

DOCUMENTS COMPLEMENTARIS



DC 4 ASSAJOS I PROVES DE LABORATORI

**PROJECTE DE RESTAURACIÓ DE L'ESGLÉSIA DEL SAGRAT COR DE VISTABELLA
PLAÇA DEL DOCTOR GASPÀ BLANCH, VISTABELLA, 43765 LA SECUITA, TARRAGONA**

DESEMBRE 2015

PROJECTE DE RESTAURACIÓ DE L'ESGLÉSIA DEL SAGRAT COR DE VISTABELLA. PLAÇA DEL DOCTOR GASPÀ BLANCH, VISTABELLA, 43765 LA SECUITA, TARRAGONA

ASSAJOS I PROVES

PLA DE CALES

L'objectiu del Pla de Cales és establir quines mostres s'han d'extraure per tal d'assajar-les i obtenir les dades pròpies de la seva caracterització. Per a establir els tractaments de neteja i consolidació i les característiques en cas de reposició puntual, es caracteritzen els següents materials:

- Morter exterior: Caracterització del grau d'hidraulicitat. Estratigrafia.
- Morter interior: Caracterització del grau d'hidraulicitat. Estratigrafia.
- Pedra de coronaments i decorativa. Estudi petrogràfic, mitjançant làmina prima.

I es realitzen els següents assajos:

- Assaig Hole-Drilling
Objectiu: determinar les tensions residuals existents en un element ceràmic. Aquest assaig requereix polir les superfícies on s'adheriran les galgues extensomètriques i practicar un petit taladre de diàmetre no superior a 50 mm i fondària no superior a 30 mm.
- Assaig d'Identificació Dinàmica
Objectiu: determinar els modes, les freqüències i els esmorteïments experimentals d'una part de l'església. Aquesta informació servirà per determinar a posteriori, propietats del material.

S'adjunten els resultats de les proves i assajos.

PETICIONARI:

Arquebisbat de Tarragona
Església de Vistabella
Pla de Palau, 2. Tarragona

Ref. I-1109-3

Pàg. 1 de 2

Barcelona, 11 de desembre de 2015

DETERMINACIÓ DEL VALOR D'HIDRAULICITAT D'UN MORTER**1.- MATERIAL OBJECTE D'ASSAIG.**

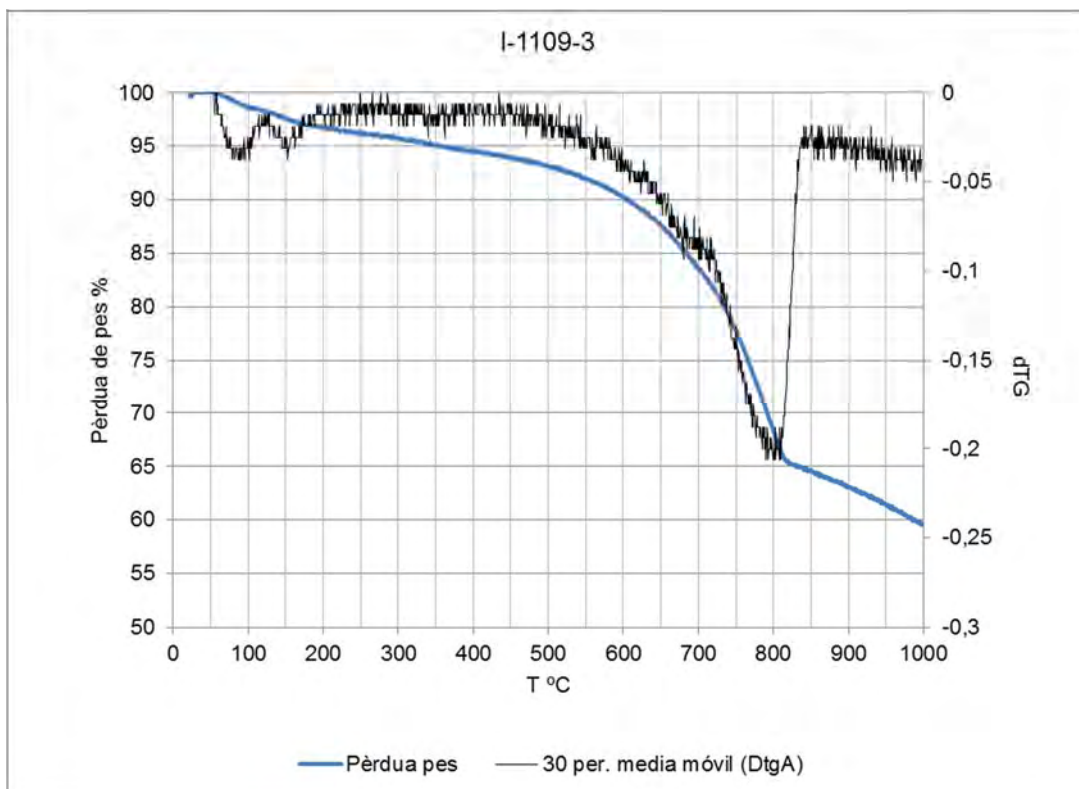
Una mostra de morter aportada per la tècnic Sra. Susana Pavón, en representació del peticionari, i codificada per ella mateixa com a "mostra de morter de junt exterior, part alta del campanar de l'església de Vistabella, a Tarragona".

2.- ASSAIG REALITZAT.

Anàlisi termogravimètrica de la fracció fina del morter (mida inferior a 0,063 mm), és a dir la que correspon a l'aglutinant i als àrids mida fins) per determinar el valor d'hidraulicitat, realitzada en una termobalança amb una velocitat de 10°C/min, en un cicle d'escalfament de 25°C fins a 1000°C.

3.- RESULTATS OBTINGUTS.

Els següents gràfics mostren la pèrdua de pes en funció de la temperatura i el grau d'hidraulicitat del conglomerant:



Gràfic 1.- Pèrdua de pes en funció de la temperatura (línia blava) i la seva corresponent derivada (línia negra).

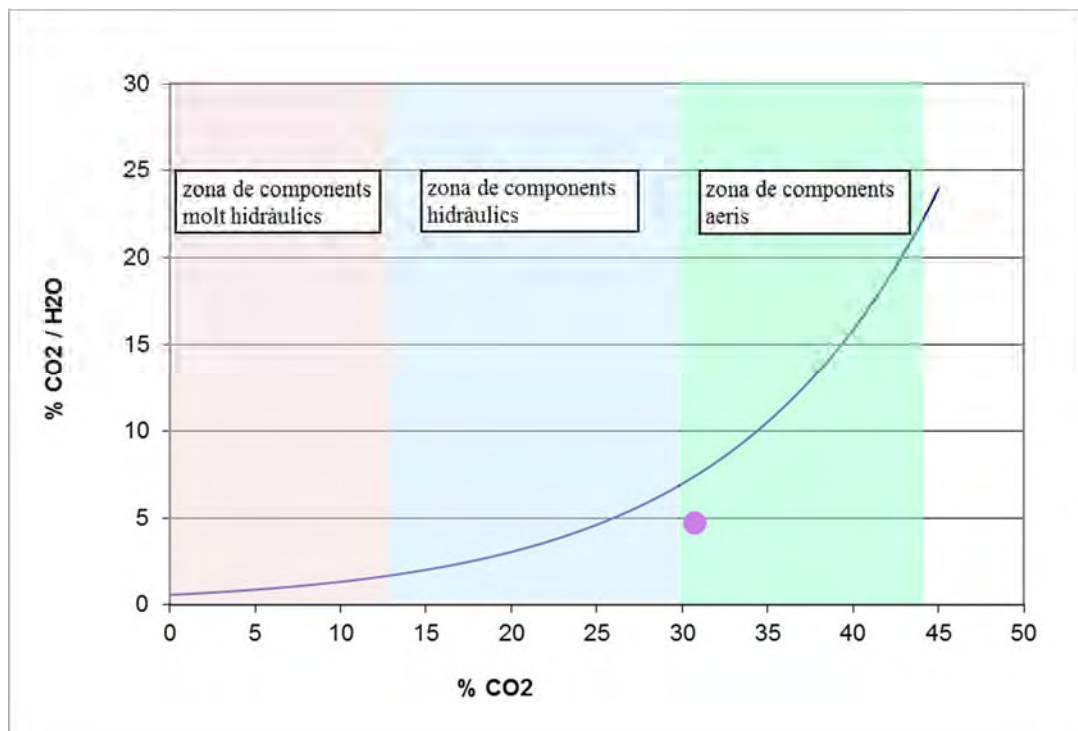
La pèrdua de pes més important es produeix entre 750 i 900°C, que correspon a la descomposició de la Calcita (carbonat càlcic) que és el component principal del conglomerant i possiblement també de part de la fracció fina de l'àrid.

