



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# Caracterització de calcàries explotables com a roca ornamental al Montsià

**Autor:** David Fernández Burriel

**Nº de registre:** 1826

**Tutora:** María Pura Alfonso Abella

**Titulació:** Enginyeria Tècnica de Mines, especialitat en explotació de mines

Manresa, Juny de 2009

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa

## **Índex**

1. Introducció.....	3
2. Objectius .....	4
3.Context geogràfic i geològic .....	5
3.1 Situació geogràfica .....	5
3.2 Geologia de l'àrea.....	6
3.3 La pedra d'Ulldecona .....	9
4. Metodologia.....	10
4.1 Treball de camp .....	10
4.2 Treball de laboratori .....	13
4.3 Treball de gabinet .....	20
5. Caracterització dels materials .....	21
5.1 Caracterització petrogràfica .....	21
5.2 Propietats hídriques .....	24
5.3 Propietats mecàniques .....	27
6. Discussió de les dades.....	30
7. Conclusions.....	37
8. Bibliografia.....	39
Annexes .....	41

## **1. Introducció**

A la comarca de el Montsià es poden trobar gran quantitat d'afloraments, pedreres en actiu i abandonades de roca calcària coneguda popularment per pedra Ulldecona o Crema Cènia , que corresponen a calcàries del trànsit del Juràssic al Cretaci. Aquesta roca ha estat i esta sent utilitzada principalment com a roca ornamental, i concretament per al revestiment d'edificis, paviments i monuments. Aquesta roca donant-li l'acabat desitjat, s'utilitza i s'ha utilitzat en edificis de gran nivell turístic o d'altres com són la Sagrada Família, el Kursaal (Palau de Congressos de Sant Sebastià), palau de justícia de Bilbao, etc.

De la mateixa manera, el rebuig de la pedra que originen les mateixes empreses és utilitzat com a àrids després d'aplicar-li les diferents reduccions de mida segons la seva finalitat.

Actualment existeixen diverses pedreres en actiu que exploten les calcàries del Montsià, d'aquesta manera és important conèixer els recursos i les característiques de la roca. La majoria d'elles tenen l'explotació en la comarca on s'ha realitzat l'estudi, però la planta de tractament es troba en la província de Castelló.

## **2. Objectius**

En aquest treball es realitzarà un estudi exhaustiu de les característiques petrogràfiques i físico-mecàniques de la roca citada anteriorment, per saber-ne les tipologies, propietats, usos i possibles problemes segons la seva aplicació. A partir dels resultats obtinguts i la seva posterior comparació amb d'altres roques s'exposarà una conclusió dels diferents tipus de calcàries estudiades i la seva aplicabilitat.

Per aconseguir aquests objectius es realitzaran els següents assaigs:

- Assaig d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.
- Assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat.
- Assaig de resistència a la compressió simple.

### 3. Context geogràfic i geològic

#### 3.1. Situació geogràfica

L'àrea estudiada es troba en la comarca del Montsià, a la província de Tarragona. Els llocs on afloren les calcaries d'Uldecona estan arreu de la comarca, però els municipis on s'ha centrat més l'estudi són: Uldecona, Alcanar, Les Cases d'Alcanar i Sant Carles de La Ràpita (Figura 1). L'àrea d'estudi és d'uns 225 Km<sup>2</sup> que es localitzen a la zona Sud-Est i Sud de la comarca.

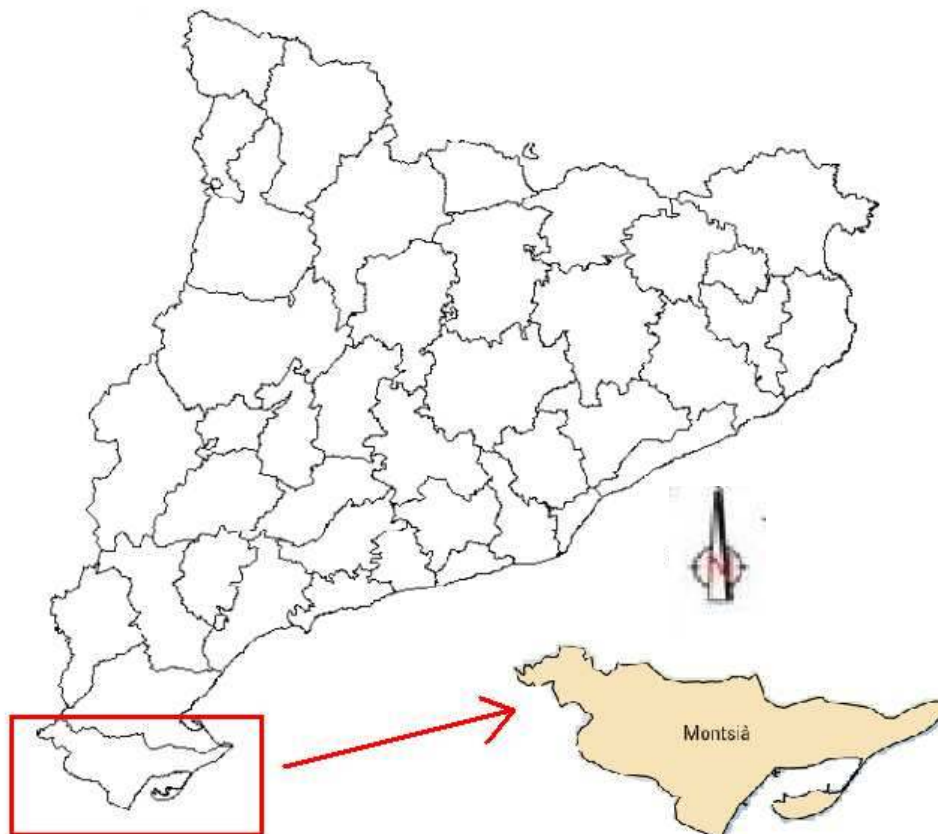


Figura 1. Situació Geogràfica de la comarca de El Montsià.

Les diverses explotacions estudiades estan comunicades per la nacional N-340, l'autopista A7 i les diverses carreteres comarcals com són la TP-3318 entre Ulldecona i Alcanar.

