

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Arquitectura Tècnica

**Títol:** ESTUDI DE LA CALÇ “GROGA” DE CRESPIÀ

**Document:** Memòria i annexos

**Alumne:** Andreu Cànoves i Vilar

**Tutor:** M<sup>a</sup> Mercè Pareta Marjanedas

**Departament:** Arquitectura i Enginyeria de la Construcció (DAEC)

**Àrea:** Construccions arquitectòniques

**Convocatòria (mes/any):** Juny/2016

## AGRAÏMENTS

Agrair molt cordialment a la meva tutora, la Dr. M<sup>a</sup> Mercè Pareta, per tots els dies i temps que ha dipositat en ajudar-me a tirar endavant el projecte solucionant tots els problemes de qualsevol classe.

Igualment al Dr. Giovanni Pardini per ensenyar-me i explicar-me tot el món de les argiles i com fer front a poder entendre i analitzar els resultats del STR.

Per igual al Dr. Miquel Angel Chamorro, per aportar molts consells concrets per una correcta evolució del projecte i a més a més portar-me el funcionament del STR.

No em vull deixar tot l'agraïment amb el Sr. Pere Bellvehí ja que no tinc paraules per descriure tots els problemes que m'ha solucionat, les idees que m'ha suggerit, l'ajuda en tot moment per l'elaboració dels assajos, en fi, totes les facilitats alhora de mourem pel laboratori i la grata convivència que hem tingut durant tot aquest temps.

També a tot l'equip de professorat de l'escola politècnica superior de la universitat de Girona, que hem coincidit al laboratori per les aportacions de petits suggeriments que al mateix temps han set molt grans.

Al Sr. Frederic Reig, per ensenyar-me i explicar-me l'antic mètode d'extracció i preparació de la calç “grogà” de Crespià utilitzant en la fàbrica Incarcal.

Al Sr. Manuel Sales, per obrir-me la porta de casa seu sempre que ho he desitjat i ensenyar-me i discutir sobre el món de la calç.

Al Sr. Alfons Menció, primer de totes les explicacions de caràcter més constructor i per regalar-me un sac de calç de l'antiga empresa Incarcal sabent lo difícil que és trobar-ne un.

Al Sr Francesc Xavier Quer, alcalde de Crespià, i amb en Pere Rubirola, en nom de l'empresa Uralita, per deixar-me fer tots els forats que he volgut a la pedrera.

A l'empresa TEICON i en concret amb el Sr. Pere, per atendre en nom de l'empresa, per la donació de sorra com a producte de proximitat per utilitzar-la al projecte.

Al Sr. Esteva per ensenyar-me l'antiga fàbrica.

També a tots els que ens hem conegut a través de la calç "goga" de Crespià i que no us he nomenat però que heu aportat un gra de sorra al projecte, gràcies.

Finalment agrair a la família i als amics pel suport moral d'aquest temps.

Gràcies a tots.

## Índex

<b>1 INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>6</b>
1.1 PRÒLEG/ANTECEDENTS.....	6
1.2 OBJECTE.....	9
1.3 ESPECIFICACIONS I ABAST.....	9
1.4 ESTAT DE L'ART .....	9
<b>2 EL MATERIAL: LA CALÇ “GROGA”</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 LA PEDRERA</b> .....	<b>13</b>
2.1.1 LOCALITZACIÓ.....	13
2.1.2 NORMATIVA QUE AFECTA LA PEDRERA .....	14
2.1.3 DESCRIPCIÓ.....	16
2.1.4 EXTRACCIÓ DEL MATERIAL .....	18
<b>2.2 LA PEDRA</b> .....	<b>19</b>
2.2.1 DESCRIPCIÓ.....	19
<b>3 DETERMINACIÓ DE LA COMPOSICIÓ MINERAL DEL MATERIAL</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 ASSAIG DE DIFRACCIÓ I FLUORESCÈNCIA DE RAIG X</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 SEGON ASSAIG DE DIFRACCIÓ DE RAIG X</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3 LES ARGILES</b> .....	<b>32</b>
3.3.1 ASSAIG PER DETERMINAR QUIN TIPUS D'ARGILA CONTÉ EL MATERIAL .....	36
<b>4 PREPARACIÓ DEL MATERIAL PER A SER APTA PER A LA CONSTRUCCIÓ</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1 EL MÈTODE GENERAL</b> .....	<b>42</b>
4.1.1 RESUM DE LA DESCRIPCIÓ TEÒRICA DEL PROCÉS .....	42
4.1.2 DESCRIPCIÓ PRÀCTICA DEL PROCÉS.....	43
4.1.3 FORNADES DE LA 1 A LA 11 .....	45
4.1.4 ALTRES ANÀLISIS D'INTERÈS EFECTUADES .....	54
<b>4.2 EL MÈTODE SEGONS L'ANTIGA EMPRESA INCARCAL</b> .....	<b>56</b>
4.2.1 L'ANTIGA FÀBRICA D'INCARCAL.....	57
4.2.2 PROCEDIMENT AL LABORATORI REPRODUINT EL MÈTODE D'INCARCAL.....	58



<b>5 PART EXPERIMENTAL</b> .....	<b>59</b>
<b>5.1 DETERMINACIÓ DELS ASSAJOS</b> .....	<b>59</b>
<b>5.2 DETERMINACIÓ DELS MATERIALS UTILITZATS EN LA PASTA</b> .....	<b>60</b>
<b>5.3 DETERMINACIÓ DE LES DOSIFICACIONS</b> .....	<b>63</b>
<b>5.4 ELABORACIÓ DELS MORTERS AL LABORATORI</b> .....	<b>64</b>
<b>5.5 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA CONSISTÈNCIA DEL MORTER</b> .....	<b>65</b>
5.5.1 RESULTATS.....	67
<b>5.6 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT APARENT EN FRESC</b> .....	<b>68</b>
5.6.1 RESULTATS.....	70
<b>5.7 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ADHESIÓ</b> .....	<b>71</b>
5.7.1 ELABORACIÓ DE LES PASTILLES.....	72
5.7.2 RESULTATS.....	78
<b>5.8 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A FLEXIÓ</b> .....	<b>81</b>
5.8.1 RESULTATS.....	83
<b>5.9 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT APARENT EN SEC DEL MORTER</b> .....	<b>85</b>
5.9.1 RESULTATS.....	87
<b>5.10 ASSAIG POSADA EN OBRA</b> .....	<b>88</b>
5.10.1 RESULTATS.....	89
<b>6 ANÀLISI DE RESULTATS</b> .....	<b>91</b>
<b>6.1 INTERPRETACIÓ DE RESULTATS PARTICULARS</b> .....	<b>91</b>
6.1.1 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA CONSISTÈNCIA DEL MORTER.....	91
6.1.2 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT APARENT DEL MORTER FRESC .....	93
6.1.3 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A L'ADHESIÓ.....	94
6.1.4 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA RESISTÈNCIA A FLEXIÓ .....	99
6.1.5 ASSAIG PER LA DETERMINACIÓ DE LA DENSITAT APARENT EN SEC DEL MORTER ENDURIT .....	102
<b>6.2 INTERPRETACIÓ DE RESULTATS GLOBALS</b> .....	<b>105</b>
<b>7 CONCLUSIONS</b> .....	<b>107</b>
<b>7.1 PARTICULARS</b> .....	<b>107</b>
7.1.1 CONCLUSIONS DELS ASSAJOS .....	108
<b>7.2 GENERALS</b> .....	<b>110</b>
<b>7.3 NOVES VIES D'INVESTIGACIÓ</b> .....	<b>112</b>

---

<b>8</b>	<b>REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES</b> .....	<b>113</b>
<b>9</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>117</b>
<b>9.1</b>	<b>ARXIU FOTOGRÀFIC</b> .....	<b>126</b>

Totes les imatges, esquemes, taules i diagrames que no tinguin especificats en el peu pertinent la font, és perquè és pròpia.

# 1 Introducció

## 1.1 Pròleg/antecedents

Tot comença un bon dia d'estiu a la feina, fent un aixecament en una casa de Serinyà i observant un rejuntat de pedra que em va resultar curiós ja que visualment el color del morter combinava amb el de les pedres. Era d'un color groguenc, cremós, sorrenc. Per casualitat en aquell moment hi havia el propietari i li vaig preguntar que era, ja que li quedava molt bé el color del morter de la façana. El propietari em respongué que van utilitzar, pel rejuntat, calç groga en el morter. Així fou com vaig sentir per primera vegada calç groga. Vaig trobar-ho molt estrany, no sabia de què em parlava al dir calç groga tan tranquil·lament, tenia entès que la calç era blanca, i em vaig pensar que era una forma de dir-ho, i que el morter que em vaig trobar estava compost amb calç i algun additiu. La conversa es va quedar allà, amb la intriga dins al cap.

Un dia parlant amb un familiar del món de la construcció, li vaig comentar sobre el rejuntat de pedra que m'havia trobat, i va ser una sorpresa quan em va explicar que anteriorment es comercialitzaven un sacs de calç procedents de Crespià, amb la peculiaritat del color groguenc d'aquesta. N'havia trobat a diferents obres de la zona i segons tenia entès tothom deia que anava molt bé, utilitzant-la com a plastificant. Però que la fàbrica productora anomenada Incarcal feia anys que havia tancat i que ara mateix no se'n comercialitzava.

Em va picar la curiositat i vaig entrar a Internet a fi de buscar informació i ampliar el coneixement però no vaig trobar res sobre el material, la fabrica, els sacs, mètodes d'aplicació, etc... Només a una pàgina: *GiasGTP – buscador professional de marques i productes, guia de la construcció*; sortia el nom: *Industrias del carbonato calcico, S.A.*, un telèfon de contacte i el nom Incarcal.

Comentar que al buscador, la majoria de pàgines que enllaçaven Incarcal, calç groga i Crespià, sortien articles i notícies sobre uns jaciments paleontològics molt importants que varen trobar a la pedrera, explicant la seva història, procedència, problemàtica, però res d'interès enfocat a la construcció i/o al material.

Em trobava en un moment acadèmic en que deliberava i pensava sobre possibles temes de projecte final de grau. I de sobte em van sorgir unes ganes a saber més sobre aquesta calç groga que com més difícil era trobar informació, més intriga i curiositat em feia ja que era evident que la calç havia existit, s'havia utilitzat, havia funcionat, però tot eren només paraules.

Per seguir buscant informació, vaig creure oportú demanar una cita amb l'Alcalde de Crespià, el Sr. Francesc Xavier Quer i Bosch, qui molt gratament em va atendre. Vam parlar de molts temes: tot el relacionat amb el jaciment paleontològic, m'ensenyà exactament on es troba la pedrera, em donà permís per accedir-hi, m'explicà el que sabia de l'empresa Incarcal i, molt important, la informació de que creia que la concessió actual de la pedrera la tenia l'empresa Grup Uralita de Beuda. També em va donar el telèfon de contacte d'un constructor autònom de Crespià, que creia que em podria explicar molt sobre la calç.

Acte seguit vaig trucar al telèfon de contacte que havia trobat per Internet i em vaig trobar que parlava amb el Grup Uralita de Beuda. Em van concedir una entrevista amb el Sr. Pere Rubirola, cap de producció. Em va explicar que afectivament el Grup Uralita té la concessió de l'extracció de la calç, però que no l'exploten ni tampoc hi ha cap projecte previst per reobrir-la. Em va donar permís per fer les extraccions que volgués a la pedrera.

L'endemà vaig anar a la pedrera, a observar i tocar el material.

També vaig quedar amb el Sr. Alfons Menció, constructor de Crespià. Va ser una alegria poder-li fer una entrevista ja que havia treballat amb la calç groga, em va explicar i ensenyar molts punts de la calç groga. A més a més, vull esmentar que al cap d'uns dies em va aconseguir i regalar un sac ple de calç groga d'Incarcal, tot i que no l'he utilitzada en els assajos corresponents per por de l'estat de emmagatzematge que hagués tingut el sac durant tots aquests anys. Incarcal va treure l'últim sac fa ara uns 12 anys, i segurament el material s'ha malmès.

Una possible font d'informació molt important seria poder fer una entrevista a algun ex-treballador de la fàbrica Incarcal, sobretot per saber el procés de producció i tractament de la pedra per reproduir-ho al laboratori i per obtenir calç apte per la construcció en perfectes condicions.

Amb qui sí que vaig poder contactar, i em va atendre diversos cops, va ser amb el Sr. Manuel Sales Alcaine, coordinador de producció de l'empresa Cales del Llierca. Té molta experiència en la matèria i em va explicar un munt de coses sobre la calç, el seu procés, els forns, quines calç son aptes i quines no, les característiques més importants a tenir en compte d'una pedra calcària, etc... A part, l'empresa Cales del Llierca és de Sant Jaume de Llierca i tracta amb pedreres de la zona així que vaig seguir el seu procés de producció. Juntament amb informació trobada a llibres i articles on s'esposava el mateix procés.

Va ser a partir d'aquí, que vaig decidir tirar el projecte endavant.

Per obtenir més informació del material vaig creure convenient analitzar-lo als STR (serveis tècnics de recerca) que disposa la Universitat de Girona. Allà vaig conèixer el Sr. Jordi Blavia Bergós, Cap dels Serveis Tècnics de Recerca – UdG, que em va explicar com havia d'entregar la mostra, com funcionava i una petita visita a les màquines que s'usarien per l'anàlisi del material.

Com observareu en el projecte, utilitzant el procés de producció esmentat anteriorment i definit en el projecte, no vaig aconseguir en cap moment calç groga. Amb això no vull dir que no aconseguís una calç apte per la construcció, no ho sé, però jo partia d'una premissa fonamental per mi, que era el color. En comparació al color del sac de calç que em va donar el Sr. Alfons Menció eren molt diferents (observareu en el treball un mostreig de color que ho demostra) .

Aquí hi va haver un punt d'inflexió en el treball, on casi l'abandono. Vaig provar de canviar diferents paràmetres però el resultat era sempre el mateix. Per això vaig parar i em vaig dedicar a buscar un treballador de l'antiga empresa d'Incarcal.

Per casualitats de la vida, em varen comentar que el Sr. Esteve, que treballa en un taller mecànic de Banyoles, tenia relació amb Incarcal. Vaig anar a buscar el taller i em va atendre.

El Sr. Esteve és el propietari dels terrenys on hi ha la fàbrica Incarcal. Em va ensenyar la fàbrica per dins i em va anomenar el Sr. Frederic Reig, antic treballador d'Incarcal i Yesos Argelaguer com a antic treballador.

Finalment vaig buscar el telèfon del Sr. Frederic a la guia i vam concretar una entrevista. El Sr. Frederic em va concedir una entrevista on em va atendre amb molt d'interès. Em va explicar una infinitat de coses i em va resoldre totes les incògnites que tenia. La principal va ser el procés de producció de la calç.

A partir d'aquí el color del projecte va canviar, ja que seguint el seu mètode s'aconsegueix una calç amb un color preciós.

## 1.2 Objecte

L'Objecte a estudi és caracteritzar i descobrir quines propietats té la calç “grogà” de Crespià. Conduint-la en la elaboració d'un element eficient i afectiu en la construcció actual.

## 1.3 Especificacions i abast

Primer de tot com obtenir el material de la pedrera, segonament procedir a fer els tractaments pertinents a la matèria primera per a la creació d'un material apte per enfocar el seu ús en la construcció actual.

Un estudi per conèixer quin material obtinc.

I a partir d'aquí s'hauran de dur a terme tots els assajos necessaris per poder decidir depenent dels resultats, esbrinar per a què pot servir, com per exemple per a la elaboració de morter, com a plastificant de formigó o simplement com a pasta d'acabat.

També quina seria la millor proporció (dosificació).

En tot moment la idea general és poder utilitzar materials sostenibles i de proximitat.

## 1.4 Estat de l'Art

En aquest projecte no s'ha trobat cap informació prèvia relacionada amb el tema principal, la calç “grogà” de Crespià. Una opció hagués estat deixar-lo buit, ara bé, a continuació es citen els punts d'informació consultats prèviament a la confecció del projecte més significatius, que han servit de suport, ja que encara que no estiguin relacionades directament amb el tema principal, d'ells han servit d'ajuda per començar a treballar en el projecte en certs apartats.

A diferència de les fonts consultades exposades a les recerques bibliogràfiques que són el suport d'informació durant l'elaboració del projecte.

En els antecedents queda reflectit l'ordre cronològic de les entrevistes efectuades als diferents agents. Es pot dir que són la font d'informació més directa i concisa sobre el tema principal del projecte (la calç groga) i tenen una relació directa amb les aptituds acadèmiques aconseguides per realitzar diferents apartats del projecte.

 ENTREVISTES:

**Sr. Manuel Sales.** Procés d'elaboració de la calç. Funcionament d'un forn. Comparació de resultats químics obtinguts en el propi projecte envers els de la seva fàbrica.

**Sr. Frederic Reig.** Com extreure la pedra de la cantera i determinar un bon lloc d'extracció. Procés elaboració de la calç. Emmagatzematge.

**Sr. Alfons Menció.** Com elaborar les dosificacions. Proporcions de calç. Com realitzar un correcte remolinat.

**Dr. Miquel Angel Chamorro, Sr. Jordi Blavia, Sr. Xaveir Fontrodona.** Funcionament STR (Servei Tècnic de Recerca) i l'anàlisi de les mostres.

**Dr. Giovanni Pardini.** Anàlisi i interpretació dels resultats obtinguts del STR. Estudi de les diferents argiles i com afecten en la construcció.

 ARTICLES:

**PERQUÈ LA CALÇ: QUINA, QUAN I COM.** **Montserrat Guixeras**, Diplomada en Conservació i Restauració d'Escultura per l'ESCRBCC. Mestre de la calç. **Sònia Argano**, Diplomada en Conservació i Restauració d'Arqueologia per l'ESCRBCC i Tècnica Superior de laboratori químic. Mestre de la calç.

*“En aquest article desxifrem la descripció i caracterització de la calç, amb la intenció de preguntar-nos amb rigor científic el perquè de l'elecció d'aquest material. Un coneixement de les seves propietats que ens durà a saber escollir la calç més adequada, en quin moment i de quina manera aplicar-la, de forma única i precisa per a cada intervenció de conservació i restauració.”*

**RECERCA EN PATRIMONI ETNOLÒGIC A L'ALTA GARROTXA. EL TREBALL DE LA CALÇ A L'ALTA GARROTXA: D'ACTIVITAT ECONÒMICA COMPLEMENTÀRIA A PATRIMONI CULTURAL.** Pau Martin Institut del Patrimoni Cultural de la Universitat de Girona. Inès Carrillo Consorci per a la protecció i la gestió de l'EIN. Alta Garrotxa.

*“Els treballs previs imprescindibles per posar en funcionament els forns de calç eren, segons les persones entrevistades, tan simples com durs: l'extracció de la matèria primera, la pedra calcària, i la cerca del combustible necessari per la llarga cuita. Llavors, calia portar-los fins a peu de forn, tasca en la qual l'abrupte terreny i els desagraïts camins tenien molt a dir. Justament per les dificultats del transport s'entén que l'emplaçament dels forns estigués sempre en funció de la seva proximitat a punts d'aprovisionament de pedra i llenya i que, en ocasions, l'esgotament dels recursos propiciés l'abandonament dels forns.”*

**CONSECUENCIAS DE LA INCORPORACIÓN DE CARBONATO CÁLCICO EN EL MATERIAL CERÁMICO.** Javier Fanlo Loras Doctorant en la Universitat de Zaragoza Fernando Pérez Lambán Becari FPU en la Universitat de Zaragoza.

*“En aquesta comunicació es presenten els resultats d'un treball experimental sobre les conseqüències de la incorporació de carbonat càlcic en la ceràmica. El procés de cocció pot provocar la seva transformació en calç viva (CaO) donant lloc a serioses afeccions a la funcionalitat i fins i tot a la integritat de la peça ceràmica. La presència d'aquest material tant en algunes vetes argila com entre les inclusions d'algunes ceràmiques prehistòriques justifiquen l'estudi per a la seva millor comprensió. Per a això s'ha treballat sobre les següents variables: tipus de carbonat càlcic, granulometria del mateix i cocció. Posteriorment s'ha mesurat el grau d'afecció per la descomposició derivada de la seva transformació en calç viva.”*

#### REVISTES

**EcoHabitat**, en 12 setembre de 2011.

*La relegada cal es uno de los materiales más reivindicados desde la bioconstrucción, por sus grandes ventajas frente al cemento Pórtland.*



 ALTRES

**FOCCAL.** PRESIDENTE Representante de la UAT. VICEPRESIDENTE Patricia Serrano Ramírez. TESORERO Representante de SACAL. SECRETARIO Luis Legorreta Hernández. VOCAL Jeffrey John Rottler. VOCAL Marco Tulio Santos Pantoja. VOCAL Representante de ANFACAL. VOCAL Ramón Aguirre Morales. VOCAL Javier Rivero Andrade.

*“El **FOCCAL** es el Foro de Construcción con Cal; Asociación sin fines de lucro que tiene como objetivo principal el vincular a docentes, investigadores, estudiantes, constructores, distribuidores, productores y funcionarios públicos que por el carácter de sus actividades utilicen cal o tengan interés de aprender sobre las aplicaciones de este versátil material dentro del ramo de la construcción.”*

Dins aquesta associació s'ha investigat diferents articles, informació general i dels fòrums. Els articles més significatius són els següents:

**CAL, UN ANTIGUO MATERIAL COMO UNA RENOVADA OPCIÓN.** Miguel Galván Ruíz / Rodrigo Velázquez Castillo

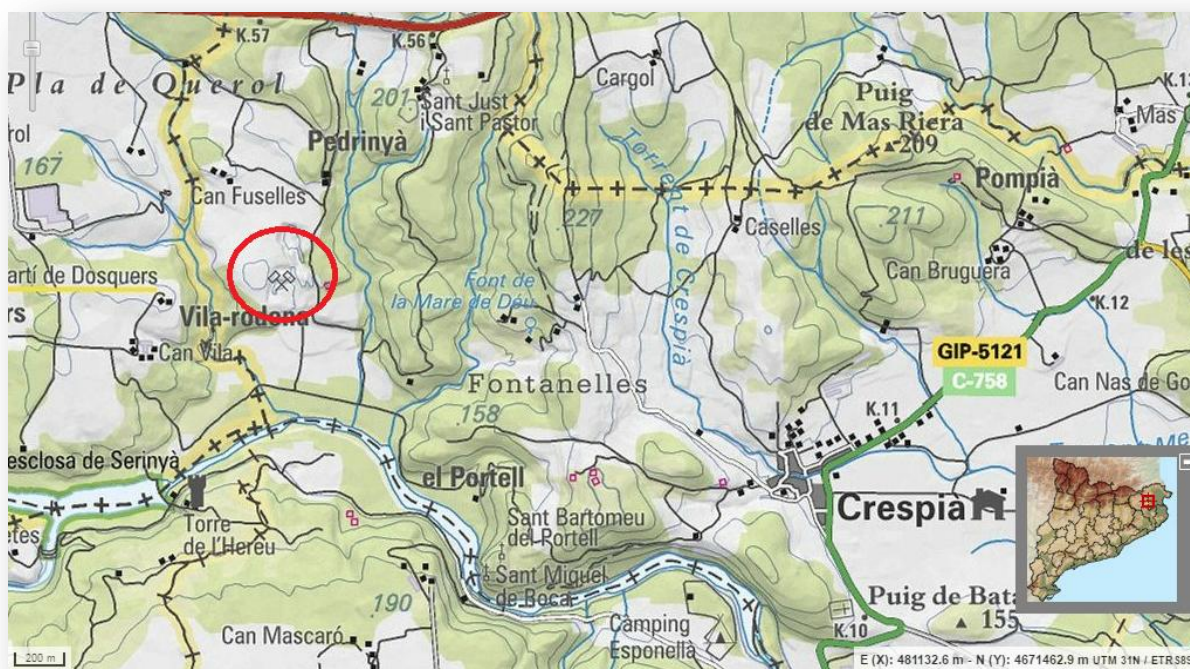
**LA CAL Y LA CALIDAD EN LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA.** Rosario Tovar Alcázar, José Roberto García Chávez

## 2 El material: la calç “grogà”

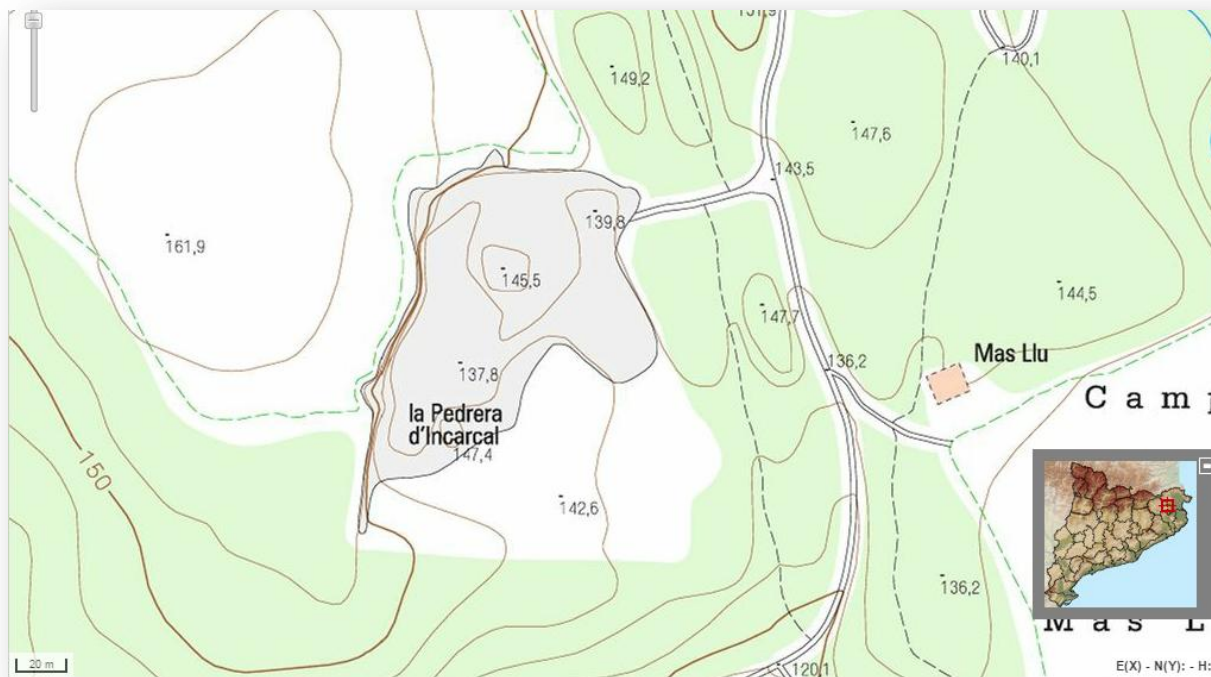
### 2.1 La pedrera

#### 2.1.1 Localització

La pedrera es troba situada a la província de Girona, comarca del Pla de l'Estany, a l'Oest del terme municipal de Crespià a tocar del terme municipal de Maià de Montcal.



Imatge 1: Plànol situació pedrera, escala i coordenades UTM incloses a la imatge.



Imatge 2: Plànol topogràfic pedrera, escala inclosa a la imatge.

### 2.1.2 Normativa que afecta la pedrera

A continuació es mostra la part de les normes subsidiàries en vigor del municipi de Crespià, que regulen la zona amb referència nº11 que inclou els terrenys de la pedrera Incarcal i, tot seguit, un fragment del plànol d'ordenació del municipi on s'observa la pedrera dins la zona ratllada amb el nº 11.

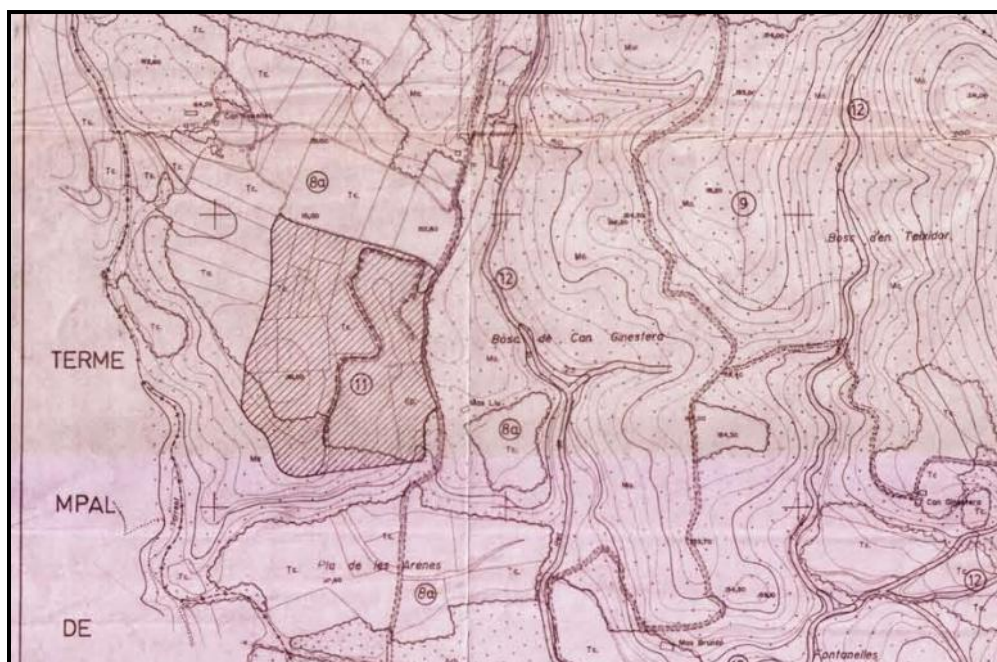
#### Capítol 5è – Zona de protecció paleontològica. (11)

##### Article 85 – Definició.

*L'existència d'una Zona d'excepcional interès paleontològic coincidint amb la cantera que actualment explota l'empresa Incarcal, obliga a dictar una Norma de protecció sense eliminar la font de descobriment dels ossos d'animals prehistòrics, que és la mateixa explotació de la pedrera.*

- a) *Queda prohibida tota acció d'edificació en les zones assenyalades com de protecció paleontològica per aquetes Normes Subsidiàries o per acord de la Conselleria de Cultura de la Generalitat de Catalunya o altre organisme competent.*
- b) *Les edificacions auxiliars, que per el servei paleontològic puguin ésser necessàries, hauran d'aportar el compromís fefaent que garanteixi la seva demolició sense dret a indemnització en cas d'ésser necessari.*
- c) *Queda prohibida en aquesta zona qualsevol obra de serveis que modifiqui el subsòl (per exemple: xarxa d'aigua, desaignües, enllumenat, telèfon, etc...).*
- d) *Es permet l'explotació de la pedrera per part de l'empresa Incarcal (o una altra empresa que la substitueixi) sempre i quan, dita empresa signi un compromís amb l'Ajuntament conforme realitzarà l'extracció adoptant les precaucions necessàries, comunicant a l'Ajuntament i a la Conselleria de Cultura de la Generalitat qualsevol troballa de nous restes paleontològics, i facilitant les tasques de recuperació dels mateixos per part de l'Institut de Paleolontogia de Sabadell o altres institucions en qui delegui.*

**Fragment 1: Extret de la memòria de les normes subsidiàries de planejant tipus a i tipus b del 15/10/1990 del municipi de Crespià.**



**Imatge 3: Part del plànol nº9, terme municipal de Crespià: ordenació general i estructura E-1/5000.**



Queda clar que la normativa urbanística municipal planteja una protecció de les troballes paleontològiques sense prohibir l'explotació de la pedrera, ja que considera l'explotació com un recurs per a la descoberta dels ossos d'animals prehistòrics.

Abans de començar cap extracció per part de l'autor, remarcar que es té acord verbal amb el Sr. Francesc Xavier Quer i Bosch, alcalde de Crespià, a informar de qualsevol troballa d'interès paleontològic. A més, es gaudeix de l'autorització del Sr. Pere Rubirola, cap de producció del grup Uralita (guixos Beuda), per efectuar les extraccions pertinents.