També s'observa una pèrdua de pes, al voltant dels 100°C, que correspon a la pèrdua d'aigua present dins la xarxa porosa del morter. En aquest cas representa un 1,5% del pes total de la mostra.

Per últim, també s'aprecia una pèrdua de pes al voltant dels 150-200°C, que correspon a la pèrdua d'aigua del guix. Aquest compost es troba en una proporció del 2%.

Estudiant les pèrdues de pes obtingudes en les franges de 200°C, 600°C i 1000°C es pot obtenir una idea aproximada del grau d'hidraulicitat del conglomerant.

El gràfic 2 compara les pèrdues de pes obtingudes entre 200°C i 600°C respecte a l'obtinguda a 1000°C, i està dividit en tres franges relacionades amb el grau d'hidraulicitat.



Gràfic 2.- Gràfic de correlació de grau d'hidraulicitat.

El resultat obtingut indica que la mostra de conglomerant analitzada no presenta hidraulicitat, i per tant es tracta d'un conglomerant imminentment de calç.



PETICIONARI:

Arquebisbat de Tarragona
Església de Vistabella
Pla de Palau, 2. Tarragona

Ref. I-1109-4

Pàg. 1 de 2

Barcelona, 11 de desembre de 2015

DETERMINACIÓ DEL VALOR D'HIDRAULICITAT D'UN MORTER

1.- MATERIAL OBJECTE D'ASSAIG.

Una mostra de morter aportada per la tècnic Sra. Susana Pavón, en representació del peticionari, i codificada per ella mateixa com a "mostra de morter de revestiment interior de l'església de Vistabella, a Tarragona".

2.- ASSAIG REALITZAT.

Determinació de la composició mineralògica del conglomerant, per difracció de raigs X amb un difractòmetre PANalytical X'Pert PRO MPD Alpha1 amb radiació de coure.

3.- RESULTATS OBTINGUTS.

Les fases cristal·lines pertanyents al conglomerat, identificades per difracció de raigs X, són les següents:

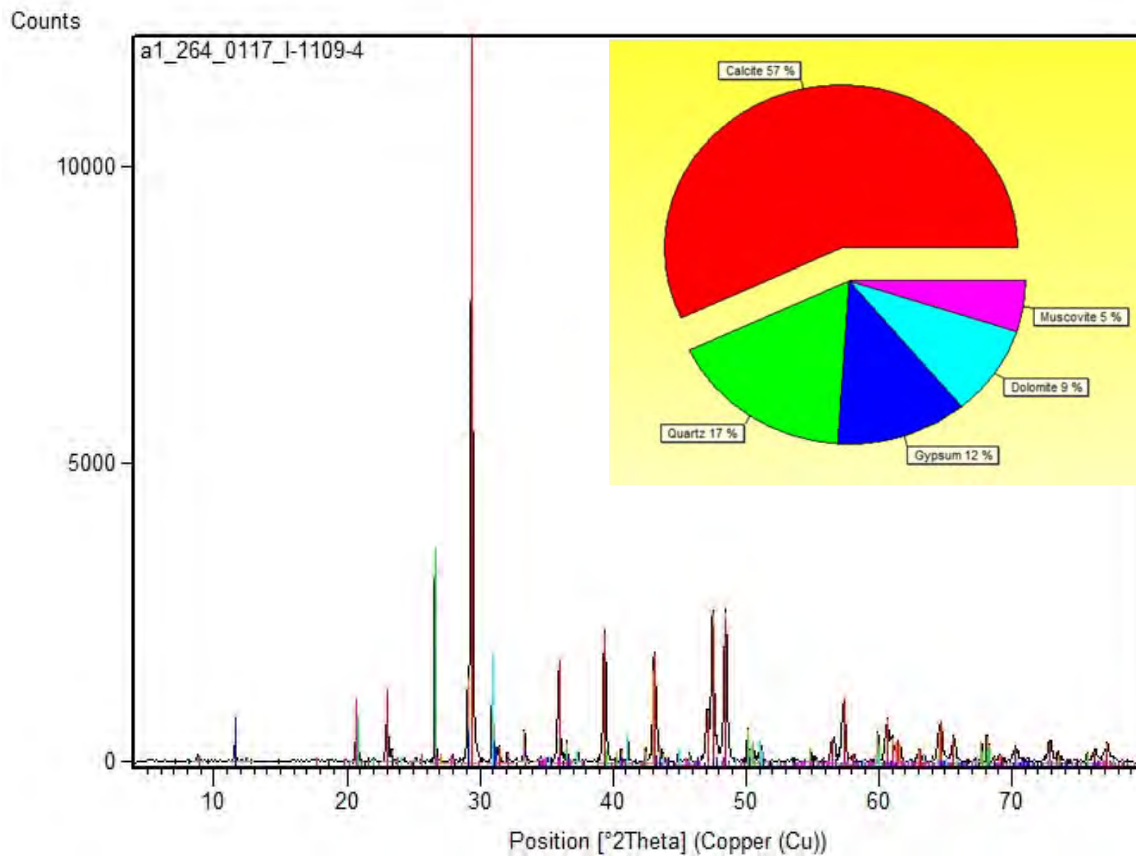
Majoritàriament hi ha Calcita, tot i que també hi ha Quars, Guix, Dolomita i Moscovita.

A continuació es presenta el difractograma obtingut i la seva interpretació.

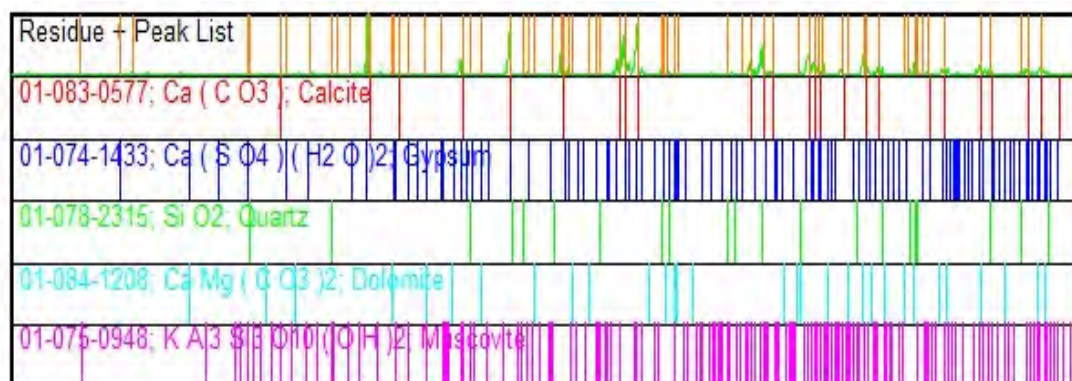
També s'adjunta un diagrama sectorial de percentatges de cada mineral que, tot i que expressa els resultats en percentatges, aquests són qualitius ja que l'assaig realitzat no s'ha fet amb patrons, i per tant els percentatges no són absoluts però sí permeten tenir uns valors orientatius.

Aquesta tècnica no permet diferenciar si els minerals detectats pertanyen al conglomerant o a la fracció fina de l'àrid (mida de partícula inferior a 0,063 mm).

Però amb la observació a lupa binocular de la mostra i veient com es desfà el morter quan és atacat amb una solució àcida de clorhídric diluït, sembla que es tracta d'un morter amb conglomerant de calç i guix, i amb àrid fi de calcita, dolomita, quars i mica tipus moscovita. Per poder determinar completament la dosificació d'aquest conglomerant caldria utilitzar altres tècniques complementàries (estudi petrogràfic amb làmina prima i anàlisi tèrmica diferencial).



Gràfic 1.- Espectre de la mostra analitzada i diagrama sectorial de percentatges qualitius.



Gràfic 2.- Interpretació dels minerals analitzats.

PETICIONARI:

Arquebisbat de Tarragona
Església de Vistabella
Pla de Palau, 2. Tarragona

Ref. I-1109-1/2

Barcelona, 17 de desembre de 2015

ESTUDI DE MOSTRES DE PEDRA

1.- MATERIAL OBJECTE D'ASSAIG.

Dues mostres de pedra, aportades per la tècnic Sra. Susana Pavón, en representació del peticionari, i codificades per ella mateixa com a "mostres de pedra de l'església de Vistabella, a Tarragona".

2.- CODIFICACIÓ DE LES MOSTRES.

