



Font: Enclavedecultura.wordpress

ASSUMpte :	ASSAIGS NUMÈRICS / EXPERIMENTALS
Referència interna:	121521
Data:	30/09/2013
EXPEDIENT:	PAVELLÓ DE L'ADMINISTRACIÓ DE L'HOSPITAL DE SANT PAU

**CARACTERITZACIÓ DEL COMPORTAMENT DE LES VOLTES
DE L'EDIFICI DE L'ADMINISTRACIÓ DE
L'HOSPITAL DE LA SANTA CREU I SANT PAU**

INDEX DE L'INFORME

0. Sol·licitant.	3
1. Objecte.	3
2. Procediment proposat complet.	3
A) Reconeixement de les propietats del material	3
B) Calibrat del model	4
C) Extensió de l'anàlisi efectuat a la resta de voltes	5
3. Breu descripció del sistema estructural.	5
3.1. L'edifici	5
3.1.1. Sistema estructural horitzontal	5
3.1.2. Sistema estructural vertical	6
4. Desenvolupament de l'apartat A.	8
4.1. Resistència a la compressió simple de la peça	10
4.1.1.- Descripció de les peces emprades	10
4.1.2.- Descripció dels procediments normatius i comprovacions prèvies	11
4.1.3.- Resultats	15
4.2. Propietats del morter: Caracterització química	17
4.2.1. Descripció de l'assaig	17
4.2.2. Resultats obtinguts	18
4.3. Propietats del morter: caracterització mecànica	21
4.4. Caracterització de la fàbrica: resistència a la compressió	28
4.5. Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young estàtic	30
4.5.1. Breu descripció de l'assaig	30
4.5.2. Resultat de les mesures dels DEMEC	32
4.5.3.- Resultat de les mesures dels transductors de desplaçament	39
4.5.4. Resultat de les mesures de les galges extensomètriques	43
4.5.5. Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young dinàmic	49
4.6.1. Descripció de l'assaig	49
4.6.2.- Resultats obtinguts	50
4.7. Correlació entre el Mòdul de Young estàtic i el Mòdul de Young dinàmic	54
4.8. Influència dels reforços de la fàbrica mitjançant capes addicionals	55
4.8.1. Descripció del procediment seguit	55
4.8.2. Resultats càcul resistència a compressió	60
4.9. Discussió dels resultats corresponents a l'assaig dels materials	62
4.9.1.- Consideracions relatives a la peça ceràmica	62
4.9.2.- Consideracions relatives al morter	62
4.9.3.- Consideracions relatives a la resistència a la compressió de la fàbrica	62
4.9.4.- Consideracions relatives al reforç de la fàbrica emprant productes Mapei	62
4.9.5.- Respecte als mòduls de Young estàtic i dinàmic	63
5. Desenvolupament de l'apartat B.	8
5.1.- Característiques dels equips emprats.	12
5.2.- Procediment de càrrega.....	8
5.2.1.- Definició de l'estat de càrrega a aplicar.	4
5.2.2.- Documentació gràfica de la prova.	4
5.3.- Descripció de les proves efectuades.	45
5.3.1.- Primera prova de càrrega.....	45
5.3.1.1.- Relació de les proves efectuades a la volta E2p1_V1.....	34
5.3.1.2.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega.	0
5.3.1.3.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-1a.	0
5.3.1.4.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-2a.	0
5.3.1.5.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-3a.	0