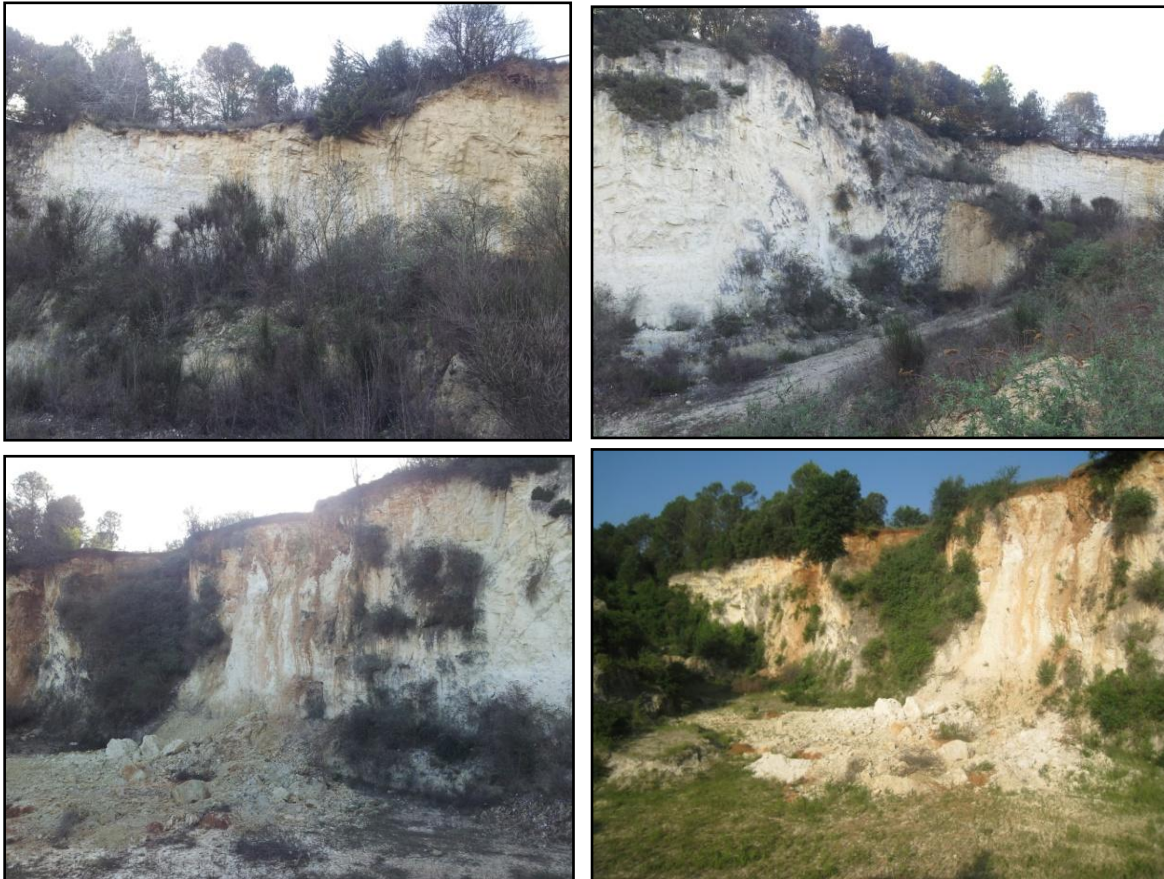
### 2.1.3 Descripció

La pedrera té l'accés de vehicles pel Nord-est. A primera vista s'observa els anys que fa que és tancada ja que la vegetació ha renascut en quasi la seva totalitat, tot i això encara hi ha zones de fàcil accés i de fàcil extracció. Aproximadament, del punt més baix al punt més alt, s'hi percep un desnivell d'uns 20 m.



Imatge 4: Ortofoto aèria pedrera, escala inclosa a la imatge, coordenades UTM més concretes.

Al fer una inspecció ocular a la pedrera, s’observa que el material que la conforma en quant a color, textura i duresa és bastant homogeni en general. Tot hi que es distingeixen dues grans vetes on el material és més blanquinos que la resta.



**Imatge 5: S’observen les diferents vetes més blanquinoses de la pedrera.**



### 2.1.4 Extracció del material

A l'hora d'extreure el material es decideix procedir a l'extracció de la zona central de la pedrera on la gran major part del material és de color groguenc i no pas de les dos vetes blanquinoses, ja que la finalitat és aconseguir el material groguenc.



Imatge 6: Part central de la pedrera.

Per extreure el material, primer s'estimen uns 5-10 cm. de material contaminat que és retiraran abans de l'obtenció del desitjat, sobretot en zones on l'afectació de la vegetació és major. S'utilitza pic, pala i sacs de cartró per l'emmagatzematge fins al laboratori de la UdG.



Imatge 7: Visualització de la capa exterior contaminada de la pedrera.

Un cop retirat aquets 5-10 cm. s'observa, dins la zona central, zones on el material és més porós que d'altres o bé més rogenc. Fins i tot, al donar el cop amb el pic, hi ha zones on sembla ser que el material és més mantegós, és a dir, s'enganxa al pic i no es fissa de la mateixa manera. Per solucionar aquest fet es decideix extreure de tres zones diferents de la part central de la pedrera. El material extret s'emmagatzema catalogant la zona de procedència.



**Imatge 8: Zones extracció: Color vermell zona A, color blau zona B i color groc zona C.**

De les tres zones s'extreu material fins a uns 30 centímetres de profunditat ja que amb els mitjans disponibles per a l'extracció, el pic i pala, no es poden aconseguir grans excavacions a profunditat amb facilitat.

## 2.2 La pedra

### 2.2.1 Descripció

Les roques extretes de les diferents zones queden distingides a inspecció visual de la següent forma:

- Zona A: Roques més plàstiques i homogènies, color més blanquinós que la zona B.
- Zona B: Roques més poroses i rugoses, color groguenc.
- Zona C: Roques en estat més argilós, més rogenc a l'interior.





**Imatge 9: Diferències visuals de les mostres del material catalogades per zones.**

Totes les pedres es trenquen amb bastant facilitat, són toves. La majoria de les pedres, al trencar-les, són molt homogènies en quan a l'aparença exterior, menys les de la zona C que a l'interior apareix una textura més rogenca. Totes al tocar-les amb la mà nua, deixen anar un polsim de material.



**Imatge 10: Pedra oberta zona C.**

Un aspecte que s'ha tingut en compte és la humitat en que les pedres arriben al laboratori. Totes les extraccions s'han dut a terme en dies on feia almenys tres o quatre dies que no plovia. Es realitza un assaig d'humitat i els resultats són els següents de forma mitjana:

- Zona A: 15% d'humitat.
- Zona B: 20-30% d'humitat.
- Zona C: Superior a un 44% d'humitat.



Imatge 11: Assaig d'humitat zona B.

### 3 Determinació de la composició mineral del material

Tots els diagrames mostrats en aquest apartat tenen una dimensió considerable i es mostraran a l'annex en format gran per a una millor visualització.

#### 3.1 Assaig de Difracció i fluorescència de Raig X.

Per avançar en l'estudi és fonamental conèixer més a fons el material en qüestió. Per això, un cop aconseguit el material desitjat, s'envia una mostra (uns 100 g.) a analitzar al Servei Tècnic de Recerca que disposa la Universitat de Girona, anomenada **mostra C1**, a fi de determinar la composició mineral.

S'utilitzaran dos mètodes d'assaig:

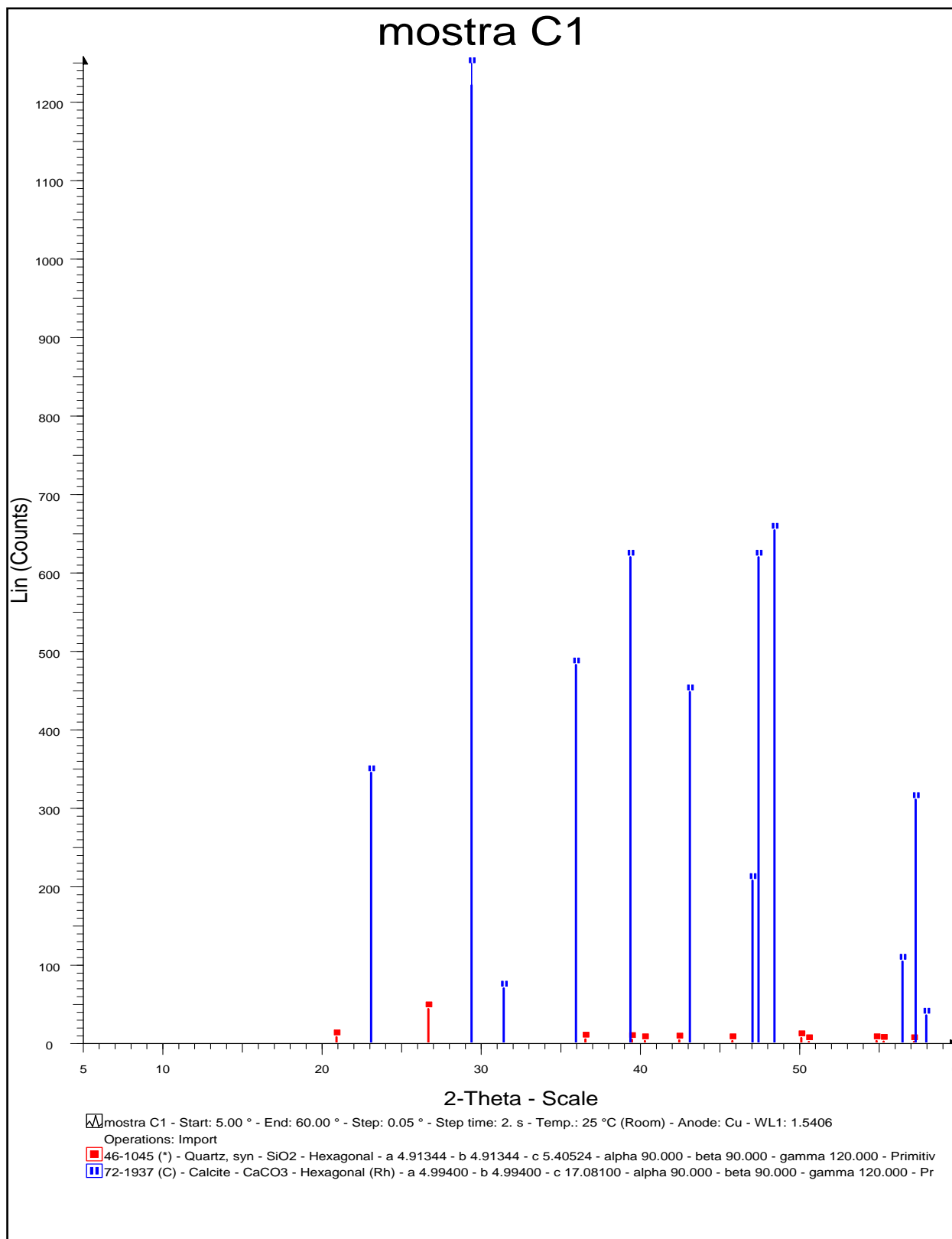
- ✚ Difracció de Raigs X de pols i anàlisi qualitativa de fases.
- ✚ Fluorescència de Raigs X.

## Instrumentació emprada:

- Sedassat i molturat: molí de boles vibratori Fristch Pulverisette 0.
- Difractòmetre de Raigs X de pols Bruker, model D8 Advance, amb geometria Bragg-Brentano Theta – 2Theta, mode reflexió. Radiació Kalfa del Coure ( $\lambda = \text{Å}$ ). Potència de treball: 40KV, 40mA. S'ha utilitzat un monocromador secundari de grafit. Amplada de Pas:  $0.05^\circ$ .
- Fluorescència de Raigs X per separació d'energies (EDXRF) Bruker, S2 Ranger, amb tub de raigs X amb ànode de Pd, de fins a 50W, 50kV, 2000µA, detector EDX XFlash LE Silicon Drift Detector amb àrea activa de  $10\text{mm}^2$  i resolució  $<129\text{eV}$ .

## Preparació de la mostra:

- Per a difracció de raigs X de pols la mostra s'ha molturat fins a mida de gra de  $65\ \mu\text{m}$  i s'ha dipositat en el portamostres de difracció sense sotmetre-la a cap altra manipulació física o química.
- Per a Fluorescència de raigs X la mostra s'ha molturat fins a mida de gra de  $65\ \mu\text{m}$ , s'ha fet una pastilla premsada i s'ha analitzat sense sotmetre-la a cap altra manipulació física o química.



**Diagrama 1:** Difractograma amb l'anàlisi de fases de la **mostra C1**. Font: Resultats STR

Elem. Lleugers/majoritaris	
Na <sub>2</sub> O	0,16
MgO	0,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,53
SiO <sub>2</sub>	3,92
SO <sub>3</sub>	0,116
Cl	0,017
K <sub>2</sub> O	0,37
CaO	52,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,63
Elem.pesants/minoritaris i traça	
Mn	0,0090
Rb	0,0017
Sr	0,0362
Zr	0,0036
Resultats expresats en %	

**Taula 1:** Fluorescència de raigs X de la **mostra C1**. **Font:** Resultats STR

#### Anàlisi dels resultats:

Per difracció de raigs X es pot veure que la mostra C1 està composta majoritàriament de Calcita (CaCO<sub>3</sub>). Com a component minoritari conté Quars (SiO<sub>2</sub>) (Diagrama 1).

Aquest anàlisi fet pel difractòmetre es pot comprovar a través del diagrama i d'unes taules on estan caracteritzats els elements i definida la seva escala corresponent (2-theta). També aquestes taules mostren el valor de la longitud A, o bé la dimensió "d", que és el mateix. Tots aquests punts estan descrits més endavant.

Llavors per comprovar l'anàlisi, els pics reflectits en el diagrama han de concordar en la posició de l'escala inferior (2-Theta) amb el valor 2-theta corresponent que té assignat cada element. No és necessari que hi siguin tots, sinó que si hi ha com a mínim els tres pics, la lletra "I" majoritaris de cada element, seria suficient per afirmar que existeix l'element en la mostra.

A continuació es mostra la taula de la calcita i del silici. Gairebé hi han tots els pics de la Calcita. La grandària i pronunciació dels pics va en relació a la quantitat, i com s'ha esmentat anteriorment, la Calcita és l'element majoritari de la mostra i els quarts no. Però els tres pics marcats com a 1 – 2 – 3 a la següent taula, del SiO<sub>2</sub>, també es poden distingir amb facilitat.

Amb el requadre vermell es marquen els tres punts (I) majoritaris de cada element que es tenen de reflectir al diagrama.

Taula de la Calcita (CaCO<sub>3</sub>):

<u>2θ</u>	<u>"d"</u>	<u>hkl</u>	<u>I</u>
23.05	3.86	102	12 ✓
29.45	3.035	104	100 ✓
31.45	2.845	006	3
36.00	2.495	110	14
39.45	2.285	113	18 ✓
43.20	2.095	202	18 ✓
47.15	1.927	204	5
47.55	1.913	108	17 ✓
48.55	1.875	116	17 ✓
56.60	1.626	211	4
57.45	1.604	212	8
58.10	1.587	1.0.10	2
60.75	1.525	214	5
61.05	1.518	208	4
61.40	1.510	119	3
63.10	1.473	215	2
64.75	1.440	300	5
65.65	1.422	0.0.12	3
69.30	1.356	217	1

Taula 2: Descripció de l'angle 2(theta), "d" i la (I) de la Calcita

Taula de Silicats (SiO<sub>2</sub>):

<u>2θ</u>	<u>"d"</u>	<u>hkl</u>	<u>I</u>
20.85	4.26	100 /	35 2
26.65	3.343	101 /	100 /
36.55	2.458	110	12
39.50	2.282	102	12
40.30	2.237	111	6
42.50	2.128	200	9
45.85	1.990	201	6
50.20	1.817	112	17 3
50.70	1.801	003	1
54.90	1.672	202	7
55.40	1.659	103	3
57.30	1.608	210	1
60.05	1.541	211	15
64.10	1.453	113	3
65.85	1.418	300	1
67.80	1.382	212	7
68.20	1.375	203	11
68.35	1.372	301	9
	1.288	104	3

Taula 3: Descripció de l'angle 2(theta), "d" i la (I) de l'element Quars

Resultats anàlisi per fluorescència de raig X

En l'anàlisi per fluorescència de raigs X de la mostra C1 amb la relació elements presents a la mostra, tan lleugers/majoritaris com pesants/minoritaris i traça, s'observa com a resultats significatius un 52% d'òxid de calç (CaO), anomenada també calç viva, un 3,92% de diòxid de silici (SiO<sub>2</sub>), conegut com a silici o quars, i amb un 1,53% de tri òxid d'alumini (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) anomenat alúmina que juntament amb el silici són els components majoritaris de la formació d'argiles.

Com anàlisi general es pot afirmar que conté calç<sup>(1)</sup>.

**(1)Calç** : Terme genèric que designa totes les formes físiques en les que poden aparèixer l'òxid de calci i el de magnesi, ( CaO i MgO ) i / o l'hidròxid de calci i / o el de magnesi, [Ca(OH)<sub>2</sub> i mg(OH)<sub>2</sub>].



El material té un 52,27% de calç (CaO + MgO). A més a més, conté una part bastant significativa d'argiles en el material i presència d'altres materials minoritaris.

Aquest altres materials minoritaris són els portadors del color groguenc, ja que l'òxid de calç aporta color blanc o grisos i els Quars blanc o incolor.

Pels òxids obtinguts no és d'estranyar pensar en que pot ser un material apte per a la producció de clínquer de pòrtland<sup>(2)</sup>.

ÓXIDOS PRESENTES EN UN CLÍNKER DE PORTLAND			
Nombre	Composició	Peso molecular	Fórmula abreviada
Cal	CaO	56	C
Sílice	SiO <sub>2</sub>	60	S
Aluminió	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102	A
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	160	F
Agua	H <sub>2</sub> O	18	H
Anhídrido sulfúrico	SO <sub>3</sub>	80	Ξ
Magnesia	MgO	40	M
Sodio	Na <sub>2</sub> O	62	N
Potasio	K <sub>2</sub> O	94	K

Taula 4: Òxids presents en un clínquer de pòrtland. Font: Cementos, morteros y hormigones

Per determinar si es tracte d'un material amb qualitats per ser eficient en la producció de ciment pòrtland o no, es procedeix a mirar la seva composició i a confeccionar els límits de composició química: diferents mòduls i índexs.

Si es comparen les anàlisis químiques dels ciments pòrtland, s'observa que hi ha sempre un marge de valors per a determinats mòduls i índexs, de manera que aquests paràmetres marquen els límits de composició química del ciment.

(2) Antonio Polanco, Juan. Setién Marquínez. Jesús. Cementos, morteros y hormigones. Clínquer de pòrtland: producte obtingut per la sinterització d'una barreja de matèries primeres especificada amb precisió, contenint elements expressats normalment en forma d'òxids (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i petites quantitats d'altres matèries.



Primer de tot el % de cal lliure (CaO): present en una petita proporció (0,5 a 1%). El material en té un 52%. Aquest punt és prou significatiu per fer la valoració i observar que no és un bon material per a clínquer de pòrtland. Tot i això, es comproven els mòduls i índexs de VICAT<sup>(3)</sup>.

Índex d'hidraulicitat: considera únicament la sílice, l'alúmina i la calç, i ha de tenir una valor comprès entre 0.50 i 0.64 per al clínquer de pòrtland.

$$IV = (3,92 + 1,53) / 52 = 0,10$$

$$IV = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO}$$

Mòdul hidràulic: Ha d'estar comprès entre 1.7 i 2.3. Els ciments de bona qualitat tenen un MH de l'ordre de 2. Els de valor inferior a 1.7 generen resistències mecàniques febles i els de valor superiora 2.3 presenten inestabilitat de volum.

$$MH = 52 / (3,92 + 1,53 + 0,63) = 8,55$$

$$MH = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Mòdul de silicats: El seu valor té d'estar compres entre 1,9 y 3,2, encara que els ciments blancs i rics en silici poden arribar a 5. El seu valor normal és pròxim a 2. Els valors alts indiquen ciments d'enduriment lent i ciments amb males condicions de cocció.

$$MS = 1,81$$

$$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

**(3) Louis Joseph Vicat, (31 de març de 1786 a Nevers - 10 d'abril de 1861 a Grenoble) va ser un enginyer francès inventor del ciment artificial. Estudià la calç natural i va descobrir-ne els seus principis hidràulics. Això va permetre la fabricació de la calç hidràulica artificial i del ciment natural a partir de 1817. Va descobrir el clínquer, element constitutiu del ciment lent, i que permet la fabricació artificial del ciment Portland (« l'or gris ») a partir de 1840. També va inventar l'agulla Vicat que permet determinar el temps que triga a prendre el ciment.**

Mòdul de fundents: El seu valor oscil·la entre 1,5 i 2,5, essent un valor normal de 2.

MF = 2,43

$$MF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

Índex de saturació en calç: normalment els ciments tenen un IS que no pot ser inferior a 0,7 ni superior a 1,02.

IS = 3,93

$$IS = \frac{CaO - 0.7SO_3}{2.8SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$$

Del contingut d'argila depenen les propietats de les calçs hidràuliques. Vicat va definir com a índex d'hidraulicitat la següent expressió, definida pels tant per cent, en pes, dels diferents components, abans de la cocció.

I = 0,12

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

La relació inversa s'anomena mòdul hidràulic (vist anteriorment en la comprovació del ciment). Segons aquest índex, Vicat va fer una classificació dels productes hidràulics (Tipus de calç), considerant el temps d'enduriment i el mitjà de conservació. Es donen en la taula:

Naturaleza de los productos	Índice hidráulico	% de arcilla en la caliza primitiva	Tiempo fraguado en agua	Observaciones
Cal grasa y magra	0,0-0,10	0,0-5,3	*	Fraguan sólo en el aire
<b>Cales débilmente hidráulicas</b>	<b>0,10-0,16</b>	<b>5,3-8,2</b>	<b>16-30</b>	<b>Días</b>
Cal medianamente hidráulicas	0,16-0,31	8,2-14,8	10-15	Días
Cal propiamente hidráulica	0,31-0,42	14,8-19,1	5-9	Días
Cal eminentemente hidráulica	0,42-0,50	19,2-21,8	2-4	Días
Cal límite o cemento lento	0,50-0,65	21,8-26,7	1-12	Horas
Cemento rápido	0,65-1,20	26,7-40,0	5-15	Minutos

Taula 5: Índex de hidraulicitat de la calç hidràulica.

### 3.2 Segon assaig de difracció de Raig X

Al difractograma anterior no hi ha sortit pics significatius per entendre quins tipus de possibles argiles conté el material. Per aquest motiu es proposa tornar a fer l'assaig de difracció de Raig X augmentant el temps de difracció, es decideix per unes 16 hores, ja que quan més estona dura la difracció, fa una escombrada més lenta de la mostra i serveix per detectar possibles materials no tan abundants.

El resultat és el següent (els diagrames estan a l'annex amb major dimensió):

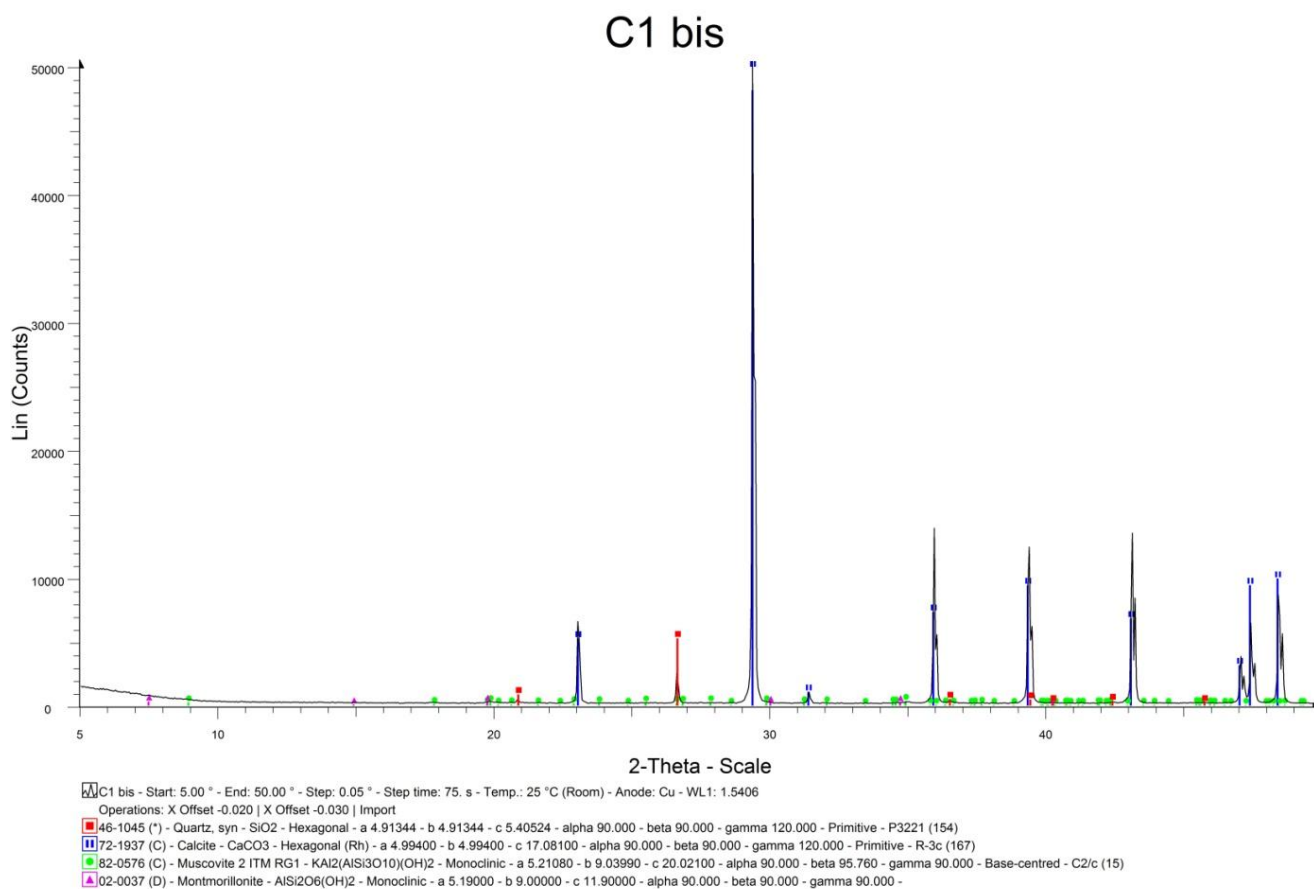
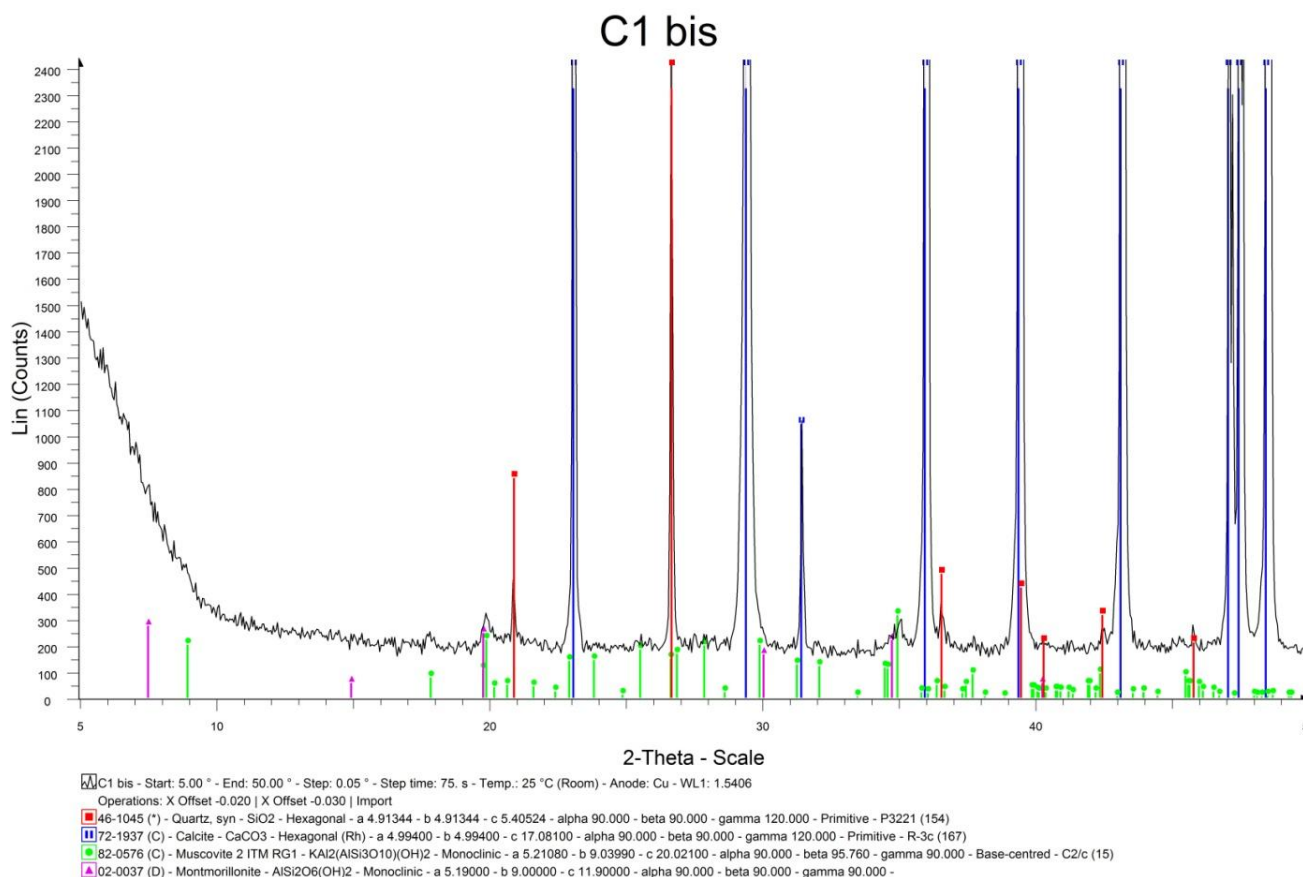


Diagrama 2: Resultats segon assaig del difractograma. Font: STR.



**Diagrama 3: Ampliació resultats segon assaig del difractograma. Font: STR.**

### Anàlisi dels resultats:

Els materials amb més pics són majoritaris en quan a quantitat i cristal·lització. Han sortit catalogades pel difractòmetre la moscovita i la montmoril·lonita però cap argila més. Ara bé, això no vol dir que no contingui cap més argila, sinó que en la totalitat de la mostra no hi ha cap formació cristal·lina majoritària que identifiqui un tipus d'argila en concret i d'aquesta manera surti catalogada pel difractòmetre.

La mostra és de color groc. Llavors seguint la mateixa metodologia d'anàlisi utilitzada i explicada per comprovar la Calcita i els Quars, es fa el mateix en diferents estats de cristal·lització d'elements portadors de (Fe), per investigar si és possible trobar-los i d'aquesta manera poder afirmar en exactitud algun element portador del color groc

	"l"	"d"	"2-theta"
EMATITE	100	2,69	33,28
	60	1,69	54,23
	50	2,51	35,74
GOETHITE	100	4,18	21,24
	30	2,69	33,28
	25	2,45	36,62
FERRHYARITE	100	2,45	36,65
	60	1,97	46,03
	60	2,25	40,04

Taula 6: Diferents elements portador de Fe.

No es poden distingir els pics amb claredat en el diagrama, ja que no són gens pronunciats. Algun sí que es pot observar en el diagrama, però s'han d'identificar els tres. També pot ser que es trobi el ferro en estat més amorf,  $(\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O})$ , un estat on no ha cristal·litzat de manera que no sortirà en la difracció de Raig X.