### **3.2. Geologia de l'àrea**

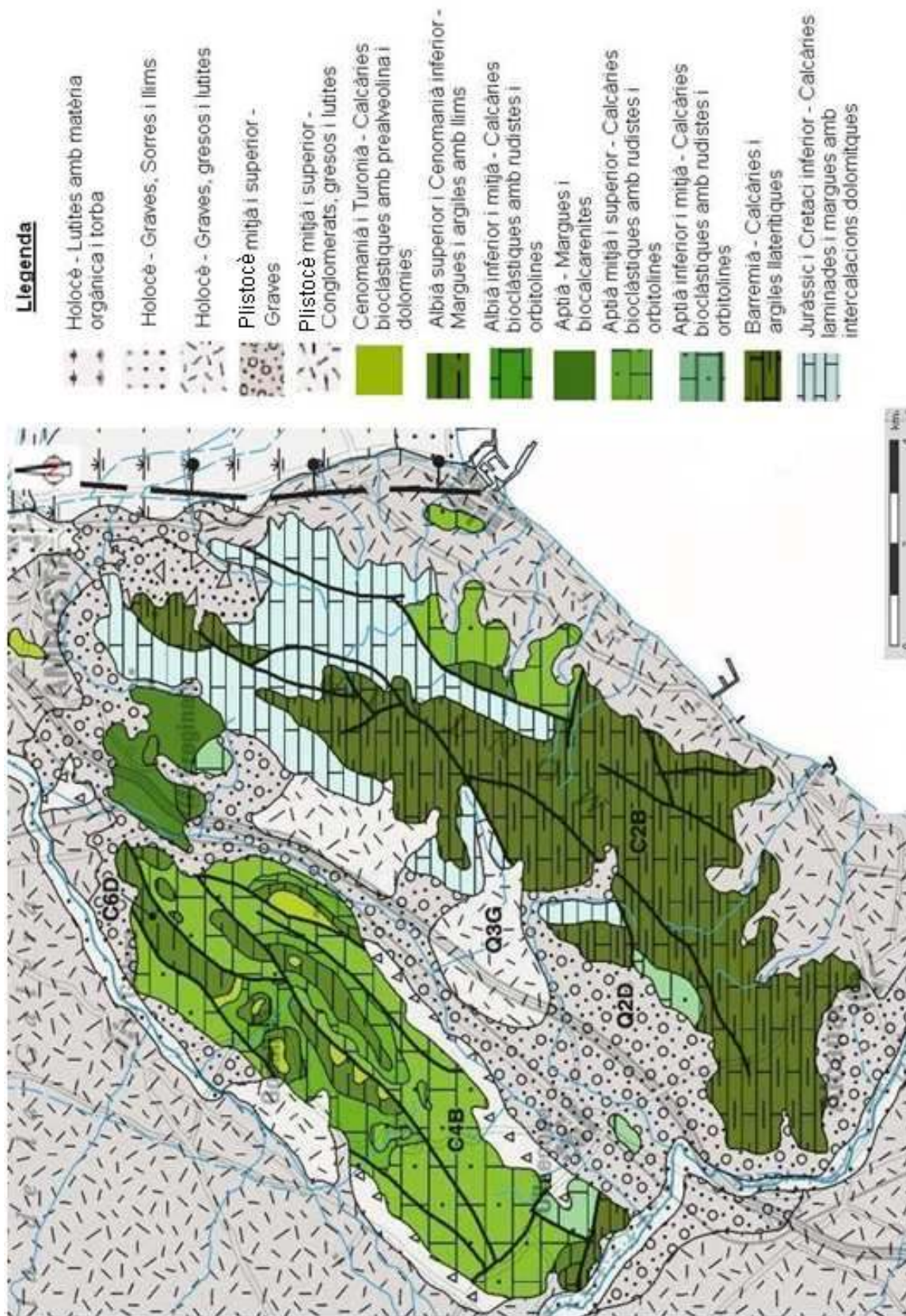
Des del punt de vista geològic les calcàries de El Montsià es troben en una zona d'enllaç entre la part sud de les Serralades Costaneres Catalanes, que s'estenen en direcció NE-SW, i el Sistema Ibèric, amb direcció NW-SE, amb la part de la Conca del Maestrat. Aquesta zona pel est la trobaríem enfonsada al mar, cap a l'oest s'estendria fins a Móra de Rubielos (Terol) i cap al sud fins la serra d'Espadà, al sud de Castelló de la Plana.

L'àrea d'estudi està constituïda per materials carbonats dipositats durant el trànsit entre el Juràsic i el Cretaci inferior. També es troben materials terciaris i quaternaris a gran part de la comarca (IGME, 1985).

Les sèries estratigràfiques en aquest àrea es caracteritzen per l'alternança de trams de plataforma carbonàtica (calcàries) i de dipòsits margosos de conca marina que reflecteixen progracions en relació amb dipòsits de talús continental i de conca marina, condicionades per les variacions eustàtiques del nivell del mar. Cap a finals del Juràssic aquesta zona deixa de tenir el caràcter de llindar paleogeogràfic que havia tingut fins al moment i comença una lenta fase de subsidència, que possibilita l'acomodació i deposició dels materials cretàtics. Els materials es disposen seguint el seu ordre de deposició. La seva descripció és la que a continuació s'exposa:

**Caracterització de calcàries explotables com a roca ornamental al Montsià**

David Fernández Burriel



## Caracterització de calcàries explotables com a roca ornamental al Montsià

David Fernández Burriel

Els materials més antics corresponen al Juràssic Superior, com són les dolomies i calcàries dolomítiques de la etapa del ***Kimmeridgià superior-Portlandià***. La dolomitització és molt més intensa a la base de la capa que té una potència aproximada de uns 100 m. La deposició es realitza lentament amb alguns termes d'aigües agitades i emersions ràpides i freqüents, com mostra la presència de hard-grounds i superfícies erosives. Els afloraments es troben a la Serra del Montsià.

El tram ***Portlandià-Valangimià*** (trànsit entre el Juràssic i el Cretaci), es caracteritza per unes microfàcies de tipus nerític, està constituït per nivells de calcàries bioclàstiques, oolítiques i margues. Les condicions marines de sedimentació corresponen a ambients d'aigües poc profundes. Les calcàries en capes de 30-50 cm, presenten zones de dolomitització a causa del contacte amb el període anterior. La microfauna és abundant, trobant en els trams inferiors, ostracodes, gasteròpodes, entre d'altres. La potència mitjana que s'estima d'aquest període és de uns 250-300 m.

Els nivells del ***Barremià*** presenten calcàries sorrenques, i episodis margosos; localment, es poden trobar petits nivells de lignits. Aflora per tota la Serra del Montsià i als voltants del Castell d'Ulldecona, la capa de calcàries té una potència de uns 80 metres front els 200 metres de tot el nivell. També es pot distingir la presència de microfauna en les microfàcies.

El ***Gargasià*** està constituït per calcàries massisses amb abundants Toucasies. Per damunt d'aquestes es poden trobar una sèrie constituïda per calcàries margues i sorres marquen la zona de trànsit d'una època a una altra. Aflora a la Serra del Godall i té una potència d'uns 40 m.

Durant l'***Albià*** hi ha una gran sedimentació dels materials anteriors que indiquen una forta regressió marina. Són sediments dipositats en ambients que oscil·len entre continentals i lacustres amb acusades falques marines. Aquest tram es pot observar a la part Sud i Nord de la Serra del Godall, trobant alternança de calcàries i gresos dolomititzats.



El **Cenomanià** està constituït casi majoritàriament per materials dolomítics i recristal·litzats. També hi ha una alternança entre margues, margues calcàries i gresos.

La presència del **quaternari** és amb potents acumulacions de materials detrítics (conglomerats, graves, gresos i argiles procedents d'una forta abrasió dels relleus més elevats de la zona.

Pel que fa a la tectònica, a la zona s'aprecien diverses cadenes i sèries de plecs i falles. Segons la seva direcció es poden atribuir a esforços que ha rebut la zona provocats pel Sistema Ibèric i les Serralades Costaneres Catalanes. A la zona de la serra del Godall i també de la Serra del Montsià cal destacar un sinclinal i anticlinal amb direcció NE-SO. Les falles amb direcció NO-SE es troben localitzades majoritàriament al Sud de la població d'Alcanar.

La datació d'aquestes falles no es gaire precisa, però s'ha arribat a la conclusió que la fracturació del terreny amb direcció Ibèrica va ser anterior a la fracturació del terreny de la zona amb direcció catalana (IGME, 1985).

### **3.3 La pedra d'Ulldecona**

La pedra d'Ulldecona també coneguda com Crema Cenia, té una importància rellevant per a la seva utilització com a roca ornamental. Arreu de tota la comarca s'explota i s'ha explotat en diverses pedreres. Tot seguit es vol fer una estimació de les reserves de roca calcària que hi ha, tenint en compte l'extensió dels afloraments i la potència aproximada calculada de tots els afloraments. Les dades de superfície s'han obtingut a partir de la base de dades del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, utilitzant el visor de mapes Miramón. Es suposa una potència mitjana del conjunt de capes d'uns 10 metres, tenint en compte que la superfície d'afloraments estudiats és de més de 600000 m<sup>2</sup> les reserves de roca serien superior a 6 milions de metres cúbics a causa de que els afloraments estudiats representen aproximadament la meitat dels afloraments reals.

