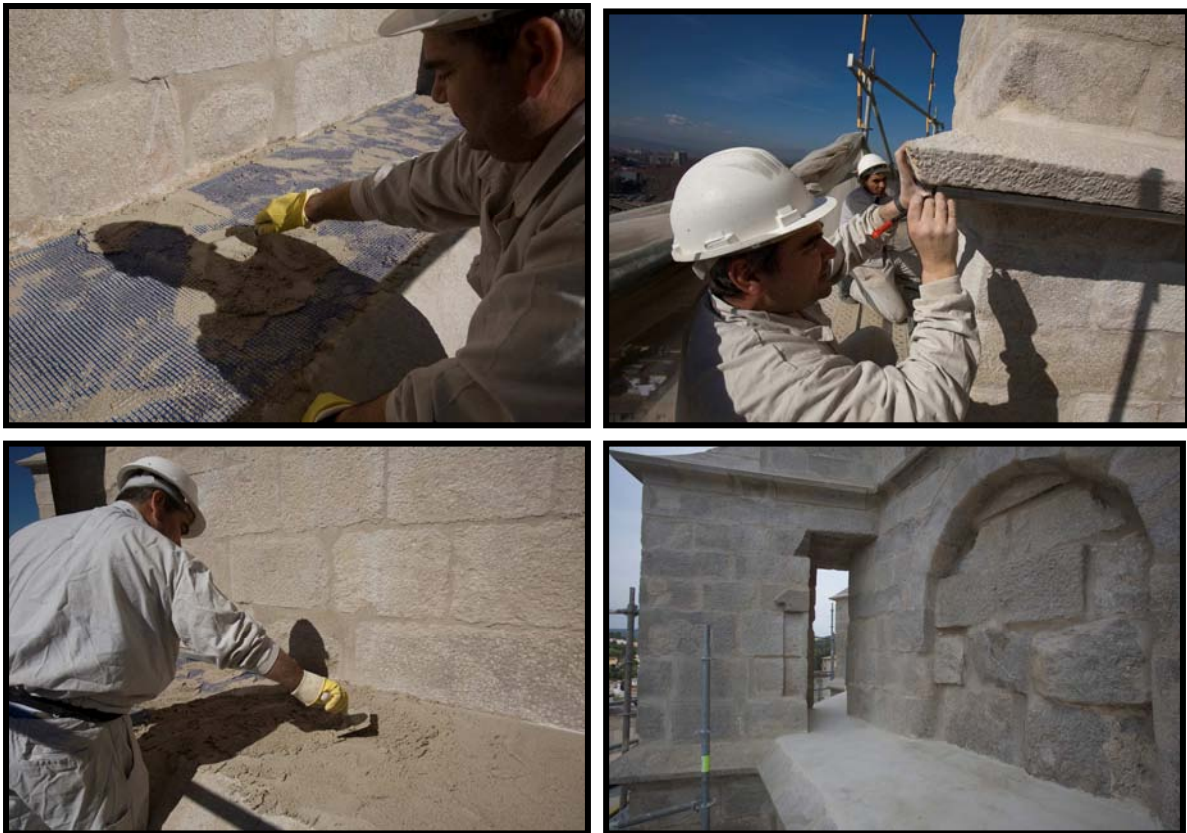


*FOTOGRAFIA N°33: ENTONACIÓ*

La hidrofugació té com a propòsit atenuar o alentar l'acció dels agents medioambientals, obstaculitzar la penetració de l'aigua i els productes contaminants dissolts, així com evitar el dipòsit de partícules de contaminació en la superfície de la pedra.

L'anterior intervenció en el campanar de la Catedral de Girona, va permetre tenir coneixement del material a utilitzar pel tractament, per això es va optar per la utilització del producte anomenat FUNCOSIL de la casa REMMERS, que és el que garanteix millor el manteniment del color original de la pedra de Girona.

La impermeabilització de les superfícies horitzontals de cornises, trencaigües, degoters i guardapols, es va realitzar mitjançant el següent mètode: primer una aplicació d'una masilla en les juntes horitzontals, per tal d'impermeabilitzar-les, el rejuntat ordinari i una formació de pendents a base de morter. Per tal de que les aigües no caiguessin sobre les ornamentacions inferiors es va procedir a la col·locació d'unes platines d'acer inoxidable fent de goteró.



FOTOGRAFIA Nº34, 35, 36 I 37: FORMACIÓ DE PENDENTS I GOTERÓ

La coberta de l'agulla es va impermeabilitzar amb la formació d'uns envanets conillers, situats seguint la direcció dels nervis de la volta cenaria interior, encadellats ceràmics i una capa de morter com a base de la coberta de planxa de plom de 2 mm de gruix. Es va incloure una base massissa per l'empotrament de l'agulla i el panell metàl·lic. D'aquesta manera es va eliminar la coberta plana que, en no tenir accés directe, no es feia manteniment i donava lloc a nombroses filtracions d'aigua i creixement de plantes.





FOTOGRAFIA N°38, 39, 40, 41, 42 I 43: COBERTA DE L'AGULLA

En la sortida de l'escala de cargol, es va reintegrar amb pedra de Girona els esglaons que faltaven, per tal de recuperar la línia arquitectònica perduda.



FOTOGRAFIA N°44: SORTIDA ESCALA DE CARGOL

També es va formar un desembarcament formant pendents amb morter de calç, col·locació de pedra massissa i impermeabilització amb planxa de plom.



FOTOGRAFIA N°45: DESEMBARCAMENT

### ALTRES TREBALLS COMPLEMENTARIS

Es van instal·lar portes en els forats de sortida a cornises amb l'objectiu d'evitar l'entrada de coloms a l'interior del campanar.

En tots el finestrals es va instal·lar un sistema d'allunyament de coloms, consistent en la col·locació de xarxes ancorades a un cable d'acer inoxidable que a la vegada està ancorat a la fàbrica, amb tensors en els seus extrems, de manera que no es veu des de l'exterior.



FOTOGRAFIA N°46: XARXA ANTI-COLOMS



Així mateix es va dotar d'un parallamps que tingues un radi més ample que l'anterior, ja que apart de que era molt aparatòs, malmetia la cornisa de remat del campanar. També es va canviar el cablejat, que discorre per la façana.



FOTOGRAFIA Nº47: PARALLAMPS SOBRE VELETA RESTAURADA



## 7. CONCLUSIÓ

El present projecte ha estat dividit en tres fases: una part teòrica, una segona pràctica i una final de recerca.

L'objectiu de la part teòrica, ha estat la d'aconseguir i recollir tota la informació necessària per poder tenir una base conceptual amb la que conèixer la naturalesa i característiques dels materials, la pedra de Girona i el morter de calç, per tal d'intentar comprendre com funcionen i reaccionen.

La part pràctica ha estat l'experiència personal del qui subscriu de poder participar directament en la restauració del campanar de Sant Feliu, el que m'ha ajudat, o més ben dit, ensenyat a conèixer i aprendre els diferents sistemes d'intervenció sobre pedra i morter, poden viure "in situ" el desenvolupament d'una obra com aquesta.

En la part de recerca del projecte, s'ha portat a terme un seguiment exhaustiu del desenvolupament de les obres de restauració, sumant-li els assaigs realitzats sobre els dos materials, que han servit per valorar la seva naturalesa respectiva, les seves formes de comportament, així com les seves interrelacions.

L'objectiu bàsic d'aquest projecte ha estat analitzar l'evolució tant de la pedra de Girona com la del morter de calç del campanar de Sant Feliu, per tal verificar les diferències entre els diferents cossos del campanar i veure com han reaccionat al llarg dels segles davant de les diverses incidències.

Per tant, en aquest treball s'ha intentat explicar la història del campanar, els materials que el formen, les evolucions dels seus comportaments i finalment, les solucions adoptades a l'hora de restaurar un monument d'aquestes característiques.

## LA PEDRA DE GIRONA

La pedra amb la que s'ha construït el campanar de l'església de Sant Feliu és una calcària fossilífera, formada principalment per minerals carbonatats. Els seus minerals presenten un grau de cristal·linitat molt alt i en la seva textura apareixen pocs espais buits (porositat oberta al voltant de l'1,5%). Ambdós caràcters la diferencien d'altres tipus de calcàries utilitzades amb una porositat molt més elevada.

Les dues varietats de calcària utilitzades a la façana, anomenades per la seva coloració "blanca" i "blava", són molt semblants pel que fa la petrografia i propietats físiques. La "blava" presenta un grau més alt de concentració d'alguns components accessoris com òxids de ferro i matèria orgànica. Ambdues varietats també mostren petites diferències de textura, segons si provenen de les pedreres històriques o de les actuals. Generalment, en les pedreres actuals la mida dels fòssils és més petita i presenten més quantitat de matriu (fase d'unió) entre els components minerals.

En general, l'estat de conservació de la pedra és bona, qualificació que s'ha pogut comprovar gràcies als assaigs realitzats. Només cal fer una ullada als monuments i edificis de la ciutat, per poder comprovar que la pedra de Girona és un bon material de construcció i que el seu comportament, estructuralment parlant, es correpte.

Tot i que també cal destacar que en els darrers anys la contaminació produïda per calefaccions i fums procedents dels vehicles ha accelerat la seva degradació, el veritable agent principal que causa l'alteració de la pedra és l'aigua. Aquesta intervé en la majoria dels processos d'alteració entre els quals podem destacar les ruptures per gel, els cicles de sals solubles i la contaminació atmosfèrica, i es manifesta a la superfície de la pedra mitjançant diferents indicadors d'alteració com crostes, eflorescències, exfoliació, concrecions, estries, alveolització, erosió, desagregació, i desplaçació entre d'altres.

Durant aquest últim any i mig, he tingut la oportunitat d'estudiar el campanar, cosa que m'ha fet obrir els ulls i veure realment quins eren els problemes més importants de la pedra de Girona, com la disjunció de plaques i/o exfoliacions, les eflorescències, el creixement de matèria vegetal i els defectes de les intervencions anteriors.

Els processos, on l'agent de transport és l'aigua, estan molt relacionats amb les característiques físiques de la pedra. Atès que a la de Girona, li costa molt absorbir l'aigua, un cop està al seu interior és molt difícil la seva eliminació, situació que comporta el possible creixement de matèria vegetal, la creació de sals solubles i l'exfoliació produïda pels cicles glaç - desglaç. A més, les intervencions anteriors defectuoses, sobretot a l'agulla del campanar, augmentaren aquests processos de deteriorament i provocaren fractures i pèrdues de material importants.

La degradació de la pedra no és igual a tots els punts del campanar, ja que l'orientació de les façanes és un factor molt important a tenir en compte. Les més afectades són les orientades a nord, ja que són les menys assolellades i les que reben directament la forta tramuntana. Això provoca, que de manera natural, sigui molt difícil l'eliminació de l'aigua acumulada a l'interior de la pedra, ja que reben molt poca radiació solar i el fred vent.

Un altre aspecte a ressaltar és que les intervencions anteriors van ser reparacions puntuals per tal d'arreglar algun desperfecte, però no van tenir en compte les conseqüències que comportarien. Algunes d'elles van ser, l'ancoratge d'elements de ferro a la pedra o els morters de reparació utilitzats, i aquests van provocar patologies importants al campanar.

Amb els resultats dels assaigs realitzats, tant en macrofotografia com en microscopi electrònic de rastreig, de tres mostres de pedra de zones del campanar ben diferenciades, al comparar-les s'ha pogut veure l'evolució de la pedra.

Un cas clar s'observa amb grandària del nummulit, mentre que al basament del campanar són de diàmetres ben grans, que oscil·len entre 0'5 cm i 1 cm, a mesura que es va pujant, cada cop disminueixen en la seva mida i per tant hi ha menys matriu d'unió entre aquests. Tot i que la part resistent són els nummulits i és per la matriu per on tendeix a fissurar-se, quan més petit és el nummulit més elevada és la resistència a ser fissurada pel nucli.