5.3.1.6.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-4a.....	0
5.3.1.7.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-5a.....	0
5.3.1.8.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-6a.....	0
5.3.1.9.- Resum dels resultats: volta E2p1_V1.....	0
5.3.1.10.- Conclusions parcials relatives a la volta E2p1_V1	0
5.3.2.- Segona prova de càrrega.....	0
5.3.2.1.- Proves realitzades a la volta E2p1_V2.....	0
5.3.2.2.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-1a.....	0
5.3.2.3.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-1a.....	0
5.3.2.4.- Esquema i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-2a.....	0
5.3.2.5.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-2a.....	0
5.3.2.6.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-3a.....	0
5.3.2.7.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-4a.....	0
5.3.2.9.- Esquema i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-6a.....	0
5.3.2.10.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-6a.....	0
5.3.2.11.- Esquema i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-7a.....	0
5.3.2.12.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-7a.....	0
5.3.2.13.- Resum dels resultats: volta E2p1_V2.....	0
5.3.2.14.- Conclusions parcials relatives a la volta E2p1_V2.....	0
5.3.3.- Tercera prova de càrrega.....	0
5.3.3.1.- Proves realitzades a la volta Bp-1_V2.....	0
5.3.3.2.- Esquema i ubicació dels sensors: prova de càrrega P3-1a i P4-1a.....	0
5.3.3.3.- Resultats de la prova de càrrega Bp-1_V2 – P3-1a.....	0
5.3.3.4.- Resultats de la prova de càrrega Bp-1_V2 – P4-1a.....	0
5.3.3.5.- Resum dels resultats: volta Bp1_V2.....	0
5.3.3.6.- Conclusions parcials relatives a la volta Bp-1_V2.....	0
5.4.- Correlació entre proves estàtiques i dinàmiques.....	0
5.4.1.- Primera correlació.....	0
5.4.1.1.- Prova estàtica.....	0
5.4.1.2.- Prova dinàmica.....	0
5.4.1.3.- Resultats model numèric.....	0
5.4.2.- Segona correlació.....	0
5.4.2.1.- Prova estàtica.....	0
5.4.2.2.- Prova dinàmica.....	0
5.4.2.3.- Resultats model numèric.....	0
5.4.3.- Tercera correlació.....	0
5.4.3.1.- Prova estàtica.....	0
5.4.3.2.- Prova dinàmica.....	0
5.4.3.3.- Resultats model numèric.....	0
5.4.4.- Quarta correlació.....	0
5.4.4.1.- Prova estàtica.....	0
5.4.4.2.- Prova dinàmica.....	0
5.4.4.3.- Resultats model numèric.....	0
5.4.5.- Cinquena correlació.....	0
5.4.5.1.- Prova estàtica.....	0
5.4.5.2.- Prova dinàmica.....	0
5.4.5.3.- Resultats model numèric.....	0
6. Desenvolupament de l'apartat C.	8
6.1.- Relació entre les proves dinàmiques i els models de càcul.....	0
6.1.1.- Primera família: voltes petites.....	0
6.1.1.1.- Resum dels resultats.....	0
6.1.1.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes petites.....	0
6.1.2.- Segona família: voltes mitjanes.....	0
6.1.2.1.- Resum de resultats.....	0

6.1.2.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes mitjanes.....	0
6.1.3.- Tercera família: voltes grans.	0
6.1.3.1.- resum de resultats.....	0
6.1.3.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes grans.....	0
6.1.4.- Quarta família: resta de voltes.	0
6.1.4.1.- resum de resultats.....	0
6.1.4.2.- Conclusions parcials relatives a la resta de voltes.....	0
7. Comportament tèrmic de la volta	8
7.1.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors.	0
7.2.- Resultats de l'avaluació tèrmica.	0
7.3.- Anàlisi dels resultats.	0
8. Conclusions finals	8
9. Referències	8
9.1 .- Documentació consultada.	0
9.2 .- Bibliografia.	0

0.- SOL·LICITANT.

Aquest treball ha estat sol·licitat per l'empresa SAPIC (SOCIEDAD ANÓNIMA DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIONES).

1.- OBJECTE.

L'objecte principal d'aquests treballs, és generar informació significativa i contrastada, sobre els materials que conformen les voltes incloses com a sostres del pavelló de l'administració del recinte modernista de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

Un segon objectiu és possibilitar una millor comprensió d'aquest tipus d'estructura i promoure la disseminació d'aquest coneixement.

Per tant, es procedeix a definir una campanya que té com a objectiu obtenir els paràmetres mecànics i resistents del materials, com a pas previ a poder avaluar el comportament estructural de les voltes.

2.- PROCEDIMENT PROPOSAT COMPLET.

El procediment general que es proposa, consta de 3 apartats:

- A.- Reconeixement de les propietats del material.**
- B.- Calibrat del model.**
- C.- Extensió de l'anàlisi efectuat a la resta de les voltes.**

El treball aquí presentat, inclou únicament els resultats corresponents al primer apartat (apartat A). Per ubicar aquesta primera part en el seu context, es dedica el punt 2 del document a donar una visió general del procediment proposat.

A.- RECONEXIMENT DE LES PROPIETATS DEL MATERIAL.(*)

A.1.- Resistència Característica a compressió simple de la peça ceràmica:

Aquesta dada serà necessària per:

- .- posterior caracterització del comportament estàtic a partir de models numèrics.

A.2.- Propietats del morter: caracterització química.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- per poder dosificar un morter de característiques similars a l'existent, i emprar-lo en la confecció de les provees.

A.3.- Propietats del morter: caracterització mecànica:

Aquesta dada serà necessària per:

- .- posterior caracterització del comportament estàtic a partir de models numèrics.

A.4.- Caracterització de la fàbrica: resistència a compressió.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- posterior caracterització del comportament estàtic a partir de models numèrics.

A.5.- Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young estàtic.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- posterior caracterització del comportament estàtic a partir de models numèrics.
- .- una correcta interpretació de possibles proves de càrrega monitoritzades.

A.6.- Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young dinàmic.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- posterior caracterització del comportament dinàmic a partir de models numèrics.
- .- una correcta interpretació d'un possible ajust del model numèric a partir de dades experimentals de base dinàmica.

A.7.- Correlació entre Mòdul de Young estàtic i Mòdul de Young dinàmic.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- Aquesta dada serà fonamental per dur a terme el calibratge del model numèric. En general els mòduls de Young estàtic i dinàmic tenen diferent valor.