## **4. Metodologia**

El treball realitzat consta d'una part de camp, una part de laboratori i una part de gabinet on s'analitzen els resultats obtinguts a través de les dues primeres.

### **4.1. Treball de camp**

El treball de camp s'ha basat en el mostreig que es va fer en els diferents afloraments de calcàries que es troben a la comarca del Montsià i reuneixen les característiques d'explotabilitat mínimes per a roca ornamental (Figures. 3 i 4).

La gran majoria dels afloraments mostrejats corresponen a antigues pedreres, que s'han restaurat per a tenir un nou ús o no, la resta, es tracten de pedreres en actiu. Prèviament a la sortida de camp es va fer una localització dels afloraments de més interès pel que fa al seu estudi a partir de la base de dades de mapes del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya utilitzant el visor de mapes Miramón.

Per tal de poder reconèixer els punts d'interès que s'il·lustraven en els mapes topogràfics 1:5.000 utilitzats, també per a obtenir la foto aèria es va fer ús del programa Google earth, que va representar un important suport a l'hora de realitzar el treball al camp.

El mostreig realitzat es va fer en un total de 12 afloraments, obtenint aproximadament de cada lloc dos blocs de més de 5Kg de mostra cadascú, per tal d'assegurar tenir el material necessari per als assaigs a realitzar. També es va agafar una mostra relativament petita que les seves dimensions assegurassin la realització d'una làmina prima pel seu estudi petrogràfic. Les mostres agafades per a realitzar el treball havien d'estar el menys alterades possibles per a poder tenir uns valors el més semblants als del material trobat al massís rocós.



Figura 3. Localització sobre el mapa topogràfic d'escala 1:50.000 de les mostres estudiades.

A continuació es mostren les imatges aèries per parts, en ella s'han agrupat els afloraments visitats per grups segons la seva proximitat a les poblacions més conegudes de la zona. (Figura 4)





Figura 4. Fotos aèries dels afloraments visitats. D'esquerra a dreta, conjunt afloraments zona Uldecona, afloraments zona Alcanar, afloraments zona les Cases d'Alcanar, afloraments zona St. Carles de la Ràpita i afloraments zona l'Oriola.

## **4.2. Treball de laboratori**

Els mètodes analítics utilitzats per a la caracterització de les diferents mostres han estat: estudi petrogràfic, assaig d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica, assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat i resistència a la compressió simple.

### **Estudi Petrogràfic**

En l'estudi petrogràfic s'han utilitzat les mostres representatives dels diferents afloraments seleccionats en aquest estudi i s'han realitzat 13 làmines primes. El tall de la cara de la mostra d'on s'ha extret la làmina prima s'ha fet al laboratori de mineralogia del l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa; la realització de les làmines s'ha fet als laboratoris de la Universitat Autònoma de Barcelona.

L'observació i descripció de les diferents làmines s'ha realitzat a l'Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa mitjançant el microscopi òptic de llum transmesa del qual es disposa.

### **Propietats hídriques**

Aquests assaigs són molt importants a causa de que l'aigua i el seu comportament dins de la roca afecten en un alt nivell a la seva durabilitat i la seva aplicabilitat.

El fet de contenir o poder absorbir més o menys quantitat d'aigua, pot provocar un comportament diferent en els processos de d'expansió-contracció que es poden donar a causa de fluctuacions importants de la temperatura. Un altre factor a tenir en compte de l'aigua és la seva composició química, que fa que la roca interactuï amb substàncies que contingui l'aigua ja sigui químicament, físicament o orgànicament. Tots els processos citats anteriorment són importants ja que contribueixen a l'alteració de la roca on l'aigua hi té un paper fonamental.

Els assaigs realitzats per a la caracterització hídrica de les calcàries del Montsià són els de l'absorció a pressió atmosfèrica i la determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capil·laritat.

### ***Absorció d'aigua a pressió atmosfèrica***

L'assaig permet determinar la quantitat d'aigua que pot absorbir la roca en condicions d'immersió. El coeficient d'absorció d'aigua és el percentatge d'aigua absorbida en relació al pes de la proveta en sec. Aquest assaig permet valorar com es comporta la roca a l'aire lliure; com més absorció més susceptible a degradar-se.

La determinació de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica s'ha realitzat seguint la norma UNE-EN 13755:2002.

**Procediment.** S'han tallat 7 cubs de 5 cm d'aresta per cada mostra. Els cubs s'han mantingut en el forn a  $70\pm 5^{\circ}\text{C}$  i posteriorment es van realitzar pesades (precisió de 0,01 g) cada dia fins que el pes fos constant ( $m_d$ ). Tot seguit, es van ficar en un tanc d'aigua que garantís la seva immersió total en aigua i de forma que la seva superfície no estigués en contacte directe amb la base del tanc (Figura 5). Això es va aconseguir mitjançant uns canals de fils elèctrics disposats en la base del tanc, les mostres al col·locar-les cal que estiguin separades 1,5 cm.

Per començar es va afegir aigua dins el tanc fins a la meitat de l'alçada de les provetes. Al cap d'una hora es va afegir més aigua, fins a  $\frac{3}{4}$  de l'alçada de les provetes i finalment al cap d'una altra hora s'acaba d'omplir el tanc fins que quedessin totalment submergides.

Un cop van transcórrer 48 hores es van treuen les provetes, es van eixugar lleument i es van pesar, i així tots els dies fins que el pes entre dues pesades successives no varia ( $m_s$ ).



Figura 5. Imatge que mostra la realització de l'assaig d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica.

L'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica de cada proveta ( $A_0$ ) es calcula per la següent equació:

$$A_0 = \left( \frac{m_s - m_d}{m_d} \right) \cdot 100$$

On  $m_d$  és la massa inicial de la proveta,  $m_s$  és la massa final i  $A_0$  és el tant percent d'absorció del material.

### ***Absorció d'aigua per capil·laritat***

La capil·laritat és la capacitat de transmetre aigua pels espais capil·lars que hi ha dins de la roca. Degut a que la pressió a dins del líquid és més baixa que la de fora, aquest tendeix a pujar fins arribar a l'equilibri hidrostàtic. Aquest assaig determina la velocitat i volum de penetració de l'aigua a través de la roca mitjançant el mecanisme de succió capil·lar. Permet conèixer la facilitat amb que la humitat pot distribuir a través de la roca.

La determinació del coeficient d'absorció d'aigua per capil·laritat s'ha fet seguint la norma UNE-EN 1925.

***Procediment.*** S'han tallat 7 cubs de 5 cm d'aresta per cada mostra. Els cubs es van mantenir en un forn a  $70^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$  fins a pes constant ( $m_d$ ) pesant-les cada dia fins que s'estabilitzés el pes amb una precisió de 0,01g. Tot seguit es va mesurar la superfície de la cara dels cubs que estarien en contacte amb aigua, mitjançant un peu de rei. Posteriorment, es van ficar en un tanc amb aigua, de tal manera que la majoria de la seva superfície no estigués en contacte directe amb la base del tanc, i es van submergir en aigua fins a una alçada de 3 mm. Cada un cert temps, al començament intervals molt curts (1, 5, 10, 15, 30, 60, 480 i 1440 minuts) i posteriorment cada 24h eixugada lleugerament la base de la proveta, es pesaven i es tornaven a deixar al tanc mantenint el nivell d'aigua (Figura 6). Els intervals de temps utilitzats han estat més petits al començament del que estableix la norma per poder tenir més precisió a l'hora d'obtenir el coeficient d'absorció.





Figura 6. Material utilitzat per a la realització de l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat.