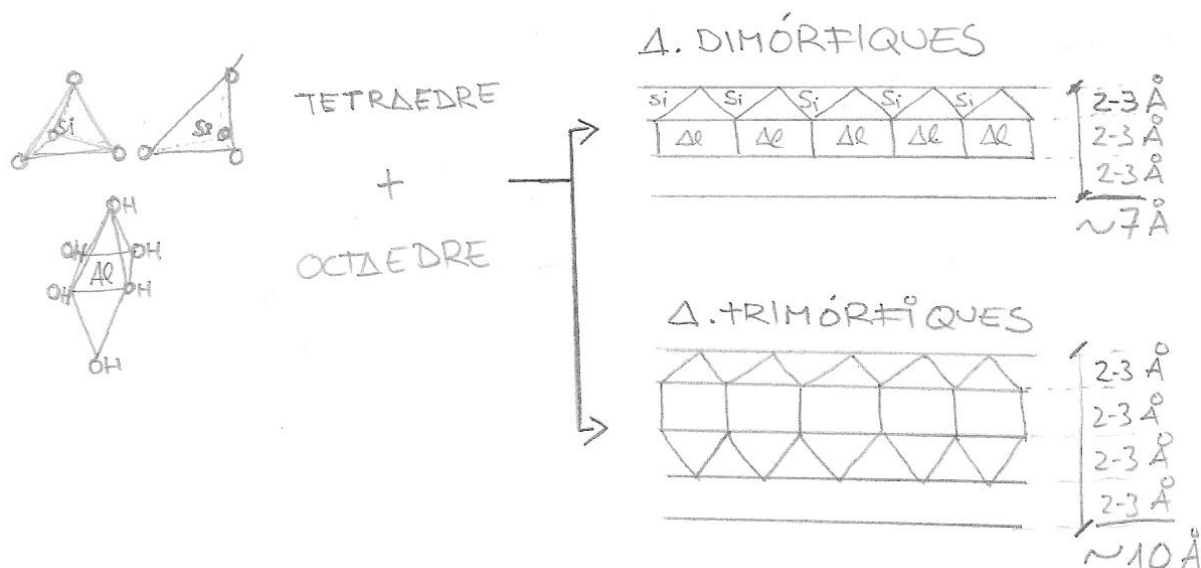
### 3.3 Les argiles

Un altre aspecte molt important a tenir en compte és saber quin tipus d'argiles mineralògiques (fil·losilicats<sup>(4)</sup>) té el material. Hi ha dos grans grups les dimòrfiques i les trimòrfiques. Aquestes últimes són argiles expansives<sup>(5)</sup>.

*(4) Fil·losilicats són la subclasse dels minerals del grup dels silicats, formats per silici i oxigen com a elements principals, que es combinen constituint  $\text{SiO}_4$ , que adopta una estructura bàsica en forma de tetraedre amb el silici en posició central, envoltat pels quatre ions d'oxigen. La unió amb altres elements com Al, Na, Ca, K, Mg, Fe, etc. dona lloc a una gran varietat d'aquests minerals. A aquest grup pertanyen molts minerals de gran presència en moltes roques, com per exemple la moscovita o glauconita, o la caolinita i la montmoril·lonita.*

*(5) L'Argila expansiva és un material argilós, que té la facultat d'incorporar molècules d'aigua a l'interior de les làmines que formen la seva estructura cristal·lina. Aquest procés s'anomena hidratació. El fenomen provoca un augment de volum i planteja importants problemes a l'hora de fer-la servir per a la construcció d'edificis o carreteres, ja que el seu volum varia segons la quantitat d'aigua que conté, i per tant, depèn de les condicions climàtiques.*

A partir de les estructures bàsiques tetraedres i octaedres es formen les argiles. Les dimòrfiques esquematitzades al pla tenen la característica particular de tenir una longitud d'uns 7 Å<sup>(6)</sup>, mentre que les trimòrfiques tenen una longitud d'uns 10 Å. Totes tenen la peculiaritat de tenir un espai buit en la formació anatòmica. A continuació un esquema visual per una major comprensió:



Esquema 1: Explicació argiles dimòrfiques i trimòrfiques.

Aquestes longituds compostes per la suma dels Å, se'ls hi assigna la lletra "d".

A part de conèixer teòricament la importància de les argiles expansives a continuació es mostrarà un assaig a fi d'observar el comportament de diferents argiles en vers l'aigua.

(6) L'àngstrom (símbol Å) és una unitat de longitud emprada principalment per expressar longituds d'ona, distàncies moleculars i atòmiques, etc. Es representa per la lletra sueca Å. Unitat de mesura equivalent a la deu mil milionèsima part del metre, 0.000,000,000,1 metres.

Assaig comportament de les argiles:

Procediment:

1. S'agafa un suport i s'emplena d'aigua.
2. A continuació s'hi col·loquen diferents argiles i s'observa el seu comportament.

D'esquerra a dreta les argiles són les següents:

- Esmegnita o montmoril·lonita.
- Palyjorskita, Quincy, Florida.
- Il·lita, Monis, Illirois.
- Caolinita.



**Imatge 12: Assaig comportament argiles amb l'aigua.**

Com a resultats s'observa que l'Esmegnita, tan bon punt ha entrat en contacte amb l'aigua, ha anat augmentant de volum i simultàniament produint-se fissuració fins a quedar quasi en pols, en canvi la Caolinita no ha esdevingut cap canvi físic. La Il·lita també s'ha fracturat però no a un nivell tan alt com l'Esmegnita. I la Palyjorskita s'ha fissurat molt poc.

En totes, però cadascuna amb el seu grau de fissuració, l'efecte ha esdevingut quasi immediat al estar en contacte amb l'aigua.

Queda demostrada la importància del tipus d'argila i del seu comportament en vers l'aigua.

Per poder distingir si el material conté argiles dimòrfiques o trimòrfiques s'efectuaran uns tractaments a la mostra, ja que es comporten diferent segons algun tipus de tractament. A continuació es mostra una imatge on es distingeixen diferents tipus d'argila i com el seu pla varia segons diferents tractaments o no.

En aquesta figura es poden veure els diferents tipus d'argiles sotmeses a tractaments per a la seva identificació.

El tractament amb magnesi vol veure si la hidratació d'aquest ió provoca canvis en el valor de d (en nm).

El glicerol es una molècula amb una superfície i un volum molt grans i força l'expansió del plans reticulars canviant el valor de d.

El potassi, com em vist no es un ió que s'hidrata molt per tant afavoreix la recuperació del estadi previ a una possible expansió del d.

El tractament a temperatura es destructiu per alguns minerals i es per tant un criteri identificatiu.

Considerem que la Mica i la Esmectita control tenen un d de 10 Å.

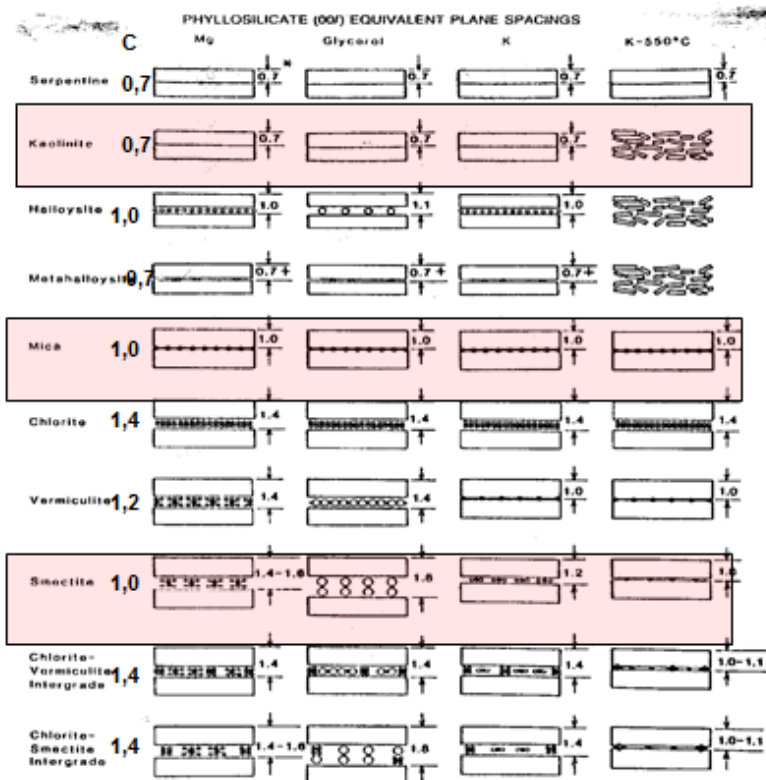


Fig. 12-5. Pictorial representation of response of phyllosilicates to differentiating treatments. \*Approximate spacings (nm).

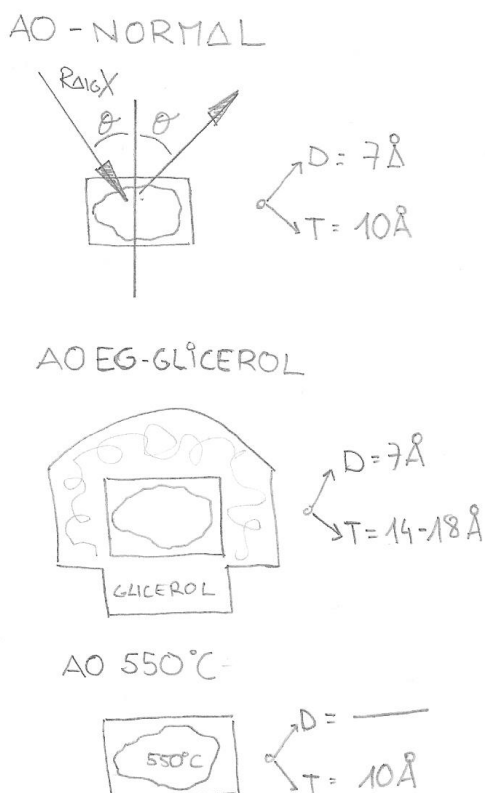
Imatge 13: Explicació visual per a la identificació de argiles, Font: Dr. Giovanni Pardini.

Per tant, s'efectuarà l'estudi a partir del diagrama de la difracció de raig X de dos mostres, catalogades com a Cx i Cy, de la següent forma:

1. Col·locant la mostra al difractograma de raig X sense cap modificació. Catalogada com a Cx AO i Cy AO respectivament.
2. Exposant la mostra a glicerol (etilen glicol monetil èter) i successivament es duu a terme la difracció de raig X. Catalogada com a Cx AO EG i Cy AO EG.
3. Escalfant la mostra a 550°C. Catalogada com a Cx AO 550°C i Cy AO 550°C.

En el següent esquema es mostra el comportament que tindrà una argila D = dimòrfica i T = trimòrfica en vers l'assaig proposat. La diferència està en el comportament de la dimensió (Å) de cada una.





Esquema 2: Comportament de les argiles a diferents situacions.

### 3.3.1 Assaig per determinar quin tipus d'argila conté el material

A les mostres que es porten a analitzar al Servei Tècnic de Recerca anomenades Cx i Cy se'hi fa una preparació prèvia per enfocar l'anàlisi a les argiles. Les argiles tenen les partícules més petites que  $2 \mu\text{m}$ .

De la següent forma:

1. Es col·loquen 500 ml d'aigua destil·lada en un vas de precipitats juntament amb 20 g. de material.
2. Es deixa el preparat remenant durant 6 hores.

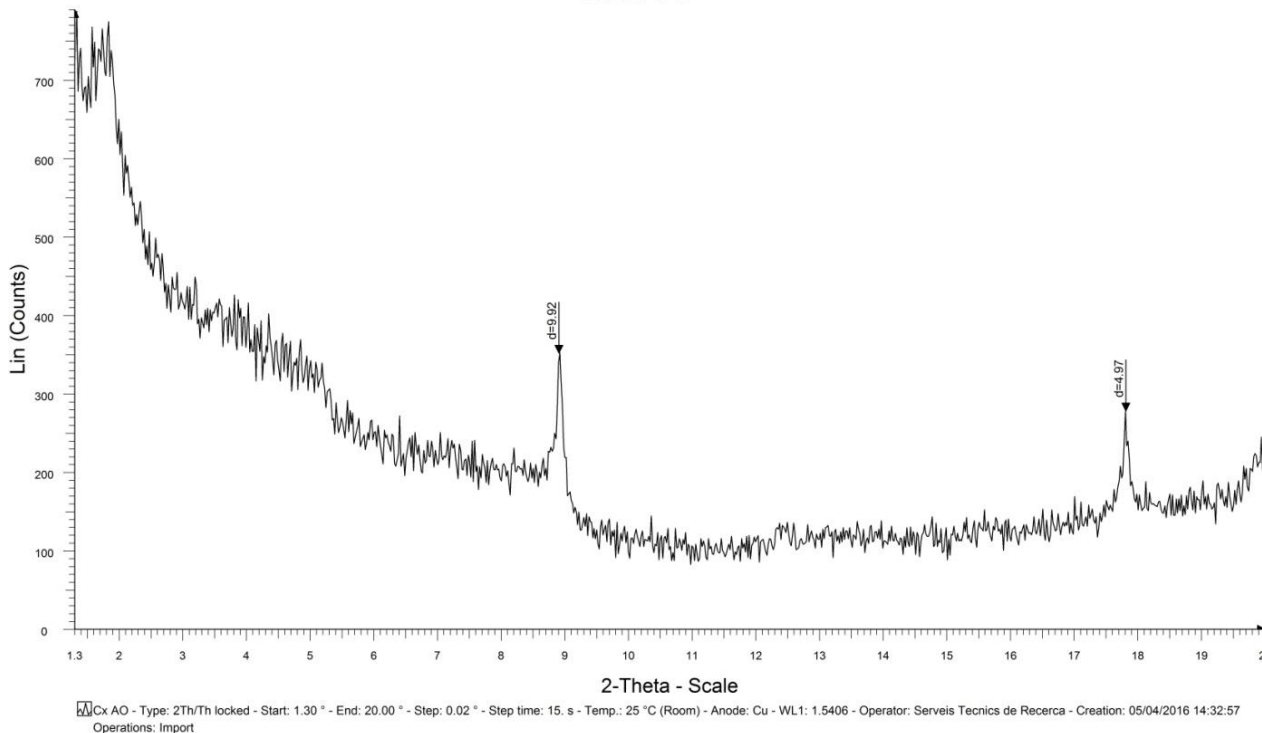
3. A continuació es fa una marca a 1 cm. i 2 cm., des de la línia superficial de la barreja cap avall, perquè aquesta zona és la idònia on per efecte de sedimentació es troben les argiles amb la menor afectació dels altres elements que conté el material.
4. Amb una pipeta s'agafa mostra de la barreja d'entre les dues línies marcades i s'aboca sobre les dos plaques de petri preparades anteriorment.
5. Es deixen assecar durant un dia perquè perdin tota l'aigua.
6. Finalment es tapen i es col·loquen dins un suport tancat hermèticament per poder-les transportar tranquil·lament fins al STR, amb precaució.



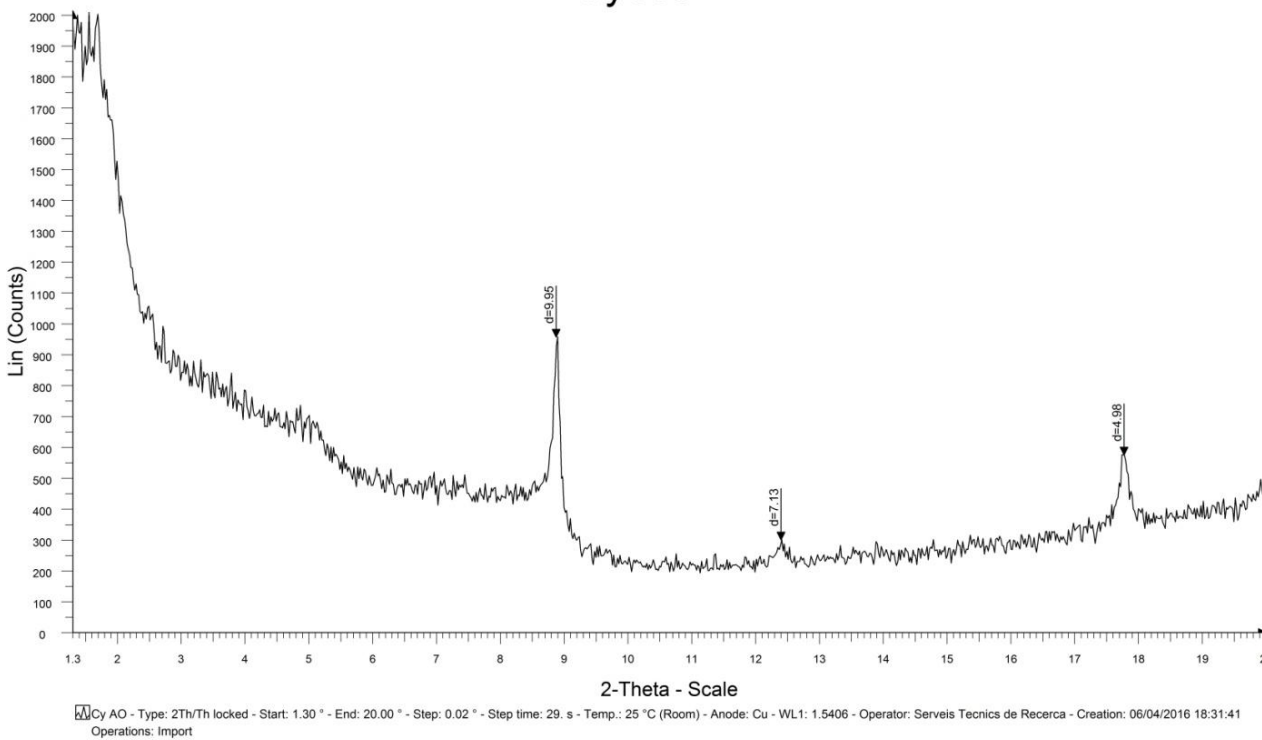
**Imatge 14:** La imatge de l'esquerra correspon al punt 1 i la de la dreta al punt 5.

**Diagrama 4:** Els resultats obtinguts del STR, es mostren a continuació seguint l'ordre i la nomenclatura de l'esquema 3 per les dos mostres Cx i Cy: AO – Normal, AO EG – glicerol, AO 550°C – a temperatura. Els diagrames estan a l'annex amb un format més gran per una major visualització.

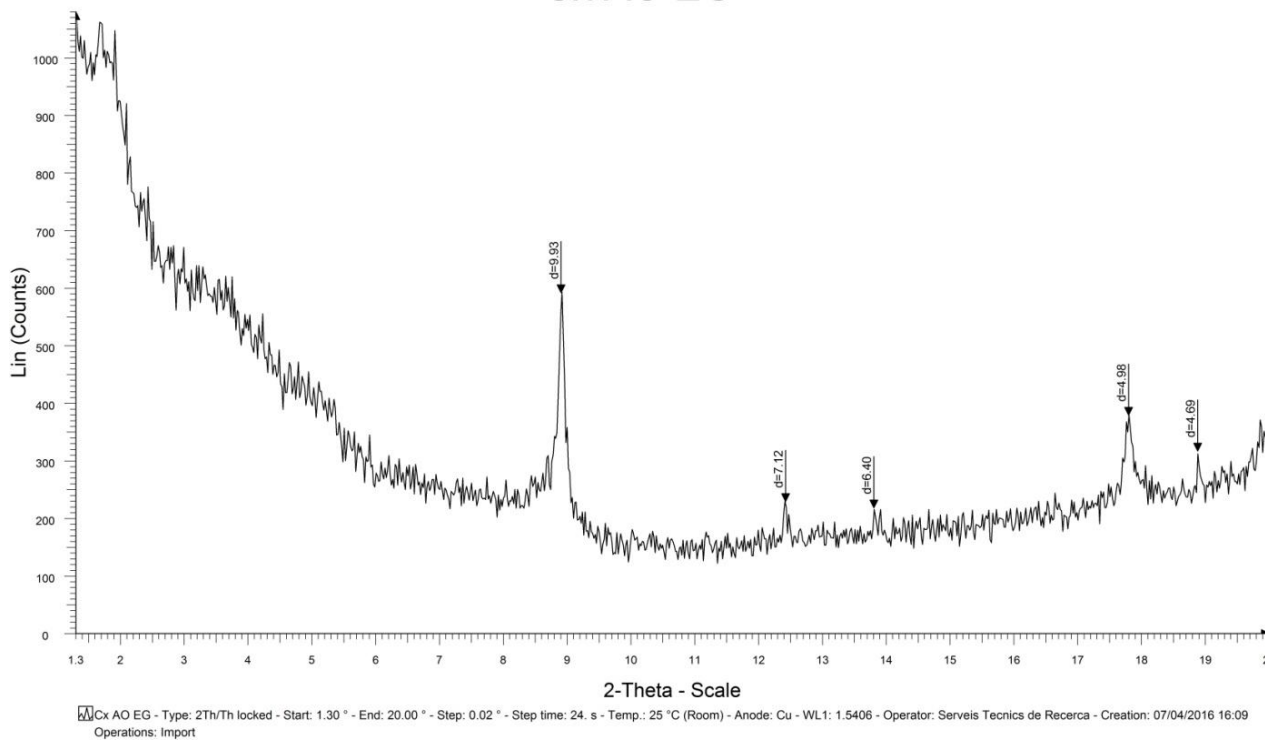
Cx AO



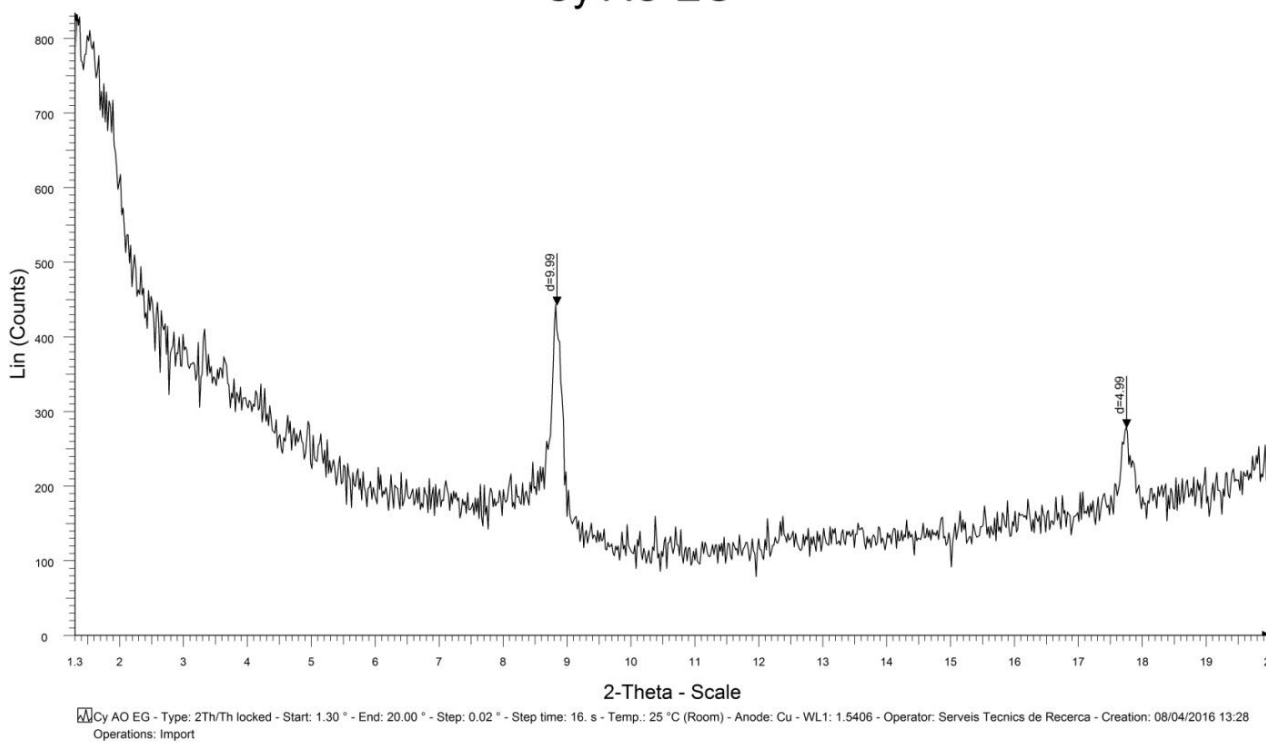
Cy AO



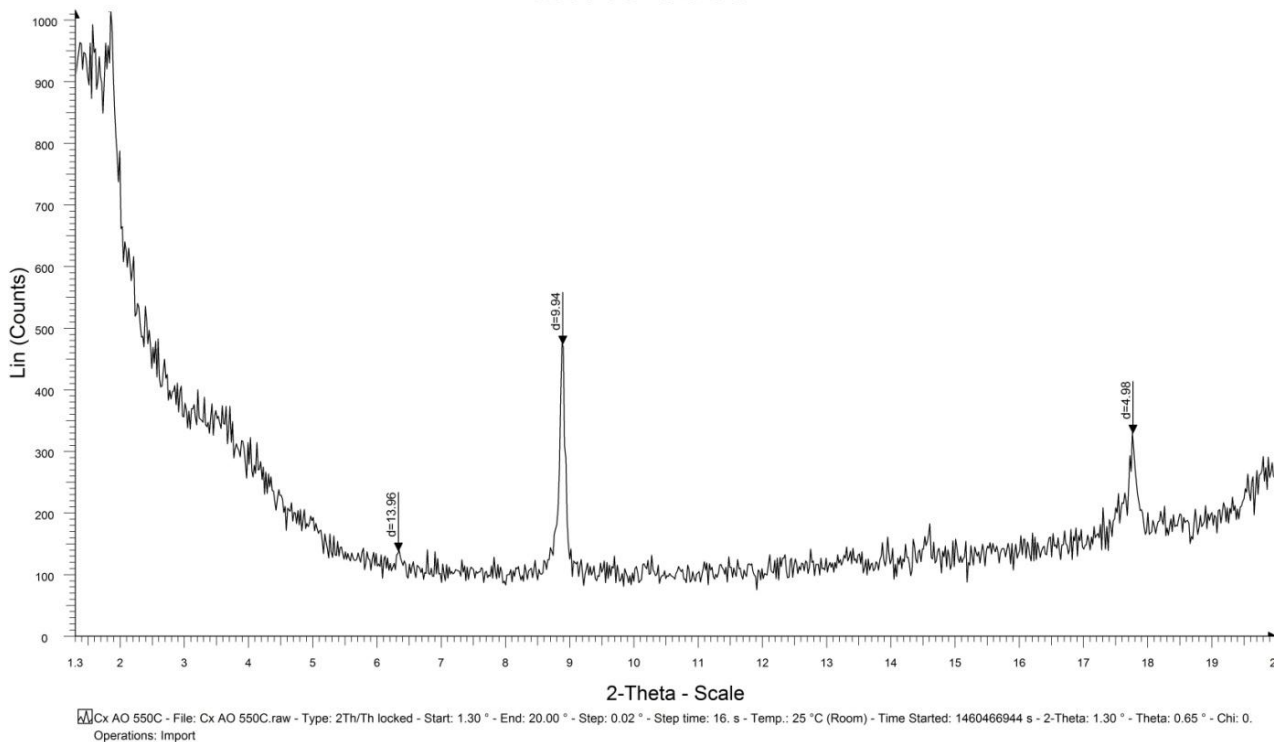
Cx AO EG



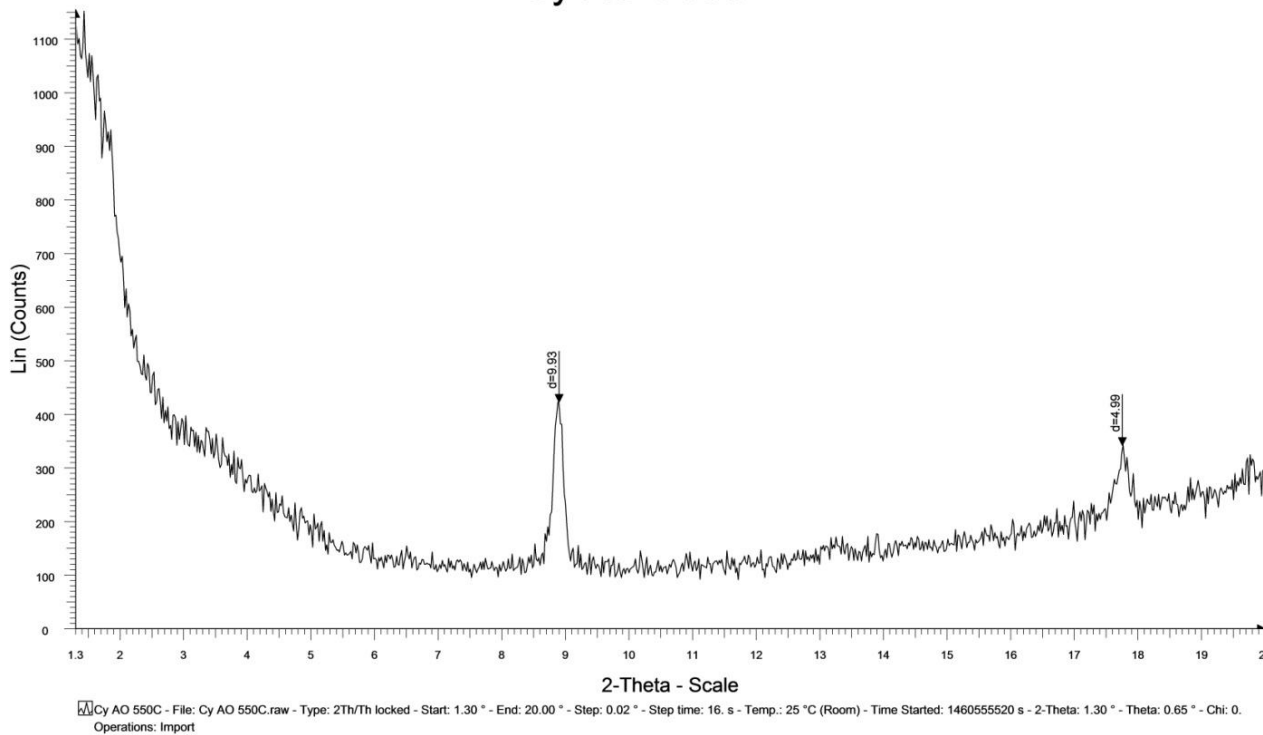
Cy AO EG



Cx AO 550C



Cy AO 550C



Anàlisi de resultats:

El glicerol fa que les molècules entrin a l'espai lliure de l'argila i que l'argila s'expandeixi, per tant, que augmenti la "d", i aquest fet es visualitzarà en la línia que conforma tots els pics dels diagrames Cx AO EG i Cy AO EG pujant amunt. Al sobreposar els diagrames Cx AO, Cy AO amb els Cx AO EG, Cy AO EG respectivament s'observa que la línia casi és idèntica, la petita variació es insignificant. Això vol dir que les argiles que conté la mostra no han augmentat la seva d i que el material no conté argiles expansives.

Per altra banda al sobreposar els diagrames Cx AO EG, Cy AO EG amb els Cx AO 550°C, Cy AO 550°C respectivament s'observa que la línia que forma el diagrama en la totalitat ha disminuït, i pics importants identificats com argiles han desaparegut, com és el cas de la Caolinita.

En tot això es pot afirmar que el material no conté argiles expansives i que conté argiles dimòrfiques.

Seguint el mètode d'anàlisi utilitzat anteriorment, s'ha trobat relació amb una argila. Aquesta argila trobada és la Caolinita, argila dimòrfica.

Finalment anomenar que els pics tan elevats de l'esquerra dels diagrames, entre 1,3 i 2 en l'escala (2-theta) és el suport de vidre de la mostra.

## 4 Preparació del material per a ser apte per a la construcció

Tota pedra calcària necessita un procés de preparació, altrament dit, una posada a punt del material, per a poder ser utilitzat en la construcció.

### 4.1 El mètode general

En diferents fonts d'informació més teòrics com ara llibres i articles, s'explica el procés de preparació de les roques calcàries per a la construcció. No obstant, el procés utilitzat es recolza en l'entrevista feta al Sr. Manuel Sales Alcaine, actual treballador de l'empresa Cales del Llierca, de Sant Jaume de Llierca.

El Sr. Manuel té molta experiència en la matèria, a part que la seva funció dins l'empresa és supervisar tot el procés de producció de la calç, remarcant que supervisa la part més sensible del procés, que és la cocció.

A més a més, l'empresa Cales del Llierca treballa en pedres de procedència molt locals, fet important ja que geogràficament i geològicament és molt probable una similitud de la matèria primera.