## EL MORTER DE CALÇ

La calç és el conglomerant aeri obtingut per calcinació de materials calcaris i posterior apagat dels òxids formats amb aigua. Està composta principalment per hidròxid o òxid de calci ( $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{CaO}$ ), amb quantitats menors de magnesi ( $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{MgO}$ ), silici ( $\text{SiO}_2$ ), alumini ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) i ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En general, la calç s'utilitza com cohesiu, per millorar la plasticitat del morter i aclarir el seu color.

En el nostre cas es tracta de calçs aèries hidratades (apagades), que endureixen únicament amb l'aire. Aquesta calç, amassada amb aigua i exposada a l'acció de l'aire, primer fragua per cristal·lització del hidròxid càlcic i després endureix al carbonatar-se els cristalls per acció del  $\text{CO}_2$  atmosfèric. El procés és lent i el producte resultant es de fort per la seva cohesió, òptim per treballs a compressió, però poc resistent a l'acció de l'aigua.

Des del punt de vista del qui subscriu, l'estat de conservació d'aquests morters en una visió global seria poc acceptable. Com es va poder observar a l'inici de les obres, als punts més característics del campanar com ara cornises, pinacles, arcs dels finestrals i voltes, els morters de junta s'havien deteriorat molt o inclòs havien desaparegut per efecte del rentat de la pluja o de les gelades.

Com que les mostres assajades provenen de zones diferents del campanar, les característiques d'aquests varien. Els resultats obtinguts ens mostren que el morter extret al basament del campanar té un nivell de contracció molt alt, fet que indicia que la retracció de la pasta va ser ràpida per falta d'aigua o que a l'hora de la col·locació feia molta calor, provocant així algunes fissures, però molt petites i limitades.

En canvi, la mostra extreta de l'agulla, la textura i la granulometria era homogènia i fina, i per tant més ben hidratada i de més qualitat. El color marró que presenta la mostra és degut als àrids i a la pasta utilitzada. Hi ha poca porositat i aquesta és deguda a la quantitat d'aigua que va quedar dins, encara que es considera que la relació d'aigua que hi van posar va ser l'adequada i també la seva relació entre la resta de components.

És possible que s'utilitzés el morter mixt de calç i ciment, provinent de la restauració de finals del segle XX, ja que en mostres extretes de l'interior de la paret del paredat del segon cos es va trobar indicis de ciment. L'origen d'aquest morter va ser l'addició de ciment al morter de calç per augmentar la seva resistència i velocitat de fraguat. La baixa resistència de la calç i la seva alta porositat es milloren amb les qualitats del ciment.

El criteri de valoració dels morters del autor del present projecte , un cop filtrada tota la informació, tant teòrica com pràctica, és que el morter de calç utilitzat en la construcció del campanar, era més bo que el que disposem actualment, suposant que antigament es tenien unes materials de més bona qualitat i unes tècniques de tractament de la calç millors que avui en dia, ja que encara avui es mantenen en un bon estat. Per tant la seva opinió és que encara podem aprendre de les tècniques tradicionals d'elaboració del morter.

## 8. BIBLIOGRAFIA:

### Recull bibliogràfic:

CHAMORRO TRENADO, Miquel Àngel i LLORENÇ MONTELLS, Francesc. *Els campanars gòtics a les comarques gironines*. Diputació de Girona, Col·legi Oficial d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Girona i Universitat de Girona. Girona, 1993.

CLARA i RESPLANDIS, Josep. "La construcció del campanar de Sant Feliu durant els segle XVI". *Revista de Girona*, núm.104. Girona, 1983.

CLARA, J. i MARQUÈS, J.M. *Sant Feliu de Girona*. Col·lecció Sant Feliu. Edita Parròquia de Sant Feliu. Girona, 1992.

MARQUÈS I CASANOVAS, Jaume. "El campanario de San Félix". *Revista de Girona*, núm. 34. Girona, 1968.

ORÚS ASSI, Felix. *Materiales de la construcción*. Editorial dossat, s.a.

CHAMORRO TRENADO, Miquel Àngel. *La construcció de l'església de Sant Feliu de Girona al segle XIV. Els llibres d'obra*. Tesis doctoral de la Universitat de Girona

VERGÉS ROIG, Sonia. *Ànlisi de la pedra de Girona, i comparació amb la pedra de Sant Vicenç*. PFC Universitat de Girona, Juny 1998.

ANNALS

#### 9.4. NORMALITZACIÓ DE MORTERS

Els morters s'utilitzen en l'edificació en una gran varietat d'aplicacions, requerint cada una d'elles uns nivells de comportament que s'han d'especificar.

Unes aplicacions són tradicionals i altres no ho són, donant lloc a les tres classes de paletaeria fonamentals, conegudes com:

- ✓ paletaeria vista
- ✓ paletaeria comú, tant en interiors com en exteriors
- ✓ paletaeria estructural

Ara bé, sigui quina sigui l'aplicació dels morters, aquests no han d'experimentar cap segregació i han de tenir bon estat en fresc o bé en estat endurit, entre altres, les següents propietats:

- a. Un treball determinat, és a dir, una facilitat de posta en obra per cada cas particular. Ja que els morters han de ser suficientment treballables durant un cert període de temps, sense necessitat d'afegir aigua.
- b. Una capacitat de retenció d'aigua donada.
- c. Una adherència òptima al suport i resistència a la fissuració.
- d. Una retracció mínima i, a vegades, controlada; així com una absorció d'aigua especificada per cada cas.
- e. Unes resistències mecàniques apropiades.
- f. Una estabilitat adequada capaç de resistir les condicions del medi a on es trobin, de tal manera que mantinguin la seva integritat estructural, la seva aparença externa i que la seva duració perduri tenint en compte les condicions de manteniment.

Per tot això, el Comitè Europeu de Normalització (CEN) va crear el 1988 el Comitè Tècnic 125 (Paletaeria) amb la finalitat de:

- a. definir els morters, les seves components i tot el que estigui relacionat amb ells,
- b. especificar les característiques que han de complir,



- c. normalitzar els mètodes d'assaig, o procediments operatoris, per determinar les característiques.

A finals de 1988 i a proposta d'un grup de fabricants espanyols de morters, es va crear el seno del Comitè Tècnic de Normalització núm. 83 "Formigó" (CTN-83) de l'AENOR el Subcomitè núm. 8 "Morters" (SC-8) per estudiar i seguir els treballs del CEN/TC 125 i, fonamentalment, dels Grups de Treball WG 2 (Morters) i WG-4 (Mètodes d'assaig).

## **NORMATIVA EUROPEA**

Dins dels documents preparats pel CEN/TC 125 s'ha d'assenyalar per la seva importància, els següents projectes de Normes Europees (prEN), que s'han inclòs a la taula 1:

\* prEN 998-1 *"Specification for mortar for masonry - Part 1:*

*Rendering and plastering mortar";*

\* prEN 998-2 *"Specification for mortar for masonry - Part 2:*

*Masonry mortar".*

Aquests prENs, que es van sotmetre a una enquesta l'any 1993, a vot formal al mes de maig de l'any 2000 i a enquesta el mes d'agost del mateix any, els prENs harmonitzats, s'han preparat pel Grup de Treball 2 (WG 2 "Morar"), tenint en compte les propostes realitzades pels Grups d'Experts 2 (Task Group 2 "Rendering and Plastering Mortar"), el primer, i 1 (Task Group 1 "Masonry mortar"), el segon, amb objecte de respondre als Requisits Essencials fixats per la Directiva de Productes de la Construcció (89/106), que inclou els requisits de prestacions del Eurocódigo para Estructuras de Fábrica.

Els projectes de normes europees mencionats tenen per objecte especificar els requisits essencials i propietats dels morters per a paletaeria i per a revocs/estucs tant en estat fresc com endurit utilitzats en la construcció, a la vegada que estableixen les corresponents definicions i fixen les característiques que han de complir els diversos components.

De la mateixa manera, tenint en compte les propostes realitzades pel grup d'experts 3 (Task Group 3 "Mortar")

| EN                                                                                  | Part    | Títol                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1015-1                                                                              | Part 1  | Determination of particle size distribution (by sieve analysis)                                                                                                         |
| 1015-2                                                                              | Part 2  | Sampling of mortars and preparation of test mortars                                                                                                                     |
| 1015-3                                                                              | Part 3  | Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)                                                                                                            |
| 1015-4                                                                              | Part 4  | Determination of consistence of fresh mortar (by plunger penetration)                                                                                                   |
| 1015-6                                                                              | Part 6  | Determination of bulk density of fresh mortar                                                                                                                           |
| 1015-7                                                                              | Part 7  | Determination of air content of fresh mortar                                                                                                                            |
| 1015-9                                                                              | Part 9  | Determination of workable life and correction time of fresh mortar                                                                                                      |
| 1015-10                                                                             | Part 10 | Determination of dry bulk density of hardened mortar                                                                                                                    |
| 1015-11                                                                             | Part 11 | Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar                                                                                                   |
| 1015-12                                                                             | Part 12 | Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortar on substrates                                                                            |
| 1015-17                                                                             | Part 17 | Determination of soluble chloride content of fresh and hardened mortars                                                                                                 |
| 1015-19                                                                             | Part 19 | Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars                                                                                 |
| prEN                                                                                | Part    | Títol                                                                                                                                                                   |
| 1015-8                                                                              | Part 8  | Determination of water retentivity of fresh mortar                                                                                                                      |
| 1015-13                                                                             | Part 13 | Determination of dimensional stability of hardened mortars                                                                                                              |
| 1015-14                                                                             | Part 14 | Determination of durability of hardened masonry mortars (with cement comprising greater than 50% of the total binder mass)                                              |
| 1015-18                                                                             | Part 18 | Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened rendering mortar                                                                      |
| 1015-21                                                                             | Part 21 | Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with backgrounds through the assessment of adhesive strength and water permeability after conditioning |
| Els prEN 1015-8, prEN 1015-14, prEN 1015-18 i prEN 1015-21 s'han sotmès a enquesta. |         |                                                                                                                                                                         |
| Els prEN 998-1 i prEN 998-2 armonitzats s'han sotmès a enquesta                     |         |                                                                                                                                                                         |

Per altra part, el Subcomitè 1 (SC 1) "Aggregates for mortar" del CEN/TC 154 "Aggregates" ha preparat el "Draft Harmonized Standard for Formal Vote" prEN 13399: 2001, titulat "Aggregates for mortar", en el que es recullen les definicions, especificacions de tipus físic i químic, avaluació de la conformitat, mètodes d'assaig que s'han d'utilitzar,

així com la designació, marcat i subministre dels àrids naturals, artificials i reciclats per la seva utilització en la fabricació de morters.

| <b>B.- Morters. Mètodes d'assaig</b> |                                                                                                                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Generals                             |                                                                                                                                 |
| 83-805 (**)                          | Determinació de la distribució del tamany de partícules (anàlisi per tamís)                                                     |
| 83-810 (**)                          | Presa de mostres de morters. Procediment normalitzat per presa de mostres de morter i per a la preparació de la mostra d'assaig |
| Morters frescs                       |                                                                                                                                 |
| 83-811 (**)                          | Determinació de la consistència. Taula de sacsejades (Mètode de referència)                                                     |
| 83-812 (**)                          | Determinació de la consistència. Assaig amb sondeig de penetració (Mètode alternatiu)                                           |
| 83-814 (**)                          | Determinació de la densitat aparent                                                                                             |
| 83-815 (**)                          | Determinació del contingut d'aire                                                                                               |
| 83-816-93                            | Determinació de la capacitat de retenció d'aigua                                                                                |
| 83-817 (*)                           | Determinació del temps d'utilització                                                                                            |
| Morters endurits                     |                                                                                                                                 |
| 83-820 (**)                          | Determinació de la densitat aparent                                                                                             |
| 83-821 (**)                          | Determinació de les resistències a flexió i a compressió                                                                        |
| 83-822-95                            | Determinació de l'adherència dels morters de revoc i estuc                                                                      |
| 83-823 (*)                           | Determinació de l'estabilitat dimensional. Retracció i expansió                                                                 |
| 83-829 (**)                          | Determinació de la permeabilitat al vapor d'aigua dels morters de revoc i estuc                                                 |
| Morters frescs y endurits            |                                                                                                                                 |
| 83-827 (**)                          | Determinació del contingut de clorurs solubles                                                                                  |