### **Caracterització físico-mecànica**

Aquest estudi consisteix en obtenir les característiques mecàniques, efectuant assaigs de les mostres dels afloraments de les calcàries de la comarca del Montsià que són susceptibles a ser utilitzades com a roca ornamental. Aquests valors de les propietats obtingudes a partir dels assaigs són les que s'han de tenir en compte en els materials rocosos quan estan sotmesos a esforços mecànics de diferent tipus com poden ésser esforços de: compressió, tracció i cisalla.

L'acció d'una força aplicada a una roca pot provocar-li deformacions i trencaments que depenen de la formació interna de la mateixa i per tant de la resistència mecànica que ofereix el material. Per aquest fet és important conèixer aquest tipus de propietats per tal de poder definir una durabilitat de la roca segons la seva aplicació i ambient al qual està o estarà exposada.

En aquest estudi s'ha realitzat l'assaig de resistència a la compressió simple a causa de que els altres assaigs en roques d'aquesta tipologia, tenen una correlació entre els resultats dels mateixos. Aquestes determinacions s'han fet seguint les normes UNE.

### ***Resistència a la compressió***

Aquest assaig tracta de determina la càrrega màxima, per unitat de superfície, que pot suportar un material quan és sotmès a un esforç de compressió simple. Serveix per poder avaluar el material segons si es adequat o no en llocs on s'ha de suportar pesos importants. Bàsicament en l'assaig s'apliquen càrregues compressives axials cada cop més grans a les provetes de la roca fins a produir-se el trencament mitjançant una premsa.

L'assaig de compressió s'ha realitzat amb unes 6 provetes de cada una de les mostres segons la normativa espanyola UNE-EN 1926. Les provetes es van tallar amb serra de diamant formant cubs de 3 cm d'aresta.

***Procediment.*** S'han utilitzat 6 provetes de 3 cm d'aresta de cada mostra, en la norma s'utilitzen cubs de 5 cm d'aresta, però aquest canvi de dimensions s'ha realitzat per entrar en paràmetres de la premsa del laboratori i fent les comprovacions pertinents per comprovar la validesa de la modificació. En l'assaig es va utilitzar una premsa que té un límit de 20 Tn.(Figura 7) i un peu de rei per a calcular la superfície de la cara de cada proveta on se li a aplicat l'esforç. La càrrega es va aplicar sobre la proveta on es va incrementant d'una manera contínua fins arribar al trencament de la mateixa. La resistència a la compressió uniaxial R serà:

$$R = \frac{F}{A}$$

On F= càrrega de trencament (en N) i A= àrea de la secció transversal de la proveta (en mm<sup>2</sup>).

Aquest assaig es va realitzar al laboratori d'exploració de mines de l'Escola Politècnica Superior d'Enginyers de Manresa.



Figura 7. Imatge feta durant la realització de l'assaig de resistència a la compressió simple.

### **4.3 Treball de gabinet**

Un cop realitzats tots els assaigs que s'han trobat necessaris per a poder caracteritzar les calcàries pel que fa el seu ús com a roca ornamental. Amb aquests s'ha fet una comparació entre les diferents mostres i amb altres materials dels quals es disposa de la mateixa informació.

Per al tractament de les dades obtingudes amb els diferents assaigs s'han utilitzat les eines informàtiques de fulles de càlcul i també per a la realització de gràfiques, entre d'altres.

A la l'apartat d'annexes es mostren les diferents fitxes de cada mostra on s'hi pot trobar una breu descripció de l'aflorament, dels accessos, les característiques de les provetes de cada mostra i els resultats dels assaig realitzats.

## **5. Caracterització dels materials**

Per a caracteritzar les diferents mostres s'ha realitzat una síntesis dels resultats obtinguts al laboratori i la seva lectura per poder agrupar i comparar els tipus de roca calcària que hi pugui haver.

### **5.1. Caracterització petrogràfica**

En l'anàlisi petrogràfic, les calcàries estudiades es caracteritzen en general per ser una roca sedimentària detrítica amb més d'un 99% de components carbonàtics intra-concals. Aquest fet d'estar formada bàsicament per carbonat càlcic i la de tenir una porositat molt reduïda, són dos de les característiques essencials de la roca estudiada.

Composicionalment, les calcàries del Montsià estan formades principalment per foraminífers, especialment d'orbitolines i d'altres d'espècies com poden ésser rudistes i miliòlits. D'aquesta manera, pel que fa a l'esquelet, es poden distingir dos grups, les mostres que l'esquelet té un % elevat en la làmina prima i les que l'esquelet és poc representatiu o inexistent. En tots dos casos, l'esquelet el formen orbitolines, rudistes i miliòlits essencialment, depenen de les mostres unes més que les altres.

Pel que fa la matriu que es pot observar en moltes mostres que és micrítica amb distribució irregular tret d'altres on és inexistent. La micrita és un agregat de cristalls fins, menors de 4 µm de calcita i es forma en ambients de baixa energia.

Tanmateix també cal destacar la importància dels processos diagenètics que es poden observar a la mostra. Aquests són: el reemplaçament de la calcita primària per dolomita (dolomitació), cimentació de calcita inter-granular i intra-granular, i en una mostra especial, s'observa un ciment d'òxid de ferro.

El reemplaçament de calcita per dolomita en moltes mostres és un reemplaçament total que afecta a matriu i esquelet; on es formen romboedres de dolomita. La cimentació de calcita és el procés el qual sedimenta la calcita en els espais que hi ha a dins de les partícules com a fora indistintament.

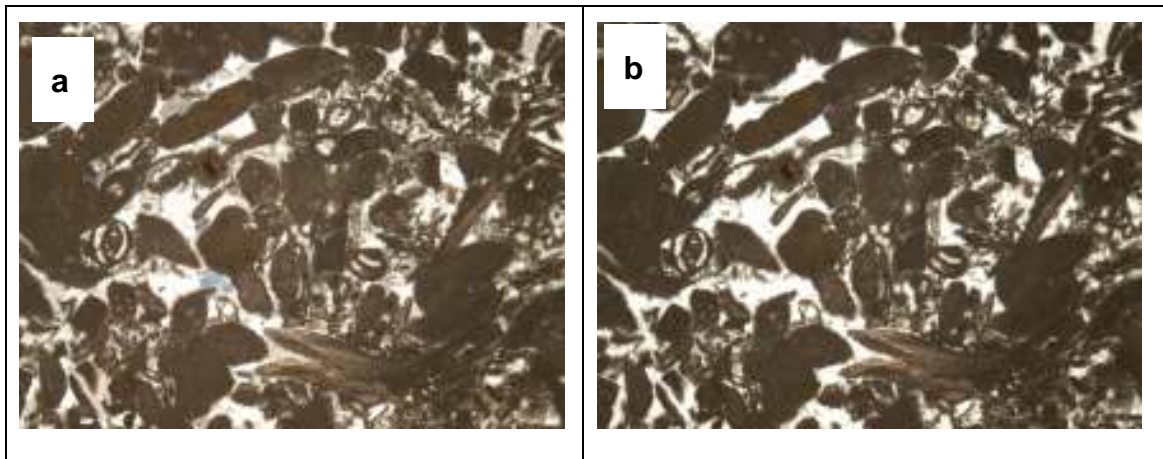
## Caracterització de calcàries explotables com a roca ornamental al Montsià

*David Fernández Burriel*

La porositat de la roca, en molts casos és inexistent en la làmina prima tret de dues mostres, on en una la porositat és baixa i l'altre on és abundant de forma inter-granular i intra-granular.

A continuació es defineixen les diferents tipologies de roca calcària estudiada segons la seva làmina prima. Aquestes s'agrupen a partir de les seves característiques observades en l'esquelet, la matriu i els processos diagenètics, tenint també en compte la presència de fragments d'esser vius i a partir de la classificació de Dunham (1962).