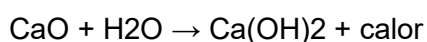
#### 4.1.1 Resum de la descripció teòrica del procés

Es diu calç a tot producte, sigui quina sigui la seva composició i aspecte físic, que procedeix de la calcinació de pedres calcàries. Després del procés de calcinació cal procedir a l'extinció o apagat del producte anhidre, amb la qual cosa s'obté un material hidratat en forma pulverulenta o pastosa, segons la quantitat d'aigua afegida.

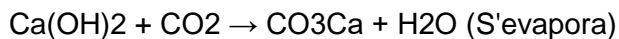
Amb una calcinació fins a uns 900 ° - 1.000 ° C, es verifica la reacció:



És a dir, es descompon el carbonat càlcic en òxid de calci i CO<sub>2</sub>, eliminant-se amb els productes de la combustió. Posteriorment es procedeix a l'apagat amb aigua del material obtingut, donant lloc a un material hidratat o calç apagada, en una reacció ràpida, violenta i molt exotèrmica:



Aquesta calç, pastada amb aigua que facilita la reacció, pateix un procés de carbonatació en absorbir el CO<sub>2</sub> de l'atmosfera, sempre que l'ambient sigui sec i permeti l'evaporació, i s'obté el carbonat càlcic original:



Totes les calç, en els diferents nivells químics, tenen els seu ú, no només en el món de la construcció, ja que tenen infinitat d'aplicacions.

Quan la pedra calcària de la qual es parteix conté com a impureses sílice o alúmina, com és el cas, i es calcina a temperatura d'uns 1200 ° C, es dissocia el carbonat donant òxid de calci i CO<sub>2</sub>, reaccionant, llavors, l'òxid de calci amb els components argilosos de la pedra. Dit això mai s'arribarà a sobrepassar els 1200°C.

#### 4.1.2 Descripció pràctica del procés

A priori es comptabilitzen fer tres fornades, una per a cada tipus de pedra calcària distingida. Però, tenint en compte les dimensions del forn, les previsions de volum de matèria necessàries per elaborar els assajos i la pèrdua de material que s'esdevingui, se n'hauran de fer més.

El procediment general a seguir per a cada fornada és el següent:

1. Preparació de la matèria primera i col·locació al forn (s'anota el tipus de pedra utilitzada A, B o C).
2. Adequació dels paràmetres de temperatura, que en són tres: pujada tèrmica, temps de cocció (entre 900°C i 1000°C) i baixada tèrmica.
3. Apagada de la calç viva resultant dins els coves metàl·lics. Amb una proporció en volum d'una part de material per tres d'aigua com a mínim. Com que la reacció és molt violenta s'utilitza com a protecció preventiva una estructura de plàstic dur, ulleres i guants.
4. Seguidament col·locació a dins la cambra calenta per accelerar el procés d'assecatge.
5. Trituració de la matèria resultant fins aconseguir un àrid molt fi.
6. Finalment s'emmagatzema i s'etiqueta.





**Imatge 15:** La imatge de l'esquerra correspon al forn i la de la dreta a l'estufa d'assecatge.

#### **4.1.2.1 Consideracions prèvies**

Al adequar el procés que utilitza l'empresa Cales del Llierca al laboratori de la Universitat Politècnica de Girona, la gran diferència és el forn utilitzat. Hi ha molts tipus de forns per a la calcinació de les pedres calcàries, l'empresa Cales del Llierca utilitza un forn continu vertical, al laboratori s'utilitza un forn intermitent de resistències.

S'ha d'intentar, per a una perfecta cocció del material quedar-te entre un 1% i 3% del volum sense coure en la fornada ja que, tant si et quedes curt com s'hi et passes no s'aconsegueixen les màximes propietats del material.

Abans d'utilitzar les pedres per procedir a les fornades, es fa una inspecció visual i s'eliminen les impureses que poden haver quedat.

S'estima una dimensió de les pedres al posar-les al forn d'una mesura entre 5 a 9 cm., per a una homogeneïtzació del procés. Per aquest motiu es duu a terme una trituració mecànica abans de la cocció, utilitzant un martell de goma i una escarpa.

### 4.1.3 Fornades de la 1 a la 11

#### 4.1.3.1 Fornada 1

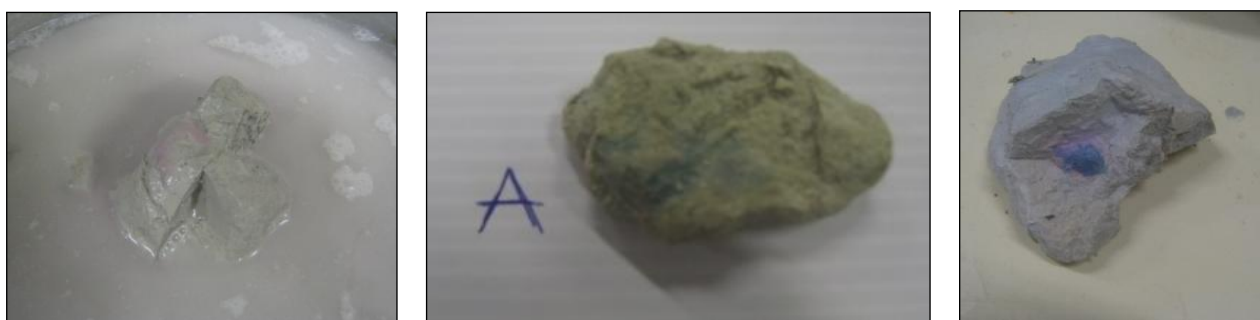
Pedres utilitzades de la zona A. El forn té l'opció de deixar un orifici superior obert o tancat. En aquest cas s'ha optat per deixar-lo obert.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 1,5 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 6 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

En aquesta fornada ha esdevingut un incident. El forn té poca potència i no ha arribat als 1000°C en 1,5 hores. Aquest fet ha repercutit en la penetració de l'escalfor dins la roca, cosa que a l'hora d'apagar-la no s'ha produït el procés químic en la seva totalitat. Només s'ha desfet uns 3-4 mm. de material de cada pedra. Queda desestimada la fornada 1.

Altres resultats d'interès al apagar la calç són els següents: de les pedres que no s'han calcinat al extraure-les de l'aigua han aparegut unes taques de color vermell i blau en algunes i, només en un recipient dels quatre utilitzats l'aigua superficialment s'ha tenyit d'un color rogenc, vermellós, rosa.



Imatge 16: Visualització de les taques de color sorgides a les pedres que no s'han calcinat.

Per reafirmar que no s'ha produït el procés químic per culpa de no haver assolit la temperatura desitjada i no pas per qualsevol altre hipòtesi com per exemple que a l'interior fos un altre material no càlcic, s'ha elaborat l'assaig in situ de tirar una gota d'àcid clorhídric a la pedra i efectivament ha reaccionat.

#### 4.1.3.2 Fornada 2

Es repeteix el procediment canviant els paràmetres de temperatura. Per tant, segueixen essent pedres de la zona A. Pes del material 6,162 kg. L'orifici superior del forn romandrà tancat.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 8 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

Per una major comprensió del funcionament del forn. S'ha estudiat la baixada tèrmica. És la següent:

- 10:00 h. – 1000°C
- 11:13 h. – 823°C
- 12:00 h. – 780°C
- 12:47 h. – 723°C
- 13:19 h. – 696°C
- 17:49 h. – 519°C
- 19:50 h. – 459°C
- 20:26 h. – 442°C
- 21:09 h. – 424°C
- ...
- 09:00 h. – 180°C

Un punt a tenir en compte amb els pesos és la pèrdua del material que s'origina al passar la calç del forn al cove i també al triturar-la quan està seca; tot el procés sempre s'intenta fer amb la màxima precisió. Un altre punt a remarcar és que al agafar la calç després de coure-la pesa molt poc.

Quan s’extreu la calç de l’assecadora es visualitza una pel·lícula de color groc en tota la superfície però és mínim i, al procedir a esmicolar el material per elaborar el gra fi, desapareix aquesta tonalitat i queda la calç d’un color blanc trencat.



**Imatge 17: Aparència de la calç un cop apagada i seca.**

En els coves metàl·lics utilitzats per apagar la calç, el recipient queda tacat de color negre, sobretot resseguint la línia final del material.

### 4.1.3.3 Fornada 3

Per aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona B. Pes del material 6,233 kg. Com que en la fornada 2 s'aconsegueix arribar a la temperatura desitjada i al apagar la calç es produeix de manera satisfactòria, es decideix que l'orifici superior del forn en aquesta fornada i en les següents sempre romandrà tancat.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 8 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

Pes calç cuita al sortir del forn: 3,739 kg.

Hi ha hagut una pèrdua de 2,494 kg.



Imatge 18: Aparença de la calç un cop apagada i seca.

#### 4.1.3.4 Fornada 4

Per aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona B. Pes del material 5,534 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 8 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

Pes calç cuita al sortir del forn: 3,896 kg.

Hi ha hagut una pèrdua de 1,638 kg.

En aquest cas, a l'hora de l'assecatge, en comptes de fer-ho a través de l'assecadora, es deixa dies a l'exterior que vagi assecant pel seu propi curs en comptes d'accelerar el procés, a fi de trobar la resposta al no aconseguir el color desitjat.



**Imatge 19: Procés d'apagada de la calç. Moment on es deixa la calç apagada amb aigua que reposi.**

#### 4.1.3.5 Fornada 5

En aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona C i, a més a més, es modifica la pujada tèrmica, ja que amb 8 hores no s'acabava d'arribar ben bé a 1000°C, però sempre es superaven els 900°C mínims desitjats per a produir-se la transformació química del material. Pes del material 5,534 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.



**Imatge 20: Procés d'apagada de la calç. Imatge de l'esquerra calç semiseca, imatge de la dreta calç completament seca.**



#### 4.1.3.6 Fornada 6

En aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona A, però les pedres es preparen en una dimensió inferiors a 4 cm. Pes del material 7,667 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.



Imatge 21: Procés d'apagada de la calç. Trituració de les pedres.

#### 4.1.3.7 Fornada 7

En aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona B, però seleccionant les pedres i només agafant les més grogues. Pes del material 4,621 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.



#### 4.1.3.8 Fornada 8

En aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona A, però seleccionant les pedres i només agafant les més blanques. Pes del material 5,818 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.



**Imatge 22: Procés d'apagada de la calç. S'observa un inici de hidratació; ha començat el procés de apagada de la calç, per la humitat de l'ambient al deixar el forn mig obert durant un temps llarg.**

#### 4.1.3.9 Fornada 9

En aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona A, però seleccionant les pedres amb més impureses. Pes del material 6,091 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

A l'hora d'apagar-la queden grumolls i al triturar-la apareixen còdols diferents a la resta de la matèria.



**Imatge 23: Procés d'apagada de la calç. El color marró i gris és la trituració d'un dels còdols.**

#### **4.1.3.10 Fornada 10**

Per aquesta fornada s'utilitzen pedres de la zona A, però augmentant la temperatura a 1100°C i reduint el temps de cocció a 6 hores. Pes del material 6,311 kg.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1000°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1000°C constants durant 8 hores.
- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

#### **4.1.3.11 Fornada 11**

Per observar i tenir més dades és col·loca al forn una pedra de Girona que és calcària, una pedra normal zona A i les pedres que no s'havien acabat de calcinar en la fornada 1.

Paràmetres de temperatura:

- Pujada tèrmica: arribar a 1100°C en 10 hores.
- Duració de la cocció: 1100°C constants durant 6 hores.

- Baixada tèrmica: el temps necessari fins arribar a 20°C sense intervenció.

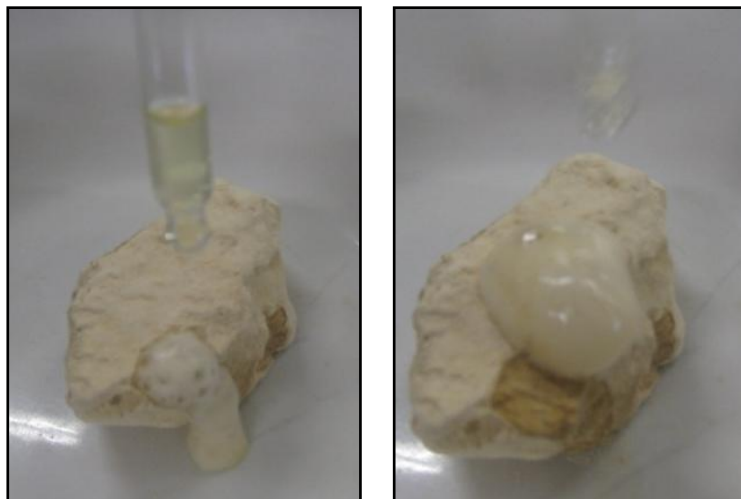
La pedra de la fornada 1 que no havia fet la reacció química, ho ha fet igual que la resta.



Imatge 24: Esquerra pedra de Girona, dreta pedres fornada 1 no calcinades.

#### 4.1.4 Altres anàlisis d'interès efectuades

- ❖ Comprovació que és pedra calcària. Es procedirà a tirar una gota d'àcid clorhídric a alguna pedra escollida a l'atzar per reafirmar que són pedres calcàries. Efectivament es produeix reacció.



Imatge 25: Assaig exposició a l'àcid clorhídric.

- ❖ S'ha comprovat el pH en el moment d'apagar les pedres de la fornada 3 i el resultat obtingut és el següent: Un 12 en l'escala de 1 al 14.



**Imatge 26: Assaig pH.**

- ❖ Una altre comprovació ha sigut la temperatura en el moment del procés químic que es produeix en l'apaga't de la fornada 7 i 8. Observant que supera els 100°C.



**Imatge 27: Visualització de la violenta reacció al apagar la calç.**

- ❖ Un mostreig de color de diferents procedències. D'esquerra a dreta classificades per l'escala de color de més groguenc a blanc.
  - Calç + Argila (groguenca). Proporció 2 de calç + 1 argila.
  - Calç procedent del sac de calç antic de la fàbrica Incarcal.
  - Calç + Argila. Proporció 2 de calç + 0,25 argila.
  - Calç cuita. Fornada – 2.
  - Calç cuita. Pedra de Girona.

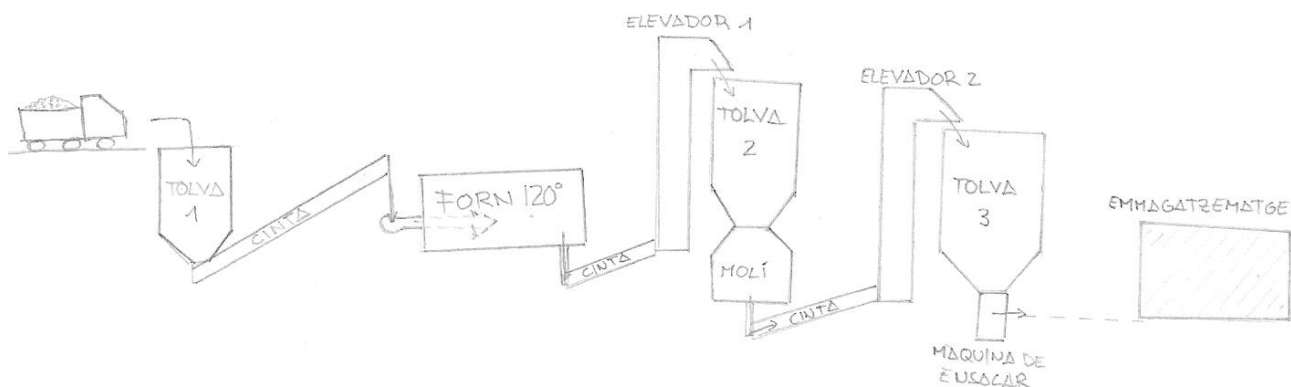


Imatge 28: Assaig mostreig de color.

## 4.2 El mètode segons l'antiga empresa Incarcal

Al fer l'entrevista amb el Sr. Frederic Reig, antic treballador d'Incarcal i de Yesos Argelaguer, s'aconsegueix saber el procediment exacte, des de l'obtenció de la matèria primera a la pedrera fins al procediment dins la fàbrica per l'obtenció del sac de calç.

Primer de tot, i molt important, és l'extracció de la matèria primera. S'excavava sense tenir en compte les diferents vetes més groguenques o més blanquinoses de la pedra utilitzant mitjans mecànics. Un cop excavat es transportava el material i es dipositava a la tremuja 1, allà es barrejava i s'homogeneïtzava. A través d'una cinta transportadora passaven les pedres pel forn a una temperatura de 120°C. La funció principal del forn era bàsicament assecar el material. Llavors mitjanant un elevador quedava el material sec dins la tremuja 2 on passava per un molí que deixava la pedra a pols. Seguidament, a través d'un altre elevador, el material es recollia dins la tremuja 3 a punt per ensacar. Manualment es retiraven els sacs de la màquina d'ensacar i finalment s'emmagatzemaven els sacs a punt per distribuir-los.



**Esquema 3: Procés mètode utilitzat a l'antiga empresa Incarcal.**

#### 4.2.1 L'antiga fàbrica d'Incarcal

L'antiga fàbrica es troba a la N-260, entre el kilòmetre 56 i 57, a 70 metres de la N-260a, a la zona de Pedrinyà, poble del municipi de Crespià, al pla de l'Estany. De la pedrera a l'antiga fàbrica hi ha una distància d'uns 2,6 km.



**Imatge 29: Façana principal antiga fàbrica Incarcal.**

El Sr. Esteva, propietari dels terrenys de la fàbrica, em va obrir i deixar visitar la fàbrica. En les imatges a continuació s'observen les diferents parts de la cadena de producció del material. En primer lloc el forn i segonament la màquina d'ensacar.





Imatge 30: Imatge esquerra el forn, dreta màquina d'ensacar.

#### 4.2.2 Procediment al laboratori reproduint el mètode d'Incarcal

Es segueix amb els mitjans disponibles del laboratori de la Universitat Politècnica de Girona reproduir en exactitud l'antic mètode de preparació de la calç.

Per tant, arribat en aquest punt, no té importància la zona d'extracció de la pedrera tot el material és apte, excepte la primera capa d'uns 5-10 cm. que es considera contaminada.

Les pedres es col·loquen dins unes safates metàl·liques per passar-les per la màquina d'assecatge a 120°C. Les pedres, prèviament, s'han de triturar a una dimensió més petita de 1 cm. ja que el forat d'entrada del molinet és d'aquesta mida i, no cal dir, que com més petites són les pedres més s'accelera el procés d'assecatge.

Un cop seques es trituren mitjançant un martell de goma i es passen pel molinet. Queda en un gra molt fi i finalment s'emmagatzema el material.

Al dur a terme el procés mitjançant el mètode d'Incarcal, s'aconsegueix obtenir el material del color desitjat.



Imatge 31: Moli utilitzat per triturar les pedres.

## 5 Part experimental

### 5.1 Determinació dels assajos

Es tenen en compte tots els resultats obtinguts fins al moment juntament amb les consideracions de l'entrevista al Sr. Alfons Menció, actual constructor de Crespià, el qual ha treballat amb la calç “grogà” en moltes de les seves obres. Es creu que la seva millor aplicació a la construcció actual seria com a plastificant de morter per a revestiments, tan interiors com exteriors. Per aquest motiu els assajos a considerar estan enfocats a determinar les propietats significatives necessàries per poder verificar si s'obté una bon morter per a revestiment.

Les Resistències mecàniques dels morters destinats a revestiment han d'atendre fonamentalment en la seva resposta a les tensions provocades per petits moviments diferencials del suport, tensions generades per canvis ambientals i impactes o agressions externes.

La resistència a tracció ens proporciona informació sobre la dificultat que oposen les partícules a separar-se.

Aquestes resistències mecàniques dels morters de revestiment no han de ser superiors a la dels suports. El morter ha de ser prou flexible per acompanyar lleus moviments del suport per causes tèrmiques o estructurals. Una excessiva rigidesa provocaria l'aparició de fissures o esquerdes.

Es consideren oportuns els següents assajos:

- Determinació de la consistència del morter fresc. UNE-EN 1015-3.
- Determinació de la densitat aparent del morter fresc. UNE-EN 1015-6.
- Determinació de la resistència a la adhesió del morter per arrebossat endurit aplicats sobre suport. UNE-EN 1015-12.
- Determinació de la resistència a flexió del morter endurit. UNE-EN 1015-11.
- Determinació de la densitat aparent en sec del morter endurit. UNE-EN 1015-10.



## 5.2 Determinació dels materials utilitzats en la pasta

Una base fonamental d'aquest treball és la utilització de materials de proximitat. Per aquest motiu s'investiga i es cerca la pedrera on s'extrauen i es preparen àrids per a morters el més a prop possible de la pedrera de Crespià.

Planta d'àrids i Formigó: situada a la Ctra. Girona-Olot (C-66), km. 56, de Sant Ferriol (al costat mateix del riu Fluvià) de l'empresa TEICON, tècniques i contractes S.L. amb oficines al Pla de la Coromina, s/n, Can Puig, Banyoles. Amb autorització de les oficines, es va a la planta d'àrids i s'agafen 30 kg. de sorra per a morters de 0,2 mm. d'àrid i es transporten al laboratori.

Al portar-la al laboratori s'observa que té una aparença més grisosa en vers l'àrid que trobem al laboratori per a morters i formigons.

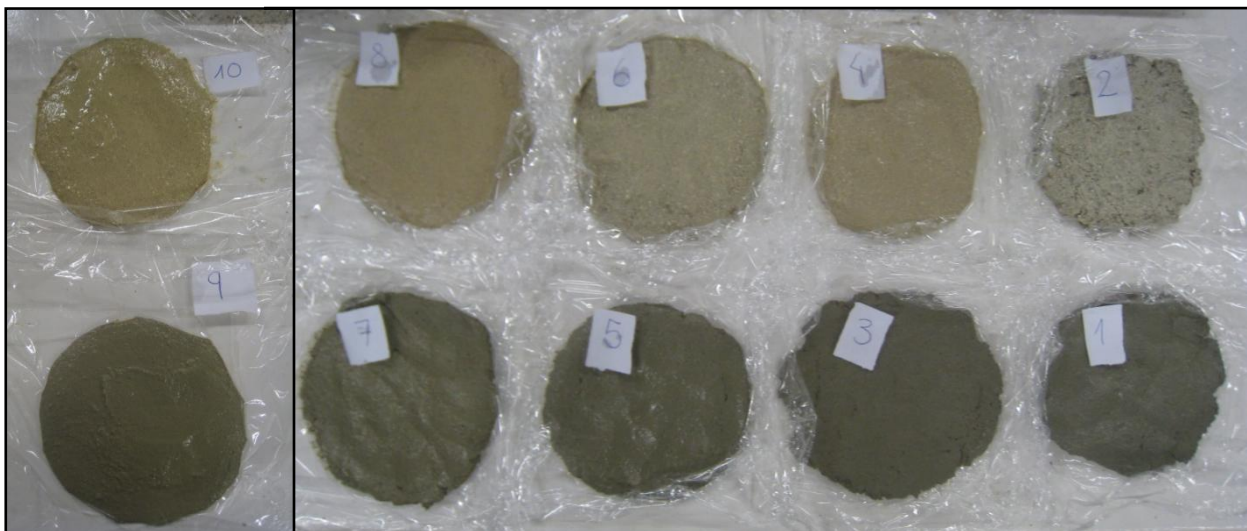


**Imatge 32: Diferències visuals de les sorres. La de l'esquerra és la de la planta d'àrids i formigó, la de la dreta del laboratori UdG.**

Un dels factors més rellevants d'aquesta calç és el color. Per això es duu a terme el següent mostreig de color per començar a decidir els següents paràmetres: tipus de sorra i de ciment a utilitzar.

MOSTREIG DE COLOR			
Dosificació	Procedència de l'àrid	Tipus de ciment	Codi resultat
1:0,1:2:0,5	Àrid St. Ferriol	Gris	1
		Blanc	2
	Àrid laboratori UdG	Gris	3
		Blanc	4
1:0,5:3:0,5	Àrid St. Ferriol	Gris	5
		Blanc	6
	Àrid laboratori UdG	Gris	7
		Blanc	8
1:1:3:0,5	Àrid laboratori UdG	Gris	9
		Blanc	10

Taula 7: Mostreig de color.



Imatge 33: Resultats del mostreig de color acabats d'elaborar.



**Imatge 34: Resultats del mostreig de color al cap de 30 dies.**

Un factor que és determinant a l'hora de decidir quin tipus d'àrid utilitzar és que l'àrid procedent de la planta d'àrids i formigons de St. Ferriol és un material calcari i, per contra, l'àrid del laboratori no. Es demostra a continuació aplicant àcid clorhídric i observant com responen.



**Imatge 35: Resultats assaig àcid clorhídric.**

Per tant es decideix no utilitzar-lo perquè en tot moment és imprescindible tenir controlat el % de calç, per normativa, però també per les propietats que pugui atribuir al morter veient-se els resultats possiblement afectats per la calç que ja disposa l'àrid i sense possibilitats de saber quina calç és la causant dels resultats.

Entre ciment gris (CEM II B/L 32,5N) i ciment blanc (BL II/A-L 42,5 R), tots dos de la casa Lafarge, s'opta pel blanc, ja que influeix en menor incidència al color final. Resultant uns colors carnosos com s'observa en el mostreig anterior.

### 5.3 Determinació de les dosificacions

Per decidir les dosificacions es té en compte quines són les més utilitzades pel Sr. Alfons Menció, enfocades a quines són les més idònies per elaborar un morter per a revestiments. Per això es decideix assajar les següents dosificacions (ciment:àrid): (1:3), (1:4) i (1:5).

Totes les dosificacions estan confeccionades en % de ciment i en pes.

Com que es desitja un morter per a revestiments, per a la seva aplicació és necessari un morter mal·leable, que obtingui un grau de consistència més plàstic que no pas sec. Per aquest motiu es decideix confeccionar la pasta amb un 0,6% d'aigua. Quedant així (ciment:àrid:aigua): (1:3:0,6), (1:4:0,6) i (1:5:0,6).

Per últim es té en compte que es desitja un morter on el ciment és el conglomerant i la calç un afegit, un additiu. Aquest requisit marca un límit d'un 50% de calç vers el ciment; ja que si es passa de més d'un 50% de calç en la dosificació s'obtindrà un morter de calç i no és el desitjat. A part, també es tindria l'inconvenient que no es podria aplicar la normativa UNE-EN 1015-11.

Marcat aquest límit final es determina un ventall de dosificacions a assajar amb un 10% de calç. Quedant així el següent quadre de dosificacions amb la seva nomenclatura corresponent:

Nom	Dosificació (ciment:calç:àrid:aigua)
<b>M1</b> (blanc)	(1:3:0,6)
<b>M2</b>	(1:0,1:3:0,6)
<b>M3</b>	(1:0,2:3:0,6)
<b>M4</b>	(1:0,3:3:0,6)
<b>M5</b>	(1:0,4:3:0,6)
<b>M6</b>	(1:0,5:3:0,6)
<b>M</b>	(1:0,1:4:0,6)
<b>M</b>	(1:0,2:4:0,6)
<b>M7</b>	(1:0,3:4:0,6)
<b>M8</b>	(1:0,4:4:0,6)
<b>M9</b>	(1:0,5:4:0,6)
<b>M</b>	(1:0,1:5:0,6)
<b>M</b>	(1:0,2:5:0,6)
<b>M10</b>	(1:0,3:5:0,6)
<b>M11(*)</b>	(1:0,4:5:0,65)
<b>M12(*)</b>	(1:0,5:5:0,65)

Taula 8: Dosificacions.

**M** - Al fer els assajos amb la dosificació M2 i M3, la pasta resultant no ha accentuat el color de la calç i es decideix prescindir d'estudiar les següents dosificacions:

- (1:0,1:4:0,6)
- (1:0,2:4:0,6)
- (1:0,1:5:0,6)
- (1:0,2:5:0,6)

**M(\*)** - Al observar una baixada molt pronunciada en la consistència del morter M10, es rectifica la dosificació M11 i M12 afegint aigua i quedant les següents dosificacions:

- (1:0,4:5:0,65)
- (1:0,5:5:0,65)

## 5.4 Elaboració dels morters al laboratori

Per l'elaboració dels morters s'aplica la norma UNE EN 1015-2 i la modificació UNE EN 1015-2:1999/A1.

El procediment és el mateix per a la confecció de cada morter. Tots s'elaboraran mitjançant la màquina amassadora normalitzada per la UNE EN 196-1 del laboratori de la UdG.

Primer de tot es preparen els materials per a la dosificació amb els seus % corresponents de cada material. Seguidament s'aboquen dins un cubell i es barregen.



Imatge 36: Preparació dels materials.



Després d'introduir la quantitat d'aigua predeterminada a l'amassadora, cal afegir-hi els components sòlids de la mescla del morter sec, tal com s'indica en la taula següent:

Mezcla de mortero fresco	Amasadora, según EN 196-1
Contenido en sólidos (kg)	1,8 - 3,0
Volumen (dm <sup>3</sup> )	0,5 - 2,5

**Taula 9: Contingut en sòlid i volum de la mescla de morter. Font: UNE EN 1015-2**

Durant un període de temps de 30 segons (període de temps modificat per la norma UNE EN 1015-2:1999/A1), amb l'amassadora funcionant a una velocitat lenta. La mescla es completarà a la mateixa velocitat amb 60 segons suplementaris.

És important humitejar el recipient metàl·lic de la màquina si anteriorment no s'ha utilitzat, ja que pot modificar la dosificació, o bé fer una primera amassada i llençar-la.



**Imatge 37: L'amassadora.**

## 5.5 Assaig per la determinació de la consistència del morter

Normativa a seguir: UNE-EN 1015-3:1999 i la modificació UNE-EN 1015-3:1999/A1:2004.

### Aparells utilitzats:

- Taula de colpejar
- Motlle troncocònic
- Pistó
- Cullera
- Regla per enrasar
- Peu de rei o regla mètric

Metodologia:

Abans de començar l'assaig, es neteja la taula de colpejar i el motlle. Es col·loca el motlle en el centre del disc de la taula de colpejar i s'introdueix en el motlle el morter en dos capes. Cada capa es compacta amb deu cops de pistó per assegurar un emplenat uniforme al motlle, aquest es manté fermament al disc amb la mà. S'elimina l'excés de morter amb el regle per enrasar, a continuació es neteja i es seca la superfície lliure del disc. Després d'aproximadament 15 s., s'aixeca verticalment el motlle i s'efectuen 15 cops a la taula, amb una freqüència constant, mes o menys un cop per segon, i s'observa que el morter es propaga pel disc. Finalment es mesura el diàmetre del morter en dos direccions perpendiculars entre sí. S'anoten els resultats.



**Imatge 38: Assaig per la determinació de la consistència. Abans dels cops.**



**Imatge 39: Assaig per la determinació de la consistència. Resultats.**



## 5.5.1 Resultats

Mortor	Mesures (mm.)		Valor mitjà mesures	Valor mitjà (mm.)	Consistència	10% del V. mitjà	Límits	Dins els límits?
M1	181	180	181	178	Plàstica	18	196	Sí
	170	180	175				160	Sí
M2	184	185	185	184	Plàstica	18	203	Sí
	183	185	184				166	Sí
M3	170	175	173	176	Plàstica	18	194	Sí
	178	182	180				159	Sí
M4	183	179	181	181	Plàstica	18	199	Sí
	177	183	180				162	Sí
M5	158	174	166	164	Plàstica	16	181	Sí
	165	160	163				148	Sí
M6	168	170	169	167	Plàstica	17	183	Sí
	166	162	164				150	Sí
M7	142	137	140	140	Plàstica	14	153	Sí
	140	140	140				126	Sí
M8	140	138	139	138	Seca	14	152	Sí
	138	137	138				124	Sí
M9	150	145	148	146	Plàstica	15	161	Sí
	148	142	145				132	Sí
M10	118	122	120	120	Seca	12	131	Sí
	116	122	119				108	Sí
M11	162	150	156	161	Plàstica	16	177	Sí
	170	160	165				144	Sí
M12	162	158	160	161	Plàstica	16	177	Sí
	161	162	162				145	Sí

Taula 10: Resultats assaig per la determinació de la consistència.

Si algun morter no hagués entrat dins els límits, caldria repetir l'assaig, però no és el cas.

## 5.6 Assaig per la determinació de la densitat aparent en fresc

Normativa a seguir: UNE-EN 1015-6:1998. i la modificació UNE-EN 1015-6:1998/A1:2006.