## NORMATIVA ESPANYOLA

A la vista del contingut dels documents preparats pel CEN/TC 125 mencionats anteriorment, que s'inclouen a la taula 1, i tenint en compte la seva importància per la indústria espanyola de morters, així com pels diferents laboratoris d'assaig, es va decidir pel CTN 83 "Formigó" de l'AENOR, a proposta del SC 8 "Morters" del CTN 83, preparar diverses normes espanyoles (experimentals) (UNE) per incidir directament en els procediments operatoris per determinar les característiques especificades dels morters.

|         |                |                                                                                                             |
|---------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1015-6  | <i>Part 6</i>  | Determinació de la densitat aparent del morter fresc                                                        |
| 1015-7  | <i>Part 7</i>  | Determinació del contingut en aire en el morter fresc                                                       |
| 1015-9  | <i>Part 9</i>  | Determinació del període de treballabilitat i del temps obert del morter fresc                              |
| 1015-10 | <i>Part 10</i> | Determinació de la densitat aparent en sec del morter endurit                                               |
| 1015-11 | <i>Part 11</i> | Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit                                   |
| 1015-12 | <i>Part 12</i> | Determinació de la resistència a l'adhesió dels morters per a revoc i estuc endurits aplicats sobre suports |
| 1015-17 | <i>Part 17</i> | Determinació del contingut en clorurs solubles en aigua dels morters frescs                                 |
| 1015-19 | <i>Part 19</i> | Determinació de la permeabilitat al vapor d'aigua dels morters endurits de revoc i estuc                    |

Així mateix, es va preparar, per la seva importància, la Norma UNE 83-200 experimental en la que s'inclouen les definicions, característiques i mètodes d'assaig que s'han d'aplicar; el contingut d'aquesta Norma, coincideix en gran part amb els diversos prEN 998-2 mencionats anteriorment.

El SC-1 "Àrids per a morters" / CTN 146 "Àrids" de l'AENOR, tenint en compte el document N-105 E (1995-03-23) del CEN/TC 154/SC 1 "Aggregates for mortars", ha preparat la Norma Espanyola UNE 146110 (desembre 1996), l'objectiu de la qual és definir els àrids utilitzats en la fabricació de morters, així com especificar els requisits físics i químics que han de complir i els mètodes d'assaig que s'han d'aplicar.

### **9.3. NORMES UNE DE PEDRA NATURAL PER A LA CONSTRUCCIÓ**

#### **CLASSIFICACIÓ DE LES NORMES UNE CONTINGUDES A LA PUBLICACIÓ**

##### **1. CLASSIFICACIÓ SEGONS TIPUS DE NORMA**

###### **Denominació i terminologia**

- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12670:2003 Pedra natural. Terminología

###### **Especificacions de producte**

- UNE-EN 771-6:2006 Especificació de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 6: Peces de pedra natural.
- UNE-EN 998-1:2003 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 1: Morters per a revocs i arrebossats
- UNE-EN 998-1:2003/AC:2006 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 2: Morters per a paletaeria
- UNE-EN 1341: 2002 Rajols de pedra natural per ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1341: 2003 ERRATUM Rajols de pedra natural per ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1342:2003 Adoquins de pedra natural per ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1342:2003 ERRATUM Adoquins de pedra natural per ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravia de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravia de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig
- UNE-EN 1467:2004 Pedra natural. Blocs en brut. Requisits.
- UNE-EN 1468:2004 Pedra natural. Tablers en brut. Requisits.
- UNE-EN 1469:2005 Pedra natural. Plaques per a revestiments murals. Requisits.

- UNE-EN 10083-2:1997 Acers per tremp y revenido. Part 2. Condicions tècniques de subministre d'acers de qualitat no aleados.
- UNE-EN 12057:2005 Productes de pedra natural. Plaquetes. Requisits.
- UNE-EN 12058:2005 Productes de pedra natural. Rajols per paviments i escales. Requisits.
- UNE-EN 12326-1:2005 Productes de pissarra i pedra natural per teulats i revestiments discontinus. Part 1: Especificació de producte.

### **Procediments de mostreig**

- UNE 66020-1:2001 Procediments de mostreig per la inspecció per atributs. Part 1. Plans de mostreig per les inspeccions lot per lot, tabulades segons el nivell de qualitat acceptable (NCA).
- UNE 66020-1:2002 ERRATUM Procediments de mostreig per la inspecció per atributs. Part 1. Plans de mostreig per les inspeccions lot per lot, tabulats segons el nivell de qualitat acceptable (NCA).

### **Métodos de ensayo**

- UNE-EN 196-2:2006 Mètodes d'assaig per ciments. Part 2: Anàlisi químic de ciments.
- UNE-EN 772-1:2002 Mètodes d'assaig de peces de fàbrica de paletaeria. Part 1: Determinació de la resistència a compressió.
- UNE-EN 772-4:1999 Mètodes d'assaig de peces per fàbrica de paletaeria. Part 4: Determinació de la densitat real i aparent de la porositat oberta i total de peces de pedra natural per fàbrica de paletaeria.
- UNE-EN 772-11:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 11: Determinació de l'absorció d'aigua per capilaritat de peces per a fàbrica de paletaeria, en formigó, pedra natural i artificial, i de la taxa d'absorció d'aigua inicial de les peces d'argila cuita per a fàbrica de paletaeria.
- UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 11: Determinació de l'absorció d'aigua per capilaritat de peces per a fàbrica de paletaeria, en formigó, pedra natural i artificial, i de la taxa d'absorció d'aigua inicial de les peces d'argila cuita per a fàbrica de paletaeria.

- UNE-EN 772-16:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-20:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 20: Determinació de la planeïtat de les cares de les peces per a fàbrica de paletaeria de formigó, pedra artificial i natural.
- UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 20: Determinació de la planeïtat de les cares de les peces per a fàbrica de paletaeria de formigó, pedra artificial i natural.
- UNE-EN 1052-2:2000 Mètodes d'assaig per a fàbriques de paletaeria. Part 2: Determinació de la resistència a flexió.
- UNE-EN 1052-3:2003 Mètodes d'assaig per a fàbriques de paletaeria. Part 3: Determinació de la resistència inicial a tallant.
- UNE-EN 1341: 2002 Rajols de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1341: 2003 ERRATUM Rajols de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1342:2003 Adoquins de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1342:2003 ERRATUM Adoquins de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravies de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravies de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1745:2002 Fàbrica de paletaeria i components per a fàbrica. Mètodes per a determinar valors tèrmics de projecte.
- UNE-EN 1925:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capilaritat.



- UNE-EN 1926:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a compressió.
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-EN 12326-2:2000 Productes de pissarra i pedra natural per a teulats i revestiments discontinus. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12326-2/A1:2004 Productes de pissarra i pedra natural per a teulats i revestiments discontinus. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12326-2:2000
- ERRATUM:2005 Productes de pissarra i pedra natural per a teulats i revestiments discontinus. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12370:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la cristallització de les sals.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12407:2001 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Estudi petrogràfic.
- UNE-EN ISO 12572:2002 Prestacions higrotèrmiques dels productes i materials per a edificis. Determinació de les propietats de transmissió de vapor d'aigua. (ISO12572:2001).
- UNE-ENV 12633:2003 Mètode per a la determinació del valor de la resistència al deslligament/lliscament dels paviments polits o no polits.
- UNE-EN 13161:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13161/AC:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13364:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la càrrega de trencament per ancoratges.
- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques de les unitats.

- UNE-EN 13755:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 13755:2002/AC:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 13919:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per l'acció de SO<sub>2</sub> en presència d'humitat.
- UNE-EN 14066:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per xoc tèrmic.
- UNE-EN 14146:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del mòdul d'elasticitat dinàmic (amb la mesura de la freqüència de ressonància fonamental).
- UNE-EN 14147:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per boira salina.
- UNE-EN 14157:2005 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'abrasió.
- UNE-EN 14158:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'energia de ruptura.
- UNE-EN 14205:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la duresa Knoop.
- UNE-EN 14231:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència al deslliçament mitjançant el pèndol de fricció.
- UNE-EN 14579:2005 Mètodes d'assaig per a pedra natural: Determinació de la velocitat de propagació del so.
- UNE-EN 14580:2006 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del mòdul d'elasticitat estàtic.
- UNE-EN 14581:2006 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del coeficient lineal de dil·latació tèrmica.

### **Projecte**

- UNE-EN 1745:2002 Fàbrica de paleta i components per a fàbrica. Mètodes per determinar valors tèrmics de projecte.
- UNE-ENV 1996-2:2000 Eurocòdic 6: Projecte d'estructures de fàbrica. Part 2: Projecte, selecció de materials i execució de fàbriques.

- UNE-EN 12524:2000 Materials i productes per a l'edificació. Propietats higrotèrmiques. Valors de disseny tabulats.
- UNE-EN 13501-1:2002 Classificació en funció del comportament davant al foc dels productes de construcció i elements per a l'edificació. Part 1: Classificació a partir de dades obtingudes a assaigs de reacció al foc.

### **Sistemes de col·locació**

- UNE 22190-3:1998 EX Productes de pissarra per a teulats inclinats i revestiments. Part 3: Sistemes de col·locació.
- UNE 41957-1:2000 Ancoratges per a revestiments de façanes d'edificis. Part 1: Subsistemes per a revestiments lleugers.

## **2. CLASSIFICACIÓ SEGONS LA UTILITZACIÓ DEL PRODUCTE**

### **Productes intermedis i semielaborats en brut**

- UNE-EN 1467:2004 Pedra natural. Blocs en brut. Requisits.
- UNE-EN 1468:2004 Pedra natural. Taulers en brut. Requisits
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12407:2001 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Estudi petrogràfic.
- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12670:2003 Pedra natural. Terminologia.
- UNE-EN 13161:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió a moment constant.
- UNE-EN 13161/AC:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.

- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques.

#### **Elements per a fàbrica de paletaeria.**

- UNE-EN 771-6:2006 Especificació de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 6: Peces de pedra natural.
- UNE-EN 772-1:2002 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 1: Determinació de la resistència a compressió.
- UNE-EN 772-4:1999 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 4: Determinació de la densitat real i aparent de la porositat oberta i total de les peces de pedra natural per a fàbrica de paletaeria.
- UNE-EN 772-11:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 11: Determinació de l'absorció d'aigua per capilaritat de peces de fàbrica de paletaeria, en formigó, pedra natural i artificial i, de la taxa d'absorció d'aigua inicial de les peces d'argila cuita per a fàbrica de paletaeria.
- UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 11: Determinació de l'absorció d'aigua per capilaritat de peces de fàbrica de paletaeria, en formigó, pedra natural i artificial, i de la taxa d'absorció d'aigua inicial de les peces d'argila cuita per a fàbrica de paletaeria.
- UNE-EN 772-16:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 16: Determinació de les dimensions.
- UNE-EN 772-20:2001 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 20: Determinació de la planeïtat de les cares de les peces per a la fàbrica de paletaeria de formigó, pedra artificial i natural.
- UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 20: Determinació de la planeïtat de les cares de les peces per a fàbrica de paletaeria de formigó, pedra artificial i natural.
- UNE-EN 998-2:2004 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 2: Morters per a paletaeria.