Les calcàries analitzades, susceptibles a poder ésser explotades com a roca ornamental de la comarca del Montsià es poden classificar, de forma genèrica en tres grups: Grainstones bioclàstics (també inclouen les Grainstone/Packestone bioclàstics), Wackstone/Packestone biclàstics i Doloesperites. Del grup primer cal destacar la mostra 13 a la qual és tracta d'un grainstone bioclàstic amb una porositat elevada en comparació amb les altres mostres. A la figura 8 es mostren les imatges més representatives de les diferents tipologies de mostres.





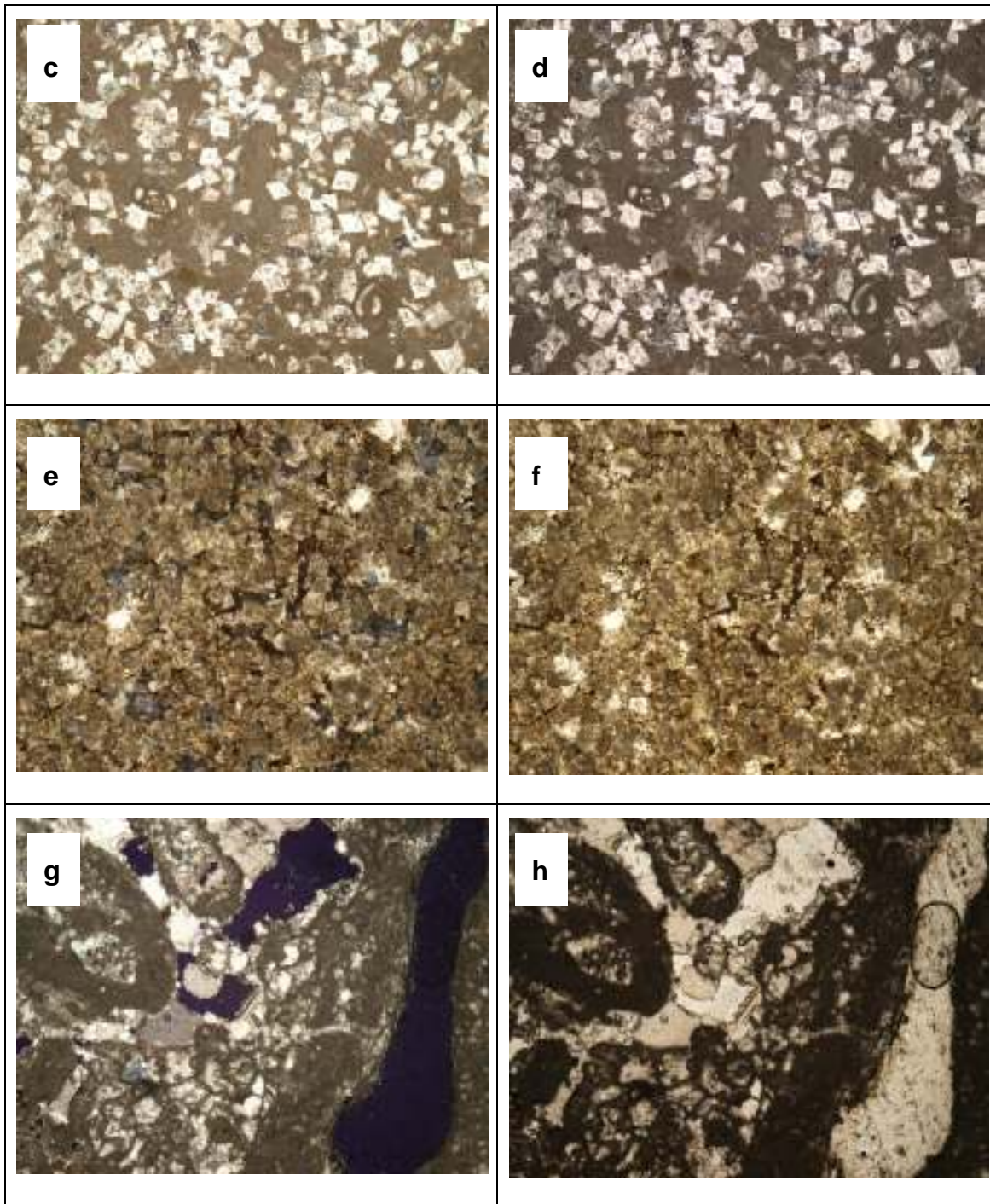


Figura 8. Imatges de les diferents làmines primes més representatives. (a i b) Imatge global amb miliòlits, mostra 10 (Grainstone biclàstic). (c i d) Exemple dolomitització, mostra 1 (Wackestone bioclàstic). (e i f) General mostra 18 (Doloesperita) (g i h) Exemple elevada porositat de la mostra 13a (Grainstone bioclàstic). Totes les imatges tenen 4,1 mm d'ample i són fetes amb nícols encreuats i nícols paral·lels d'esquerra a dreta successivament.

## 5.2. Propietats hídriques

A la taula 1 es mostren els resultats obtinguts dels assaigs hídrics, formats per l'assaig d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica i l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat.

Taula 1. Valors dels assaigs de l'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica i capil·laritat per als gresos estudiats.

Mostra	Absorció (%)	Coefficient de capil·laritat ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ )
1	1,12	1,62
2i	0,49	0,90
2.2	1,20	1,59
3	0,73	0,85
10	0,65	0,88
11	0,51	0,74
12	0,34	0,49
13a	1,50	3,88
13b	0,71	1,06
15	0,58	0,67
16	0,90	1,40
18	0,77	0,78



### *Absorció d'aigua a pressió atmosfèrica*

L'absorció d'aigua de les calcàries del Montsià a pressió atmosfèrica és baixa respecte a d'altres materials. Amb els resultats obtinguts es podria fer una classificació segons si el % d'absorció és superior a 1% o no; del qual la majoria de les mostres tindrien una absorció menor que la unitat.

### *Coefficient d' absorció d'aigua per capil·laritat*

Mitjançant les dades obtingudes amb l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat a la figura 9 es mostren els resultats de la relació entre l'absorció d'aigua (en  $\text{g}/\text{m}^2$ ) respecte l'arrel quadrada del temps de tractament de les mostres (en  $\text{s}^{0,5}$ ).

Com es pot veure en la gràfica de l'absorció d'aigua per capil·laritat es veuen dues fases ben diferenciades, la primera és on les mostres tenen una absorció més elevada que té lloc fins al tercer dia d'estar amb contacte amb l'aigua. La segona fase és la del tercer dia en endavant, en aquesta zona l'absorció de la majoria de les mostres és molt més petita i gradual, havent-hi fluctuacions de l'absorció segons les variacions de temperatura o petits errors que entren dins els paràmetres de l'error de la balança.

Els coeficients d'absorció d'aigua per capil·laritat ens faciliten l'agrupació de les mostres en tres grups segons aquest valor. Les mostres 2i, 3, 10, 11, 12, 15 i 18 tenen uns valors molt petits del coeficient d'absorció que no arriben a  $1 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ , el segon grup engloba a les mostres de coeficient entre 1 i  $2 \text{ g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$  que són les mostres 1, 2.2, 13b i 16. L'últim grup només l'engloba una mostra per tenir un coeficient més gran de 2, molt més elevat que les altres, es tracta de la mostra 13a. A la taula 1, es pot veure que els valors del coeficient d'absorció per capil·laritat estan relacionats amb els valors de l'absorció.