### Aparells utilitzats:

- Recipient de mesura amb capacitat per un litre.
- Regle per enrasar
- Cullera
- Taula vibratòria
- Taula de colpejar
- Bàscula

### Metodologia:

A partir de la taula que es mostra a continuació, es defineix quin procediment operatiu s'haurà d'utilitzar segons la consistència del morter.

Consistencia de utilización	Valor del escurrimiento mm	Procedimiento operatorio
Mortero seco	< 140	Ensayar el mortero según 7.2.1
Mortero plástico	140 a 200	Ensayar el mortero según 7.2.1 ó 7.2.2
Mortero fluido	> 200	Ensayar el mortero según 7.2.3

**Taula 11: Procediments operatoris per determinar la densitat aparent dels morters. Font: UNE-EN 1015-6.**

S'assajarà, segons el procediment 7.2.1., les dosificacions de consistència seca de la següent forma:

S'emplena el recipient de mesura amb morter utilitzant la cullera fins que s'ompli del tot el recipient. Es col·loca el recipient a la taula vibratòria i es vibra fins que no s'observi cap assentament. Afegir durant la vibració en el recipient una mica de morter fins que desbordi. Eliminar l'excés de morter amb la regla per enrasar de manera que s'obtingui una superfície del morter plana i anivellada amb el cap superior del recipient. Finalment netejar tot el possible

material escampat i pesar l'assaig a la bascula on prèviament s'ha tarat el recipient de mesura sense morter. S'ha de repetir el procés dos cops per a cada dosificació.

S'assajarà segons el procediment 7.2.2., les dosificacions de consistència plàstica de la següent forma

S'emplena el recipient de mesura amb morter utilitzant la cullera fins que s'ompli del tot el recipient. Es col·loca el recipient a la taula de colpejar, i es colpeja 10 cops, fins que no s'observi cap assentament. Afegir una mica de morter fins que desbordi i tornar a colpejar 10 cops. Eliminar l'excés de morter amb la regla per enrasar de manera que s'obtingui una superfície del morter plana i anivellada amb el cap superior del recipient. Finalment netejar tot el possible material escampat i pesar l'assaig a la bascula on prèviament s'ha tarat el recipient de mesura sense morter. S'ha de repetir el procés dos cops per a cada dosificació.

Per determinar la massa total, les pesades dels assajos, s'efectuaran amb una exactitud de 1 g.



**Imatge 40: Assaig per la determinació de la densitat aparent en sec.**

Un cop trobada la massa total de cada proveta, en resulta un valor mitjà (**m**). Utilitzant la següent fórmula trobem la densitat aparent del morter fresc **P<sub>m</sub>** (kg/m<sup>3</sup>) on **V<sub>v</sub>** és el volum del recipient, en aquest cas 1 litre:

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V_v}$$

## 5.6.1 Resultats

Morter	Pesos (g.)	Valor mitjà (g.)	Densitat aparent en fresc (Kg/m <sup>3</sup> )	10% del V. mitjà	Límits	Dins els límits?
M1.R	2127	2124	2120	212	2332	Sí
	2120				1908	Sí
M2.R	2122	2127	2130	213	2343	Sí
	2131				1917	Sí
M3.R	2119	2124	2120	212	2332	Sí
	2129				1908	Sí
M4	2117	2123	2120	212	2332	Sí
	2129				1908	Sí
M5	2136	2131	2130	213	2343	Sí
	2127				1917	Sí
M6	2123	2125	2130	213	2343	Sí
	2127				1917	Sí
M7	2112	2124	2120	212	2332	Sí
	2136				1908	Sí
M8	2127	2126	2130	213	2343	Sí
	2126				1917	Sí
M9	2125	2124	2120	212	2332	Sí
	2122				1908	Sí
M10	2134	2132	2130	213	2343	Sí
	2131				1917	Sí
M11	2092	2088	2090	209	2299	Sí
	2083				1881	Sí
M12	2098	2102	2100	210	2310	Sí
	2106				1890	Sí

Taula 12: Resultats assaig per la determinació de la densitat aparent en sec.

S'ha arrodonit a 10 kg/m<sup>3</sup> la densitat aparent en fresc del morter com marca la normativa. Si algun morter no hagués entrat dins els límits, caldria repetir l'assaig, però no és el cas.

## 5.7 Assaig per la determinació de la resistència a l'adhesió

Normativa a seguir: UNE-EN 1015-12:2000.

Per efectuar aquest assaig és molt important escollir un suport adequat per ser revestit de morter. En l'estudi que vindrà a continuació s'ha utilitzat supermaons ceràmics.

Aquests suports han de reunir una sèrie de característiques que permetin la perfecta adherència amb el morter així com la durabilitat d'aquesta unió.

Les característiques principals que ha de reunir un suport són:

- Compatibilitat amb els components del morter en els aspectes:
  - Químic (no haurà de reaccionar amb cap component del morter com passaria si el suport inclogués guix que podria reaccionar amb el ciment).
  - Mecànic (la resistència del morter i el seu coeficient de dilatació no han de ser mai superiors als del suport, especialment si aquest és antic, per evitar fenòmens de fissuració).
- Estabilitat, evitant que es degradin o deformin. Un suficient curat garantirà que hagin experimentat la major part de les retraccions. S'ha d'esperar el temps necessari per aconseguir aquesta estabilitat del suport.
- Neteja per evitar la manca de contacte amb el morter, deguda a l'existència en la superfície del suport de restes de pols, olis, pintures, etc.
- Rugositat suficient per facilitar l'adherència del morter fresc permetent l'ancoratge del mateix.
- Planeïtat. Els desnivells no han de superar 3 mm amb morters d'arrebossat. En cas contrari es podria aplicar una capa de morter de regulació abans del arrebossat.
- Porositat suficient. Si el suport és poc porós s'ha de valorar disposar un pont d'adherència que permeti una bona adhesió del morter.
- Capacitat d'absorció d'aigua limitada perquè no es produeixi una dessecació prematura de la pasta de morter abans del seu enduriment que podria originar fenòmens com l'anomenada pell de cocodril.
- Un cert grau d'humitat pel que, de ser necessari, s'haurà de mullar prèviament i esperar que deixi d'estar saturat abans d'aplicar el morter.

### 5.7.1 Elaboració de les pastilles

La màquina de tracció només té una sola pastilla d'unió entre la proveta i l'equip de tracció. Es calculen quantes provetes caldrà trencar a tracció i, per tant, caldrà pensar, amb els mitjans disponibles, com elaborar més pastilles.

S'hauran de trencar 84 provetes, sense contemplar possibles incisos que puguin fer repetir qualsevol mostreig de provetes.

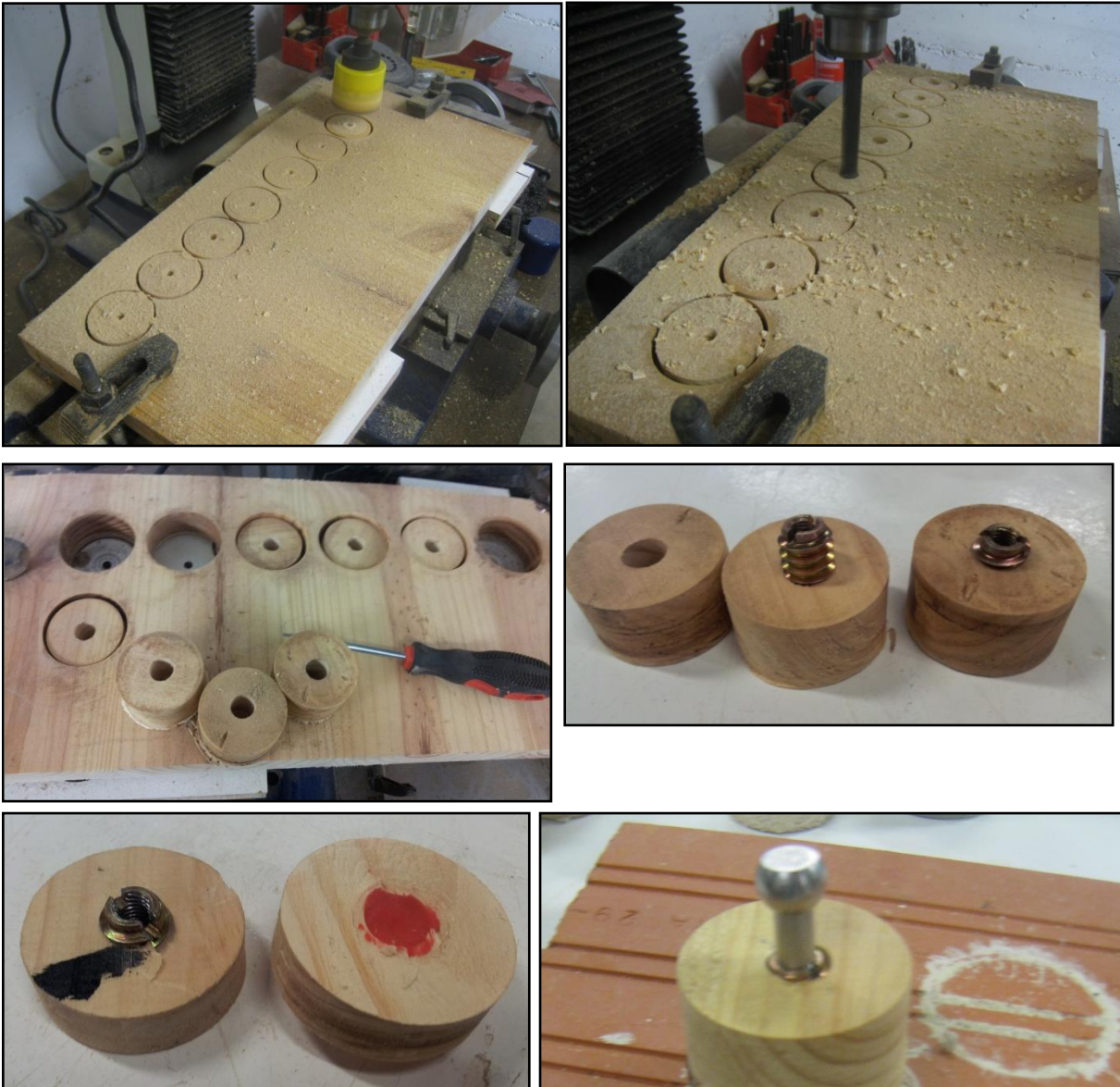
La peça en qüestió té unes premisses molt clares (sempre tenint en compte les especificacions de la normativa):

- Ha de ser circular amb un diàmetre 50 i un espessor mínim de 10 mm.
- Per la cara inferior, la que tocarà la proveta, ha de ser llisa i anivellada.
- Per la cara superior ha d'anar prevista amb un dispositiu de fixació a l'equip de tracció. Per tant, ha de tenir una rosca de cargol de diàmetre corresponent a la peça metàl·lica que serveix d'unió entre la màquina de tracció i les pastilles.
- A les pastilles, s'hi enganxarà cola per la part inferior, quedant així inservibles a no ser que es trobi un sistema de aprofitament. D'aquesta manera no se n'haurien d'elaborar tantes.

Per resoldre tots aquets punts s'opta per la creació de les següents pastilles:

1. S'agafa un tauló de fusta d'uns 4 cm. de gruix. i utilitzant el torn es fan els forats centrals corresponents a quantes pastilles es volen dur a terme, amb una broca de diàmetre 13 mm. S'ha de tenir en compte una separació de més de 52 mm. entre forats.
2. A continuació es canvia la broca per una corona de diàmetre 50 mm. i s'efectuen les pastilles pertinents. Si es fes al revés les pastilles ballarien.
3. Es poleixen les pastilla amb paper de vidre.
4. Es col·loca a cada pastilles la peça metàl·lica que per fora té un serpentí i s'uneix perfectament a la fusta manualment mitjançant un tornavís i per dins una rosca on es produirà la unió de la pastilla a l'equip de tracció.
5. Al col·locar la peça metàl·lica s'ha d'efectuar molta força amb el tornavís i a quasi totes les peces l'hi queda afectada la rosca interior; per això es passa un afilador a cada peça metàl·lica, de tal manera que no costi gens enroscar perquè, un cop fixades les pastilles a les provetes, qualsevol força li serà molt susceptible.

6. Com que a la cara inferior hi anirà cola, s'aplica una capa de plastilina al forat per la cara inferior per evitar que la cola pugi per pressió i així poder reutilitzar les peces metàl·liques.



Imatge 41: Procés per l'elaboració de les pastilles, per ordre cronològic.



Un punt a favor de la fusta serà que mitjançant un torn giratori i havent agafat el tauló de 4 cm. de gruix un cop finalitzat els primers assajos es podrà retallar amb molta facilitat i d'aquesta manera aprofitar les pastilles.

Es preveu una reutilització de les pastilles 3 cops, per tant, s'han d'elaborar només 28 pastilles d'un inici.



**Imatge 42: Torn giratori.**

#### Aparells utilitzats:

- Anells de diàmetre 50 mm. i 10 mm d'alçada.
- Oli per lubricar
- Regla per enrasar
- Pastilles per a tracció
- Plastilina
- Bosses de polietilè
- Adhesiu utilitzat: Resina Pure Epoxi de la casa Roberlo.
- Equip de tracció
- Cambra de conservació de provetes ( mantenir a una temperatura 20°C i humitat relativa del 65%)
- Suports utilitzats: supermaó ceràmic

Metodologia:

La norma marca un mínim de 5 provetes per amassada, en aquest estudi se'n faran 7 per cada amassada.

Prèviament es fa un petita comprovació en el suport ceràmic per definir la situació de totes les provetes en un mateix suport. A més a més, es té en compte la situació de les provetes pensant en les potes de la màquina de l'equip de tracció tinguin poder col·locar-la al suport sense afectar a les provetes.

Es posen dins una galleda plena d'aigua els suports ceràmics per hidratar-los. A continuació es retiren i s'hi col·loquen els anells prèviament lubricats a sobre segons la disposició acordada. Seguidament s'aplica el morter fresc dins aquests anells, que s'enrasen amb el regla per enrasar. A poc a poc i amb molta cura es retiren els anells. Finalment es guarden les provetes en bosses de polietilè, conservant-les 7 dies a una temperatura de 20°C i després 21 dies a una temperatura constant de 20°C i una humitat relativa del 65%.



**Imatge 43: Provetes acabades d'efectuar sobre suport en l'assaig de la resistència a l'adherència.**

Les provetes s'assagen al cap de 28 dies, immediatament després de treure-les de la cambra de conservació.

Les pastilles per a la tracció s'enganxen amb l'adhesiu acordat al centre de la superfície de les provetes.

La resina epoxi escollida ha de tenir una força d'adherència superior a la de l'assaig, ja que si és menor i es desenganxa l'adhesiu a l'hora de produir-se la tracció, l'assaig quedarà com a nul perquè tindrà una adherència superior a la resina però no es podrà quantificar. Un altre punt a

favor en utilitzar la resina epoxi de la casa Roberlo es el fet de ser un adhesiu pastós superant així les petites irregularitats de la superfície de la proveta i afavorint a un contacte total.



Imatge 44: Esquerra, col·locació de la cola, dreta col·locació de les pastilles.

Per mitjà de l'equip de tracció, s'aplica la carga de tracció perpendicularment a les àrees d'assaig a partir de la pastilla. Molt important, abans de començar, és posar a punt els paràmetres corresponents de l'equip de tracció. S'ha de canviar exactament l'àrea com marca el prospecte depenent del radi de la proveta. La carga s'aplica sense cops a una velocitat uniforme. S'ha de procurar en tot moment portar una velocitat entre 0,003 (N/mm<sup>2</sup> x s) i 0,025 (N/mm<sup>2</sup> x s). Ja que la resistència a la adhesió prevista és <0,5 (N/mm<sup>2</sup>). Com marca la taula a continuació:

Resistencia a la adhesión prevista (N/mm <sup>2</sup> )	Velocidad de carga (N/mm <sup>2</sup> × s)
< 0,2	0,003 - 0,010
0,2 - < 0,5	0,011 - 0,025
0,5 - 1,0	0,026 - 0,050
> 1,0	0,050 - 0,100

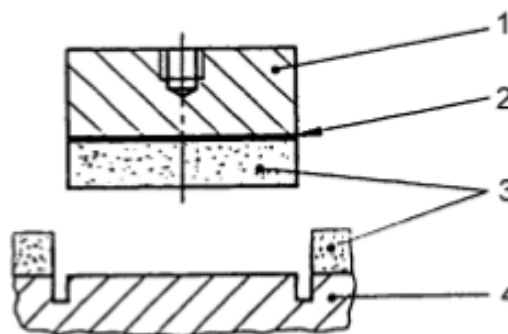
Taula 12: Velocitat de càrrega. Font: UNE EN 1015-12

La carga en la que es produeix la ruptura s'anota. Igual que el tipus de trencament, que pot ser de tres formes:

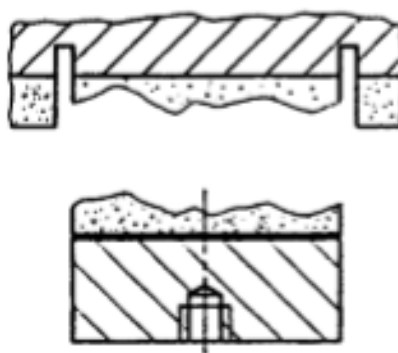
Llegenda:

1. Pastilla per tracció
2. Capa d'adhesiu
3. Morter
4. Suport

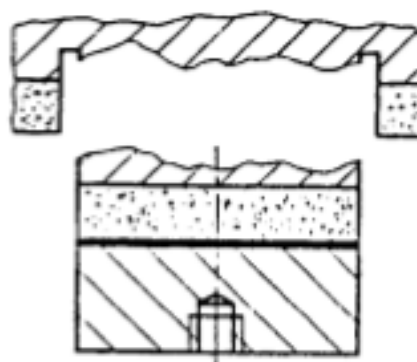
Tipus de trencament A – Trencament adhesiu – Trencament entre el morter i el suport. El valor de l'assaig és igual a la resistència d'adhesió (resistència d'unió).



Tipus de trencament B – Trencament cohesiu – trencament en el morter. La resistència a la adhesió es major que el valor de l'assaig.



Tipus de trencament C – Trencament cohesiu – Trencament en el suport. La resistència a la adhesió es major que el valor de l'assaig.



Imatge 44: Formes de trencament. Dalt – tipus A, mig – tipus B, baix – tipus C. Font: UNE EN 1015-12.

## 5.7.2 Resultats

Morter	Força tracció (KN)	Resistència a l'adherència (MPa) (N/mm <sup>2</sup> )	Tipus de ruptura	Mitjana (N/mm <sup>2</sup> )
M1	0,101	0,05	A	0,11
	0,220	0,11	A	
	0,320	0,16	A	
	0,303	0,15	A	
	0,221	0,11	A	
M2	0,045	0,02	A	0,05
	0,150	0,07	A	
	0,133	0,07	A	
	x	x	x	
	0,054	0,03	A	
M3	0,142	0,07	A	0,09
	0,267	0,13	A	
	x	x	x	
	0,204	0,10	A	
	0,291	0,14	A	
	0,163	0,08	A	
	0,059	0,03	A	
M4	0,285	0,14	A	0,23
	0,507	0,25	A	
	0,399	0,20	A	
	0,482	0,24	A	
	0,364	0,18	A	
	0,595	0,29	A	
	0,615	0,30	A	
M5	0,309	0,15	A	0,19
	0,466	0,23	A	
	0,311	0,15	A	
	0,460	0,23	A	
	0,539	0,26	A	
	0,278	0,14	A	
	0,333	0,16	A	
M6	0,262	0,13	A	0,15
	0,359	0,18	A	
	x	x	x	
	0,244	0,12	A	
	0,351	0,17	A	
	0,404	0,20	A	
	0,233	0,11	A	
M7	0,114	0,06	A	0,10

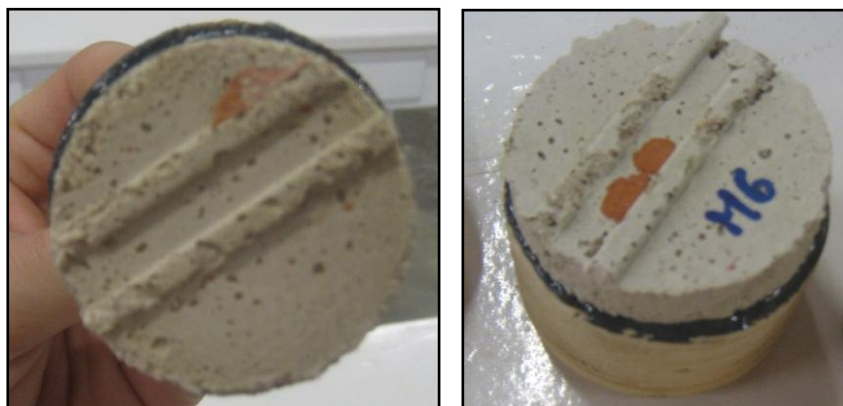
		0,067	0,03	A	
		0,342	0,17	A	
		0,275	0,14	A	
		0,280	0,14	A	
		0,042	0,02	A	
		0,284	0,14	A	
M8		0,122	0,06	A	0,09
		0,255	0,13	A	
		0,146	0,07	A	
	x	x	x		
		0,101	0,05	A	
		0,203	0,10	A	
M9		0,220	0,11	A	0,08
		0,148	0,07	A	
		0,097	0,05	A	
		0,292	0,14	A	
		0,204	0,10	A	
		0,158	0,08	A	
M10		0,092	0,05	A	0,09
		0,141	0,07	A	
		0,270	0,13	A	
		0,122	0,06	A	
		0,169	0,08	A	
		0,118	0,06	A	
M11		0,197	0,10	A	0,08
		0,235	0,12	A	
		0,102	0,05	A	
		0,212	0,10	A	
		0,243	0,12	A	
		0,068	0,03	A	
M12		0,271	0,13	A	0,10
		0,157	0,08	A	
		0,088	0,04	A	
		0,056	0,03	A	
	x	x	x		
		0,267	0,13	A	
M1.R		0,117	0,06	A	0,20
		0,208	0,10	A	
		0,121	0,06	A	
M1.R		0,225	0,11	A	0,20
		0,356	0,17	A	
		0,530	0,26	A	
	0,434	0,21	A		

	0,175	0,09	A	
	0,392	0,19	A	
	0,408	0,20	A	
	0,521	0,26	A	
M2.R	0,276	0,14	A	0,14
	0,376	0,18	A	
	0,353	0,17	A	
	0,148	0,07	A	
	0,208	0,10	A	
	0,388	0,19	A	
	x	x	x	
M3.R	0,335	0,16	A	0,21
	0,563	0,28	A	
	0,428	0,21	A	
	0,354	0,17	A	
	0,559	0,27	A	
	0,312	0,15	A	
	0,425	0,21	A	

Taula 13: Resultats assaig determinació de la resistència a la adhesió.

(x) Són resultats nuls. S'ha trencat la proveta abans de poder assajar.

A l'arxiu fotogràfic es mostren les imatges de la forma de ruptura que ha esdevingut a cada proveta. La forma de ruptura que s'ha originat ha estat de tipus A. En alguna ocasió s'ha trencat una mica la capa superficial del suport i en alguna proveta, sobretot en el punt més crític del suport entremig del relleu. Ara bé, en cap cas ha sigut significatiu.



Imatge 45: Tipus de trencament A, obtingut a les provetes.



## 5.8 Assaig per la determinació de la resistència a flexió

Normativa a seguir: UNE-EN 1015-11:1999 i la modificació UNE-EN 1015-11:1999/A1:2006.

### Aparells utilitzats:

- Motlles metàl·lics
- Cambra de conservació de provetes (a una temperatura 20°C i humitat relativa del 65%)
- Pistó
- Bosses de polietilè
- Regla per enrasar
- Oli lubricant
- Màquina d'assaig a flexió
- Màquina captació de dades

### Metodologia:

A partir de la taula que es mostra a continuació, defineix quin procediment operatori s'haurà d'utilitzar segons el tipus de morter.

Tipo de mortero	Preparación	Duración de la conservación a una temperatura de 20 °C ± 2 °C, en días		
		Humedad relativa		
		95% ± 5% o en una bolsa de polietileno		65% ± 5%
		En el molde	Una vez que se ha retirado el molde	Una vez que se ha retirado el molde
Morteros de cal aérea	7.2.3	5	2	21
Morteros de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.3	5	2	21
Morteros de cemento y de cal aérea/cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.2	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	7.2.2	2	5	21
Morteros retardados	7.2.2	5	2	21

Taula 14: Preparació i condicions de conservació de les provetes. Font: UNE EN 1015-11.

S'han elaborat un total de tres provetes per a cada dosificació.

Les mostres es preparen segons el mètode operatiu 7.2.2 i totes es duran a terme de la mateixa manera. Prèviament s'unta amb oli lubricant el motlle metàl·lic, a continuació s'emplena amb el morter en dos capes aproximadament iguals, cada capa es compacta amb 25 cops del pistó. L'excés de morter s'elimina amb la regla per enrasar de manera que s'obtingui una superfície del morter plana i anivellada al canto superior. Finalment es conserven les mostres seguint els temps de conservació pertinents descrits a la taula anterior.

Les provetes s'assajaran a 28 dies després de la seva creació. Es munta la màquina d'assaig a flexió juntament amb la màquina de captació de dades. Una de les cares de la proveta (que ha estat en contacte amb el motlle durant l'emmotllat) es col·loca centrada sobre el rodets de suport. S'aplica la carga sense acceleracions brusques, a una velocitat uniforme entre 10N/s y 50N/s fins al seu trencament. La carga màxima aplicada, en N es registre. Finalment es neteja la màquina i es col·loca la següent proveta.



**Imatge 46: Trencament en l'assaig per a la determinació a la resistència a flexió.**

### 5.8.1 Resultats

La resistència a flexió es calcularà mitjançant la següent fórmula:

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2}$$

On:

- f= resistència a flexió (N/mm<sup>2</sup>).
- F= carga màxima aplicada a la proveta (N).
- l= la distància entre els eixos dels rodets del suport (mm); 100 mm.
- b= l'amplada de la proveta (mm); 40 mm.
- d= grossor de la proveta (mm); 40 mm.

Incís: el nombre de color vermell de la taula 15, a l'hora d'efectuar el procediment operatori pel trencament a flexió de la mostra, en el moment d'aplicació de la carga es va disparar la velocitat, efectuant un procés de trencament més ràpid del normal, s'ha considerat oportú tenir-ho en compte.

A l'arxiu fotogràfic estan exposades les imatges on es veu com han quedat trencades les provetes.

Mortor	Carga màxima (kg.)	Mitjana (kg.)	Mitjana (N)	Resistència a flexió (N/mm <sup>2</sup> )
M1	350,28	315,94	3096,24	7,26
	322,54			
	275,01			
M2	281,93	261,72	2564,89	6,01
	266,96			
	236,28			
M3	290,12	260,52	2553,06	5,98
	252,82			
	238,61			
M4	222,44	268,04	2626,79	6,16
	317,35			
	264,33			
M5	278,47	267,64	2622,87	6,15
	257,56			
	266,89			
M6	210,64	268,26	2628,98	6,16
	271,77			
	322,38			
M7	224,40	215,13	2108,24	4,94
	204,55			
	216,43			
M8	232,14	214,82	2105,27	4,93
	218,76			
	193,57			
M9	229,29	229,79	2251,94	5,28
	230,19			
	229,89			
M10	209,66	184,04	1803,59	4,23
	164,69			
	177,77			
M11	153,48	156,04	1529,19	3,58
	164,24			
	150,40			
M12	158,75	162,99	1597,27	3,74
	148,90			
	181,31			

Taula 15: Resultats assaig per a la determinació a la resistència a flexió. Font: UNE EN 1015-11.

## 5.9 Assaig per la determinació de la densitat aparent en sec del morter

Normativa a seguir: UNE-EN 1015-10:1999 i la modificació UNE-EN 1015-10:1999/A1:2006

### Aparells utilitzats:

- Estufa ventilada, mantenir 105°C, com marca la modificació.
- 3 provetes per amasada com les descrites a l'apartat anterior seguint la normativa UNE-EN 1015-11
- Balança, prevista per poder pesar elements submergits sota l'aigua.

### Metodologia:

Les provetes s'assequen a l'estufa, a una temperatura de 105°C, (temperatura modificada en la UNE-EN 1015 A1:2006), fins que s'aconsegueixi una massa constant. Es considera que la proveta ha arribat a una massa constant quan dos pesades successives, efectuades en un interval de 2 hores, no difereixen en més de 0,2% de la massa de la proveta seca. S'anoten els resultats, (**ms,sec**), amb una exactitud aproximada del 0,1%.

Després es determina el volum de la proveta per desplaçament volumètric. La proveta es submergeix en aigua a 20°C fins que no s'observi cap augment de la massa aparent. Es considera que aquesta fase s'aconsegueix quan dos pesades successives, efectuades en un interval de 15 min., durant la immersió, no difereixen en més de 0,2% en massa. La proveta humida es pesa després d'haver eliminat l'excés d'aigua amb un drap humit i s'anota la massa, (**ms,sat**).



Imatge 47: Provetes submergides a l'aigua.

El volum de la proveta es pot determinar per pesada hidrostàtica.

Es deixa que l'instrument de la balança submergit en aigua agafi l'equilibri i que estigui suspès i submergit en l'aigua del recipient. La proveta humida es col·loca a dins i quan hagi acabat l'oscil·lació de la balança hidrostàtica es pesa i s'anota la massa de la proveta, (**ms,i**), en kg. en aquesta posició submergida.



**Imatge 48: Balança, prevista per poder pesar elements submergits sota l'aigua.**

El volum de la proveta, en m<sup>3</sup>, se calcula de la següent fórmula:

Tots els símbols estan descrits anteriorment menys (**ρ<sub>w</sub>**), que és la densitat de l'aigua, en kg/m<sup>3</sup>.

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,i}}{\rho_w}$$

La densitat aparent en sec de cada proveta de morter es calcula dividint la massa de la proveta seca en estufa (**ms,sec**), en kg., per el volum de la proveta del morter endurit, (**Vs**), en m<sup>3</sup>.

El valor mitjà es calcula a partir dels valors individuals obtinguts de cada proveta. (kg/m<sup>3</sup>)

## 5.9.1 Resultats

Mortor	ms,sec (g.)	ms,sat (g.)	ms,i (g.)	Vs (dm3)	Densitat aparent en sec (kg/m3)	Mitjana (kg/m3)
M1.R	487,4	539	287	252	1934	1931
	483,7	541	288	253	1912	
	486,5	535	285	250	1946	
M2.R	489	545	288	257	1903	1906
	485,7	545	288	257	1890	
	489,4	541	287	254	1927	
M3.R	490,9	542	289	253	1940	1930
	492,4	546	292	254	1939	
	489,2	546	290	256	1911	
M4	482,7	543	289	254	1900	1922
	487,5	537	286	251	1942	
	494	550	293	257	1922	
M5	492,9	552	297	255	1933	1950
	498,4	547	293	254	1962	
	496,7	551	297	254	1956	
M6	486,8	543	291	252	1932	1908
	498	544	291	253	1968	
	486,9	557	290	267	1824	
M7	490,1	544	290	254	1930	1958
	489	544	294	250	1956	
	489,2	544	298	246	1989	
M8	495,4	542	290	252	1966	1948
	503	548	294	254	1980	
	489,6	556	298	258	1898	
M9	493,6	546	292	254	1943	1943
	493,8	547	293	254	1944	
	497,4	551	295	256	1943	
M10	489	542	288	254	1925	1934
	487,5	540	287	253	1927	
	491,1	538	286	252	1949	
M11	480,4	535	282	253	1899	1897
	476	534	282	252	1889	
	479,3	531	279	252	1902	
M12	487,6	542	287	255	1912	1908
	483,6	538	284	254	1904	
	488,8	544	288	256	1909	

Taula 16: Resultats assaig per a la determinació de la densitat aparent en sec del mortor. Font: UNE EN 1015-11.



## 5.10 Assaig posada en obra

Per acabar d'apreciar més valors dels morters a estudi, es finalitzaran els assajos amb un assaig particular de posada en obra. Molt interessant per poder completar les conclusions amb una apreciació més sensorial.