- UNE-EN 1052-2:2000 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 2: Determinació de la resistència a la flexió.
- UNE-EN 1052-3:2003 Mètodes d'assaig de peces per a fàbrica de paletaeria. Part 3. Determinació de la resistència inicial a tallant.
- UNE-EN 1745:2002 Fàbrica de paletaeria i components per a fàbrica. Mètodes per a determinar els valors tèrmics de projecte.
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-ENV 1996-2:2000 Eurocodi 6: Projecte d'estructures de fàbrica. Part 2: Projecte, selecció de materials i execució de fàbriques.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12407:2001 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Estudi petrogràfic.
- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12524:2000 Materials i productes per a l'edificació. Propietats higrotèrmiques. Valors de disseny tabulats.
- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques.
- UNE-EN 13501-1:2002 Classificació en funció del comportament davant el foc dels productes de construcció i elements per a l'edificació. Part 1: Classificació a partir de dades obtingudes en assaigs de reacció al foc.
- UNE-EN ISO 12572:2002 Prestacions higrotèrmiques dels productes i materials per edificis. Determinació de les propietats de transmissió de vapor d'aigua.

### **Paviments exteriors**

- UNE-EN 1341: 2002 Rajols de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1341: 2004 Rajols de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.

- UNE-EN 1342:2003 Adoquins de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1342:2003 Adoquines de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravies de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 1343:2003 Voravies de pedra natural per a ús com a paviment exterior. Requisits i mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12407:2001 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Estudi petrogràfic
- UNE-EN 10083-2:1997 Acers per a tremp i revenido. Part 2:Condicions tècniques de subministre d'acers de qualitat no aleats.
- UNE-EN 13755:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 13755:2002/AC:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 12407:2001 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Estudi petrogràfic

#### **Paviments interiors**

- UNE-EN 12058:2005 Productes de pedra natural. Baldosas per a paviments i escales. Requisits
- UNE-EN 1925:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capilaritat.
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.

- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12524:2000 Materials i productes per a l'edificació. Propietats higrotèrmiques. Valors de disseny tabulats.
- UNE-EN 12670:2003 Pedra natural. Terminologia.
- UNE-EN 13161:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13161/AC:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques de les unitats.
- UNE-EN 13501-1:2002 Classificació en funció del comportament davant el foc dels productes de construcció i elements per a l'edificació. Part 1: Classificació a partir de dades obtingudes en assaigs de reacció al foc.
- UNE-EN 13755:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 13755:2002/AC:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 14066: Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per xoc tèrmic.
- UNE-EN 14157:2005 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'abrasió.
- UNE-EN 14231:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència al deslliçament mitjançant el pèndol de fricció.
- UNE-EN ISO 12572:2002 Prestacions higrotèrmiques dels productes i materials per als edificis. Determinació de les propietats de transmissió de vapor d'aigua.

**Plaquetes fines per a revestiments de paviments, escales i l'acabat de bovedes.**

- UNE-EN 12057:2005 Productes de pedra natural. Plaquetes. Requisits.

- UNE-EN 1925:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capilaritat.
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12524:2000 Materials i productes per a l'edificació. Propietats higrotèrmiques. Valors de disseny tabulats.
- UNE-EN 12670:2003 Pedra natural. Terminologia.
- UNE-EN 13161:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13161/AC:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques de les unitats.
- UNE-EN 13501-1:2002 Classificació en funció del comportament davant el foc dels productes de construcció i elements per a l'edificació. Part 1: Classificació a partir de dades obtingudes en assaigs de reacció al foc.
- UNE-EN 13755:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 13755:2002/AC:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 14066:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per xoc tèrmic.
- UNE-EN 14157:2005 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'abrasió.
- UNE-EN 14231:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència al deslliçament mitjançant el pèndol de fricció.



- UNE-EN ISO 12572:2002 Prestacions higrotèrmiques dels productes i materials per als edificis. Determinació de les propietats de transmissió de vapor d'aigua

### **Revestiment de parets i façanes**

- UNE-EN 1469:2005 Pedra natural. Plaques per a revestiments murals. Requisits.
- UNE-EN 1925:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capilaritat.
- UNE-EN 1936:2007 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la densitat real i aparent i de la porositat oberta i total.
- UNE-EN 12371:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a la geladicitat.
- UNE-EN 12372:1999 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12372/AC:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió sota càrrega concentrada.
- UNE-EN 12440:2001 Pedra natural. Denominació de la pedra natural.
- UNE-EN 12524:2000 Materials i productes per a l'edificació. Propietats higrotèrmiques. Valors de disseny tabulats.
- UNE-EN 12670:2003 Pedra natural. Terminologia.
- UNE-EN 13161:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13161/AC:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a flexió a moment constant.
- UNE-EN 13364:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la càrrega de ruptura per anclatges.
- UNE-EN 13373:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de les característiques geomètriques de les unitats.
- UNE-EN 13501-1:2002 Classificació en funció del comportament davant el foc dels productes de construcció i elements per a l'edificació. Part 1: Classificació a partir de dades obtingudes en assaigs de reacció al foc.
- UNE-EN 13755:2002 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.

- UNE-EN 13755:2002/AC:2004 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- UNE-EN 14066:2003 Mètodes d'assaig per a pedra natural. Determinació de la resistència a l'envelliment per xoc tèrmic.
- UNE-EN ISO 12572:2002 Prestacions higrotèrmiques dels productes i materials per als edificis. Determinació de les propietats de transmissió de vapor d'aigua
- UNE 41957-1:2000 Ancoratges per a revestiments de façanes d'edificis. Part 1: Sistemes per a revestiments lleugers.

### **Teulades i revestiments discontinus**

- UNE-EN 12326-1:2005 Productes de pissarra i pedra natural per a teulades i revestiments discontinus. Part 1: Especificació de producte.
- UNE-EN 196-2:2006 Mètodes d'assaig per a ciments. Part 2: Anàlisi químic del ciment.
- UNE-EN 12326-2:2000 Productes de pissarra i pedra natural per a teulades i revestiments discontinus. Part 1: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12326-2/A1:2004 Productes de pissarra i pedra natural per a teulades i revestiments discontinus. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE-EN 12326-2:2000
- ERRATUM:2005 Productes de pissarra i pedra natural per a teulades i revestiments discontinus. Part 2: Mètodes d'assaig.
- UNE 22190-3:1998 EX Productes de pissarra per a teulades inclinades i revestiments. Part 3: Sistemes de col·locació.
- UNE 66020-1:2001 Procediments de mostreig per a la inspecció per atributs. Part 1: Plans de mostreig per a les inspeccions lot per lot, tabulats segons el nivell de qualitat acceptable (NCA).
- UNE 66020-1:2002 Procediments de mostreig per a la inspecció per atributs. Part 1: Plans de mostreig per a les inspeccions lot per lot, tabulats segons el nivell de qualitat acceptable (NCA).

### **Productes auxiliars**

- UNE-EN 196-2:2006 Mètodes d'assaig per a ciments. Part 2: Anàlisis químics de ciments.

- UNE-EN 998-1:2003 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 1: Morters per a revocs i arrebossats.
- UNE-EN 998-1:2003/AC:2006 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 1: Morters per a revocs i arrebossats.
- UNE-EN 998-2:2004 Especificacions dels morters per a paletaeria. Part 2: Morters per a paletaeria.
- UNE-EN 10083-2:1997 Acers per a temple y revenido. Part 2. Condicions tècniques de subministre d'acers de qualitat no aleados.

## **9.5. PLEC DE CONDICIONS PARTICULARS**

### **CAPÍTOL I .EXECUCIÓ DE LES OBRES**

#### **1.1 Neteja de dipòsits superficials**

Eliminació de dipòsits acumulats mitjançant brotxa, bisturí i aspiradors. L'objectiu d'aquest tractament és possibilitar i facilitar els posteriors sistemes de neteja projectats, fins i tot la preconsolidació parcial, en el seu cas. Mesura: m<sup>2</sup> sobre projecció en pla vertical.

#### **1.2 Retirada d'elements metàl·lics**

És necessària l'eliminació dels elements metàl·lics existents, així com claus i altres a detectar. Mesura: Ut.

#### **1.3 Eliminació de morters. Zona talla artística**

L'eliminació de morters serà selectiva. Es conservaran els morters originals (calç i sorra) que estiguin ben conservats, eliminant tots els de ciment existents, així com els disgregats. Aquesta partida inclou la supressió d'elements estranys a la fàbrica original. S'eliminarà el morter de ciment en juntes, així com els que es decideixin fins a una profunditat com a mínim del doble d'ample de les mateixes.

Eliminant els morters i materials afegits en les zones impròpies, es realitzarà una neteja amb torn micromotor i broques de carborundo fi. Mesura: m<sup>2</sup> sobre projecció en pla vertical en la zona a actuar.

#### **1.4 Eliminació de morters. Paraments llisos**

L'eliminació de morters serà selectiva. Es conservaran els morters originals (calç i sorra) que es trobin en bon estat de conservació, eliminant tots els de ciment existents així com els disgregats. En aquesta partida s'inclou la supressió d'elements i altres materials estranys a la fàbrica original.

Forma de medició: m<sup>2</sup> sobre projecció en pla vertical de la zona en què s'actua.

### **1.5 Neteja mecànica mòdul microsorregjat.**

Aquest sistema s'utilitzarà en paraments plans, sense talla artística de conformitat amb lo assenyalat en els plànols. Es farà sota la direcció directa del tècnic diplomad especialista en restauració i amb personal d'experiència acreditada. S'utilitzarà un microabrasímetre, realitzant-se proves variant la pressió, diàmetre dels tubs i material de sorregjat. Així mateix es realitzaran proves amb sistemes de remolí per rotació. Aquest mètode permet un control de neteja respectant pàtina i superfície original. Els excessos de material de sortida es recolliran mitjançant aspiració. Es realitzaran proves per a determinar la profunditat de la neteja. D'acord amb les anàlisis i proves, la direcció facultativa podrà establir les zones en que sigui necessària una preconsolidació parcial.

Forma de medir: m<sup>2</sup> sobre projecció en pla vertical de la zona d'actuació.

### **1.6 Traueix de carreus per mitjans naturals.**

Es realitzarà segons l'assenyalat en plànols, de forma manual i previ apuntament inicial. En aquells casos en que el nucli estigui en bon estat podrà mantenir-se aquest, prèvia autorització de la direcció facultativa.

Forma de medir: m<sup>3</sup> realment executat.

### **1.7 Reposició de carreus.**

Substitució de carreus alterada per carreus de pedra de Girona amb procedència de pedrera similar a l'original. La substitució haurà de respectar el format dels carreus. Aquesta partida inclou la zona inferior de la portada amb zones tallades que hauran d'executar-se d'acord amb les ordres de la direcció facultativa. Si el nucli es troba en bon estat, podrà realitzar-se mitjançant peces tallades de dimensions mínimes de 30 cm incloent motlures i sempre que es respecti una amplada mínima de 15 cm en la part més dèbil de la peça. L'acabat serà similar al del seu entorn immediat. L'estratificació haurà de respondre a la de la pedra original. Els morters utilitzats en juntes compliran el disposat en el projecte. Es realitzaran anàlisis de la pedra actual i

de la utilitzada, dirigits a establir la caracterització petrogràfica i petrològica dels materials, així com a determinar les propietats físiques de les mostres abans i després de l'aplicació de productes consolidant i hidrofugants i de la realització de assaigs d'envelliment artificial accelerat (color, densitat, porositat, contingut d'aigua, absorció lliure d'aigua i capilaritat). Amb caràcter indicatiu, s'assenyala que les propietats físiques es mediran en els casos següents: en la roca natural, després de l'aplicació del consolidant i/o hidrofugant i després d'assaigs d'envelliment artificial accelerat.

Forma de medir: m<sup>3</sup> de sòlid capaç abans de la realització de motlures.

### **1.8 Segellat de clivelles i fissures.**

Es realitzarà per personal especialitzat sota la direcció de tècnic restaurador.

## **CAPÍTOL II. CARACTERÍSTIQUES QUE HAN DE COMPLIR ELS MATERIALS A UTILITZAR**

### **MATP25-RESINA EPOXI CICLOALIFÀTICA**

EUROSTAC CONSOLIDANT EP-2101 /ENDURIDOR K-2102

#### **1. DEFINICIÓ I CONDICIONS DE LES PARTIDES D'OBRA:**

Resina epoxídica cicloalifàtica formulada en dissolvent orgànic, polimeritzable a temperatura ambient i resistent a radiació U.V.