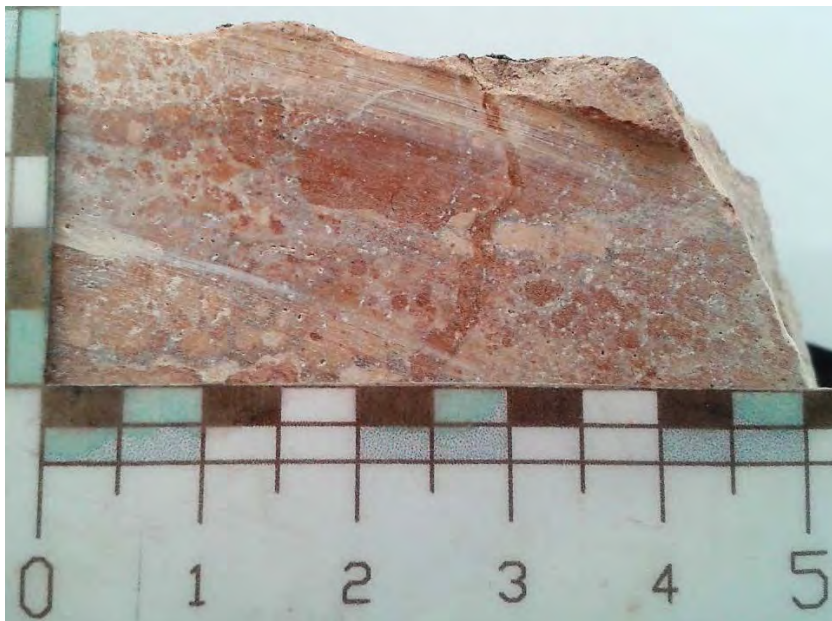
I-1109-1.- Mostra de pedra estructural
I-1109-2.- Mostra de pedra de maçoneria

3.- ASSAIG REALITZAT.

Confecció de la làmina prima i estudi petrogràfic amb un microscopi òptic petrogràfic N-400POL de la marca Optika.

3.- RESULTATS OBTINGUTS.**I-1109-1.- Mostra de pedra estructural**

És una roca de color rosa pàl·lid, amb nòduls més vermellosos. No s'observa a ull nu el gra cristal·lí, i és molt compacta. S'observa un bandejat més o menys paral·lel, que a vegades és creuat per línies perpendiculars.

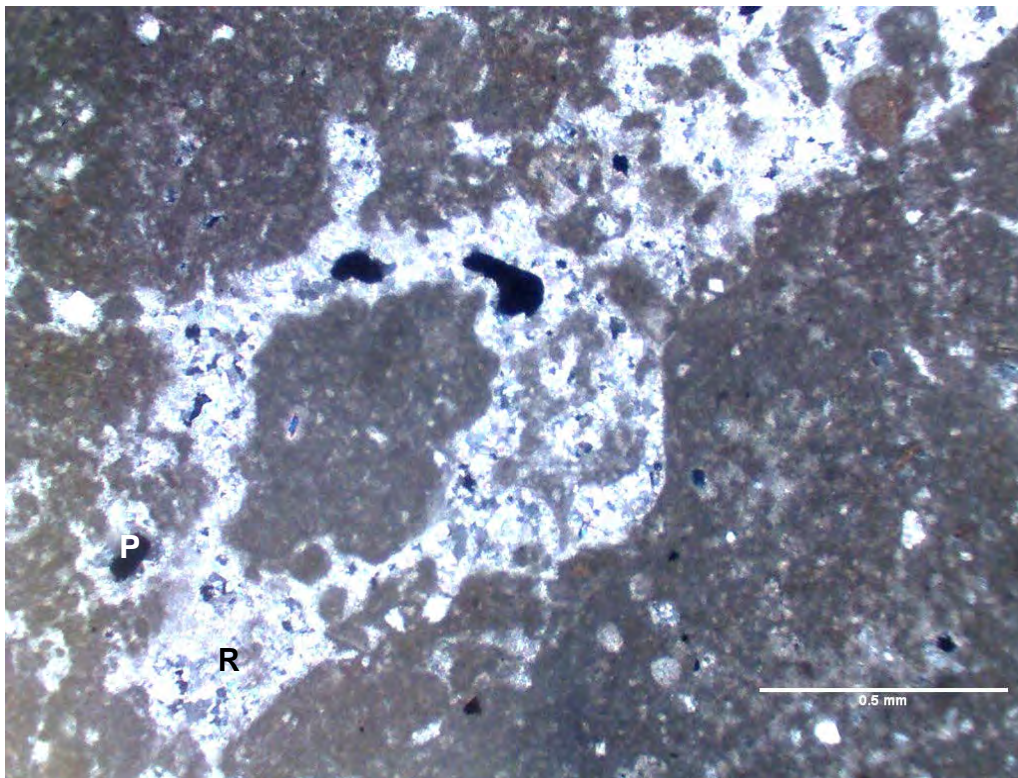


Fotografia 1.- Mostra a visu.

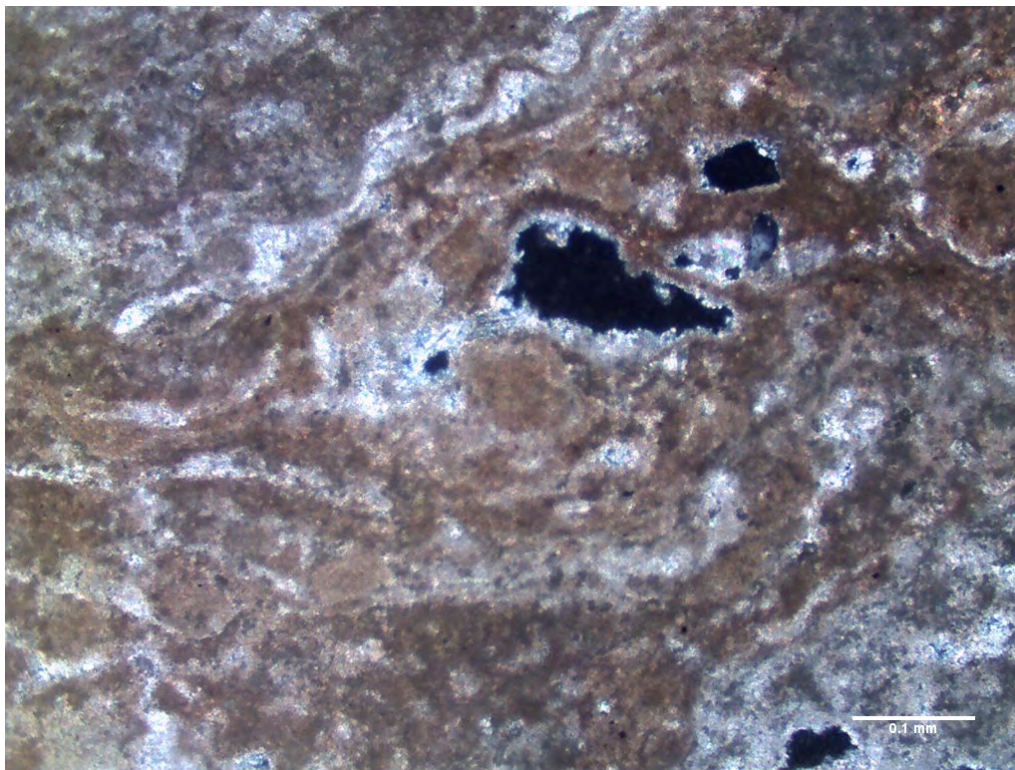
La roca està formada principalment per cristalls de calcita (entre el 90 i 97%), i algun cristall quars (en una proporció inferior al 5%), angulós.

La fàbrica és organògena coral·lina i algal (constituïda per bioconstruccions desenvolupades per organismes colonials tipus coralls i algues) i pèllets (components no esquelètics).

Hi ha porositat tipus fenestral (porus allargats i paral·lels al desenvolupament orgànic).



Fotografia 2.- Observació de la mostra amb microscòpia òptica petrogràfica, amb nícol creuat. S'aprecia clarament la mida de gra molt fina, la porositat buida (P) i la porositat plena de calcita recristal·litzada (R).



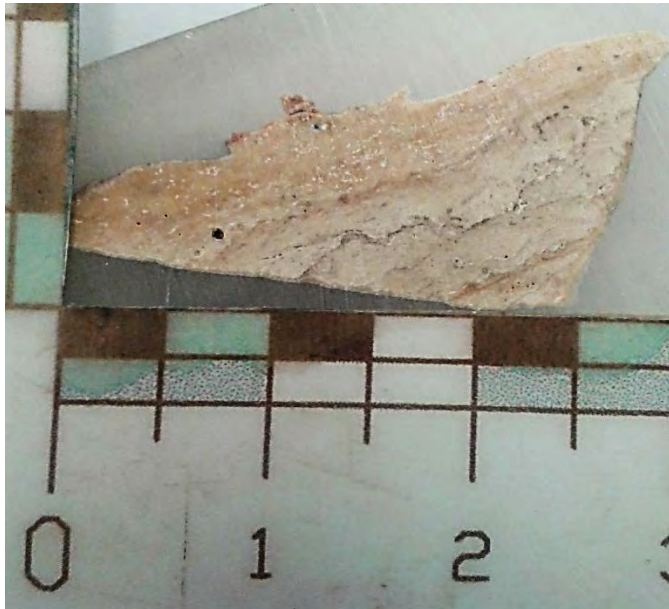
Fotografia 3.- Ampliació de la mostra on s'aprecia que la porositat, parcialment recristal·litzada, és fenestral (ressegueix el creixement algal).