## Absorció d'aigua per capil·laritat

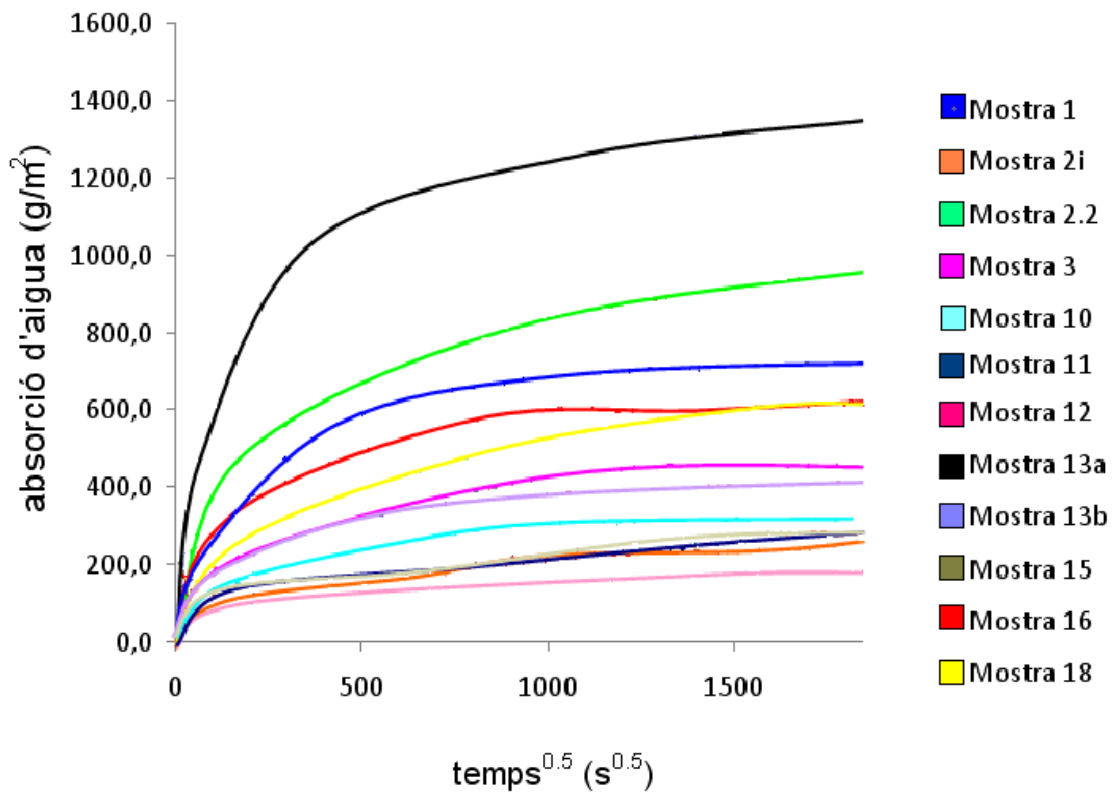


Figura 9. Gràfica resultant de l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat.

En vista dels resultats obtinguts, no es pot definir una clara similitud o relació entre els paràmetres hídrics i la petrologia de les mostres. La única mostra que es pot definir amb una clara tendència ha destacar sobre les altres és la mostra 13a amb valors relativament molt elevats en els resultats hídrics i característiques especials en la seva composició.

### 5.3. Propietats mecàniques

Tot seguit s'analitzen les dades obtingudes de l'assaig mecànic de resistència a la compressió simple realitzat a les mostres de les calcàries estudiades (Taula 2).

Taula 2. Resistència a la compressió de les mostres dels gresos analitzats.

Mostra	Nº de mostres	Mitjana (MPa)	Valor màxim (MPa)	Valor mínim (MPa)	Desviació estàndar
1	6	105,7	123,7	93,0	12,2
2i	6	85,9	115,3	70,1	19,3
2.2	5	72,6	88,6	63,9	10,5
3	5	161,1	179,0	142,2	16,1
10	6	135,2	144,9	113,4	12,6
11	5	112,0	120,4	97,5	9,6
12	6	101,5	104,8	91,3	5,1
13a	6	95,2	104,8	82,7	9,2
13b	7	121,3	137,8	103,6	13,0
15	5	89,8	94,9	80,4	5,9
16	5	134,9	154,8	110,9	19,7
18	5	154,0	168,5	126,2	17,2

**Caracterització de calcaries explotables com a roca ornamental  
al Montsià**

*David Fernández Burriel*

Les mostres 3 i 18 tenen una resistència a la compressió simple superior a 150 MPa, les mostres 2i, 2.2,13a i 15 tenen una resistència a la compressió baixa de menys de 100 MPa i la resta de mostres es reparteixen entre l'interval de 100 a 150 MPa. A la figura 10 es mostren uns exemples de com han anat trencant les mostres segons les discontinuïtats que contenen.



Figura 10. Exemple dels tipus de trencaments de les mostres analitzades.

**Caracterització de calcaries explotables com a roca ornamental  
al Montsià**

*David Fernández Burriel*

Com es pot veure en les imatges, la majoria de provetes han trencat segons una de les tres famílies que si representen. La primera és un trencament que deixa la proveta format una espècie de piràmide on els plans segueixen les direccions de les quatre cares laterals del cub. La segona i tercera família de fractures, mostren el trencament seguint discontinuïtats internes de les provetes en sentits contraris.

Cal destacar també el trencament total o parcial, sense seguir una forma en concret, d'algunes de les provetes a causa de la seva complicada trama de discontinuïtats interiors amb diferents direccions.

## **6. Discussió de les dades**

Seguidament es fa una comparació dels diferents resultats obtinguts en els assaigs de cada mostra i la possible relació entre ells. Posteriorment, es comparen els resultats globals amb els de altres materials.

Pel que fa a l'anàlisi petrogràfica s'han pogut definir quatre tipologies de roca diferents, aquestes són: Grainstone bioclàstic (també conté la subfamília Grainstone/Packestone), Wakestone/Packestone bioclàstic, Dolosparita i destacar una subfamília de Grainstone bioclàstic formada per una sola mostra amb característiques diferents.

A partir d'aquestes quatre tipologies a continuació es mostren les comparacions amb els altres resultats per tal de veure si la classificació feta coincideix amb els altres assaigs realitzats.

Juntament als resultats de l'assaig de compressió simple es pot veure que les mostres que pertanyen a la família Grainstone bioclàstic tenen uns valors de resistència superior a 100 MPa (exceptuant les mostres 2i, 15 i 13a). El mateix passa amb les mostres de la família Wakestone/Packestone. Les dues mostres de la tercera família tenen comportaments bastant diferents pel que fa a la resistència a la compressió simple.

D'aquesta manera s'arriba a la conclusió que la tipologia de roca observada en la làmina prima i l'assaig de resistència a la compressió simple no guarden una relació puntual a causa de la diversificació de resultats.

En l'assaig d'absorció d'aigua per capil·laritat, els valors obtinguts del coeficient d'absorció per capil·laritat són els esperats en una roca de tant poca absorció com ho és la roca calcària. Les dades obtingudes ens mostren que no hi ha gaire relació amb les tipologies descrites segons els resultats de l'anàlisi petrogràfica, ja que cada tipologia té mostres amb valors diferents.

Es vol donar importància al fet que el coeficient d'absorció per capil·laritat a la gran majoria de les mostres assajades no supera el  $1 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ . De la mateixa manera cal dir que la mostra 13a pertanyent al tipus Grainstone bioclàstic, té un coeficient que supera casi 4 vegades la unitat. A la taula 3 es mostra un resum amb els resultats dels assaigs.

Els dos assaig hídrics, el d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica i el d'absorció d'aigua per capil·laritat com era d'esperar guarden una certa relació. Les mostres que tenen valors de % d'absorció també els tenen de coeficient d'absorció per capil·laritat i les mostres amb valors elevats respecte les altres segueixen el mateix patró en ambdós assaigs (Figura 11). Com es pot veure segueixen una relació lineal, exceptuant la mostra 13a, al marge superior dret de la gràfica.