#### **CARACTERÍSTIQUES GENERALS:**

EUROSTAC, EP-2101 / Enduridor K-2102, és fàcilment aplicable sobre materials porosos i destacats, amb la finalitat de recuperar les característiques mecàniques. Sobre materials molt degradats la penetració pot ser també de l'ordre d' 1 centímetre. Per evitar brillantors superficials es pot netejar la superfície abans de l'enduriment amb una lleugera aplicació de dissolvent. L'estructura cicloalifàtica garanteix la resistència al grogueig. Com acabat de sacrifici és compatible amb

EUROSTAC AC-2002, a base de resina acrílica, amb aspecte opac i setinat.

#### **CARACTERÍSTIQUES DELS COMPONENTS:**

##### **EUROSTAC CONSOLIDANT EP-2101**

Naturalesa: - Resina epoxídica cicloalifàtica en solució.

Aspecte: - Líquid transparent, lleugerament velat.

Viscositat a 25 °C: -  $10 \pm 3$  m Pas.

Residu sec: -  $25^{\circ}\text{C} \pm 1 \%$

Pes específic a 20 °C: -  $0,87 \pm 0,02$  g/cm<sup>3</sup>

Punt d'inflamabilitat: - 10 °C

##### **ENDURECEDOR K-2102**

Naturalesa: - Políamina alifàtica en solució.

Aspecte: - Líquid transparent, lleugerament velat.

Viscositat a 25°C.:  $-10 \pm 3$  mPas.

Residu sec: - ca. 25%.

Pes específic a 20°C:  $- 0'87 ; \pm 0'02$  g/cm<sup>3</sup>.

Punt d'inflamabilitat: - 14°C.

RELACIÓ DE MESCLA

EP-2101-5 K-2102-1 (en pes).

EP-2101- 4'5 K-2102-1 ( en volum).

La relació de la barreja ha de ser respectada. L'error de dosificació tolerable no ha d'ésser superior a  $\pm 5$  %. La barreja dels components es verifica quan s'obté una perfecta homogeneïtat.

#### PROPIETATS I APLICACIÓ:

\* *Aplicació:* Consolidació per impregnació de material porós o degradat, (pedra, fusta, morter, ceràmica, etc).

\* *Propietats del sistema a aplicar:* baixa viscositat relativa i elevat residu sec. Lleugera hidrofília del sistema no endurit que no impedeix la penetrabilitat, encara que el material no es trobi completament sec. Possibilitat de polimerització a partir de 12°-15°C.

\* *Propietats del sistema després d'endurir:* elevades característiques mecàniques i de resistència química. Excel·lent resistència al grogueig, degut a l'exposició de radiació U.V.

## 2. CONDICIONS D'EXECUCIÓ I D'UTILITZACIÓ

El producte EUROSTAC EP-2101, es subministra predosificat en proporció exacte amb l'enduridor K-2102, essent suficient la barreja acurada dels dos components després d'abocar l'enduridor K-2102 sobre la resina EUROSTAC EP-2101. La barreja del producte obtingut no pot ser aplicada immediatament, essent necessari un període d'inducció, que varia en funció de la temperatura ambient, a fi de permetre que el grup reactiu de l'enduridor s'orienti amb el grup reactiu de la resina.

Si el període d'inducció no es respecta, poden aparèixer defectes d'enduriment en la resina aplicada. Donem a continuació el període d'inducció aconsellable per l'aplicació de la barreja EUROSTAC EP-2101/ENDURIDOR K-2102:



a 15°C de 4 hores a 16 hores

a 20°C de 2 hores a 8 hores

a 30°C de 1 hora a 4 hores

L'aplicació pot ser efectuada a pinzell-brotxa, per ruixat o pistola.

És important que la superfície a tractar, es mantingui sempre humida de producte per permetre una absorció continua de la mateixa superfície fins a la saturació. Per l'aplicació sobre materials poc porosos o per consolidacions no molt elevades, el producte pot ser posteriorment diluït amb el DISOLVENT EP-2103, fins el percentatge desitjat. Per evitar l'aspecte brillant que resulta d'una impregnació amb excessos en superfície, es pot recórrer a una d'aquestes tècniques:

1. Rentat de la superfície amb dissolvent EP-2103 abans de la gelificació de la resina.
2. Impregnació lleu de la superfície.
3. Aplicació d'una pel·lícula d'acabat (sacrifici) EUROSTAC AC-2002, preferiblement quan la polimerització de l'EUROSI'AC EP-2101 no ha arribat encara al 95% ( 0'95), per millorar les característiques d'adhesió. Orientativament es recomana aplicar EUROSTAC AC-2002 en el següent interval de temps, després de la consolidació amb EUROSTAC EP-2101:

a 15°C 48/96 horas

a 20°C 24/48 horas.

a 30°C 12/24 horas.

### 3. UNITATS I CRITERIS D'AMIDAMENT

Litres de volum necessari

### 4. 4. NORMATIVA DE COMPLIMENT OBLIGATORI

No hi ha normativa de compliment obligatori

## **MATP4- HIDROFUGANT SILICÒNIC**

### **FUNCOSIL SNL**

#### **1. DEFINICIÓ I CONDICIONS DE LES PARTIDES D'OBRA**

FUNCOSIL SNL és un oligòmer de siloxà etoxifuncional, exempt de dissolvents. És apropiat per a la producció de solucions d'imprimació. No provoca una reducció apreciable de la difusió del vapor d'aigua, de manera que no afecta a la transpirabilitat dels materials tractats.

#### **PROPIETATS FÍSiques:**

- Contingut de siloxà modificat: 100%
- Densitat (25°C):  $1.08 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
- Viscositat (25°C): 16-46 mm<sup>2</sup>
- Punt d'inflamació: > 70°C
- Aspecte: incolor fins a lleugerament groguenc
- Estabilitat d'emmagatzament: en envasos tancats, hermèticament protegits contra la humitat i a temperatures no superiors a 30°C, FUNCOSIL SNL té una estabilitat d'emmagatzament de 12 mesos.

#### **2. CONDICIONS D'EXECUCIÓ I D'UTILITZACIÓ:**

L'aplicació de la solució d'imprimació es realitza sobre material net i secat a l'aire, mitjançant aplicació en cortina, amb brotxa o procediments similars.

Per l'elaboració de les solucions d'imprimació FUNCOSIL SNL ha de diluir-se. Es recomana utilitzar com a solvents etanol exempt d'aigua o hidrocarburs alifàtics exempts d'aigua a un punt d'ebullició entre 130 i 200 °C i índex d'evaporació inferiors a 90 (DIN 53170). Per la preparació de solucions d'impregnació, es recomana una dissolució del 10% en relació al pes dels solvents a dalt esmentades. FUNCOSIL SNL penetra profundament en el materials i els seus porus. Condensa i produeix una zona hidròfoba no enganxosa. Normalment es pot pintar a sobre de la superfície tractada després de l' evaporació del dissolvent.

### 3. NORMATIVA DE COMPLIMENT OBLIGATORI

No hi ha normativa de compliment obligatori

#### **P1345- RESINA EPOXÍDICA**

FETADIT 55/63 2/C

#### 1. DEFINICIÓ I CONDICIONS DE LES PARTIDES D'OBRA:

Resina epoxídica per morters de segellats de esquerdes o juntes.

#### CARACTERÍSTIQUES GENERALS:

##### **Naturalesa, ús:**

Formulació epoxi de viscositat i reactivitat mitjana, que pot ser utilitzat com a base en múltiples formulacions i casos. Morters, ancoratges, pedra artificial, segellat d'esquerdes, recrescut de pedra, etc.

##### **Condicions de treball:**

No utilitzar mai per sota d'una temperatura del suport inferior a 5°C.

Si fos imprescindible, seria necessari crear un microclima amb aïllament i aportació de calor necessari, durant els 2-5 dies d'enduriment del producte.

La temperatura a medir és la del suport, mai la de l'aire. Quan es barreja amb àrids o càrregues sòlides, hauran d'estar seques, per sota del 8% d'humitat. Els suports hauran d'estar secs.

##### **Propietats:**

- Excel·lents característiques mecàniques
- Baixa/ mitjana viscositat
- Versatilitat d'ús

- Excel·lents propietats químiques
- Impermeabilitat
- Bona estabilitat a la llum
- Barreges amb quasi tot
- Resistència a compressió: PUR 750 kp/cm<sup>2</sup> MORTER1:4 sílice 900 kp/cm<sup>2</sup>
- Resistència a flexotracció 400 kp/cm<sup>2</sup> 350 kp/cm<sup>2</sup>
- Mòdul d'elasticitat: 25000 kp/cm<sup>2</sup> 50000 kp/cm<sup>2</sup>
- Densitat: 1,1 gr/cm<sup>3</sup> 1,8 gr/cm<sup>3</sup>

**Neteja:**

Els estris de treball o taques realitzades amb aquest producte pot netejar-se abans del seu enduriment amb dissolvents orgànics o dissolvent epoxi.

**MATP8- PEDRA DE GIRONA**

**1. DEFINICIÓ I CONDICIONS DE LES PARTIDES D'OBRA EXECUTADES**

La pedra a utilitzar per a la substitució serà l'anomenada Pedra de Girona, pedra calcària numulítica que pertany al Eocè mitjà, compacte i coherent; d'aspecte granellut gros de color variable de blanquinós a gris blavós amb presència massiva de fòssils foraminífers (nummulites).

**2. CONDICIONS D'EXECUCIÓ I D'UTILITZACIÓ**

En funció del context de l'obra on s'hagi de fer la substitució s'emprarà la varietat "blanca" de tons clars groguencs, la "blava" de tons grisos blavosos i la de "raig" que combina ambdós colors de forma irregular.

**3. UNITAT I CRITERIS D'AMIDAMENT**

M<sup>3</sup> de volum necessari elaborat a taller o a l'obra.

#### 4. NORMATIVA DE COMPLIMENT OBLIGATORI

No hi ha normativa de compliment obligatori

### **E0159-MORTER DE CALÇ GRASSA APAGADA.**

#### 1. DEFINICIÓ I CONDICONS DE LES PARTIDES D'OBRA EXECUTADES

Mescla feta amb sorra, ciment, aigua i calç

#### CARACTERÍSTIQUES GENERALS:

Ciment utilitzat:

- Morter de ciment blanc.....BL I/42,5
- Altres ..... CEM I/32,5

Resistència orientativa en funció de les dosificacions:

- 1:8 / 1:2:10 .....>= 20 kg/cm<sup>2</sup>
- 1:6 / 1:5 / 1:7 / 1:1:7 .....>= 40 kg/cm<sup>2</sup>
- 1:4 / 1:0,5:4 .....>= 80 kg/cm<sup>2</sup>
- 1:3 / 1:0,25:3 .....>= 160 kg/cm<sup>2</sup>

En els morters per a fàbriques, la consistència ha de ser  $17 \pm 2$  cm, mesurant l'assentament amb el con d'Abrams. La plasticitat ha de ser poc grassa (NBE FL/90). Ha d'estar pastat de forma que s'obtingui una mescla homogènia i sense segregacions.

#### 2. CONDICIONS D'EXECUCIÓ I D'UTILITZACIÓ

Per a l'elaboració i la utilització del morter, la temperatura ambient ha d'estar entre 5°C i 40°C. La formigonera ha d'estar neta abans de l'elaboració del morter. No

s'han de mesclar morters de composició diferent. S'ha d'aplicar abans que passin 2 h des de la pastada.

### 3. UNITAT I CRITERIS D'AMIDAMENT

M<sup>3</sup> de volum necessari elaborat a l'obra.

### 4. NORMATIVA DE COMPLIMENT OBLIGATORI

NBE-FL/90 "Norma Básica de la Edificación. Muros Resistentes de Fábrica de Ladrillo."

## **E0158-MORTER EPOXÍDIC**

### 1. INICI I CONDICONS DE LES PARTIDES D'OBRA EXECUTADES

Barreja d'un o més conglomerants minerals amb granulats triats i additius especials. El morter sintètic de resines epoxi és un morter obtingut a partir d'una mescla de granulats inerts i d'una formulació epoxi en forma de dos components bàsics: una resina i un enduridor.