Segons la classificació de Dunham (1962), es tracta d'un Boundstone (els components originals es troben lligats durant la sedimentació degut a l'acció dels organismes bioconstructors).

La pedra ornamental més similar a aquest tipus de roca és la coneguda amb el nom de "Crema Cenja".

I-1109-2.- Mostra de pedra de maçoneria

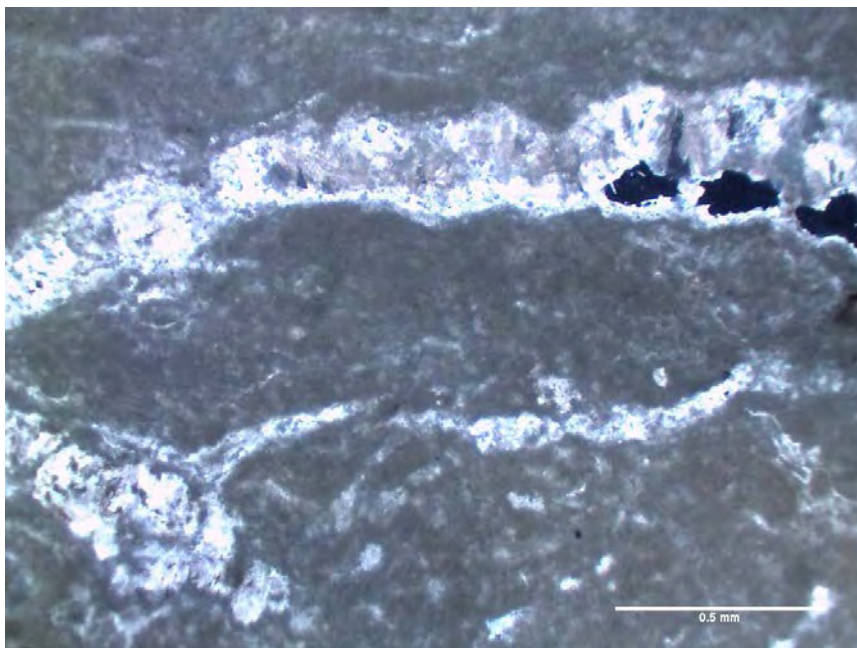
És una roca de color cru, amb un bandejat paral·lel més fosc, i continu.
No s'observa a ull nu el gra cristal·lí i és força compacta.



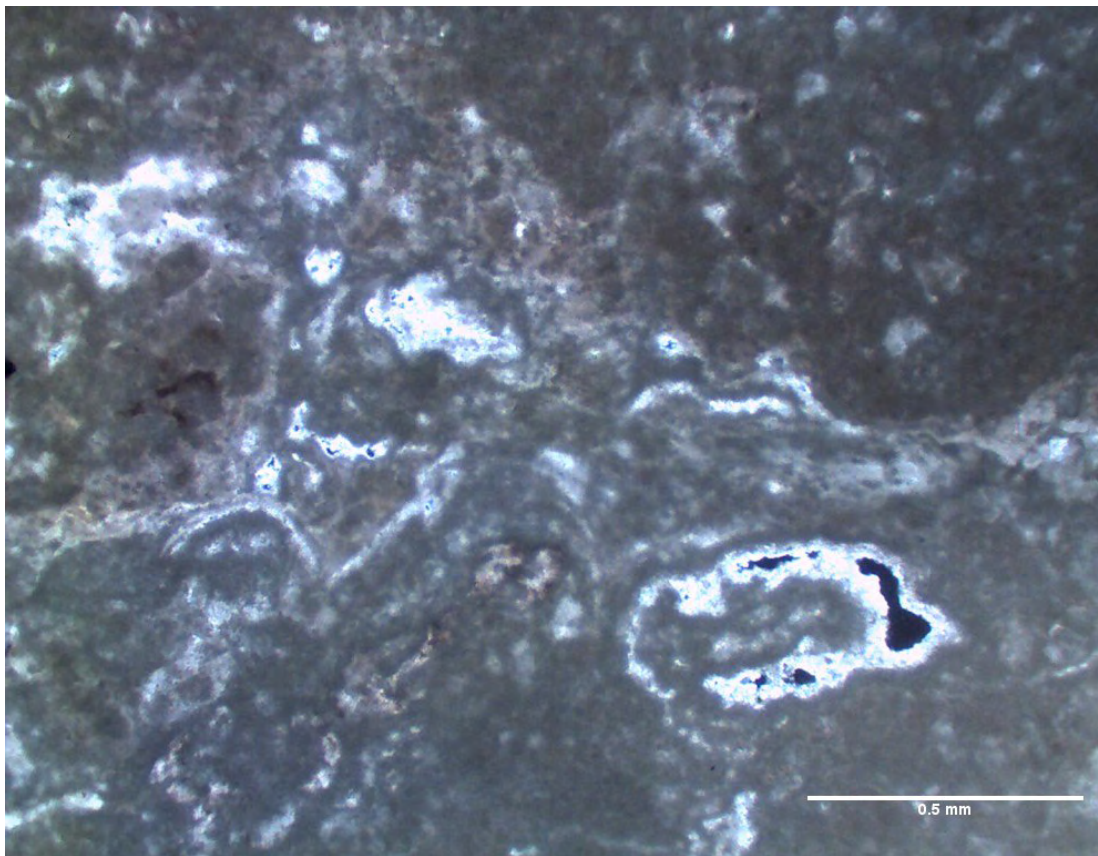
Fotografia 4.- Mostra a visu.

La roca està formada principalment per cristalls de calcita (més del 97%), algun òxid de ferro i argiles.

La fàbrica és organògena algal (constituïda per bioconstruccions desenvolupades per organismes colonials algues). Hi ha porositat tipus fenestral (porus allargats i paral·lels al desenvolupament orgànic) molt recristal·litzats.



Fotografia 5.- Alineacions paral·leles recristal·litzades.



Fotografia 6.- Ampliació de la mostra on s'aprecia que la porositat, parcialment recristal·litzada, és fenestral.

Segons la classificació de Dunham (1962), es tracta d'un Boundstone (els components originals es troben lligats durant la sedimentació degut a l'acció dels organismes bioconstructors).

No s'ha pogut identificar a quin tipus de pedra ornamental correspon aquesta roca, però és molt probable que la seva procedència sigui molt propera a la "Crema Cenia".

Antònia Navarro Ezquerra
Tècnic del Laboratori

Joan Ramon Rosell i Amigó
Cap del Laboratori



ASUNTO	INFORME (03/12/15)
Referencia interna	GMK / T151948
EXPEDIENTE	AUSCULTACIÓ AL CAPANAR DE L'ESGLÉSIA DEL SAGRAT COR (VISTABELLA)

ÍNDEX

ANALISI 1: HOLE-DRILLING

- 1.1. DESCRIPCIÓ GENERAL
- 1.2. DADES GEOGRÀFIQUES
- 1.3. OBJECTIU DE L'ENCÀRREC
- 1.4. ANALISIS
 - 1.4.1 APLICACIÓ DEL SISTEMA PER ANALISIS DE FÀBRIGUES:
 - 1.2.2 ANÀLISI
- 1.5. RESULTATS
- 1.6. CONCLUSIONS

ANALISI 2: PROVA DINÀMICA

- 2.1. OBJECTE
- 2.2. DOCUMENTACIÓ CONSULTADA
- 2.3. ABAST DELS TREBALLS EFECTUATS
- 2.4. SENSORS: DESCRIPCIÓ I DISPOSICIÓ DELS MATEIXOS
 - 2.4.1 PROVA DE CÀRREGA DINÀMICA
- 2.5. RESULTATS
 - 2.5.1 ANÀLISI
 - 2.5.1.1 MODEL MODAL COMPLET
 - 2.5.1.2 ESTUDI A PARTIR DE 13 FRF
 - 2.5.2 RESUM DELS RESULTATS

ANALISI 1: HOLE-DRILLING

1.1. DESCRIPCIÓ GENERAL

S'encarrega a l'empresa GMK ASSOCIATS, l'anàlisi d'un element estructural que forma part del campanar de l'Església del Sagrat Cor .

L'església del Sagrat Cor és una església modernista dins el nucli de Vistabella al terme municipal de la Secuita, al Tarragonès. Està ubicada en la plaça conformada per la confluència del carrer Major i carrer Joan XXIII.