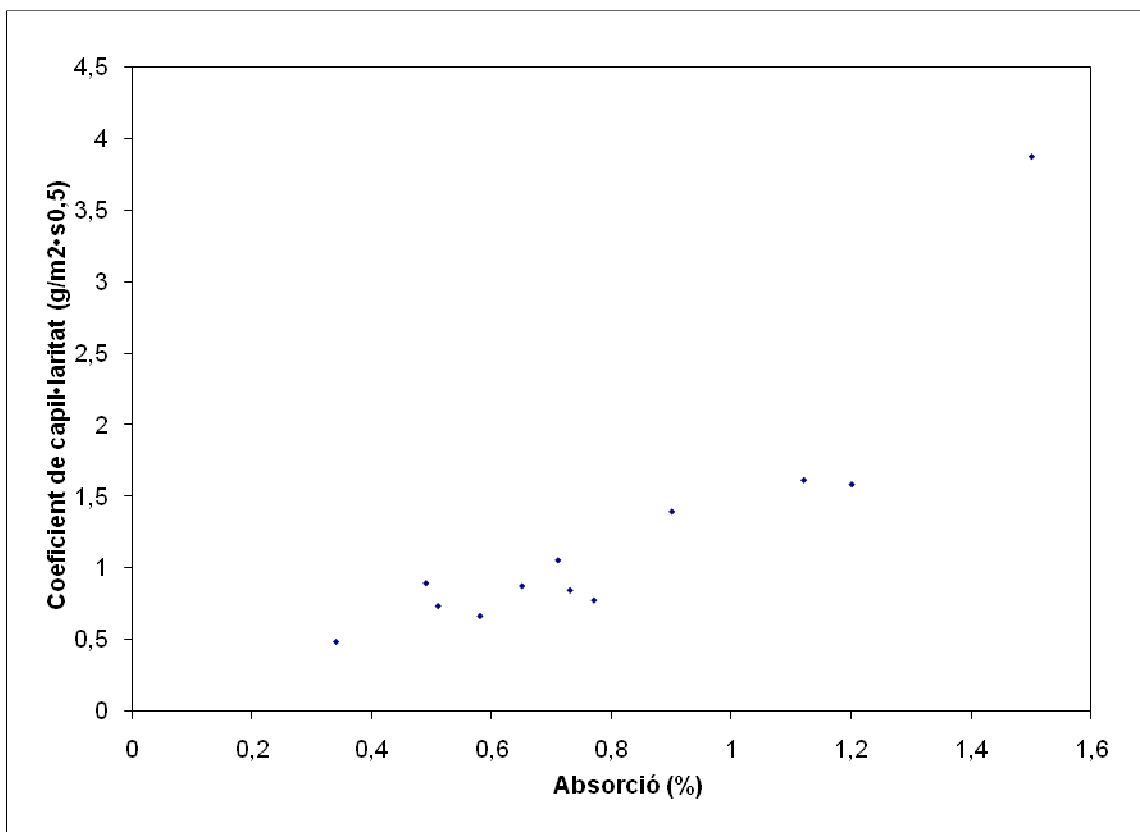


Figura 11. Gràfica comparativa assaigs hídrics.

**Caracterització de calcaries explotables com a roca ornamental  
al Montsià**

*David Fernández Burriel*

Els resultats de l'assaig de resistència a la compressió simple i els assaigs hídrics també mostren una clara relació. Les mostres amb valors elevats de resistència a la compressió tenen valors baixos en les proves hídriques i a les mostres amb valors elevats de les proves hídriques tenen valors baixos en les proves de compressió simple. Aquest fet es degut a la presència més o menys importants de porus en la roca i la seva interconnexió. Com més porus hi ha menys resistència a les forces compressives i si aquests porus estan comunicats entre ells encara menys. Aquesta relació bé determinat pel fet que la capil·laritat està lligada amb la porositat de la mostra, són dos característiques relacionades directament.



Taula 3. Resum dels resultats dels assaigs realitzats.

Mostra	Assaigs			
	Absorció (%)	Coefficient d'Absorció ( $\text{g/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$ )	Pressió en la Compensió (MPa)	Classificació segons làmina prima
1	1,12	1,62	105,7	Wackestone/Packestone bioclàstic
2i	0,49	0,90	85,9	Grainstone bioclàstic
2.2	1,20	1,59	72,6	Dolosparita
3	0,73	0,85	161,1	Wackestone/Packestone bioclàstic
10	0,65	0,88	135,2	Grainstone bioclàstic
11	0,51	0,74	112,0	Grainstone bioclàstic
12	0,34	0,49	101,5	Grainstone bioclàstic
13a	1,50	3,88	95,2	Grainstone bioclàstic*
13b	0,71	1,05	121,3	Wackestone/Packestone bioclàstic
15	0,58	0,67	89,8	Grainstone bioclàstic
16	0,90	1,40	134,9	Grainstone bioclàstic
18	0,77	0,78	154,0	Dolosparita
19	-	-	-	Grainstone bioclàstic

\* Subfamília, mostra especialment porosa.

Seguint amb la classificació feta segons l'anàlisi petrogràfica de les mostres i a partir dels resultats dels assaigs a continuació es valorarà els usos i aplicacions de la roca.

El tipus de roca Grainstone bioclàstic té uns resultats de mitjana elevats pel que fa a la resistència a la compressió simple, superiors a 100 MPa. Aquesta propietat garanteix una utilització del material bona per a paviments aplicant-hi també un correcte acabat.

Les mostres del tipus Wackestone/Packestone bioclàstic, segons els seus resultats mostren una bona aptitud respecte la seva utilització per a paviments. En aquest cas també respondria correctament aplicant el material com a revestiment de façanes a causa dels baixos coeficients extrets de l'assaig d'absorció per capil·laritat.

La tercera tipologia, dolosparita, de la mateixa forma que les altres famílies la seva aplicabilitat es mou en el sector dels revestiments i paviments.

Dins el tipus Grainstone bioclàstic, la mostra 13a a causa de la seva porositat elevada en comparació amb les altres mostres, té un ús més reduït com a revestiment de façanes a causa de que es pot malmetre amb l'absorció d'aigua. De totes maneres aquesta mostra en concret, a causa de contenir rudistes i aquesta coloració que li dona l'òxid de ferro, es pot utilitzar per a la elaboració d'elements decoratius o elements d'interior. Aquestes característiques especials fan que la mostra no pugui tenir la denominació popular de pedra d'Ulldecona, simplement es tracta d'un tipus diferents de les de la zona.

Cal dir que les mostres estudiades també es poden fer servir per a realitzar elements decoratius com poden ésser piques, banyeres, elements per esglésies a causa de ésser un material que interactua d'una baixa forma amb l'aigua.

Les característiques i propietats de la roca donen una idea de com i on es poden utilitzar i aplicar, però també s'ha de tenir en compte el tipus d'acabat de la roca. Segons l'acabat la pedra pot aconseguir incrementar alguna propietat que ajudi a la seva durada (veure Cano et al., 2001).

*Comparació amb altres materials*

A continuació es mostra una taula amb valors d'altres tipus de roca d'alguns dels assaigs realitzats per poder fer una comparació amb les calcàries del Montsià.

Taula 4. Comparativa entre altres materials i el estudiat.