#### CARACTERÍSTIQUES GENERALS:

No ha de tenir grumolls ni principis d'aglomeració.

#### MORTER SINTÈTIC DE RESINES EPOXI:

La formulació de l'epoxi ha de ser determinada per l'us a que es destini el morter i la temperatura ambient i superficials del lloc on es col·loqui. Aquesta formulació ha de ser aprovada per la D.F.

Mida màxima del granulat.....  $\leq 1/3$  del gruix mitjà de la capa de morter

Mida mínima del granulat .....  $\geq 0,16$  mm

Proporció granulat/resina (en pes) (Q) .....  $3 \leq Q \leq 7$

### 2. CONDICIONS DE SUBMINISTRAMENT I EMMAGATZEMATGE

Subministrament: en envasos tancats hermèticament.

A l'envàs hi ha de figurar les dades següents:

- Nom del fabricant o marca comercial
- Instruccions d'utilització
- Composició i característiques del morter

Emmagatzematge: En el seu envàs d'origen i en llocs secs, sense contacte directe amb el terra i protegit de la intempèrie, de manera que no se n'alterin les condicions inicials.

Temps màxim d'emmagatzematge:

- Morter amb resines sintètiques .....6 mesos

### 3. UNITAT I CRITERIS D'AMIDAMENT

kg de pes necessari subministrat a l'obra.

### 4. NORMATIVA DE COMPLIMENT OBLIGATORI

No hi ha normativa aplicable.

### **P1345-ARALDIT**

#### **DEFINICIÓ:**

ARALDIT RÀPID: Adhesiu epoxídic de dos components. Temps de assecat de 5 a 10 minuts (Ciba).

ARALDIT STANDARD: Adhesiu epoxídic de dos components. Gran resistència a tracció i vibracions. Temps de assecat 12 hores (Ciba).

### **MATP2-ESFERA DE VIDRE**

#### **DEFINICIÓ:**

Vidre sodi-càlcic de classe neutra sense sílice lliure. Químicament neutre. Formes esfèriques regulars, no poroses. (MPA)

### **MATP6-BARNILLA DE FIBRA DE VIDRE**

#### **DEFINICIÓ:**

Fibra manufacturada on el material que forma la fibra és vidre. Els filaments es combinen amb resines (polièster) formant estructures compostes. Presenta una alta resistència a la tracció.

### **MATP23-BARNILLA D'ACER INOXIDABLE**

#### **DEFINICIÓ:**

Barnilles d'acer que contenen un elevat percentatge de crom, de menys del 10% i més del 25 %.



## **ARBOCEL**

### **DEFINICIÓ:**

Polpa de paper. Fibra de cel·lulosa pura que s'utilitza com a càrrega inert per preparar paperetes de neteja per superfícies de pedra. (CTS)

## **COSMOLLOID**

### **DEFINICIÓ:**

Una cera, generalment parafines de cadena ramificada, caracteritzat per la seva estructura cristal·lina més petita que la de la cera normal i major viscositat.

Obtinguda per desparafinatges de fons de dipòsit, residus de refinaria i altres productes residuals del petroli. Destaca la clorofila i es classifica com a cera microcristal·lina.

## **INCRALAC**

### **DEFINICIÓ:**

Resina acrílica. Pel·lícules de protecció. Soluble en hidrocarburs aromàtics i cetones. Termoestable.

## **MALLATEX 10A**

### **DEFINICIÓ:**

Malla de fibra de vidre resistent a la alcalinitat. Gran flexibilitat, resistència i lleugera. La pel·lícula plàstica protectora la converteix en indesmellable i inalterable (Remosa)

## **MORTER SEC A LA CAL**

### **DEFINICIÓ:**

Composició: cal amb un alt contingut en hidròxid càlcic, sorra calcària d'alta duresa de gra fi i mig (marmolina), pigment inorgànic amb alta estabilitat química i cromàtica (Cumén, S.L.)

## **RESINA HV Y SV-427**

### **DEFINICIÓ:**

Massilla epoxídica de replè fàcilment moldejable, molt estable i alleugerida. Fàcil reversibilitat mitjançant font de calor o vapors d'acetona (Ciba Geigy)

## 9.6 **AGRAÏMENTS:**

Per començar, i amb el permís del meu tutor, vull agrair a l'empresa CPA, concretament als encarregats d'obra Florentino Sardino i Luis Castro, l'ensenyança, les hores, la dedicació i sobretot la paciència que m'han dipositat durant l'execució d'aquest projecte.

També vull agrair al meu tutor, Miquel Àngel Chamorro, que hagi fet el seguiment d'aquest treball i m'hagi facilitat tota la informació necessària.

A tot el personal de l'empresa CPA, ja que entre tots m'han anat ensenyant durant tota l'obra, amb un esment especial a la Direcció Facultativa de l'obra. Sense deixar-me en Jordi Carrera, fotògraf, i que m'ha cedit totes les fotos.

Hi ha hagut altra gent que, de manera directa o indirectament, han participat com són en en Jordi Blavia, cap del departament de microscopia òptica de l'UdG i tot el seu equip, com al personal dels laboratoris el CECAM encapçats pel Robert Planes.

Per últim, vull dedicar aquest projecte als meus pares i a la Mireia Costa Domenech, perquè sense ells mai hagués estat possible.

Moltes gràcies a tothom.

---

## 9.2. RESULTATS DELS ASSAIGS:

MOSTRA N° 5:



MACROFOTOGRAFIA

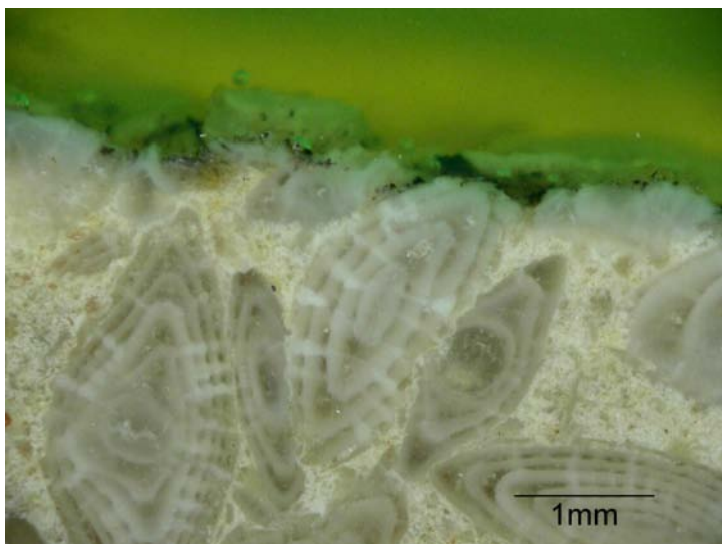


MICROSCOPIA ÒPTICA





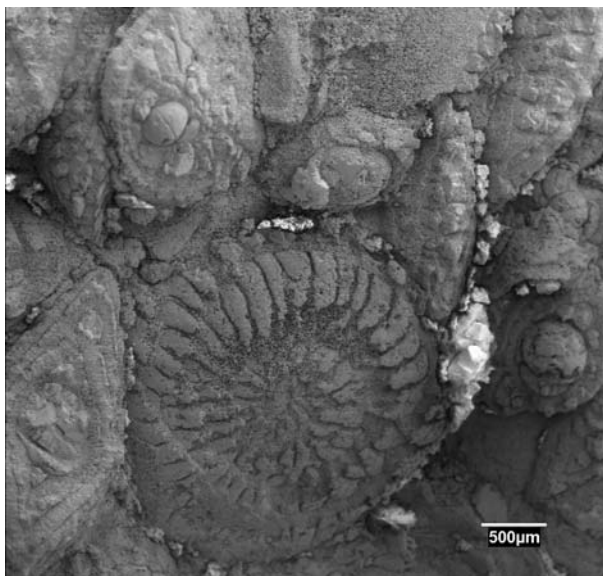
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



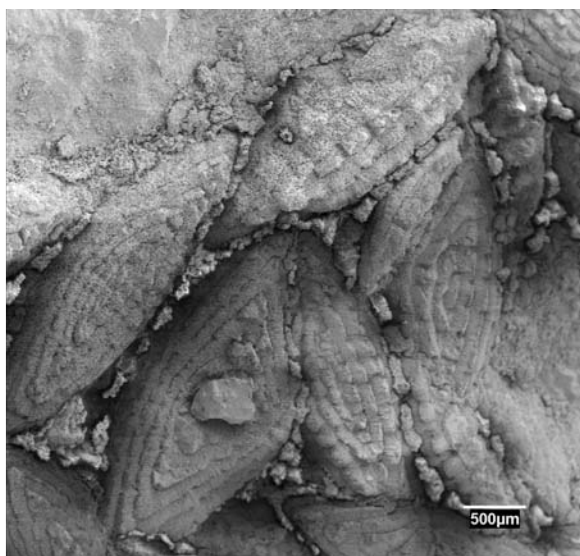
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



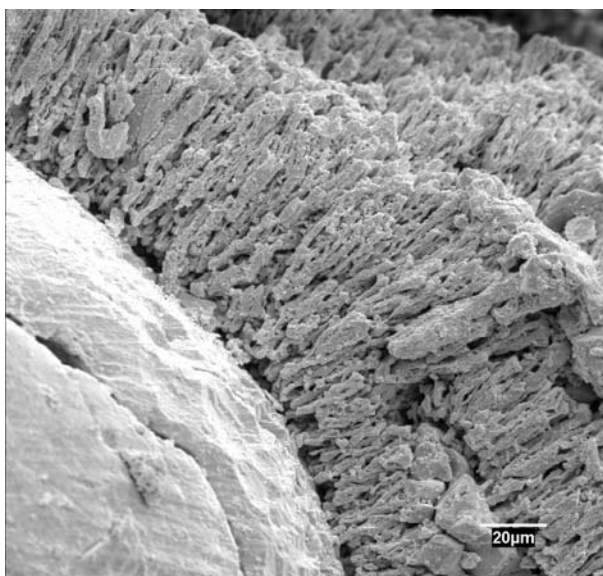
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