Aquest assaig està recolzat pel Plec de Condicions Tècniques de l'Edificació, on al mateix temps cita i enllaça diferents paràmetres tècnics del CTE DB HS 1.

En aquest assaig s'executarà un revestiment a diferents peces ceràmiques d'argila cuita. Per això es té en compte del Plec de Condicions Tècniques de l'Edificació, l'apartat 5.1 *Fachadas de fábrica*, 5.1.1 *Fachadas de piezas de arcilla cocida y de hormigón* i l'apartat 7 *Revestimientos*, 7.1.4 *Enfoscados, guarnecidos y enlucidos*.

Al ser un assaig particular sense tenir cap normativa específica que se li apliqui, el resultat no tindrà cap valor. Només serviran per apreciació de forma particular sobre diferents aspectes de la seva posada en obra, esdevenint resultats perceptius i no numèrics.

### Aparells utilitzats:

- Peces ceràmiques
- Dos llistons de fusta d'un cm. d'alçada
- Paleta
- Paleta plana
- Paleta de remolinar

### Metodologia:

Primer de tot es prepara el suport format per les peces ceràmiques. Es netegen amb un drap humit, seguidament es remullen amb aigua. Abans de col·locar els llistons de fusta que faran de guia i també serviran per aconseguir el gruix del revestiment desitjat, 1 cm., es lubricaran amb oli perquè no quedin enganxats al morter.

A continuació es remulla una mica la paleta plana i, amb l'ajuda de la paleta s'emplena la paleta plana de morter. Després s'aplica sobre el suport amb un moviment de sota cap a dalt, amb una

velocitat i força constant inclinant una mica la paleta plana. Es repetirà aquest moviment tantes vegades com sigui oportú fins aconseguir obtenir una homogeneïtat del morter enrasat als llistons. S'afegirà morter sempre que se'n necessiti més.



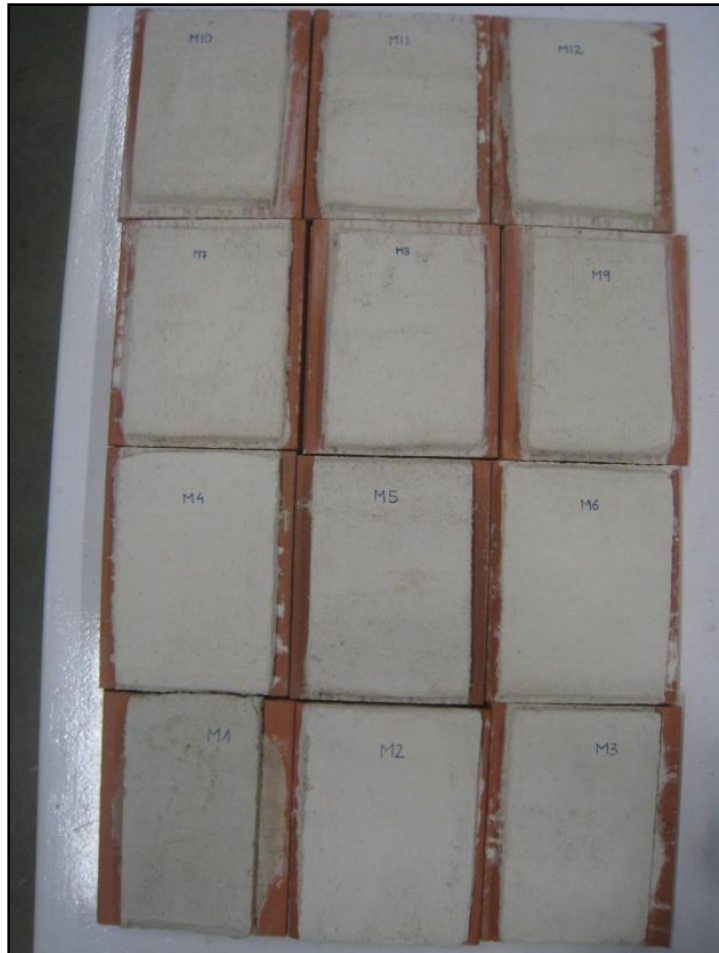
**Imatge 49: Assaig posada en obra.**

Quan hagi endurit una estona però no del tot, la cara superficial es repassarà amb un moviment suau i circular utilitzant la paleta de remolinar.

Finalment es treuran els llistons i es deixaran les provetes catalogades, utilitzant el mètode de conservació de la norma UNE EN 1015-11.

### **5.10.1 Resultats**

En general tots els morters han tingut una bona aplicació, sense cap problemàtica important a remarcar, menys el morter M10, que a l'hora d'efectuar una segona passada de la paleta el morter quedava enganxat a grumolls i no lliscava. Per solucionar-ho es remulla la paleta amb aigua fins aconseguir una pel·lícula superficial acceptable.



**Imatge 49: Assaig posada en obra.**

Els morters M4, M5 i M6 han tingut l'aplicació més plàstica.

Al cap de 28 dies s'han inspeccionat i no ha aparegut cap fissura en els morters. Tampoc cap despreniment. La línia perimetral que enganxa el remolinat amb el suport esdevé en perfectes condicions.

En el morter M2, que esta format per un 10% de calç groga, el color de la calç no es reflexa en el remolinat.

Els morters M1, M10, M11 i M12 superficialment han quedat més grumollosos. Essent el M10 el pitjor.

## 6 Anàlisi de resultats

### 6.1 Interpretació de resultats particulars

#### 6.1.1 Assaig per la determinació de la consistència del morter

Primer de tot queda demostrat a la taula que tots els valors estan dins els límits. Així que no es té de repetir cap proveta i es consideren correctes.

Tot i que s'interpreta el valor mitjà final, s'ha analitzat si el valor mitjà de les mesures té gaire dispersió entre elles o no. Es creu convenient tenir en compte les que tinguin més dispersió ja que un resultat més adient seria si no tinguessin gaire dispersió.

Els morters M3 i M11 són els morters amb més dispersió del valor mitjà de la mitjana de les seves mesures. M3 d'uns 8 mm. i M11 d'uns 11 mm. A part, resulta que el valor mitjà petit és el primer resultat a assaig i el gran el segon. Aquest resultat fa pensar que no estigues condicionat per una afectació en el procés d'elaborar l'assaig a l'hora de netejar la taula de colpejar i quedar humida o bé per no netejar-la suficient. En tot cas s'afirma que no es té constància d'haver dut a terme un mal procediment i la interpretació d'aquest succés és que és fruit del resultat, tot i que la diferència dels altres resultats és bastant inferior, obtenim diferències de només 1 mm. 2 mm. en el millor dels casos.

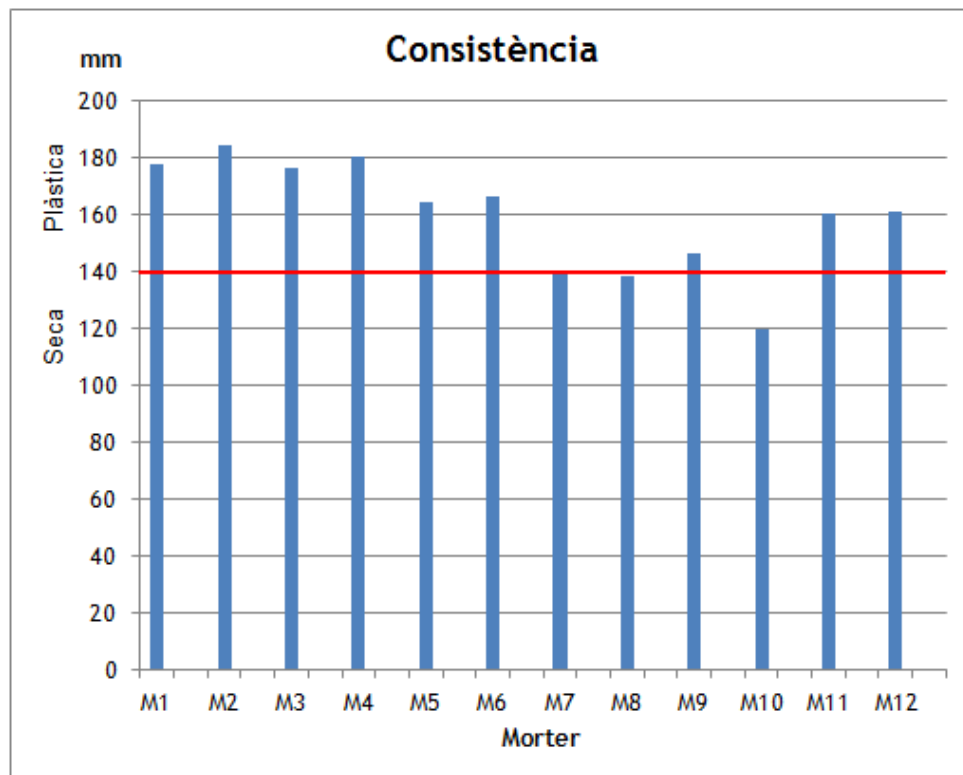
En general la consistència de tots els morters ha sortit plàstica, menys el M8 i el M10 seca. Per regla general s'han obtingut uns bons resultats ja que la intenció, tal i com està descrita a l'apartat de dosificació, era que el resultat de l'assaig fos de consistència plàstica.

El valor numèric (valor mitjà), de forma general, s'observa com descendeix de 180 mm. a 120mm. Aquests resultats demostren que la consistència va molt agrupada amb la dosificació i ens ensenyen que al afegir material i al mantenir el % d'aigua constant baixa la consistència. S'observa que a M11 i a M12 la consistència a pujat a plàstica amb un valor d'uns 160 mm. Aquest fet és resultat de l'augment d'aigua a propòsit que es va decidir després d'observar els resultat no satisfactori de consistència del M10.

Un altre punt que recolza aquests resultats és que es podrien agrupar en tres grups molt clars: de M1 al M6 (valors des de 160 mm. a 180 mm), de M7 al M9 (140 mm. a 150mm.) i de M10 a M11 (160 mm), que tenen relació amb la dosificació.

Mortor	Valor mitjà	Consistència
M1.R	178	Plàstica
M2.R	184	Plàstica
M3.R	176	Plàstica
M4	181	Plàstica
M5	164	Plàstica
M6	167	Plàstica
M7	140	Plàstica
M8	138	Seca
M9	146	Plàstica
M10	120	Seca
M11	161	Plàstica
M12	161	Plàstica

Taula 17: Resum taula 10, resultats assaig per la determinació de la consistència.



### 6.1.2 Assaig per la determinació de la densitat aparent del morter fresc

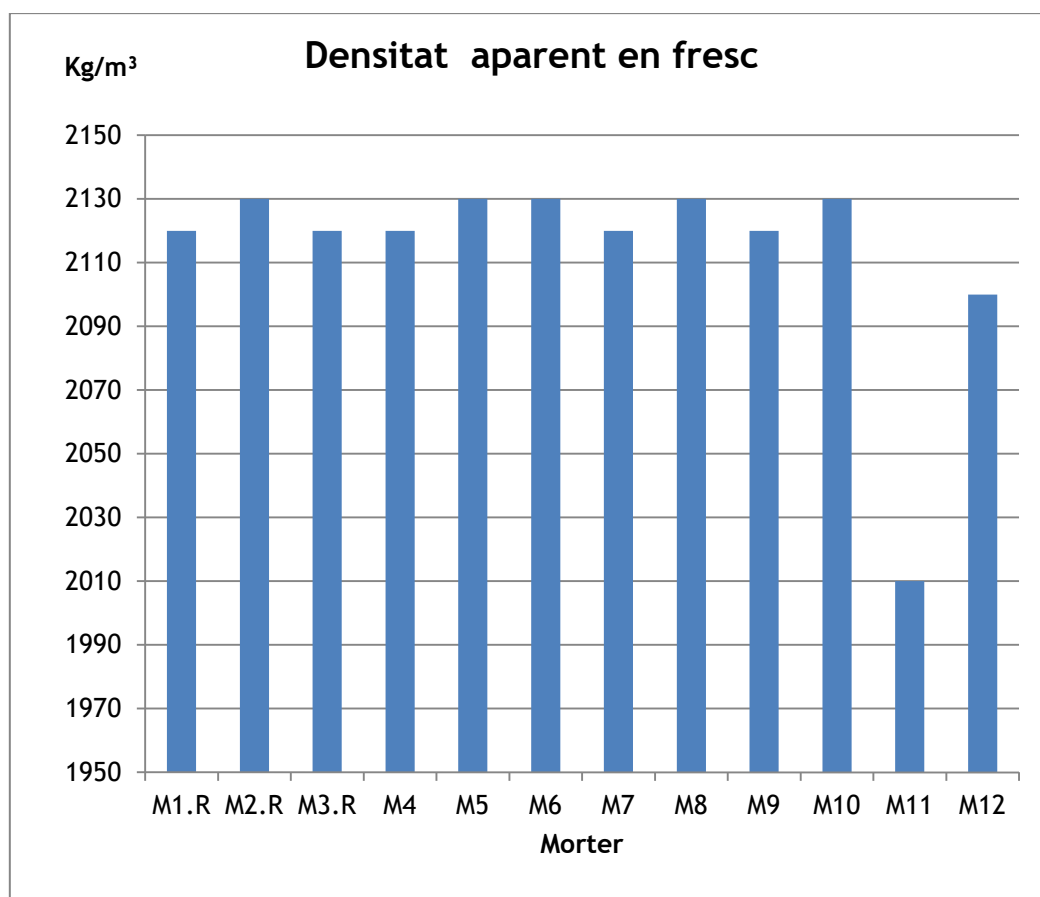
Queda demostrat a la taula que tots els valors estan dins els límits. Així que no es té de repetir cap proveta i es consideren correctes.

En general tots els valors de densitat oscil·len entre 2120 i 2130 kg/m<sup>3</sup>. S'observa una gran homogeneïtat en els resultats. Essent el més gran M10 i el més petit M11.

Hi ha dos resultats més baixos que la resta, M11 i M12, amb una densitat aparent de 2010 i 2100 kg/m<sup>3</sup> respectivament. Es dona el cas que aquests dos morters són els que en la dosificació tenen més aigua que la resta. Pintats de color vermell en la taula resum següent.

Mortor	Densitat aparent en fresc (Kg/m <sup>3</sup> )
M1.R	2120
M2.R	2130
M3.R	2120
M4	2120
M5	2130
M6	2130
M7	2120
M8	2130
M9	2120
M10	2130
M11	2010
M12	2100

Taula 18: Resum taula 12 resultats assaig per la determinació de la densitat aparent en sec.



### 6.1.3 Assaig per la determinació de la resistència a l'adhesió

Aquest assaig, per la seva elaboració al complet, en tots els passos, requereix de moltíssima precisió, quasi bé és necessari un aprenentatge de la tècnica. Hi ha molts factors com per exemple: cops, moviments que, en tot el procés des de la creació de les provetes, passant per la creació de les pastilles on la rosca té de quedar perfectament perpendicular i centrada a les provetes, fins al trencament d'aquestes amb la màquina, per petits que siguin poden alterar de manera molt significativa els resultats.

Com es pot veure a la taula els morters M1, M2 i M3. Es van tornar a repetir al complet per culpa d'una mala execució durant el procés d'elaboració de les provetes i el suport. No es va tenir en compte humitejar suficientment les peces ceràmiques del suport. A més a més no es van lubricar en abundància els anells per la formació de les pastilles, fet que provocà alhora d'extreure-les que s'aixequessin les provetes. També es pot atribuir en part a una falta de tècnica a l'hora d'aixecar els anells.



Totes les provetes amb una “x” a la taula són provetes nul·les ja que en el moment d'encaixar la màquina amb la pastilla, s'ha arrencat la pastilla sense poder fer l'assaig a tracció.

Cal també, comentar que el valor de la resistència a l'adherència s'aconsegueix amb el valor mig de totes les provetes arrencades. Però observant tots els resultats individuals de cada proveta de cada morter entre ells, hi ha una gran dispersió de resultats. El casos més pronunciats són els següents (sense tenir en compte M1, M2 i M3):

Algun valor molt per sota que la resta:

- M4 – la primera proveta
- M7 – la segona proveta
- M11 – la tercera i setena proveta
- M1.R – la quarta proveta
- M2.R – la quarta proveta
- M3.R – la primera proveta

Valors molt per sobre de la resta:

- M4 – la setena proveta
- M5 – la cinquena proveta
- M9 – la tercera proveta
- M11 – la quarta proveta
- M3.R – la segona proveta

Analitzant la resistència a l'adherència apareix amb la màxima resistència el M4 amb un valor de 0,23 N/mm<sup>2</sup> bastant separat de la resta. I el menor M9 i M11 amb un valor de 0,08 N/mm<sup>2</sup>.

Generalment el valor descendeix. Al principi de forma molt pronunciada de M1.R a M7 i amb menys força de M7 a M12.

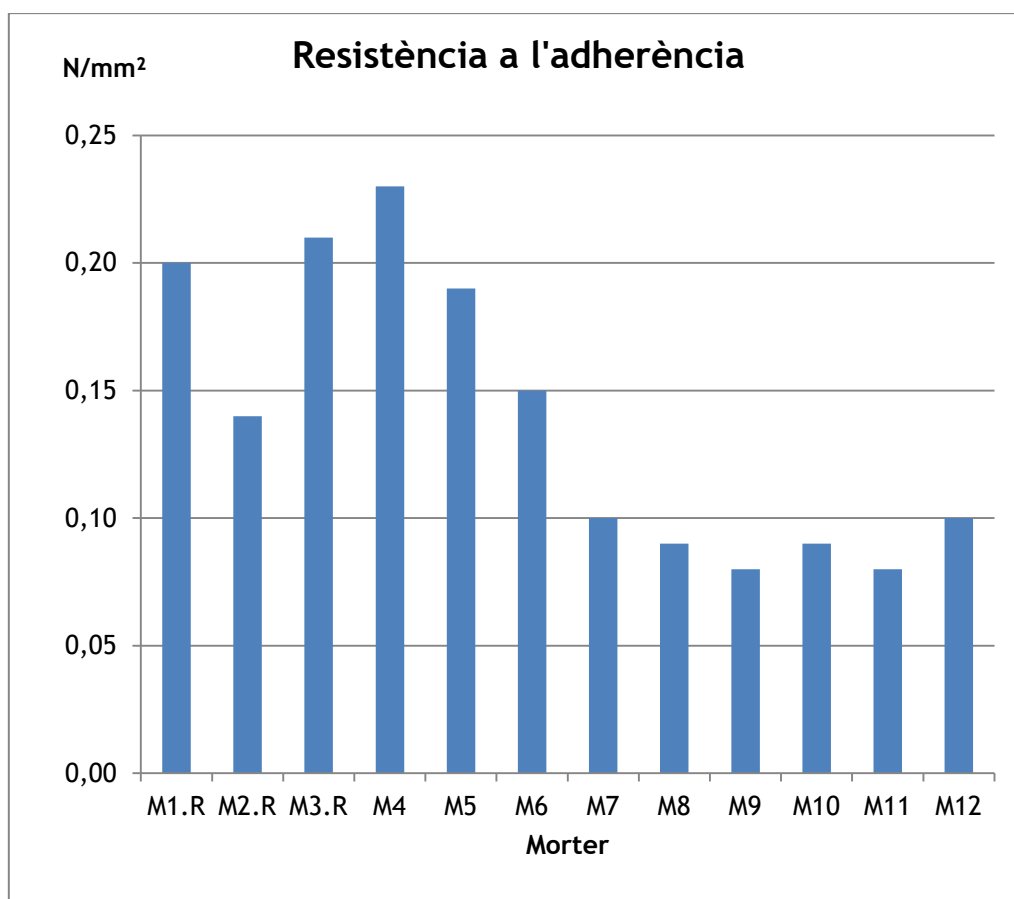
Remarcar M2.R com a valor il·lògic.

Cal fixar-se que agrupant els resultats per dosificacions iguals, només variant el % de calç, de M2.R a M6 primer ascendeix al augmentar el % de calç i després descendeix de forma molt

pronunciada. De M7 a M9, descendeix de forma lineal. De M10 a M12 descendeix i després ascendeix però tenint una resistència molt semblant.

Morter	Resistència a l'adherència (N/mm <sup>2</sup> )
M1.R	0,20
M2.R	0,14
M3.R	0,21
M4	0,23
M5	0,19
M6	0,15
M7	0,10
M8	0,09
M9	0,08
M10	0,09
M11	0,08
M12	0,10
M1	0,11
M2	0,05
M3	0,09

Taula 19: Resum taula 13 resultats assaig determinació de la resistència a la adhesió.



### 6.1.3.1 Comparació resultats

Aquest assaig determina la resistència a l'adherència tot i les dispersions en els resultats obtinguts anteriorment. Serà necessari tenir un valor mínim per poder decidir quin o quins morters són adequats o no, per a fer revestiments.

En l'assaig de resistència a comprensió hi ha un valor mínim de resistència a assolir. En el cas de l'adherència ni les normatives espanyoles ni el CTE exigeixen a data d'avui un valor mínim de resistència a l'adherència. També es realitza una consulta al CECAM (Centre d'Estudis de la Construcció i Anàlisi de Materials SLU), per reafirmar que no existeix cap valor mínim a la resistència a l'adherència per a morters enfocat a revestiments i efectivament la resposta és no.

En diferents fòrums de construcció parlen d'aquest valor i en general arriben a la conclusió de fixar a 0,1 N/mm<sup>2</sup> de resistència mínima a l'adherència que hauria d'aguantar un morter. Aquest valor es pot tenir en compte però no hi ha cap organisme al darrera que ho controli o ho exigeixi.

Per aquest motiu es crea una taula comparativa de diferents morters actuals en el mercat on hagin obtingut tots el certificat CE i tinguin a la fitxa tècnica la dada de quina resistència a l'adherència assoleixen. Alhora de fer el mostreig exposat a continuació s'han escollit en tot moment morters destinats a remolinats i enfoscats.

Nom Comercial	Empresa	Resistència a l'adherència N/mm <sup>2</sup>	Tipus de ruptura sobre el suport
Mortor sec de cal hidràulica natural. NHL 3,5	Barnacork, S.L.	>0,2	A i B
Myrsac 315. C SII W0	CTH Navarra	>0,3	A i B
Morcemsec Enlucido. GP CSIV W2	Grupopuma	>0,3	No especificada
Mortor Gris Cal M-2,5b	Aymar	>0,2	A ceràmica - B formigó
Mortor Gris Cal M-5b	Aymar	>0,25	A ceràmica - B formigó
Mortor Blanco M-5H	Aymar	>0,2	A ceràmica
Mortor Gris M-2,5	Aymar	>0,2	A ceràmica
Mortero de cal mejorado para enfoscados	Weber	>0,3	No especificada
Revoco Cal	GECOL	>0,2	B ceràmica
Mortero de cal hidràulica NHL-fino	KEIM	>0,08	A, B i C
Mortero cal hidraulica revoque	Pulmor	>0,1	B
Tector cal liso. CR-CSII-W2	Lafarge	>0,2	Ceràmica
Tector mur. GP-CSIII	Lafarge	>0,4	Ceràmica
Tector pro blanco. GP-CSIV-WO	Lafarge	>0,3	Ceràmica
Tector pro fino blanco. GP-CSIII-WO	Lafarge	>0,3	Ceràmica i formigó
Tector pro Hf Blanco. GP-CSIV-W2	Lafarge	<0,3	No especificada
Tector pro hf gris. GP-CSIII-W2	Lafarge	<0,3	No especificada
Tector txt	Lafarge	>0,3	Ceràmica i formigó
M-7,5. CEM IIA-L/ 42,5 R	C. portland Valderrivas	>0,15	No especificada
Mortero de revoco gris hidrofugo. GP-CSII-W1	Grupo Cetya	>0,1	A i B

**Taula 20: Taula comparativa de diferents morters comercials en quant a la resistència a l'adherència.**

Els morters de ciment tan gris com blanc, de forma general assoleixen un valor >0,3 N/mm<sup>2</sup> de resistència a l'adherència i els morters de calç >0,2 N/mm<sup>2</sup>. En tots els casos hi ha morters que assoleixen valor més alts i més baixos.

Per lo tant a partir de la taula anterior i a criteri de l'autor, es defineix la següent taula per catalogar els morters en l'assaig, segons les prestacions de resistència a l'adherència.

	Resistència a l'adherència N/mm <sup>2</sup>		Morters assaig
Nivell 1	<b>&gt;0,3</b>	Morters amb bones prestacions.	Cap
Nivell 2	<b>de 0,2 a 0,3</b>	Morters amb acceptables prestacions.	M1.R (blanc), M3.R, M4
Nivell 3	<b>de 0,1 a 0,2</b>	Morters amb baixes prestacions.	M2.R, M5, M6, M7, M12
Nivell 4	<b>&lt;0,1</b>	Morters amb molt baixes prestacions.	M8, M9, M10, M11

**Taula 21: Catalogació de nivells segons la resistència a l'adherència.**

Com a resultats els morters catalogats com a nivell 4 serien considerats com a no aptes. També és cert que els seus valors s'acosten a 0,1 N/mm<sup>2</sup>, el més baix té 0,08 N/mm<sup>2</sup>, però es fixa com a valor límit >0,1 N/mm<sup>2</sup>.

#### **6.1.4 Assaig per la determinació de la resistència a flexió**

El valor numèric de la resistència a flexió s'observa com descendeix de forma bastant lineal, de 7,26 N/mm<sup>2</sup> a 3,74 N/mm<sup>2</sup>.

Una agrupació de resultats general aniria lligada amb la dosificació. Quan més percentatge de sorra menys resistència a flexió. S'hi diferencien tres clars grups de resultats: de M2 a M6 resultats aproximats a 6,00 N/mm<sup>2</sup>, de M7 a M9 resultats aproximats a 5,00 N/mm<sup>2</sup> i de M10 a M12 resultats aproximats a 4,00 N/mm<sup>2</sup>.

El morter amb més resistència a la flexió és el M1, el blanc, amb un valor de 7,26 N/mm<sup>2</sup>. I el que té menys resistència a flexió M11 amb un valor de 3,58 N/mm<sup>2</sup>.

Un resultat interessant a tenir en compte és que dins de cada agrupació esmentada anteriorment, augmenta la resistència a la flexió els morters amb major % de calç.

➤ Grup 1:

M2 i M3 amb 6,01 i 5,98 N/mm<sup>2</sup> respectivament tenen menys resistència a flexió que M4, M5 i M6 amb valors de 6,16, 6,15, 6,16 N/mm<sup>2</sup> respectivament. L'única diferència és el % de calç.

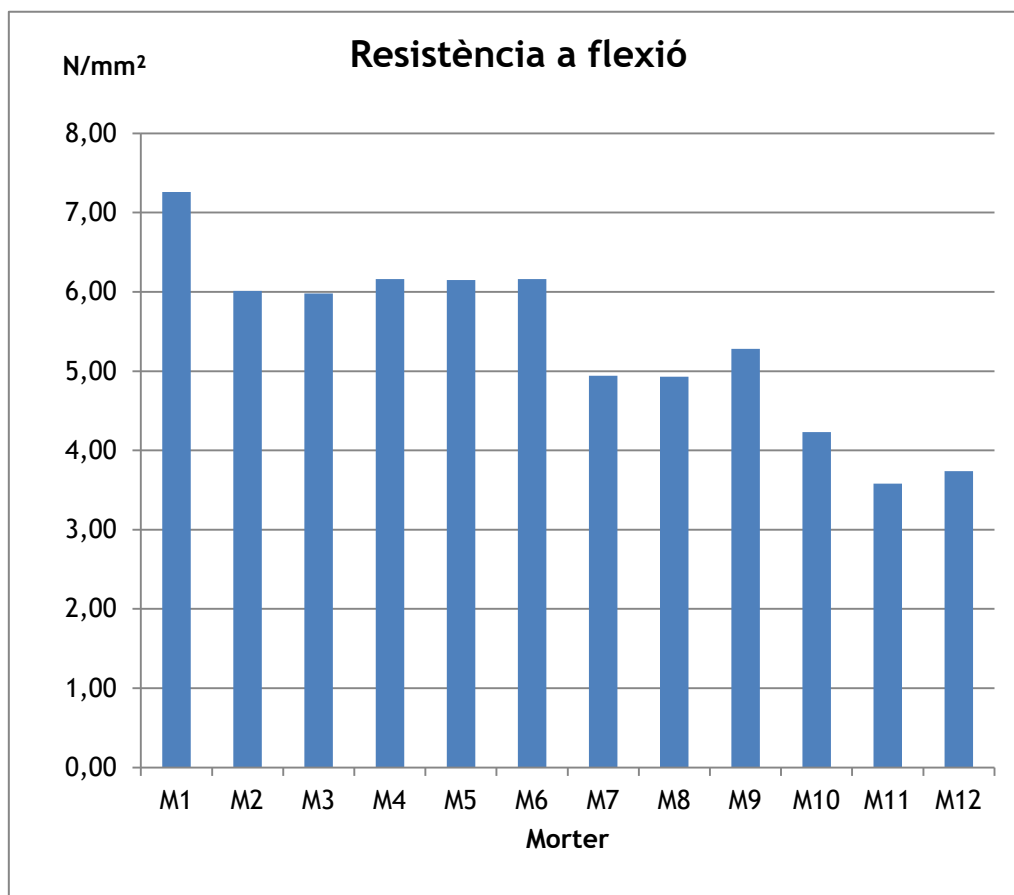
➤ Aquest fet es reproduïx en el Grup 2:

M7 i M8 amb valors de 4,94 i 4,93 N/mm<sup>2</sup> respectivament, en canvi M9 puja la resistència a 5,28 N/mm<sup>2</sup>.

Em l'últim grup s'ha de tenir en compte que M10 té menys aigua en la dosificació respecte M11 i M12. Possiblement al tenir menys aigua té més resistència. Si es fixen amb M11 3,58 N/mm<sup>2</sup> i M12 3,74 N/mm<sup>2</sup> augmentada la seva proporció d'aigua són els pitjors valor, i entre ells el M12 amb major proporció de calç; té més resistència a flexió.

Morter	Resistència a flexió (N/mm <sup>2</sup> )
M1.R	7,26
M2.R	6,01
M3.R	5,98
M4	6,16
M5	6,15
M6	6,16
M7	4,94
M8	4,93
M9	5,28
M10	4,23
M11	3,58
M12	3,74

Taula 22: Resum taula 15 resultats assaig per a la determinació a la resistència a flexió. Font: UNE EN 1015-11.



#### 6.1.4.1 Comparació de resultats

Els resultats obtinguts en comparació del TFG d'en Daniel Osuna, Estudi per l'aplicació de morter de calç amb argila, són del valor de 0,1 a 1,0 N/mm<sup>2</sup>, sobre diferents dosificacions i proporcions i afegint-hi diferents addicions: sosa càustica i clofolla d'arròs; millora en algun cas la resistència però el millor dels casos no superen els 2 N/mm<sup>2</sup>. Els resultats obtinguts en aquest estudi són molt superiors.

En comparació al morter a estudi utilitzat per la Tesis Doctoral UPC per Jose A. Ortiz Lozano. En el seu estudi ha utilitzat un morter en la següent dosificació (1:3:0,5) i li ha sortit un valor de 6,5 N/mm<sup>2</sup>. Molt poc superior als morters M4, M5 i M6.