Va ser declarada Bé Cultural d'Interès Nacional. També es va delimitar un entorn de protecció per garantir la correcta visualització del monument.

L'església del Sagrat Cor va ser construïda el 1923 per l'arquitecte modernista Josep Maria Jujol i Gibert per un encàrrec de 1917 dels veïns del mateix poble amb la finalitat que el nucli de Vistabella disposés d'església parroquial pròpia. L'obra va ser construïda pels mateixos habitants del poble i es va inaugurar l'any 1923.

1.2. DADES GEOGRÀFIQUES

Les dades geogràfiques de l'Església del Sagrat Cor de Vistabella són les següents:

- Localització: Pl. del Dr. Josep Gaspè i Blanc. Vistabella. La Secuita (Tarragonès)
- Coordenades: 41° 12' 32" N, 1° 15' 55"

1.3. OBJECTIU DE L'ENCÀRREC

Es sol·licita a l'empresa GMK l'anàlisi d'una de les costelles que forma part el campanar a fi de poder realitzar un estudi per conèixer el mòdul de young de la fàbrica.



Foto 1:
Vista exterior de l'Església del Sagrat Cor



Foto 2:
Element subjecte a l'anàlisi. Costella situada al campanar de l'església.

1.4. ANALISIS

L'element estructural està constituït de maó massís. Té un gruix aproximat de 15cm i es troba a uns 15m d'alçada del nivell del carrer.

L'anàlisi que es realitza es fa a través del mètode "HOLE DRILLING". Aquest mètode és una tècnica basada en l'aplicació de tensió per a l'estimació del camp d'esforços en la superfície de la fàbrica.

Aquest mètode segueix les següents passes:

- Disposició de Tres galgues (disposades en el sentit contrari a les agulles del rellotge). Estan col·locades en les zones considerades en la figura núm. 1 que es mostra a continuació.
- Aquestes tres galgues van connectades a un indicador de deformació estàtica multicanal a fi d'obtenir les dades de microdeformacions de la fàbrica.
- Les pressions es graven abans de la perforació a fi d'obtenir una lectura amb la referència "zero".
- El forat es perfora en el centre geomètric de la circumferència que formen les tres galgues.
- Les pressions són gravades altre vegada després de perforar el forat.
- Les pressions introduïdes per l'obtenció de les tensions, són obtingudes a partir de la diferència entre els valors gravats abans de la lectura i els valors gravats després de la lectura.
- Les tensions són estimades a partir d'aquestes pressions i les dues constants A i B, tal i com s'indica a ASTM E 837-95 l'apartat 4.1.1.

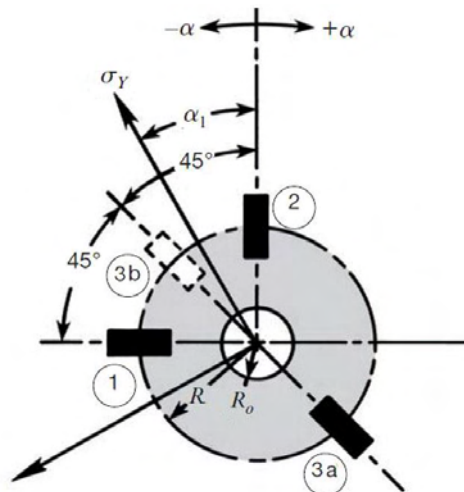


Figura 1: Col·locació de les galgues en el sentit de les agulles del rellotge (ASTM E 837-95)

Nota: Les constants A i B abans mencionades, tenen en compte les característiques del material (Mòdul de Young i Poisson), la geometria general del problema i les dimensions de les tensions de les galgues.

En la imatge que es mostra a continuació (Figura 2) es pot observar que per un angle $\alpha=0^\circ$ (al llarg de l'eix de major tensió) la curva de tensions radials, ϵ_r , és considerablement major que la tensió tangencial, ϵ_θ .

Com a resultat, les rosetes de les bandes extensomètriques per a l'anàlisi de tensions residuals són normalment dissenyades amb les xarxes radials orientades a la quadrícula per mesurar la tensió radial, ϵ_r .

Essent aquest el cas, les equacions rellevants són les següents:

$$\epsilon_r = \sigma_x(A + B \cos 2\alpha)$$

$$\epsilon_\theta = \sigma_x(-A + B \cos 2\alpha)$$

També és evident que, en la figura 2, la tensió radial superficial al llarg de l'eix principal més gran és de signe oposat a la tensió inicial residual. Això passa perquè els coeficients A i B en l'equació són sempre negatius, i (per $\alpha=0^\circ$) $\cos 2\alpha=+1$

Les equacions següents representen la relació subjacent bàsica del mètode "hole-drilling" de l'anàlisi de les tensions residuals. Aquesta relació ha de ser invertida, per suposat, per resoldre, les dues tensions principals i l'angle.

Ja que hi ha tres unitats desconegudes, es requereixen tres càlculs independents per una solució completa.

Aquestes tres mesures es poden subsistir successivament per les equacions esposades a continuació, per poder produir tres equacions que després es resolten simultàniament per les magnituds i direccions de les tensions principals.

$$\varepsilon_r = \sigma_x(A + B \cos 2\alpha) + \sigma_y(A - B \cos 2\alpha)$$

O bé

$$\varepsilon_r = A(\sigma_x + \sigma_y) + B(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\alpha$$

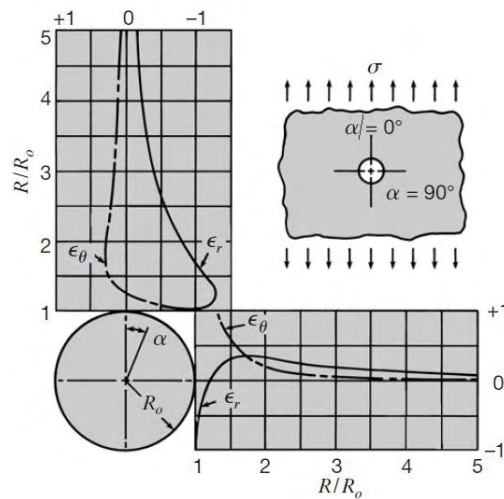


Figura 2: Variació de les tensions radials superficials i tensions tangencials amb distància (al llarg dels eixos principals) des de el centre de la perforació- Tensió residual uniaxial

A continuació es mostren imatges del procés del "HOLE DRILLING" per la presa de dades:



Foto 3:
Col·locació de les galgues i preparació de la superfície per la perforació

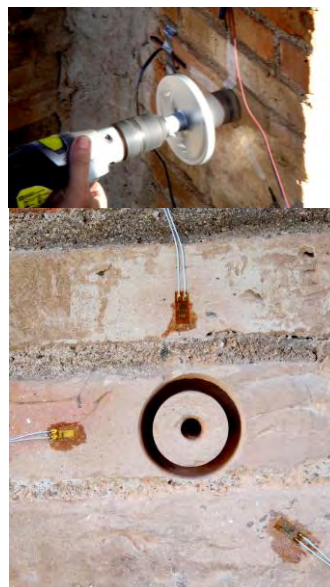


Foto 4:
Perforació de la fàbrica



Foto 5: Connexió de les galgues amb l'equip de presa de dades i l'ordinador

1.4.1. APLICACIÓ DEL SISTEMA PER ANÁLISIS DE FÀBRIGUES:

1.4.1.1 Condicions d'aplicació:

El diàmetre de la perforació (d) ha d'estar relacionat amb el diàmetre D a través de la següent relació:

$$0,3 < d/D < 0,5$$

On:

D És el diàmetre de la circumferència que formen les tres galgues: 2R (Veure Figura 1)

d És el diàmetre de la perforació: 2Ro (Veure Figura 1)

La profunditat del forat ha de ser almenys 0,4D

La pressió de l'estimació de les tensions podria ser significativament limitada si la temperatura canvia considerablement durant el procés de l'anàlisi.