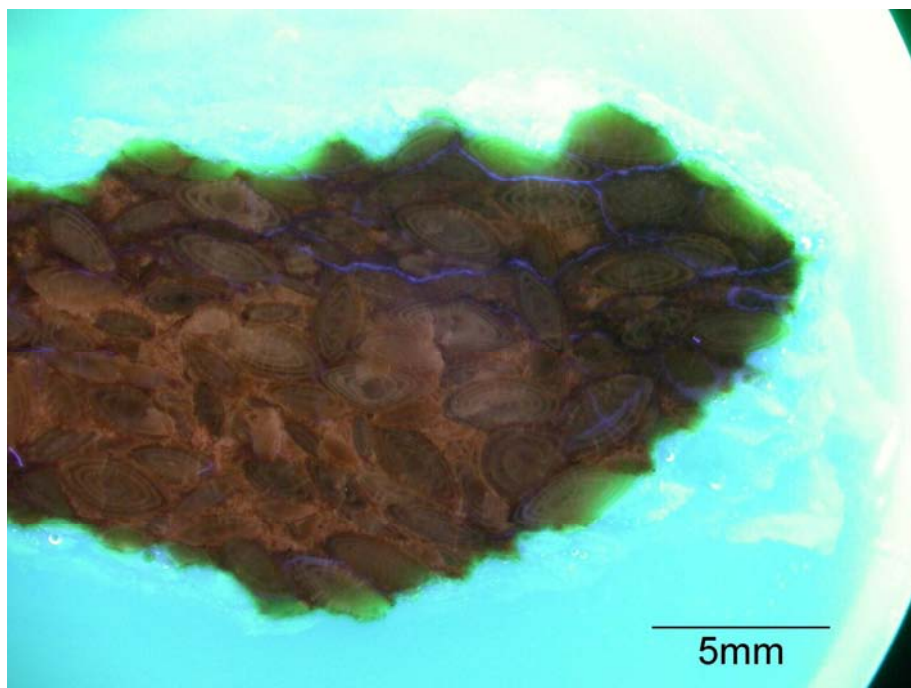
**MOSTRA N° 9:**



MACROFOTOGRAFIA



MICROSCOPIA ÒPTICA

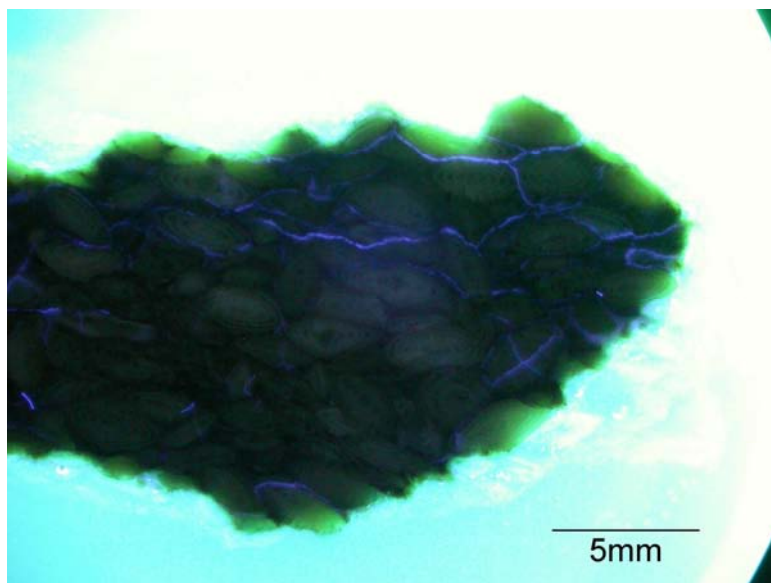


MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA

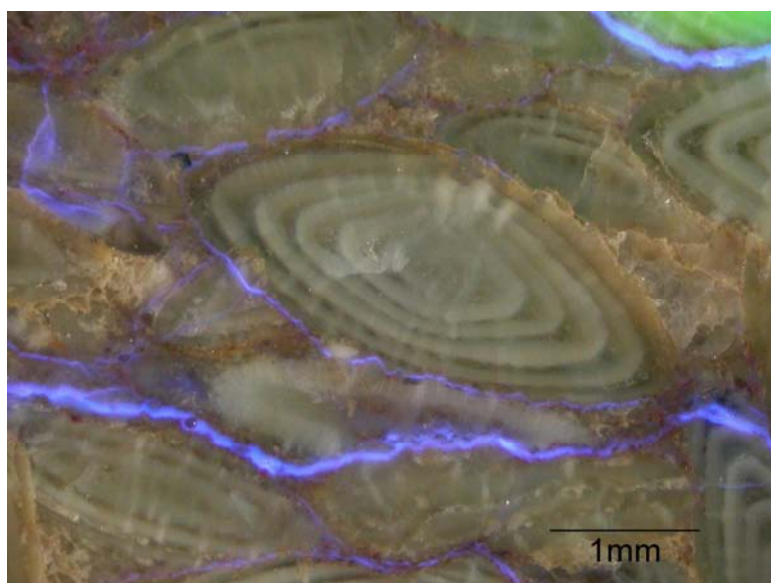




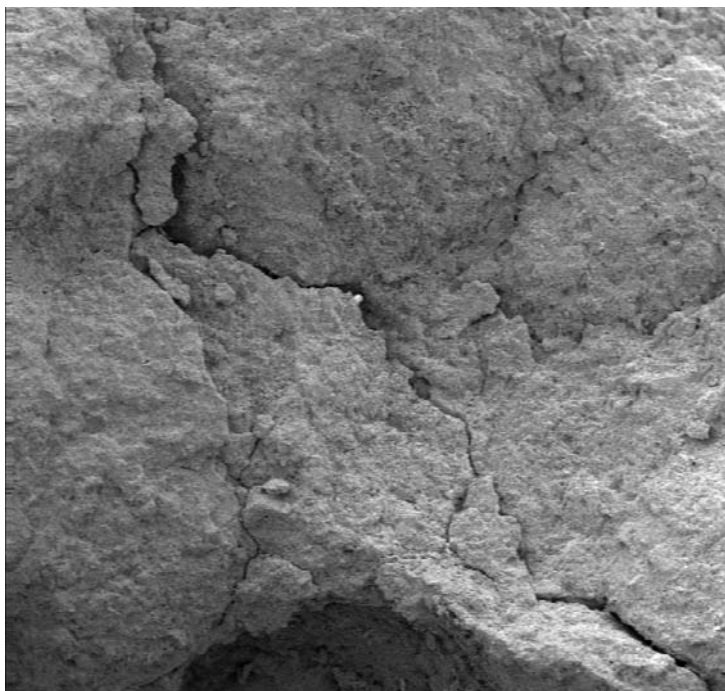
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



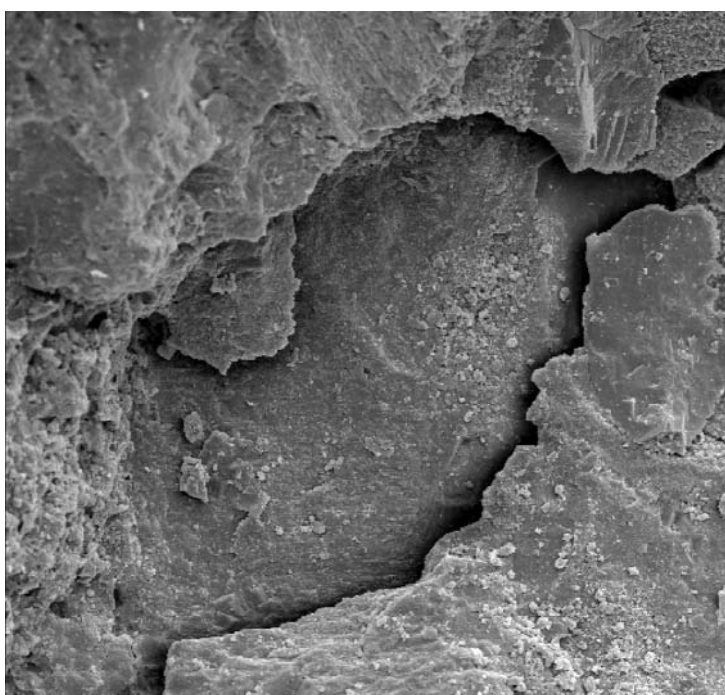
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



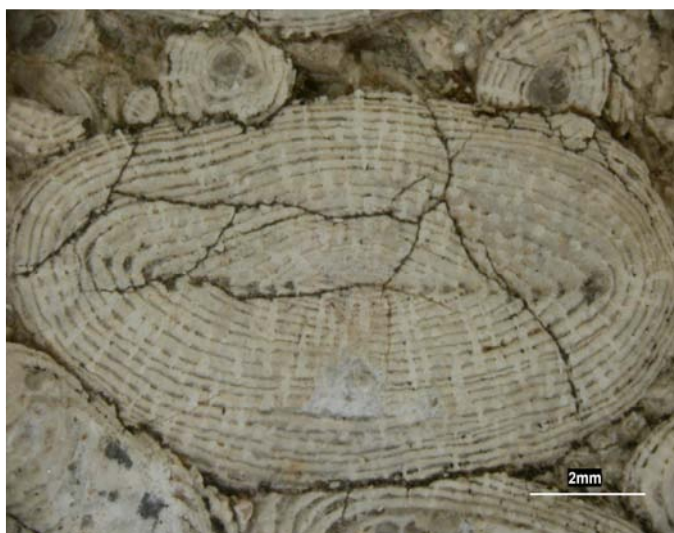
MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