L'estudi realitzat per Irieix Costa Prieto i Mauricio Mamani Arenas, morter de ciment barrejat amb suro, tenen uns valors a resistència a flexió amb una proporció baixa de suro (de forma genèrica) al voltant dels 4 N/mm<sup>2</sup> i alta al voltant dels 2,5 N/mm<sup>2</sup>. En el seu cas quant més % de suro més



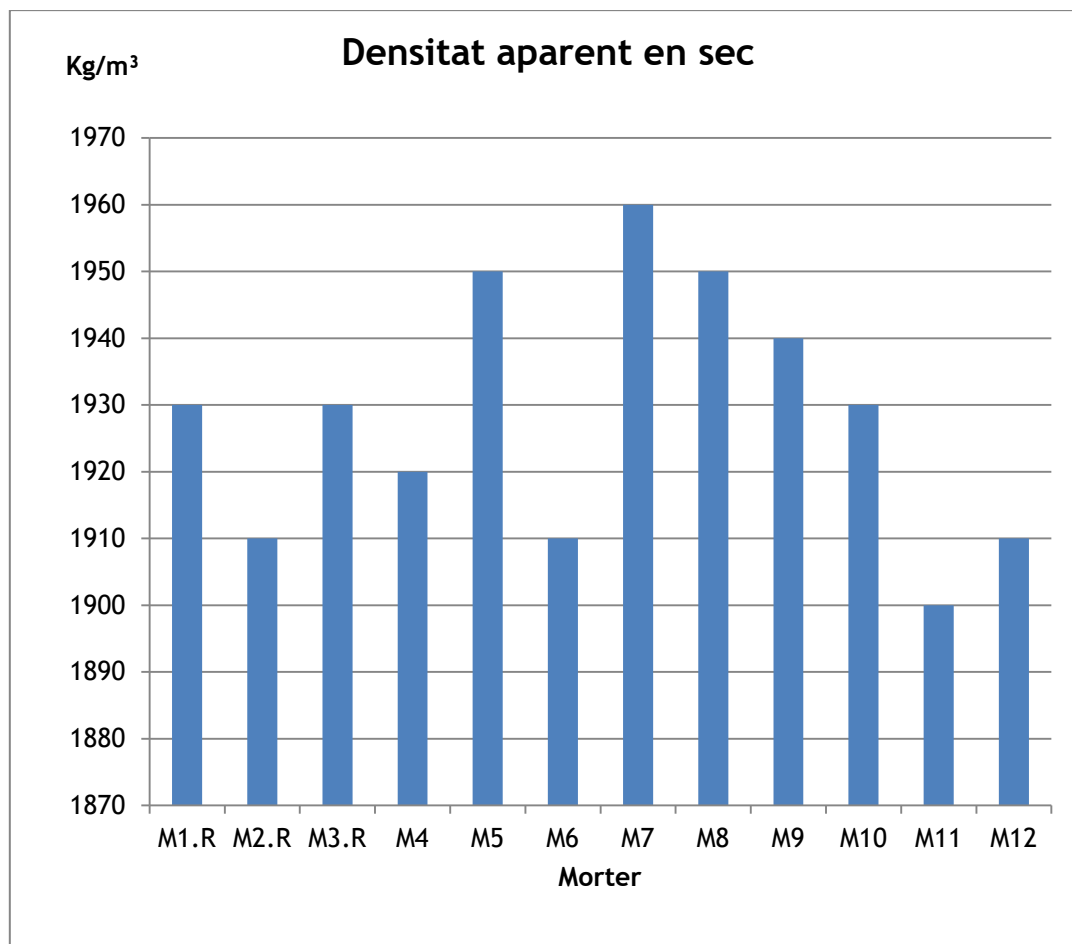
baixa la resistència a flexió, en el cas d'aquest projecte quan més % de calç, millora la resistència. A part que els valors en general són superiors.

### 6.1.5 Assaig per la determinació de la densitat aparent en sec del morter endurit

El morter amb major densitat és el M7 amb un valor de 1960 kg/m<sup>3</sup> i el morter amb menor densitat és el M11 amb un valor de 1900 kg/m<sup>3</sup>. El rang de dimensió és de 60 kg/m<sup>3</sup>.

Mortor	Mitjana (kg/m <sup>3</sup> )
M1.R	1930
M2.R	1910
M3.R	1930
M4	1920
M5	1950
M6	1910
M7	1960
M8	1950
M9	1940
M10	1930
M11	1900
M12	1910

Taula 23: Resum taula 16 resultats assaig de la densitat aparent en sec del morter. Font: UNE EN 1015-11.



#### 6.1.5.1 Comparació resultats

A continuació s'ha elaborat una taula amb diferents pesos específics de materials en bastant relació amb el morter a estudi, per tenir una idea de comparació de masses. A part s'ha trobat un pes específic estipulat pels morters de ciment, calç i sorra.

Tots els resultats de la taula on hi ha un (\*), vol dir que s'ha agafat el valor mig del varem que mostrava la font d'informació consultada.

PESOS ESPECÍFICS DE MATERIALS	
Materials	Densitat en Kg/m <sup>3</sup>
Sorra fina i seca*	1500
Sorra fina i humida*	1990
Calç viva	1100
Calç apagada	1200
Calç morter en pasta	1780
Calç morter endurit	1620
Calç hidràulica apagada en pols	1800
Ciment en pols	1500
Ciment endurit	3000
Formigó armat	2400
Ceràmica comú	1600
Mortor de calç i sorra	2000
Mortor de ciment i calç*	2000
Mortor de ciment, calç i sorra*	1900
Terres argila*	1980
Guix cuit	2300

**Taula 24: Pesos específics de diferents materials.**

Com s'observa els morters a estudi no són gaire superiors a 1900 Kg/m<sup>3</sup>. Tenint en compte només el morter M7 amb una màxima superioritat de 60 kg/m<sup>3</sup>; aquest valor no és molt significatiu ja que com s'ha seguit la normativa tots els valors estan arrodonits amb una exactitud de 10 kg/m<sup>3</sup>.

En relació a altres materials d'obra per tenir una idea de pes és molt igual de densitats a la sorra fina i humida i als altres morters. I molt menys pesant que el ciment endurit, el formigó armat i el guix cuit.

En comparació el treball final de grau de Irieix Costa Prieto i Mauricio Mamani Arenas, estudi experimental de morter de ciment barrejat amb suro, obtenen uns valors des de 1900 en les proporcions més baixes de suro fins a 1350 en les proporcions més altres. En canvi el rang de resultats d'aquest projecte en totes les dosificacions és superior. La calç aporta més densitat al morter, en canvi el suro disminueix la densitat.

## 6.2 Interpretació de resultats globals

Tots els resultats s'han analitzat anteriorment de forma particular. En aquest punt s'exposen els resultats per observar si tenen relació entre ells.

Mortor	Dosificació	Consistència (mm)		Densitat aparent en fresc (kg/m <sup>3</sup> )	Resistència a l'adherència (N/mm <sup>2</sup> )	Resistència a flexió (N/mm <sup>2</sup> )	Densitat aparent en sec (kg/m <sup>3</sup> )
M1.R	(1:3:0,6)	178	Plàstica	2120	0,20	7,26	1930
M2.R	(1:0,1:3:0,6)	184	Plàstica	2130	0,14	6,01	1910
M3.R	(1:0,2:3:0,6)	176	Plàstica	2120	0,21	5,98	1930
M4	(1:0,3:3:0,6)	181	Plàstica	2120	0,23	6,16	1920
M5	(1:0,4:3:0,6)	164	Plàstica	2130	0,19	6,15	1950
M6	(1:0,5:3:0,6)	167	Plàstica	2130	0,15	6,16	1910
M7	(1:0,3:4:0,6)	140	Plàstica	2120	0,10	4,94	1960
M8	(1:0,4:4:0,6)	138	Seca	2130	0,09	4,93	1950
M9	(1:0,5:4:0,6)	146	Plàstica	2120	0,08	5,28	1940
M10	(1:0,3:5:0,6)	120	Seca	2130	0,09	4,23	1930
M11	(1:0,4:5:0,65)	161	Plàstica	2010	0,08	3,58	1900
M12	(1:0,5:5:0,65)	161	Plàstica	2100	0,10	3,74	1910

**Taula 25: Taula resum de tots els assajos.**

De forma general es produeix una disminució de la resistència a l'adherència i la resistència a flexió en un gran salt quan s'incrementa el % de sorra. A més a més observant el comportament de les resistències dins cada dosificació, en relació el % de calç és bastant igual.

Ara bé, entre elles no hi ha relació.

Per altre costat les densitat, la quantitat de massa, es mantenen molt estables en el morter en fresc, amb un rang de dispersió de valor de 10 kg/m<sup>3</sup>, a part dels dos resultats M11 i M12 obtinguts en la densitat aparent en fresc que semblen il·lògics; tot i que són els dos únics morters als quals tenen el % d'aigua més elevat en la dosificació.

M'entres que els valors de la densitat aparent en sec del morter endurit són més disperses, el seu rang de dispersió és de 60 kg/m<sup>3</sup>, i no segueixen cap ordre ni cap relació amb la densitat del morter fresc, només que els morters M11 i M12 tenen les més baixes densitats. El morter M7 té una baixada de la densitat de 160 kg/m<sup>3</sup>, el que menys. I el morter M2.R el que més en comparació als resultats de la densitat aparent del morter en fresc.

El % d'aigua influeix molt notablement a part de la consistència, en la densitat aparent en fresc i en la resistència a flexió.

## 7 Conclusions

### 7.1 Particulars

El material a estudi, la calç “grogà” de Crespià, procedeix d’una pedrera que encara té vida. No s’ha efectuat cap estudi geològic per determinar quant material queda, però a simple vista és molt. Es podria explotar si es volgués, ja que les normes subsidiàries del municipi de Crespià, que estan en vigor, així ho permeten. Això sí, hi ha el tema dels jaciments paleontològics trobats a la mateixa pedrera que caldria de tenir en compte a l’hora d’extreure material. Un altre punt a favor són les bones comunicacions que hi ha fins arribar a la pedrera.

L’extracció del material és podria efectuar amb un rendiment molt elevat. Primer de tot, el material té una duresa molt baixa. En pocs mitjanats mecànics relativament econòmics es podria dur a terme l’exploració; com a infraestructura general, res a comparar amb una explotació de roca calcària dura. A part, la densitat del material és baixa, les pedres pesen poc i això afavoreix el transport i el procés de producció.

No és un material gaire pur, definint pur com el % de (CaO+MgO) que conté. La calç groga de Crespià en té exactament un 52,27%. El Sr. Manuel Sales em va explicar que a la seva empresa les pedres de calç que els interessaven són les que tenen més d’un 90% de puresa; tot i que hi ha aplicacions per les menys pures i també se’n produeixen. Tot depèn del seu ús final. A més a més, una altra dada comparativa per a l’acceptació de la pedra calcària és el % de SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que conté el material. Normalment les seves calç en tenen un 0,30-0,40% i, com a màxim, un 1,10%; mentre que en el cas de la calç “grogà” de Crespià és del 5,45%. I, finalment, un altre criteri d’acceptació de la pedra calcària característic que tenen en compte és la blancor; com més blanca millor i la calç estudiada té un color groguenc.

Un aspecte positiu del material és que les argiles que conté són dimòrfiques i no trimòrfiques. Així que les seves característiques físiques no es veuran afectades per la humitat i, per tant, pels agents climàtics; fet que li proporciona al material ser compatible d’utilitzar tan a l’exterior com a l’interior.

Primer es va començar fent una preparació del material segons el mètode general, i els resultats no van ser satisfactoris. La calç resultant perdia el color. Ara bé, això no vol dir que fos dolenta, que no tingues cap característica interessant i poder-li trobar un ús; sinó que la idea del projecte

sempre ha sigut elaborar l'anomenada calç “grogà” de Crespià pels següents motius: aconseguir el color tan característic groguenc i aprofitar-lo com a virtut del material per a morter per a revestiments, sense la necessitat d'utilitzar colorants.

També es tenia d'aconseguir fer una rèplica de l'antiga calç ja que antigament s'utilitzava. I de cares a qualsevol obra de rehabilitació és molt important, al rehabilitar-la, fer servir els mateixos materials. Fins a dia d'avui no hi havia cap estudi fet sobre aquesta calç.

S'aconsegueix reproduir el mètode de l'antiga fàbrica Incarcal en un procediment molt econòmic i sostenible, ja que en comparació a altres mètodes, per les característiques de la pedra, les energies necessàries utilitzades per la seva posta a punt, tan en la seva extracció de la pedrera com al mantenir el forn només a 120°C, la força de la màquina de trituració són molt menors.

### **7.1.1 Conclusions dels assajos**

La consistència òptima per a morter destinat a revestiments i enfoscats ha de ser de consistència plàstica per a una bona posta en obra del morter. S'ha aconseguit en tots els morters menys en M8 i M10.

La densitat del morter fresc ha sigut molt homogènia en tots els casos menys en els últims dos morters M11 i M12. L'única diferència és la proporció d'aigua. Per aquest fet s'observa que, a major proporció d'aigua en la dosificació, menys densitat en el morter fresc, o sigui, menys massa per quantitat de volum, per tant, menys pes a l'hora de col·locar i transportar el morter en obra.

Tot i que després, en relació a la densitat del morter sec endurit, no té res a veure la quantitat d'aigua a la pasta. En les densitats del morter sec s'ha obtingut una dispersió de valors, tot i que no n'hi ha cap fora d'uns certs límits. Al comparar resultats amb els teòrics d'una mostra de morter constituït per ciment, calç i sorra, els resultats són molt pròxims. I de forma general, en comparació a altres materials d'obra, per tenir una referència de pes el morter estudiat pesa molt menys que el ciment sol, el formigó armat i fins i tot el guix. Propietat interessant a tenir en compte en certes obres.

Els morters obtinguts tenen molt bona resistència a flexió, es denomina flexió al tipus de deformació que presenta un element allargat en una direcció perpendicular al seu eix longitudinal.



És una característica important a tenir en compte en un morter destinat a remolinats. Els morters amb major valor són M2, M3, M4, M5 i M6; valors al voltant de 6 N/mm<sup>2</sup>.

Un aspecte a tenir en compte és que l'ús de calç groga de Crespià fa augmentar la resistència a flexió aportant-li una millora.

L'adherència és la capacitat del morter d'absorbir tensions normals o tangencials a la superfície del suport. És, possiblement, la principal propietat que s'ha d'exigir al morter d'arrebossat doncs d'ella depèn l'estabilitat del recobriment. Una adherència correcta impedirà que el morter es desenganxi del suport com a conseqüència de les seves variacions dimensionals. Aquestes variacions són conseqüència de l'acció dels agents externs a què es troben sotmesos (pluja, gel, fred/calor, etc.) i que donen lloc a contraccions, dilatacions i moviments del suport. Haurà de suportar els esforços mecànics i tensionals entre revestiment i suport.

En el morter endurit l'adherència depèn fonamentalment de la naturalesa de la superfície del suport, de la seva porositat i rugositat, així com de la granulometria de la sorra utilitzada com es pot observar en la diferència de resistència en quant a relació amb la dosificació.

Quan es col·loca morter fresc sobre la superfície del suport, part de l'aigua de pastat és absorbida pel mateix penetrant en el seu interior a través dels seus porus, per això és necessari una bona preparació del suport, cosa que en els morters M1, M2 i M3 no es va tenir en compte i va sorgir l'anomenada pell de cocodril, i van sorgir mals resultats. L'enduriment del morter ocasiona processos fisicoquímics en el seu interior, responsables del fenomen d'ancoratge amb el suport.

Es important deixar constància que els morters han trencat primer entre el morter i el seu suport que no internament (forma de ruptura tipus – A), aquest fet assegura una certa consistència del remolinat en front a la seva degradació davant fenòmens externs, ja que al trencar-se de forma tipus – A, vol dir que el punt més dèbil del remolinat serà entre el suport i el remolinat i no dins el mateix.

S'ha estipulat un valor mínim d'adherència amb el suport de 0,1 N/mm<sup>2</sup> (*taula 21*) per poder decidir quin o quins morters són adequats o no. Per tant, tots el morters de resultat inferior a aquest queden descartats per a la seva utilització en arrebossats (M8, M9, M10 i M11).

Per altre costat, els morters catalogats com a nivell 2 són morters amb acceptables prestacions que competeixen amb morters amb marcatge CE. M3.R i M4 amb un valor de resistència a l'adhesió de 0,2 N/mm<sup>2</sup> a 0,3 N/mm<sup>2</sup>. A part també trobem tots els morters dins el nivell 3. Aquests últims també serien acceptables i aptes, però tenen baixes prestacions.

Els millors morters per utilitzar-los com a revestiment serien els M3.R i M4.

Finalment l'assaig de posada en obra ha servit per comprovar diferents propietats que proporciona la calç que no són numèriques. La calç li dóna, al morter, elasticitat, plasticitat i manejabilitat. La propietat més rellevant d'aquest estudi és el color final que li transmet al morter, tot i que no és molt accentuat per les baixes proporcions de calç en les dosificacions.

## 7.2 Generals

En general, els millors morters obtinguts en el projecte són més aviat normals de propietats, però s'ha obtingut uns morters aptes per a arrebossats. La característica que els fa diferents als altres és l'aportació del color groguenc, terrós clar, un color molt natural que li transmet aquest tipus de calç, molt adient per a rehabilitacions i edificacions en zones de casc antic i de sòl rústic.

Si es compara amb altres tipus de calç utilitzades per a la construcció, no arriba a alguna de les seves propietats, especialment degut a la seva puresa (poc % (CaO+Mg)) que repercuteix en la reactivitat del material, alt % de silicis i alumina i poca blancor.

Un aspecte positiu és que les argiles que conté són dimòrfiques, pel que les seves característiques físiques no es veuran afectades pels agents climàtics; fet que li proporciona al material ser compatible per utilitzar-lo tant a l'exterior com a l'interior.

La producció d'aquest material és més econòmica en relació a altres produccions de calç, fet que podria repercutir en el seu preu final de comercialització. A més, comporta una producció molt més sostenible al necessitar molt poca energia en la seva producció, fet que implica una aportació mediambiental.

En el mercat de la construcció hi ha molts morters que aconseguen més resistència a l'adherència, o bé més resistència a la flexió, així com també poden aconseguir el color amb

diferents colorants, a més de tots els additius per millorar qualsevol propietat però, per contra, els morters amb calç groga són més naturals.

A l'utilitzar aquest morter en una zona local, s'afavoreix la idea d'utilitzar materials de proximitat. També vull tornar a esmentar la importància que pot tenir la utilització d'aquest morter per a obres de rehabilitació on ja s'hi hagués utilitzat abans aquest tipus de morter que, en aquesta zona propera a la cantera, són moltes.

El morter més complert obtingut d'aquest estudi són els morters **M3.R i M4**. Dels dos, s'escull el **M4** (1:0,3:3:0,6) per tenir major % de calç en la dosificació, aportant totes les característiques favorables que aporta la calç en el morter i remarcant l'aportació de més color groguenc al morter.

En aquest estudi, a l'hora de decidir quines dosificacions estudiar, es va anar a buscar condicions favorables en relació al % de calç per obtenir bons resultats. Finalment han sortit acceptables. La qüestió és que quan més % de calç tingui el morter, el color final serà molt més pròxim al de la pedra.

Per això crec que la calç “grogà” de Crespià és un bon material com a plastificant en morters destinats a arrebossats.

Fins a dia d'avui no hi havia cap estudi fet sobre aquesta calç. S'ha fet una pinzellada en la seva coneixença, però queda molt per estudiar.

### 7.3 Noves vies d'investigació

És el primer estudi fet utilitzant calç “grogà” de Crespià en el morter. A l'acabar el projecte et dones compte que només s'ha fet una pinzellada i que queden molt punts per investigar. Els més rellevants per l'autor són el següents:

Estudiar el comportament d'un ventall diferent de dosificacions, per exemple de 50% a 100% de calç en la confecció del morter, o bé directament un estudi d'un morter de calç sense ciment. Segur que es milloraria molt el color final del morter, però caldria veure quines afectacions tindria en les propietats.

En comptes d'encarar l'estudi a un morter destinat a remolinats, fer l'estudi del morter com a rejuntat de pedra o com a morter de fàbrica. Llavors seria imprescindible l'estudi de les seves propietats envers la resistència a compressió.

Investigar més profundament el material, un estudi més geològic, no tant encarat a la construcció sinó més a conèixer el material, i poder respondre preguntes com: perquè al calcinar la pedra calcària a 900°C-1000°C perd el color groc, fer una classificació del material segons la norma UNE EN 459-1:2011 o bé quins són exactament els elements que conté que aporten el color groc.

Encarar a elaborar un estudi econòmic de viabilitat, sobre si seria rendible en el mercat actual la sortida de la calç “grogà” de Crespià. O bé si seria rendible reobrir la pedrera amb tot el que comporta.

Relacionat amb la pedrera, fer un estudi geotècnic i geogràfic de la zona. Possiblement hi ha més calç “grogà” en algun altre lloc.

## 8 Referències bibliogràfiques

### NORMATIVA

Comité técnico AEN/CTN 80 Cementos y cales cuya Secretaria desempeña OFICEMEN. (Septiembre 2011). UNE-EN 459-1 Cales para la construcción – Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Diciembre 2010). UNE-EN 998-1 Especificaciones de los morteros para albañilería – Parte 1: Morteros para revoco y enlucido. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Junio 1999). UNE-EN 1015-2 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Octubre 2007). UNE-EN 1015-2:1999/A1 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 2: Toma de muestra total de morteros y preparación de los morteros para ensayo. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Septiembre 2000). UNE-EN 1015-3 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas). Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Diciembre 2005). UNE-EN 1015-3:2000/A1 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresco (por la mesa de sacudidas). Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Junio 1999). UNE-EN 1015-6 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Octubre 2007). UNE-EN 1015-6:1999/A1 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresco. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Marzo 2000). UNE-EN 1015-10 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Marzo 2000). UNE-EN 1015-11 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Octubre 2007). UNE-EN 1015-11:2000/A1 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido. Disponible en AENOR.

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón cuya Secretaría desempeña ANEFHOP. (Noviembre 2000). UNE-EN 1015-12 Métodos de ensayos para morteros para albañilería – Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido endurecidos aplicados sobre soportes. Disponible en AENOR.

## **LLIBRES**

Departamento de Gestión Editorial, Documentación e Información del Boletín Oficial del Estado. *Código Técnico de Edificación: Parte II: DB SE-C, Seguridad Estructural: Cimientos.* (2008). Madrid: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado.

Instituto Valenciano de la Edificación. *Pliego General de Condiciones Técnicas en la Edificación. Libro 1.* (2007). Valencia: Rotodomenech, S.L.

## REVISTES / PONENCIES

ECOHABITAR, revista, bioconstucció, bioarquitectura, biología del hábitat. *La relegada cal es uno de los materiales más reivindicados desde la bioconstrucción, por sus grandes ventajas frente al cemento Pórtland.* (2011). [8].

López Salamanqués, Emma. *Jornada Técnica: “La cal en la construcción”. Guía para los morteros con cal.* AIDICO (Instituto Tecnológico de la construcción), ANCADE (Asociación Nacional de fabricantes de Cales y Derivados en España). [61].

## ARTICLES CIENTÍFICS

Fanlo Loras, Javier. Pérez Lambán, Fernando. *Consecuencias de la incorporación de carbonato cálcico en el material cerámico.* (2011). *Estrat Crític* 5.Vol.3 [61-68].

Galván Ruíz M. Velázquez Castillo R. *Cal, un antiguo material como una renovada opción para la construcción.* *Ingeniería Investigación y Tecnología.* Vol. XII, Núm. 1. (2011). [93-102].

Guixeras, Montserrat. Argano, Sònia. *Perquè la calç: quina, quan i com.* (2011). *Materials* [133-141].

Martin, Pau. Carrillo, Inès. *Recerca en patrimoni etnològic a l'alta garrotxa. el treball de la calç a l'alta garrotxa: d'activitat econòmica complementària a patrimoni cultural.* (2004-05). *IBIX* [149-161].

Tovar Alcázar, R. García Chávez, J.R. *La cal y la calidad en la vivienda bioclimática.* FOCCAL. (2013). [1-5].

## TESIS TREBALLS FINALS DE CARRERA

Costa Prieto, Irieix. Mamani Arenas, Mauricio. *Estudio experimental de mortero de cemento mezclado con corcho.* (Treball final de grau). Girona: Universitat de Girona (UdG); 2016 [citada el 10 de juny de 2016]. 180 p. Disponible en: Depòsit digital de la Universitat de Girona.



Osuna Polaina, Daniel. *Estudi per l'aplicació de morter de calç amb argila* (Treball final de grau). Girona: Universitat de Girona (UdG); 2015 [citada el 10 de juny de 2016]. 248 p. Disponible en: Depòsit digital de la Universitat de Girona.

Sarradell Cases, Francesc. *Estudi per la fabricació de blocs de calç i suro per la construcció*. (Treball final de grau). Girona: Universitat de Girona (UdG); 2015 [citada el 10 de juny de 2016]. 389 p. Disponible en: Depòsit digital de la Universitat de Girona.

## PÀGINES WEB

AFAM (asociación nacional de fabricantes de mortero). *Morteros en el CTE y Mercado CE. Fichas informativas relativas de mortero*. Madrid. (06/01/2013). Disponible en: <http://www.afam.es/>

Antonio Polanco, Juan. Setién Marquínez. Jesús. *Cementos, morteros y hormigones*. Dpto. De ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales. Univeridad de Cantabria. 86 p. Disponible en: [http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/1\\_Cementos.pdf](http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/cementos-morteros-y-hormigones/materiales/1_Cementos.pdf)

CONSTRUMÁTICA. Metaportal de Arquitectura, Ingeniería y Construcción. *Artículo Propiedades de los Morteros de Revestimiento*. AFAM. Disponible en: [http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades\\_de\\_los\\_Morteros\\_de\\_Revestimiento](http://www.construmatica.com/construpedia/Propiedades_de_los_Morteros_de_Revestimiento)

EUROIMPORTADORA, the blue way. *Peso específico de materiales*. Disponible en: [http://www.euroimportadora.com.mx/SYS\\_user/tips\\_tecnicos/es/Peso\\_Especifico\\_de\\_Materiales.pdf](http://www.euroimportadora.com.mx/SYS_user/tips_tecnicos/es/Peso_Especifico_de_Materiales.pdf)

ICGC (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). *VISSIR v3.26. Plànols cartogràfics i geològics*. Generalitat de Catalunya. (2015). Disponible en: <http://www.icc.cat/>

Lozano. *Tesis: Ensayos con morteros y pastas*: Capítulo 6 [251-289]p. Disponible en: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6163/07Jaol07de15.pdf?sequence=7>

REPUC (Registre de planejament urbanístic de Catalunya). *Normes subsidiàries de planejament: Memòria, Normativa, Plànols d'informació i Plànols d'ordenació*. Generalitat de Catalunya. (15/10/1990). Disponible en: <http://ptop.gencat.cat/rpucportal/inici/ca/index.html>

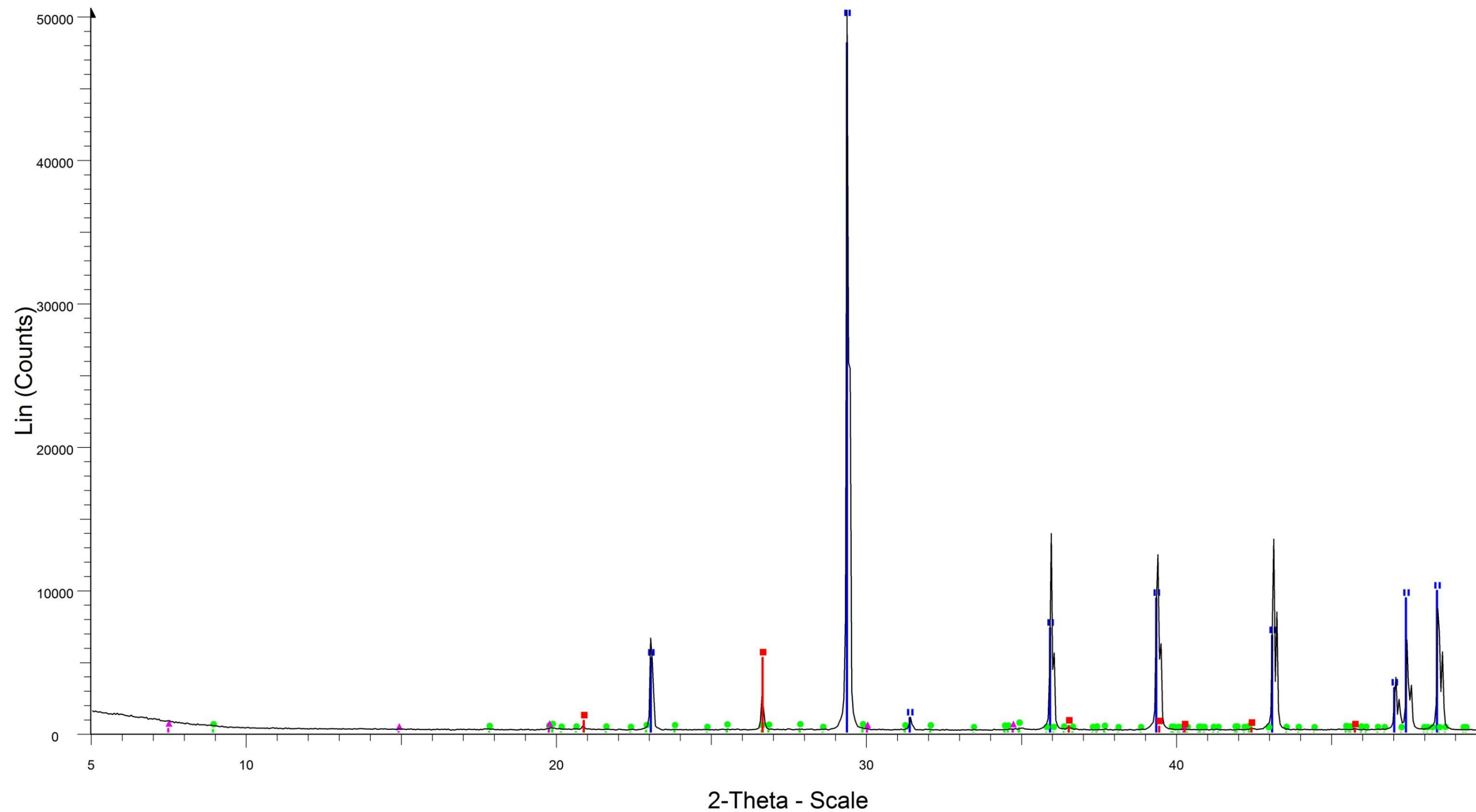
## 9 Annexes

A continuació es mostren els resultats obtinguts del STR.

Difractograma amb l'anàlisi de fases de la mostra C1.Bis i seguidament un ampliació de resultats C1.Bis.

Tot seguit, resultats anàlisi per la identificació d'argiles; l'ordre i la nomenclatura és la següent per a les dos mostres Cx i Cy: AO – Normal, AO EG – glicerol, AO 550°C – a temperatura.