Tipus de roca	Font	Absorció (%)	Coefficient d'Absorció (g/m <sup>2</sup> ·s <sup>0,5</sup> )	Resistència a la compressió (MPa)
Calcaria Gris Pulpis (Castelló)	Cano et al, 2001	0,66	-	-
Gres d'Igueldo Guipúscoa	Fort González et al, 1999	5,17	-	-
Gres de Guadalajara	García del cura et al, 2007	8,50	0,83	-
Calcàries de Piedramuelle (Astúries)	Alonso et al, 1998	5,40	0,58	-
Pedra d'Uldecona (Estudi)	Estudi realitzat	0,73	0,78	136,9
Pedra d'Uldecona (INMAR GRUOP)	<a href="http://www.inmargroup.com">www.inmargroup.com</a>	-	0,55	167,7
Pedra d'Uldecona (Marbres Castell)	<a href="http://www.marbrescastell.com">www.marbrescastell.com</a>	0,40	-	129,0

Del conjunt de tipus de roca les quals es comparen, hi ha la calcària Gris Pulpis de la zona de Castelló, el gres d'Igueldo (Guipúscoa), les calcàries de Piedramuelle (Astúries) i les calcàries d'Ulldecona (amb valors de l'estudi fet i els d'algunes empreses explotadores).

Com es pot veure en la taula 4, els valors de que es disposen pel que fa a l'estudi realitzat i al de les empreses explotadores de pedra d'Ulldecona són valors bastant similars. Tant l'absorció com el coeficient d'absorció tenen valors més baixos que la unitat; pel que fa a la compressió simple, aquests es mouen en valors entre 100 i 200 MPa.

Amb relació a les altres mostres els valors de coeficient d'absorció són molt semblants, on si que es veu la diferencia és en l'assaig d'absorció a pressió atmosfèrica on els gresos tenen valors més grans que 5% tipologies molt més susceptibles a l'acció de l'aigua vers les calcàries. Aquest fet ja és d'esperar a causa de la porositat dels gresos és molt més elevada front la de les calcàries.

## **7. Conclusions**

Les calcàries de la comarca del Montsià, més conegudes com a pedra d'Ulldecona o crema Cenia, és classifiquen petrològicament com Grainstones, Wackestones/Packestone bioclàstics; també es poden trobar dolosparites. La majoria dels afloraments que hi ha corresponen al tipus Grainstone bioclàstic. Totes elles, en algunes més que en d'altres podem trobar restes d'éssers vius com poden ser foraminífers, miliòlits, rudistes i restes de bivalves.

Els resultats obtinguts amb els diferents assaigs ens ha permès determinar quina seria la seva aplicabilitat. Els assaigs físicomecànics de resistència a la compressió han donat uns valors mitjans de 136,94 MPa els quals permeten utilitzar la roca com a paviment en edificis i altres en forma de marbre. D'altre banda els assaigs hídrics realitzats, tant el d'absorció d'aigua a pressió atmosfèrica com el d'absorció d'aigua per capil·laritat, donen valors relativament baixos, propis de la roca calcària, amb valors mitjos de 0,73% d'absorció i de  $0,78 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$  coeficient d'absorció. Aquests valors mostren un comportament de la roca físicament poc susceptible al deteriorament intern a causa de l'acció de l'aigua; d'aquesta manera es fa possible la seva utilització per a revestiments en zones internes o a l'intempèrie a causa de la seva resistència enfront la humitat.

Cal destacar la relació entre els resultats dels assaigs de les diferents mostres. Les mostres molt resistents a esforços compressius uniaxials, tenen valors petits d'absorció i de coeficient d'absorció per capil·laritat. Tanmateix, les mostres amb valors baixos de resistència a la compressió simple, tenen valors elevats en els assajos hídrics. Aquest fet l'explica la existència i connexió major o menor dels porus de la roca i en definitiva la seva porositat, entre d'altres.

## **Caracterització de calcaries explotables com a roca ornamental al Montsià**

*David Fernández Burriel*

Finalment, es vol donar una especial importància a l'aflorament representat per la mostra 13a, la qual té característiques que surten dels paràmetres propis que caracteritzen la roca calcària de la zona. Aquesta mostra no es cataloga com a pedra d'Ulldecona a causa de la seva gran absorció d'aigua, molt per sobre dels valors típics. També el seu aspecte a ull nu, de color rosat a causa del seu ciment d'òxid de ferro que la forma, en fa d'aquest tipus de roca un material perfecte per a la seva utilització per a elements decoratius o en llocs on es vulgui donar certa coloració rosada.

En conclusió, a la gran majoria d'afloraments de roca calcària de la comarca del Montsià, hi ha un material el qual té unes bones propietats per a ser explotat com a roca ornamental. Aquest fet a estat un dels més importants perquè aquest tipus de roca s'exploti i s'hagi explotat per a roca ornamental al llarg del temps i hagi adquirit la importància que té.

## 8. Bibliografia

ALONSO, F. J.; ORDAZ, J.; VALDERÓN, L.; ROJO, A.; DÍAZ-PACHE, F.; i  
ESBERT, R.M. (1998): Caracterización petrofísica de la caliza de Piedramuelle  
(Oviedo, Asturias).

ANADÓN, P.; COLOMBO, F.; ESTEBAN, M.; MARZO, M.; ROBLES, S.;  
SANTANACH, P. i SOLESUGRANES, L1. (1979):Evolución  
tectonoestratigráfica de los Catalánides. Acta Geológica Hispanica, 242-270.

CANO M.; RODRÍGUEZ-MARIBONA, I.; BERAZKA, K.; GARCÍA-GARMILLA,  
F.; YUSTA, I.; IBÁÑEZ-GÓMEZ, J.A.; i GARÍN, S. (2001): Caracterización y  
selección de morteros de restauración aplicados a areniscas del Eoceno de  
Guipuzkoa utilizadas en la construcción de edificios. Geogaceta 30, 215-218.

DUNHAM, R.J.(1962): Clasification of Carbonate Rocks, Mem. Ass. Petrol.  
Geol.,1: 108-121.

FORT GONZÁLEZ, R.; MINGARRO MARTÍN, F.; RODRÍGUEZ BLANCO, J.; i  
LÓPEZ DE AZCONA, M.C. (1999): Las areniscas de la catedral de Sigüenza  
(Guadalajara). Estudio petrológico. Geogaceta 25, 75-78.

GARCÍA DEL CURA, M.A.; BENAVENTE, D.; BERNABÉU, A. i MARTÍNEZ-  
MARTÍNEZ, J.(2007): Estudio del efecto de los acabados superficiales en  
granitos y calizas para su aplicación en pavimentos exteriores de baldosas de  
piedra. Materiales de Construcción, 58, 65-79.

TULIESA ALVASA, A. (2004-2005): Introducció a la geologia de les terres de  
l'Ebre. Departament d'Educació. Generalitat de Catalunya.

UNE-EN 1926: Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la  
resistencia a la compresión, 1999.

UNE-EN 13755. (2002). Métodos de ensayo de piedra natural. Determinación  
de la absorción de agua a presión atmosférica. AENOR Madrid. p. 10.

**Caracterització de calcaries explotables com a roca ornamental  
al Montsià**

*David Fernández Burriel*

UNE-EN 1925:1999. (1999). Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad. AENOR (Eds.), Madrid, 13.

IGME (1998): Mapa geológico de España 1 :50.000 nº 546 "Ulldecona". Madrid.

IGME (1998): Mapa geológico de España 1 :50.000 nº 547 "Alcanar". Madrid.

IGME (1998): Mapa geológico de España 1 :50.000 nº 522 "Tortosa". Madrid.

Pàgina web de l'Institut Cartogràfic de Catalunya: [www.icc.es](http://www.icc.es)

Pàgina web de l'empresa explotadora i comercialitzadora de pedra calcària Inmar Group: [www.inmar-group.com](http://www.inmar-group.com)

Pàgina web de l'empresa explotadora i comercialitzadora de pedra calcària Marbres Castell, S.A.: [www.marbrescastell.com](http://www.marbrescastell.com)