**MOSTRA 13:**



MACROFOTOGRAFIA



MICROSCOPIA ÒPTICA



MICROSCOPIA ÒPTICA

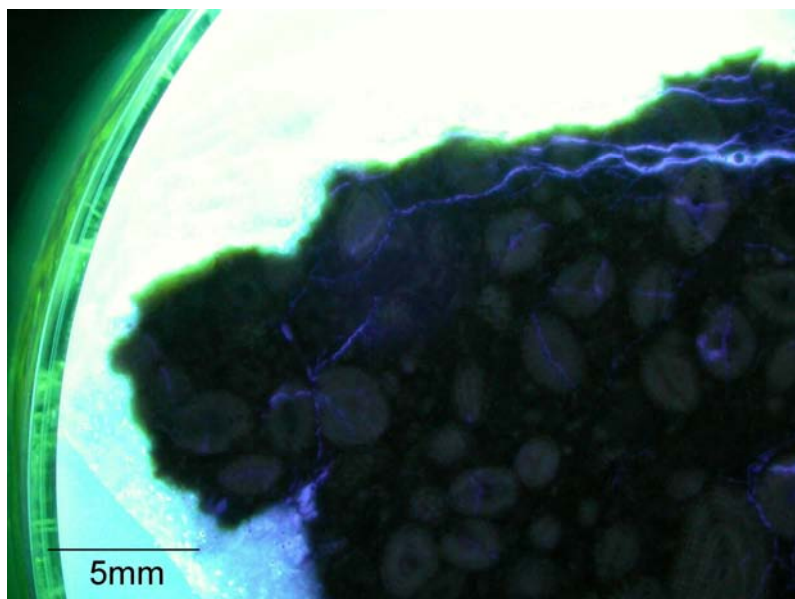


MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA

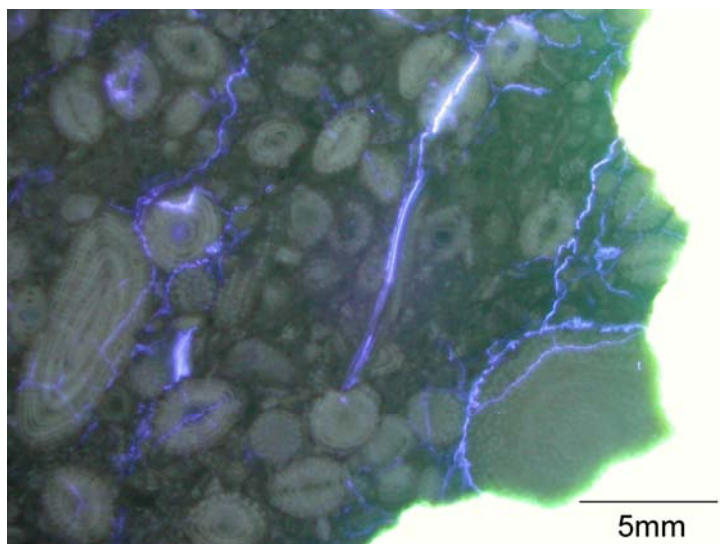


MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA

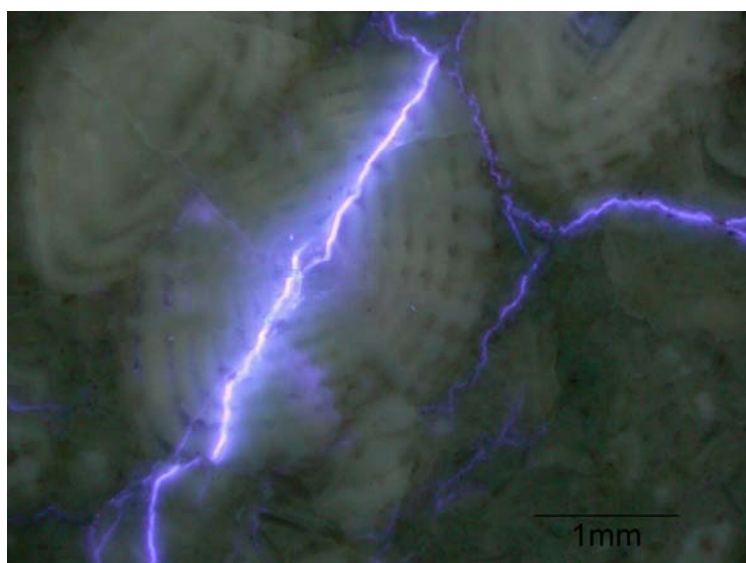




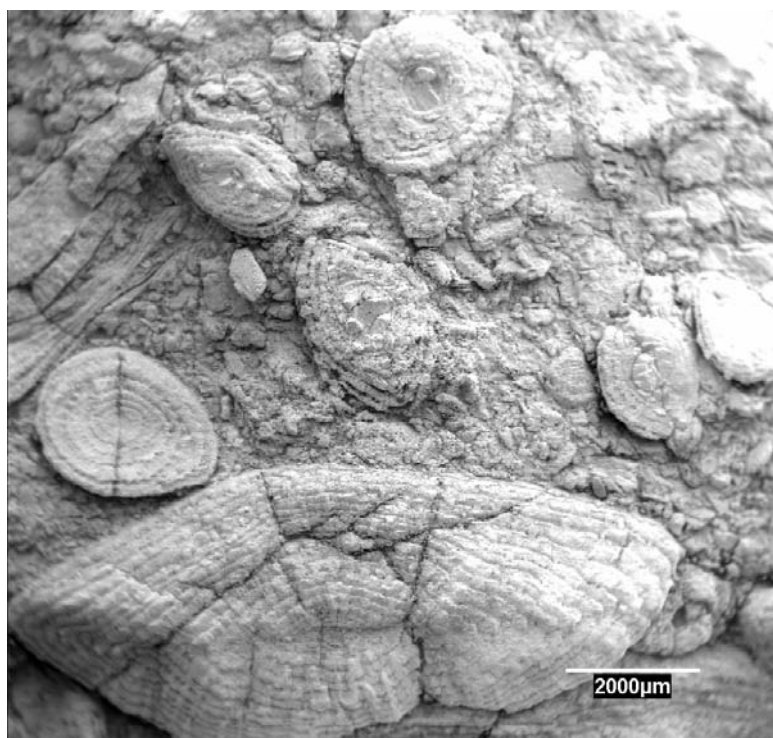
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



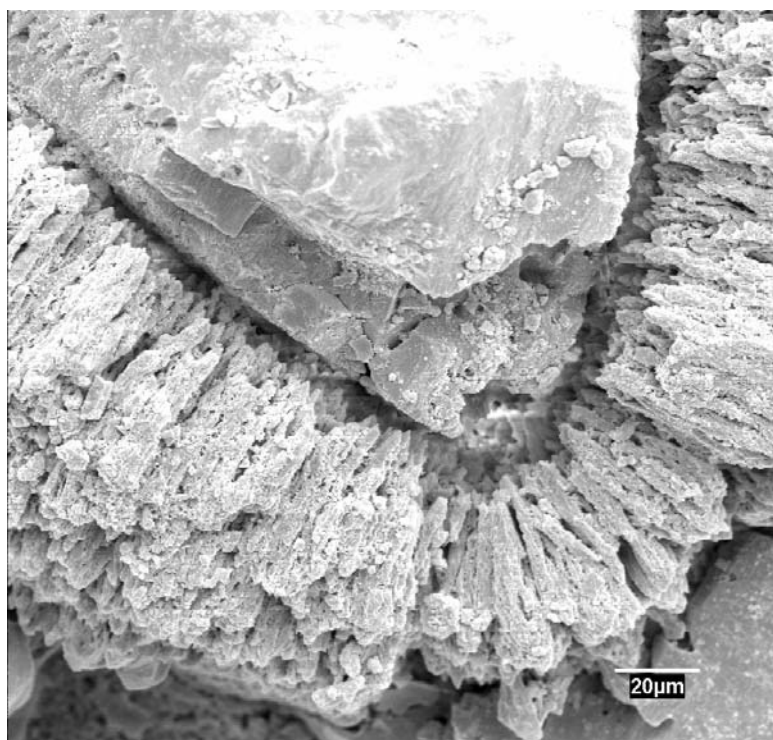
MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



MICROSCÒPIA ELECTRÒNICA DE RASTREIG



**MOSTRA N° 11:**

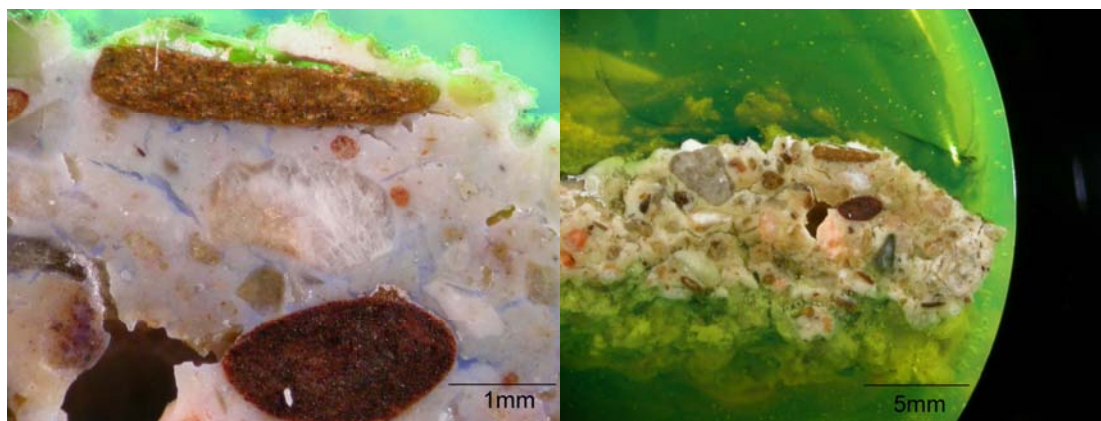


MACROFOTOGRAFIA

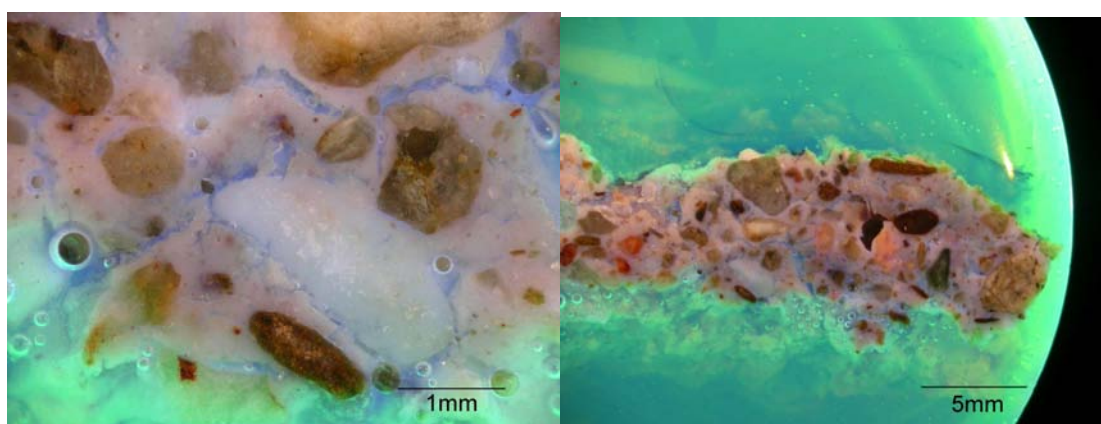


MICROSCOPIA ÒPTICA





MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA

**MOSTRA N° 13:**

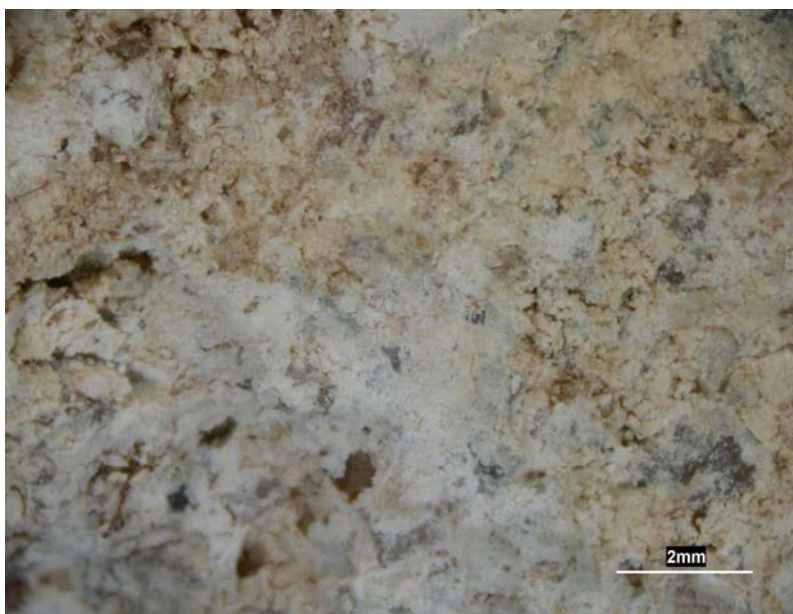


MACROFOTOGRAFIA

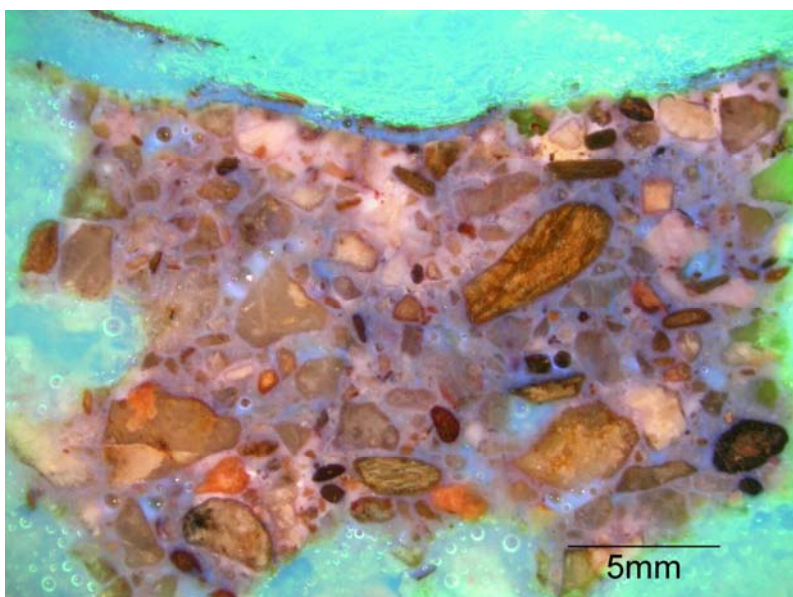


MACROFOTOGRAFIA

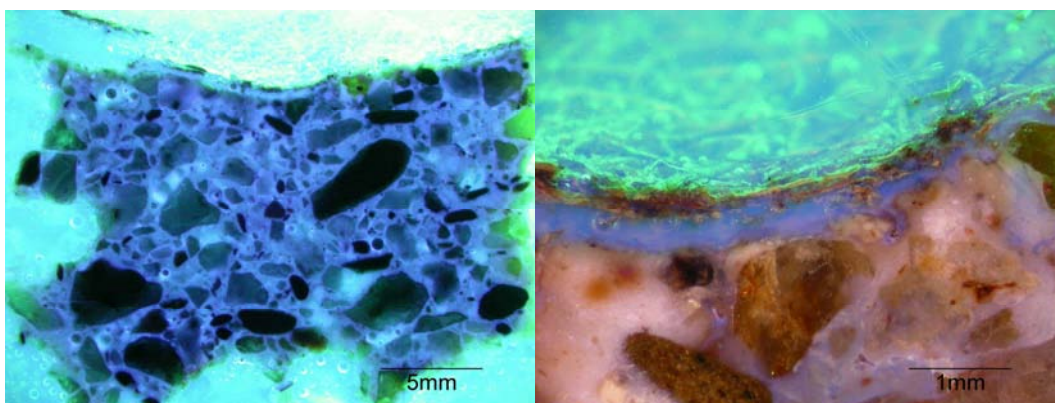




MICROSCOPIA ÒPTICA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA



MICROSCOPIA ÒPTICA AMB MOSTRA POLIDA I EN RESINA