## C1 bis

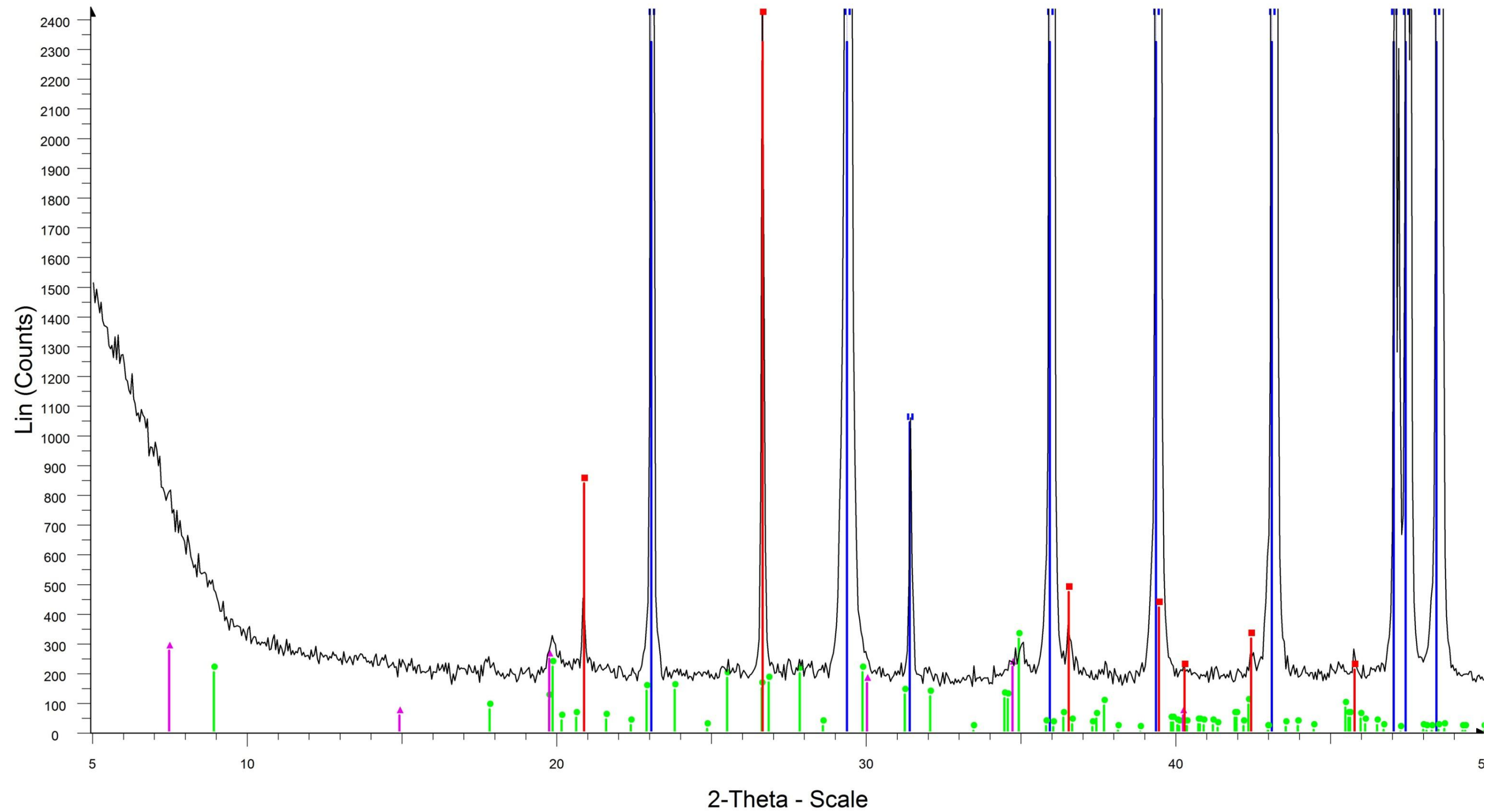


▲ C1 bis - Start: 5.00 ° - End: 50.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 75. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406

Operations: X Offset -0.020 | X Offset -0.030 | Import

- 46-1045 (\*) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154)
- 72-1937 (C) - Calcite - CaCO<sub>3</sub> - Hexagonal (Rh) - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167)
- 82-0576 (C) - Muscovite 2 ITM RG1 - KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub> - Monoclinic - a 5.21080 - b 9.03990 - c 20.02100 - alpha 90.000 - beta 95.760 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/c (15)
- ▲ 02-0037 (D) - Montmorillonite - AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> - Monoclinic - a 5.19000 - b 9.00000 - c 11.90000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 -

## C1 bis



▲ C1 bis - Start: 5.00 ° - End: 50.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 75. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406

Operations: X Offset -0.020 | X Offset -0.030 | Import

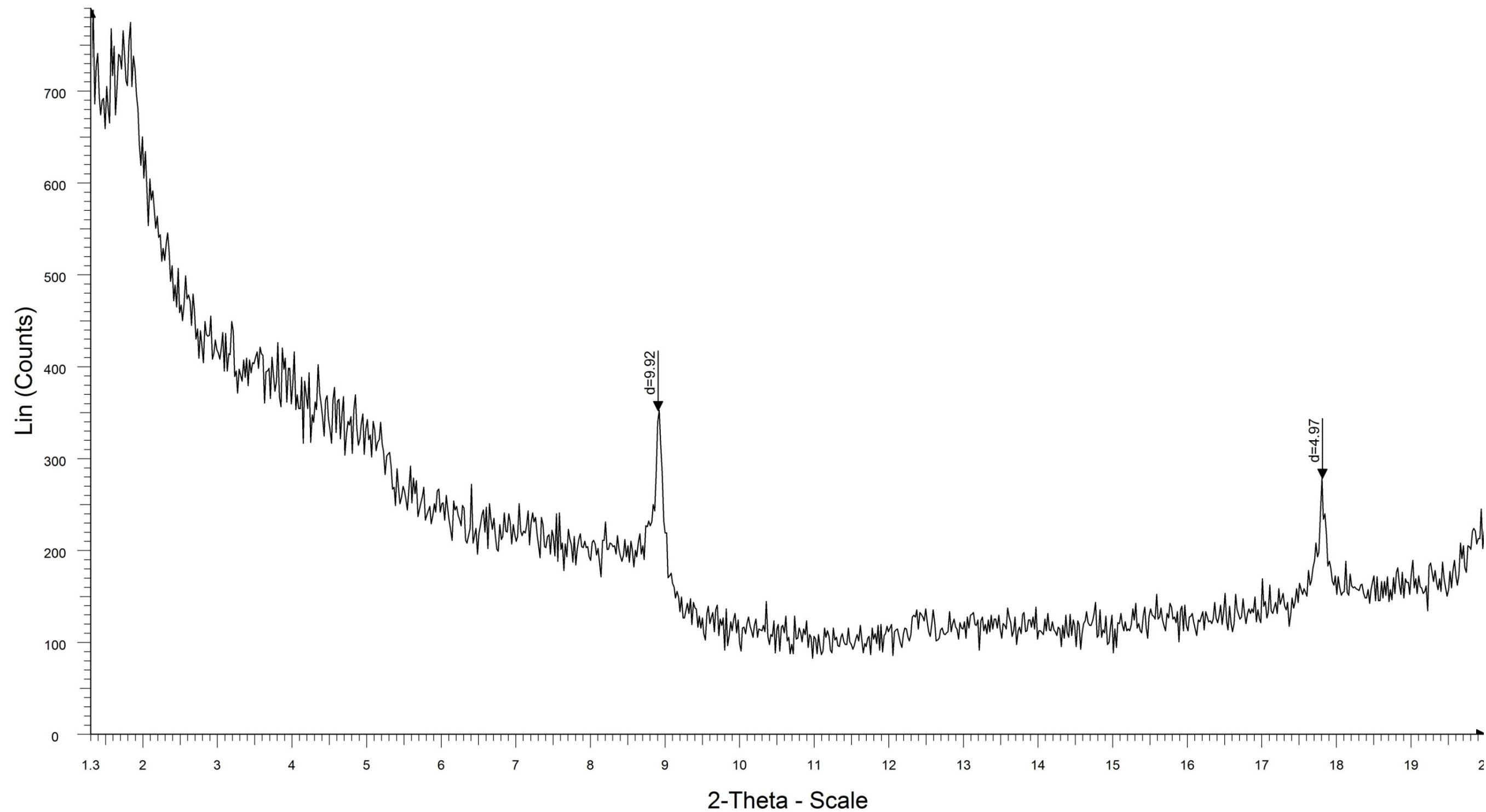
■ 46-1045 (\*) - Quartz, syn - SiO<sub>2</sub> - Hexagonal - a 4.91344 - b 4.91344 - c 5.40524 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154)

■ 72-1937 (C) - Calcite - CaCO<sub>3</sub> - Hexagonal (Rh) - a 4.99400 - b 4.99400 - c 17.08100 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167)

● 82-0576 (C) - Muscovite 2 ITM RG1 - KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub> - Monoclinic - a 5.21080 - b 9.03990 - c 20.02100 - alpha 90.000 - beta 95.760 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/c (15)

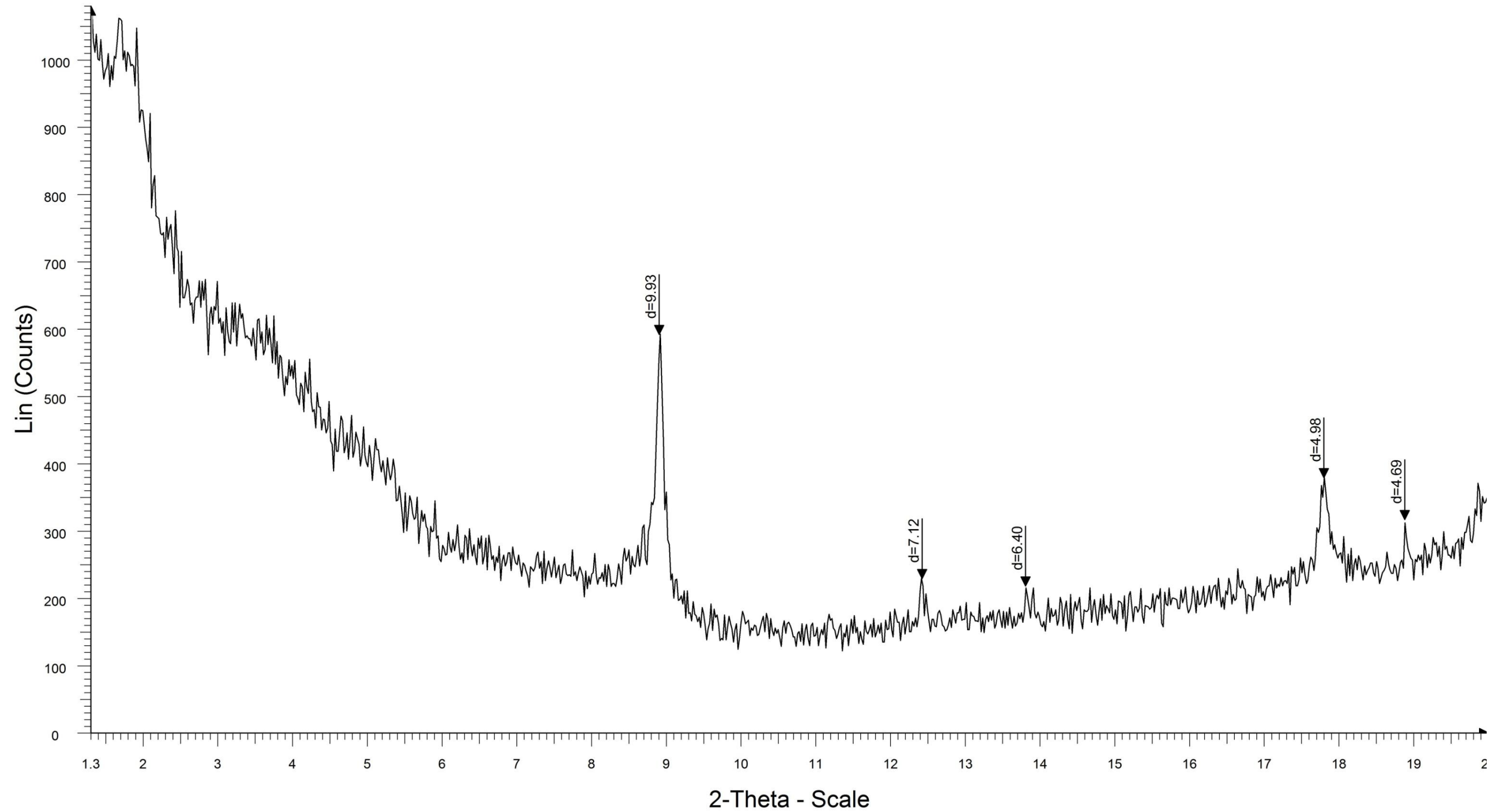
▲ 02-0037 (D) - Montmorillonite - AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> - Monoclinic - a 5.19000 - b 9.00000 - c 11.90000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 -

# Cx AO



Cx AO - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 15. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406 - Operator: Serveis Tecnicos de Recerca - Creation: 05/04/2016 14:32:57  
Operations: Import

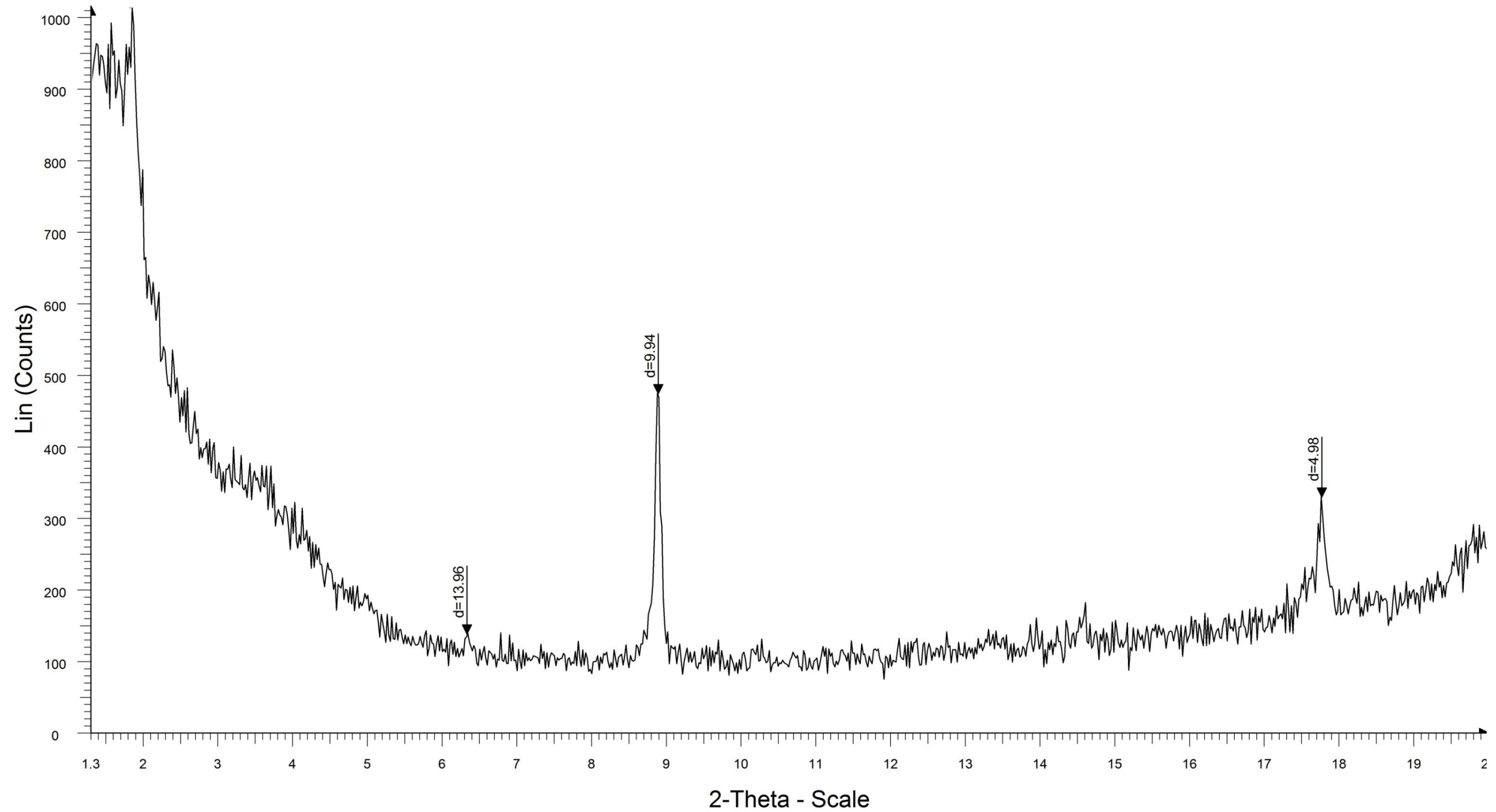
# Cx AO EG



A Cx AO EG - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 24. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406 - Operator: Serveis Tecnics de Recerca - Creation: 07/04/2016 16:09  
 Operations: Import

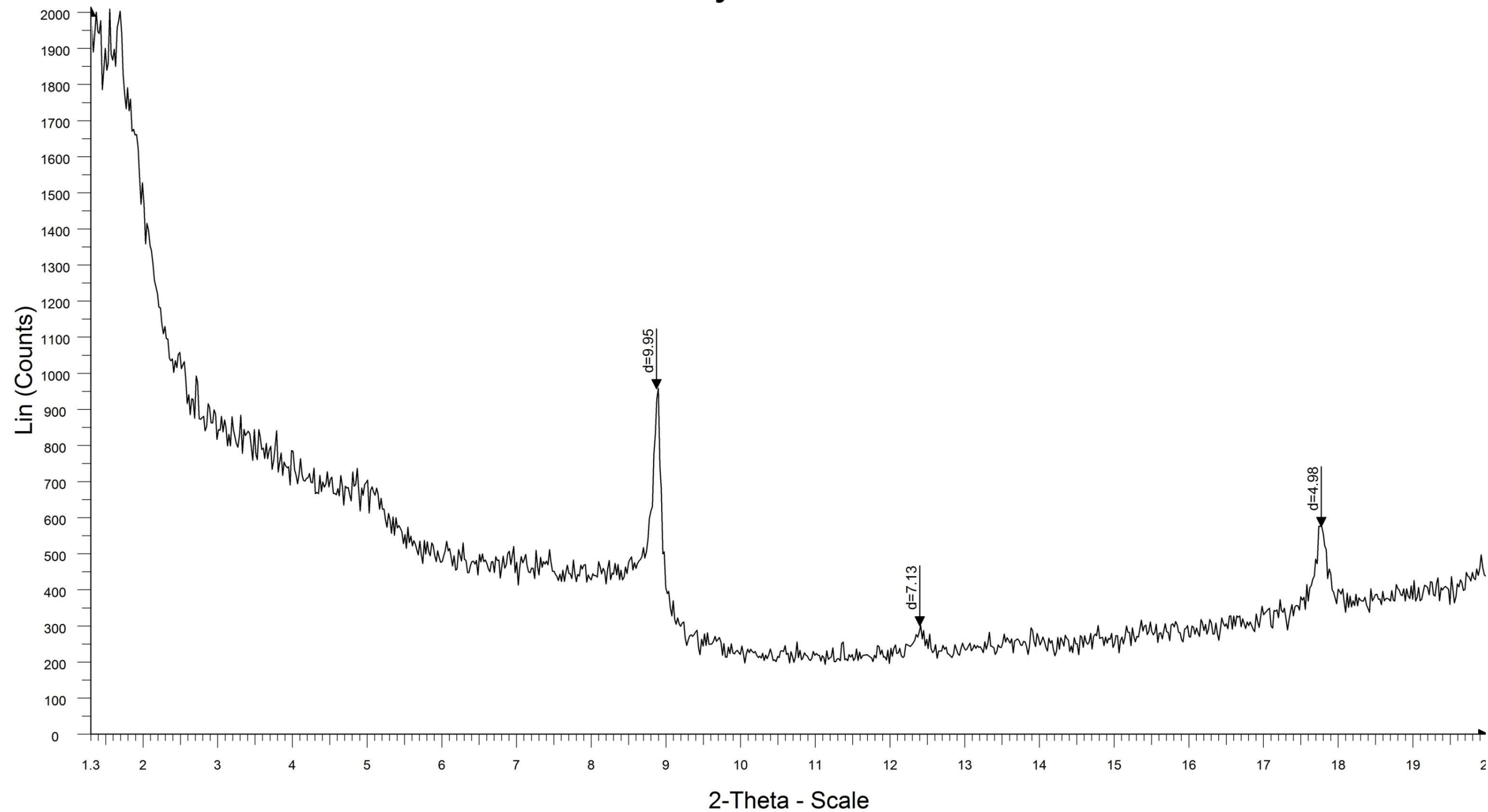


## Cx AO 550C



Cx AO 550C - File: Cx AO 550C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 16. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1460466944 s - 2-Theta: 1.30 ° - Theta: 0.65 ° - Chi: 0.  
Operations: Import

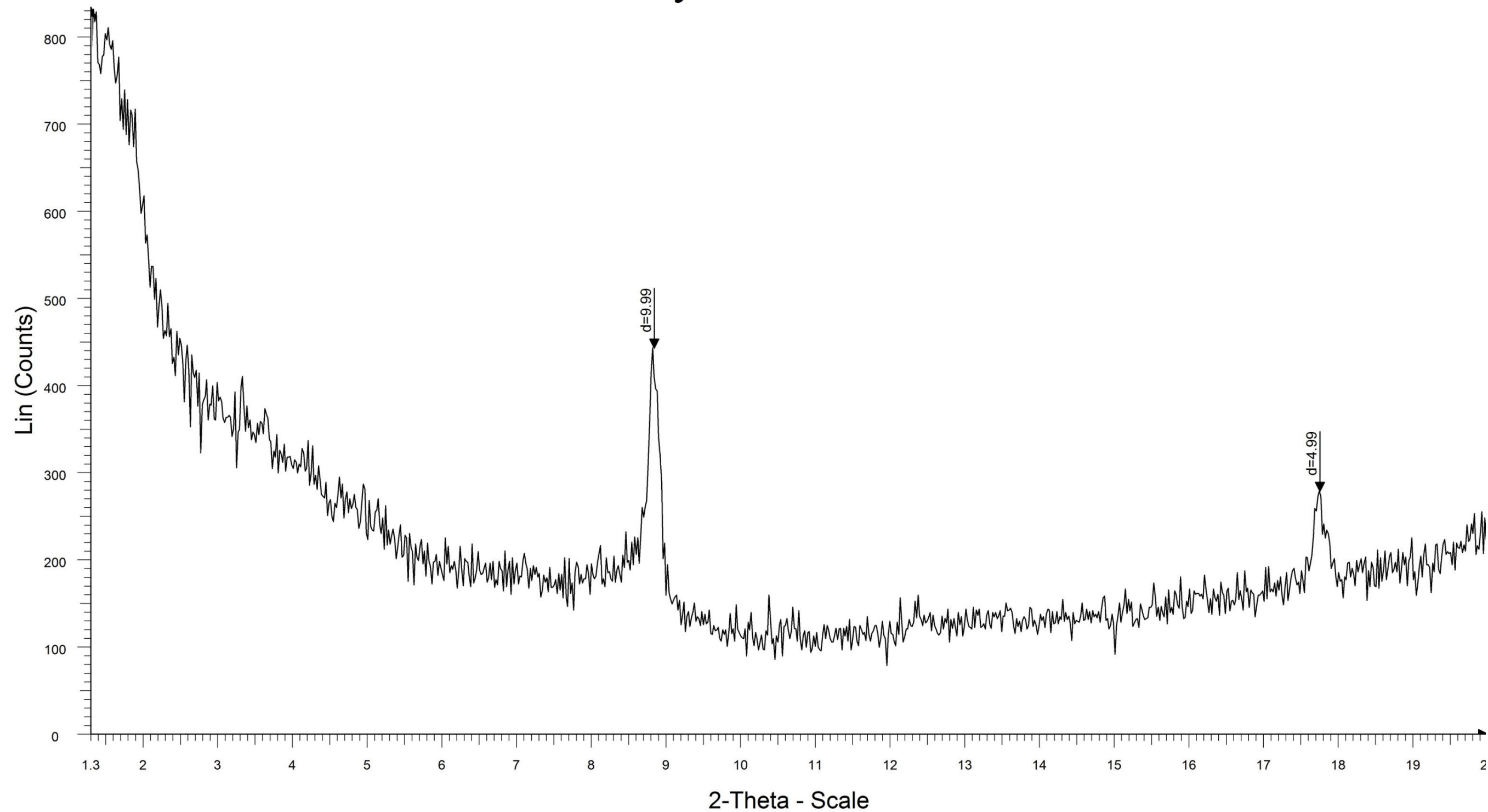
# Cy AO



Cy AO - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 29. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406 - Operator: Serveis Tecnicos de Recerca - Creation: 06/04/2016 18:31:41  
Operations: Import

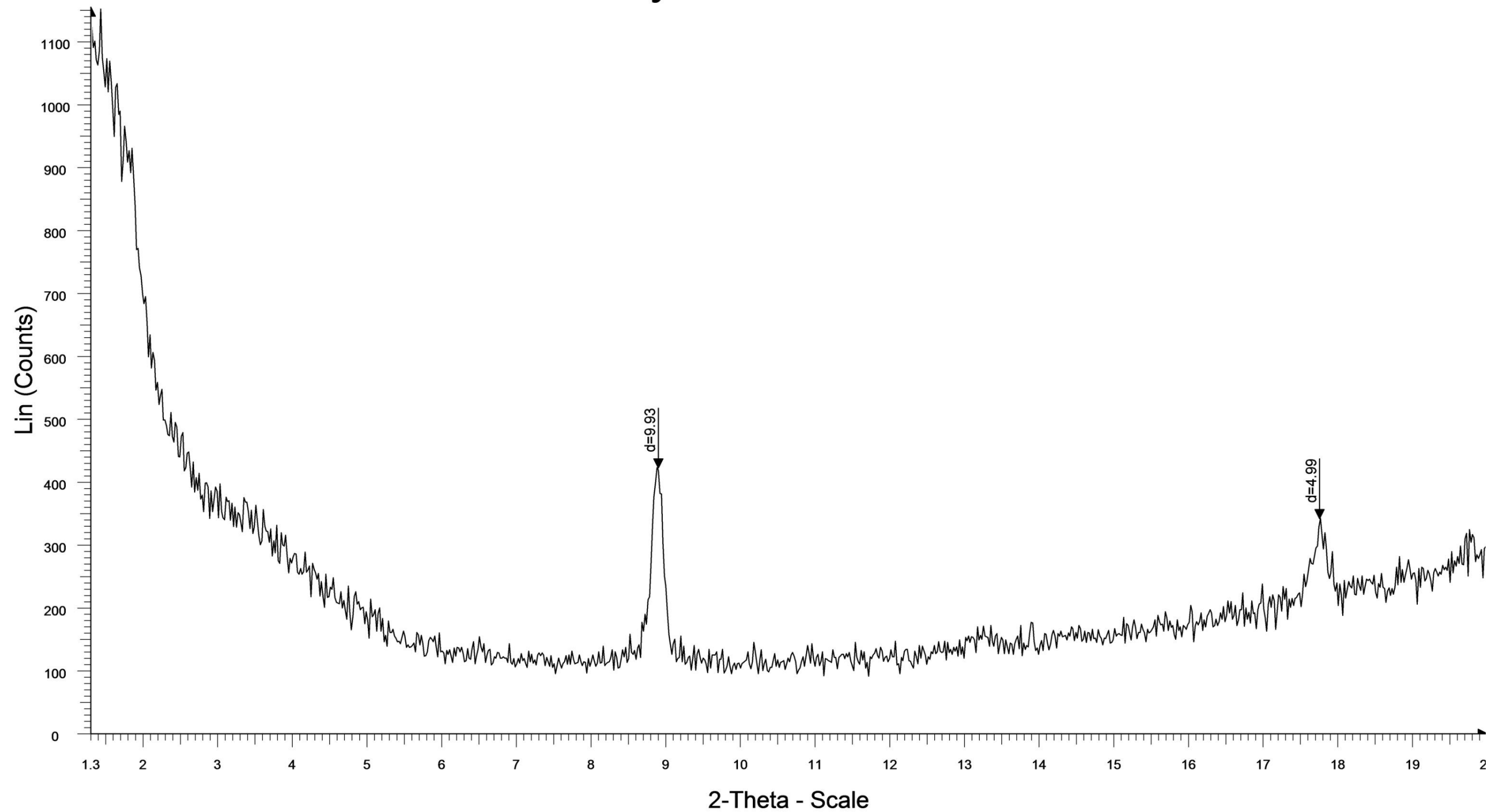


# Cy AO EG



Cy AO EG - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 16. s - Temp.: 25 °C (Room) - Anode: Cu - WL1: 1.5406 - Operator: Serveis Tecnics de Recerca - Creation: 08/04/2016 13:28  
Operations: Import

# Cy AO 550C



Cy AO 550C - File: Cy AO 550C.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 1.30 ° - End: 20.00 ° - Step: 0.02 ° - Step time: 16. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 1460555520 s - 2-Theta: 1.30 ° - Theta: 0.65 ° - Chi: 0.  
 Operations: Import

## 9.1 Arxiu fotogràfic

Determinació de la resistència a la adhesió. UNE-EN 1015-12. Es mostren les imatges de la forma de ruptura que ha esdevingut en els morters. La forma de ruptura que s'ha originat ha estat de tipus A. En alguna ocasió s'ha trencat una mica la capa superficial del suport i en alguna proveta, sobretot en el punt més crític del suport entremig del relleu. Ara bé, en cap cas ha sigut significatiu.



Forma de ruptura tipus A – provetes M1.R.



Forma de ruptura tipus A – provetes M2.R.



Forma de ruptura tipus A – provetes M3.R.



Forma de ruptura tipus A – provetes M4.



Forma de ruptura tipus A – provetes M5.





Forma de ruptura tipus A – provetes M6.



Forma de ruptura tipus A – provetes M7.



Forma de ruptura tipus A – provetes M8.



Forma de ruptura tipus A – provetes M9.



Forma de ruptura tipus A – provetes M10.

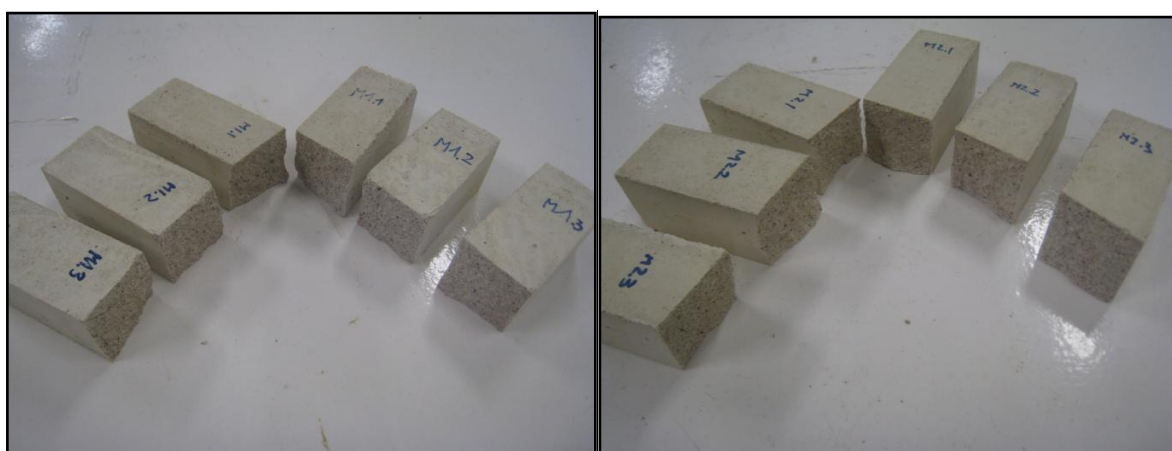




Forma de ruptura tipus A – provetes M11.



Forma de ruptura tipus A – provetes M12.



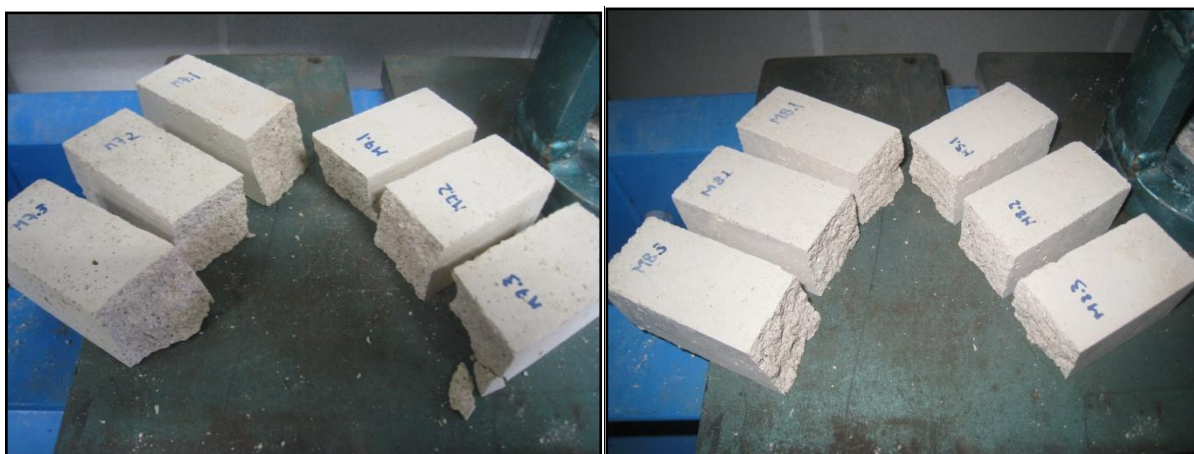
Trencament a flexió M1 i M2.



Trencament a flexió M3 i M4.



Trencament a flexió M5 i M6.



Trencament a flexió M7 i M8.





Trencament a flexió M9 i M10.



Trencament a flexió M11 i M12.



Conservació provetes abans d'anar a cambra.



Antics sacs comercials fàbrica Incarcal, de la visita a la fàbrica.