1.4.1.2. Cal·libració del test:

L'estimació de les tensions a través d'aquest mètode requereix que prèviament s'hagin obtingut les constants A i B. S'han de determinar experimentalment per mitjà d'una prova de calibratge d'una mostra en bloc prismàtic sotmès a un esforç de compressió uniaxial uniforme. Les pressions es registren en la direcció de la compressió principal i a la direcció perpendicular. Les proves es repeteixen dues vegades, una primera un abans de la perforació del forat i el segon un després de la perforació, i A i B s'obtenen aplicant les següents relacions (de ASTM E 837-95):

$$(\varepsilon)_{cal} = (\varepsilon)_{after} - (\varepsilon)_{before}$$

$$A = \frac{(\varepsilon_3)_{cal} + (\varepsilon_1)_{cal}}{2\sigma_{cal}}$$

$$B = \frac{(\varepsilon_3)_{cal} - (\varepsilon_1)_{cal}}{2\sigma_{cal}}$$

Alternativament A i B podrien determinar-se de valors adimensionals i gairebé coeficients de materials independents A i B, donades per taules incloses en la norma estàndard ASTM E 837-95, i els valors de mòdul de Young i el coeficient de Poisson del material assajat, aplicant expressions com (1) i (2) que s'inclou en la norma ASTM esmentada. L'aplicació d'aquests valors de A i B requereix verificar prèviament que els paràmetres geomètrics que defineixen la prova (GW, r1, r2, O2- Figura 1) satisfan les característiques assumides per extreure aquests valors adimensionals de A i B que s'utilitzen en aquesta norma ASTM.

$$(1) \quad \sigma = (\sigma_{max} + \sigma_{min})A + (\sigma_{max} - \sigma_{min})B \cos 2\beta$$

on:

A i B Constants de la perforació

β Àngle des de l'eix "x" a la direcció de la tensió màxima σ_{max}

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{\Delta d}{d} = -\cot \theta \Delta \theta$$



1.4.2. ANÀLISI

1.4.2.1. Procés d'obtenció de les dades:

Les principals tensions són obtingudes de les pressions corresponents a les tensions relacionades de la perforació, a través de les següents expressions (extretes de la norma ASTM E 837-95):

$$\sigma_{\max} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{4A} + \frac{1}{4B} \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)^2}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{4A} - \frac{1}{4B} \sqrt{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_3 + \varepsilon_1 - 2\varepsilon_2)^2}$$

$$\beta = 0,5 \arctg \frac{(\varepsilon_1 - 2\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}$$

On:

σ_{\max} Màxima tensió

σ_{\min} Mínima tensió

β Angle entre ε_1 i la tensió màxima en el sentit de les agulles del rellotge.

A i B S'extreuen de les expressions citades a l'apartat 4.1.1.

Una vegada s'han obtingut les tensions principals i l'angle entre elles i els eixos de les galgues, es poden obtenir les tensions en qualsevol altre direcció a través de l'aplicació comú de la teoria de l'elasticitat. En particular, la Tensió vertical s'obté a través de la següent equació:

$$\sigma_{\text{vertical}} = 0,5(\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) + 0,5(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \cos(2\alpha)$$

On:

α Angle entre la Tensió màxima principal i la direcció vertical.

4.2.2. Visualització de les dades:

Es pot observar l'evolució de les tensions durant el procés a fi de comprovar que són suficientment estables i que l'efecte de la pujada de tensions a causa de la perforació s'ha dissipat.

4.2.2. Interpretació de les dades:

Les tensions obtingudes es poden comparar amb els esperats a partir de l'anàlisi estructural teòric. La interpretació de qualsevol discrepància s'ha de fer juntament amb l'expert estructural a càrrec d'aquesta anàlisi estructural.

1.5. RESULTATS

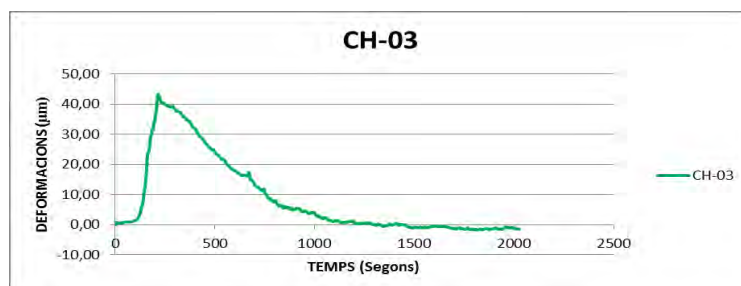
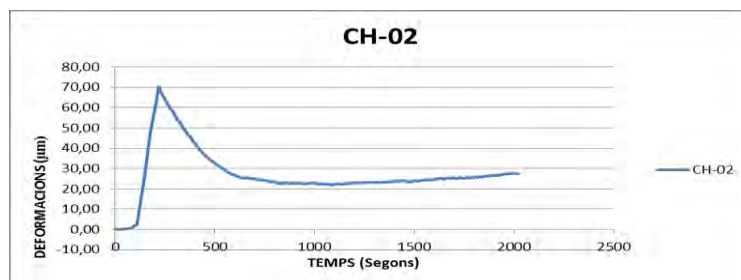
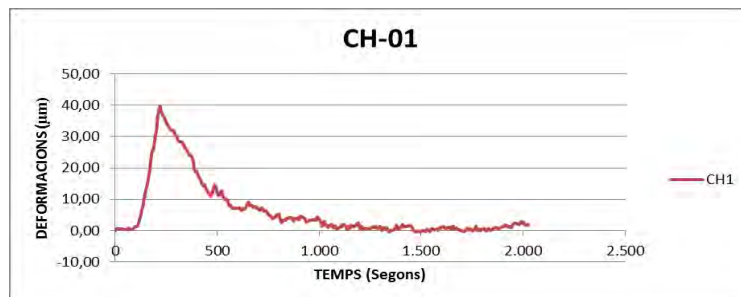
Les Tensions de la fàbrica que es proporcionen per a poder realitzar els càlculs oscil·len els valors: 2,3Kg/cm² i 2,5 Kg/cm² ; que és el mateix que 0,23 MPa i 0,25 MPa.

Per poder obtenir els valors del mòdul de Young de la fàbrica s'han realitzat els següents càlculs:

$$\sigma = \frac{E}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Els valors de deformació s'obtenen de les gràfiques obtingudes de l'anàlisi estàtic "HOLE DRILLING"



De les tres gràfiques, ens hem de fixar amb els valors del Canal 2 (CH-02) ja que en aquest canal s'han obtingut les deformacions degudes a les tensions en l'eix principal (vertical).

La gràfica CH-02 arriba fins a un pic de 70 microdeformacions, però aquets valor no és el correcte per realitzar els càlculs, ja que correspon en el moment que es golpeja l'element. Un cop les tensions s'estabilitzen (als 1000 segons = 16min) s'obté el valor de les microdeformacions que s'utilitzarà per realitzar el càlcul.



La franja on l'element està estabilitzat és una franja de 10 min on es determinen els següents valors:

$$738\text{sg} = 12,30\text{min} \rightarrow 24,45\mu\text{m}$$

$$1338\text{sg} = 22,30\text{min} \rightarrow 23,35\mu\text{m}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{0,23\text{N/mm}^2}{24,45\mu\text{m}} \times 10^6 = 94,06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{0,25\text{N/mm}^2}{24,45\mu\text{m}} \times 10^6 = 10,22 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{0,23\text{N/mm}^2}{23,35\mu\text{m}} \times 10^6 = 98,5 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{0,25\text{N/mm}^2}{23,35\mu\text{m}} \times 10^6 = 10,70 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

1.6. CONCLUSIONS

Segons les oscil·lacions de valors de tensions i de microdeformacions, s'han obtingut un resultat per cada valor de tensió i de deformació. De tots aquests valors s'obté un valor mig.

TAULA DE RESULTATS		TENSIONS ADMISIBLES DE LA FÀBRICA (N/mm ²)	
		0,23	0,25
DEFORMACIONS (μm)	24,45	9406,95N/mm ²	10224,95N/mm ²
	23,35	9850,10N/mm ²	10706,65N/mm ²

Per tant el Mòdul de Young obtingut és de 10047,16 N/mm²



ANALISI 2: PROVA DINÀMICA

2.1 OBJECTE

Es presenten els resultats definitius dels treballs d'inspecció i avaluació d'una costella que forma el campanar de l'Església a fi de poder conèixer el mòdul de Young de la fàbrica.

2.2 DOCUMENTACIÓ CONSULTADA

Document: DOC.1	Documents fotogràfics
Autor:	Roger Señis, Arquitecte
Data:	Novembre/2015

2.3 ABAST DELS TREBALLS EFECTUATS

Els treballs efectuats han estat els següents:

.- Prova dinàmica.

S'ha fet una prova dinàmica a una costella que forma el campanar de l'Església del Sagrat Cor. La prova s'ha dut a terme a una de les sis costelles de les que esta format el campanar.

Aquesta prova es va efectuar durant el dia 26-Novembre.

2.4 SENSORS: DESCRIPCIÓ I DISPOSICIÓ DELS MATEIXOS

2.4.1 PROVA DE CÀRREGA DINÀMICA.

S'han assajat una costella mitjançant assaig dinàmic. S'ha mesurat la resposta dinàmica en 13 punts. El valor representatiu de cada punt de mesura és el resultat de amitjanar la resposta de 4 impactes considerats com adequats.

Les característiques dels equips i sensors emprats durant la prova es recullen en els següents quadres:

accelerometer	
Supplier	PCB Piezotronics
Model	393A03
Weight	210 gr
Sensitivity ($\pm 5\%$)	102 mV/(m/s ²)
Measurement range	± 49 m/s ² pk
Frequency range ($\pm 5\%$)	0.5 to 2000 Hz
Resonant frequency	≥ 10.00 kHz
Broadband resolution	0.0001 m/s ² rms
Excitation Voltage	18 to 30 VDC



Impact Hammer	
Supplier	PCB Piezotronics
Model	086D50
Mass	5.50 kg
Length	890 mm
Sensitivity ($\pm 15\%$)	0.23 mV/N
Measurement range	± 22240 N pk
Resonant frequency	≥ 5.00 kHz
Excitation voltage	20 to 30 VDC



Acquisition System	
Supplier	LMS International.
Op. environment	0° to +50°
bandwidth	10 Hz - 40 kHz
Block size	1 28 to 32768
Input mode	variable
Pre-trigger	available
Overload rejection	available
Software	X-Spress Test-Lab



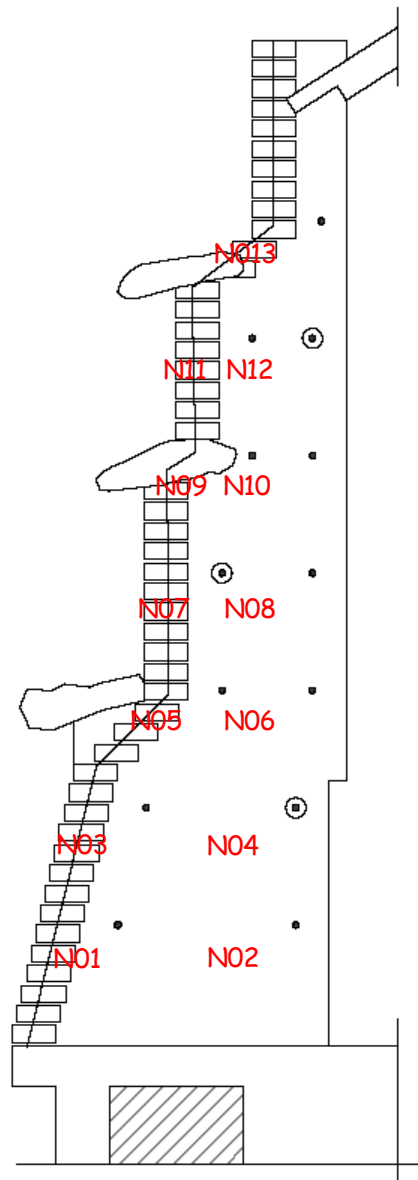


Fig.03: Posició dels impactes i dels acceleròmetres.



2.5 RESULTATS DE LES PROVES DINÀMIQUES

2.5.1. ANÀLISI.

S'estudia la costella comprovant-ne les freqüències. Per fer l'estudi s'han fet servir 13 FRF (funcions de resposta en freqüència).

A continuació es presenten:

- .- model modal complet.
- .- 1 estudis a partir de 13 FRF.
- .- resum resultats.

2.5.1.1.- MODEL MODAL COMPLET.

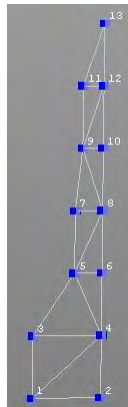


Fig.04: Model experimental costella

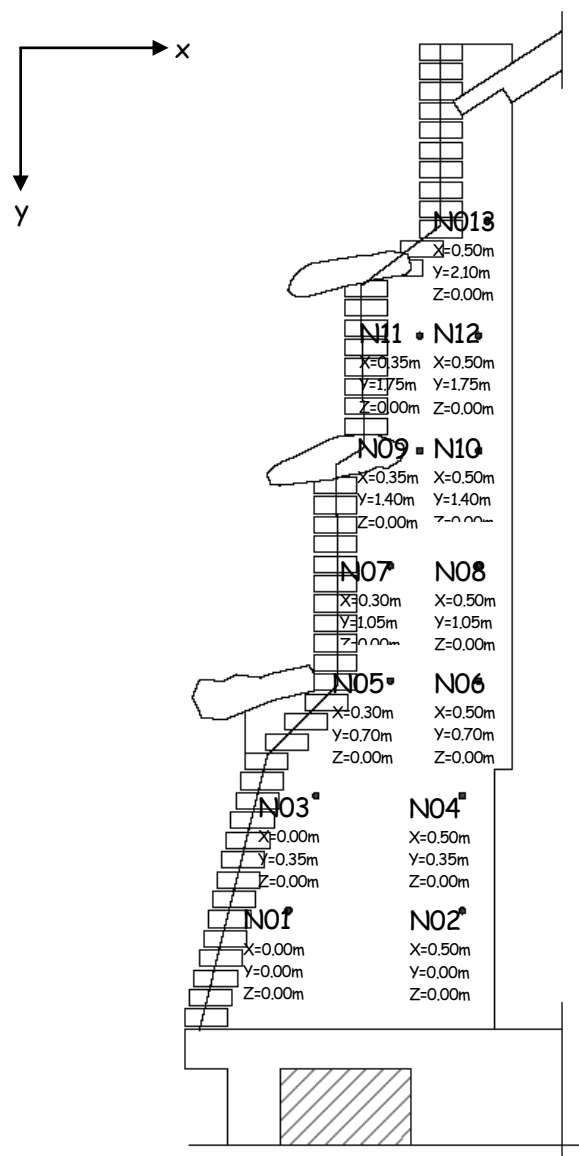


Fig.05: Coordenades model experimental

2.5.1.2. 1 ESTUDI A PARTIR DE 13 FRF.

COSTELLA

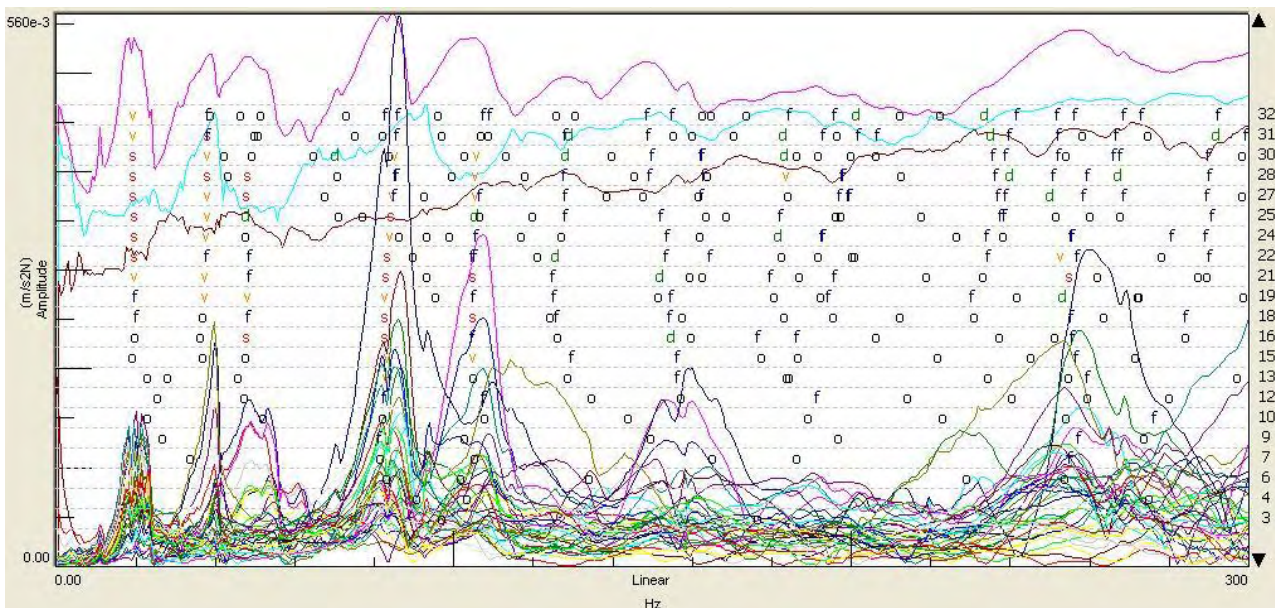
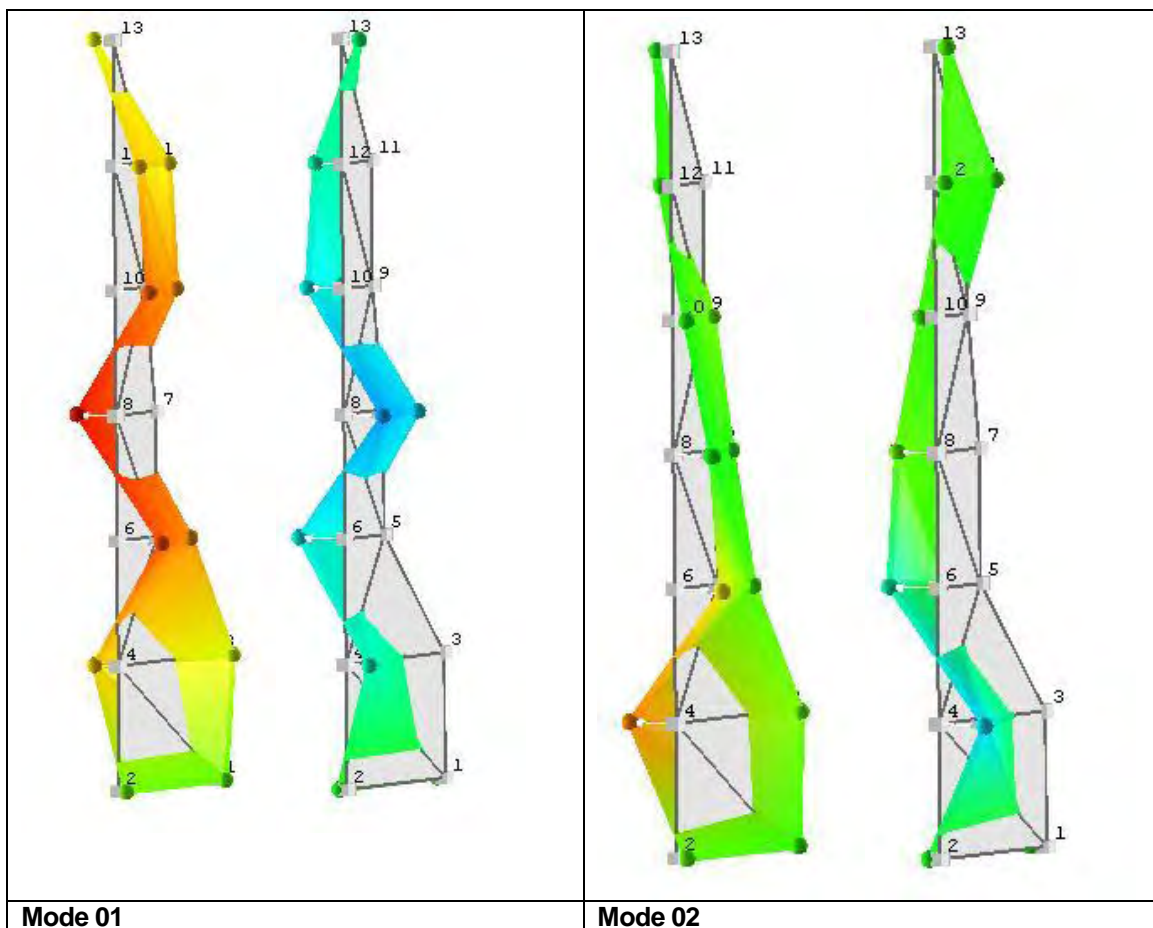
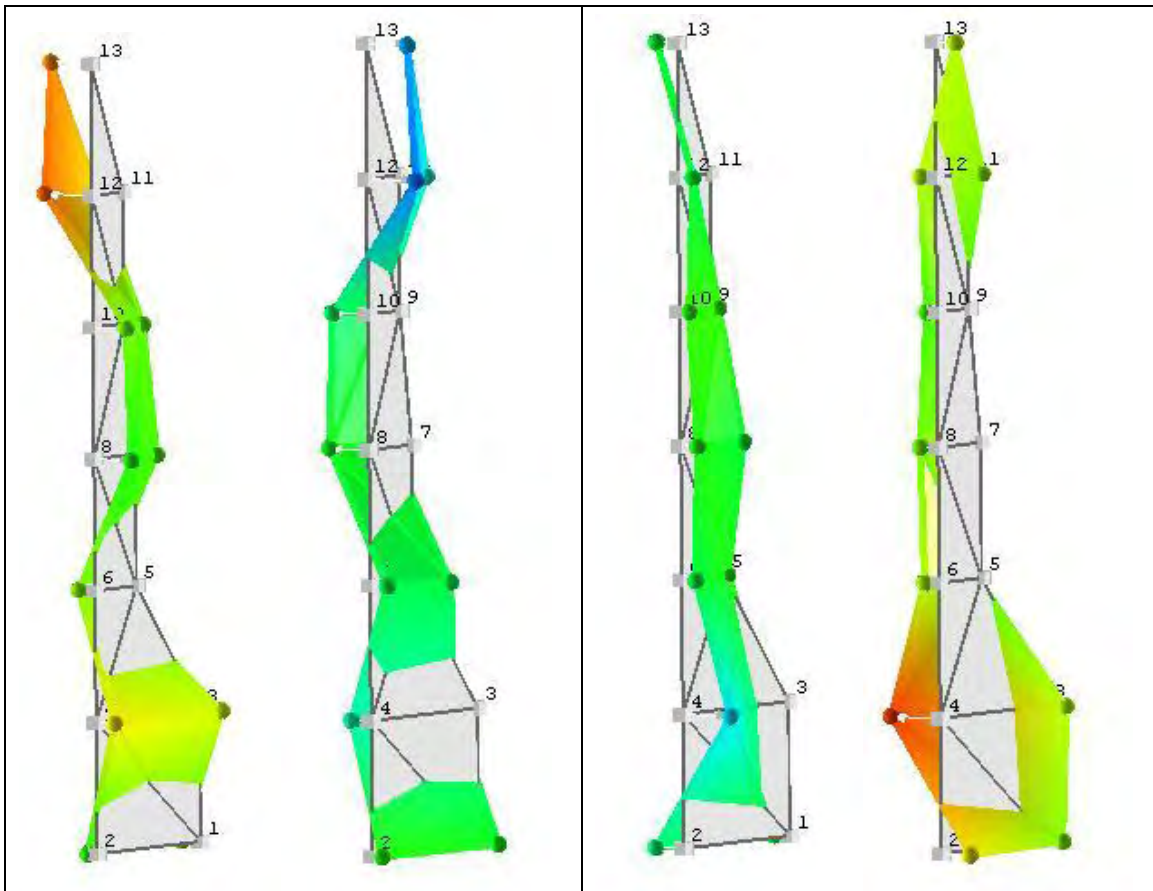


Fig.06: Gràfica d'estabilització.

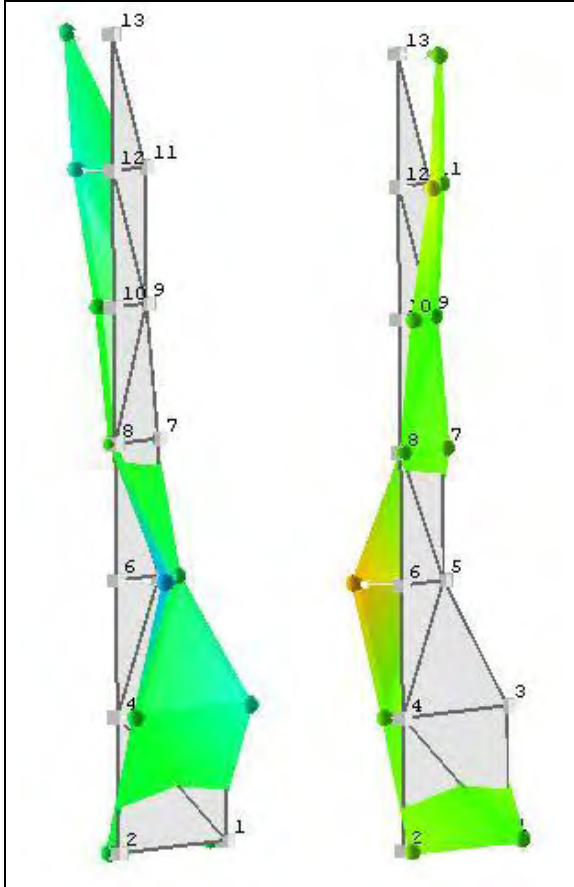
MODES DE VIBRACIÓ





Mode 03

Mode 04



Mode 05


2.5.2 RESUM RESULTATS.

A la següent taula (fig.05) es presenta el resum de les freqüències naturals corresponents a la costella analitzada, segons dades de les proves dinàmiques *in situ*.

	1a freqüència	2a freqüència	3a freqüència	4a freqüència	5a freqüència
Costella	19,71Hz	38,57Hz	49,55Hz	82,77Hz	104,78Hz

Fig.05: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

GMK Associats, SLP
Girona, Novembre 2015



Miquel Llorens y Sulivera. Dr. Arquitecte
Col·legiat nº20666/7