A.8.- Influència dels esforços de la fàbrica mitjançant capes addicionals.

Aquesta dada serà necessària per:

- .- Veure l'eficàcia del reforç a fi de establir criteris de reforç adequats a la problemàtica a la que es vulgui fer front.

(*)

Es important fer notar que les fàbriques disposades segons la tècnica anomenada “de maó de pla” no estan caracteritzades. L'anisotropia inherent a l’obra de fàbrica, així com la atípica relació entre maó i morter, fan que els valors corresponents a aquest tipus de fàbrica, no puguin ser assimilats als disponibles a la normativa vigent, sense un estudi previ.

A la taula dels treballs a executar (v. annex 01), i dins de la columna corresponent a “ASSAIGS COMPLEMENTARIS”, s’han inclòs assaigs per caracteritzar la peça i el morter des del punt de vista mecànic. Aquestes dades – tot i no ser estrictament necessàries, ja que es preveuen assaigs sobre la fàbrica formada a partir d'aquests materials – permeten determinar la idoneïtat de les expressions contingudes als Eurocodis o al Codi Tècnic, alhora d’avaluar la resistència de fàbrica.

B.- CALIBRAT DEL MODEL.

NOTA.

La fase B no es desenvolupa en aquest document. Únicament es presenta per clarificar la seva contribució al resultat final.

Se’ns ha informat de la possibilitat d’utilitzar dues voltes existents – i que hauran de ser enderroçades en el futur -, com a laboratori per calibrar els models numèrics.

Sobre aquestes dues voltes es preveu fer una anàlisi completa que inclou l’ús combinat de proves de càrrega estàtiques i dinàmiques.

Seran objectius prioritaris d'aquesta fase:

- .- determinar la contribució estructural dels envans que alleugereixen la volta, així com dels encadellats superiors.
- .- determinar experimentalment la possible aparició de microfissuracions que puguin degradar la volta, de forma irreversible.
- .- argumentar el perquè de l’existència de deformacions remanents del sistema un cop descarregat i la seva influència en el comportament futur de la volta.
- .- determinar els paràmetres que influeixen en la resposta dinàmica de la volta.
- .- ajustar un model de càcul.
- .- determinar la sobrecàrrega admissible de la volta.
- .- determinar el comportament de la volta en les proximitats de la situació de trencament.

C.- EXTENSIÓ DE L'ANÀLISI EFECTUAT A LA RESTA DE VOLTES.

NOTA.

La fase C no es desenvolupa en aquest document. Únicament es presenta per clarificar la seva contribució al resultat final.

Un cop calibrat el model a partir dels resultats obtinguts a les voltes sobre les que és possible realitzar la prova de càrrega, s'estenen els resultats a la resta dels elements de l'edifici.

Com a resultat d'una visita prèvia, i després de converses amb representants de la Direcció Facultativa, es conclou que l'edifici pot ser descrit per:

- .- 3 tipologies que són les que essencialment representen l'edifici al ser les que més es repeteixen.
- .- La resta de tipologies que són pràcticament es presenten com a elements sense repetició.

En aquest cas, el procediment consistirà en estendre les proves dinàmiques a la pràctica totalitat dels elements, de manera que es pugui establir criteris qualitatius respecte al seu comportament esperat. L'epítet “qualitatius” es justifica en el sentit de que sobre aquestes voltes no s'hauran efectuat proves de càrrega estàtica, i per tant no s'haurà avaluat el comportament de forma “quantitativa”.

3.- BREU DESCRIPCIÓ DE L'ESQUEMA ESTRUCTURAL.

Les voltes objecte d'aquest informe formen part de l'esquema estructural del pavelló d'Administració del recinte de l'Hospital de La Santa Creu i Sant Pau de Barcelona. El recinte és un conjunt modernista, la construcció del qual va ser dirigida per Domènech i Muntaner a principis del segle XX.

Va ser concebut com una ciutat jardí amb pavellons aparentment aïllats d'ús hospitalari,, tot i que el conjunt quedava eficientment connectat per una xarxa de túnels. Està catalogat com a patrimoni de la humanitat per la UNESCO des de l'any 1997, i per tant, les actuacions que es realitzin sobre qualsevol edifici que en formi part, segueixen les directrius de conservació i restauració establertes per aquest tipus d'edifici.

3.1.- L'edifici.

3.1.1.- Sistema estructural horitzontal.

Els sistema estructural horitzontal està format per voltes de diverses dimensions (les arestes laterals varien entre 3 i 9 m) que en general estan formades per tres capes ceràmiques de gruix variable. La major part d'elles són de doble curvatura. Sobre aquesta closca ceràmica, es disposen envanets de rajol ceràmic de poc gruix, formant costelles. Aquests elements –d'alçada variable, aconsegueixen passar de la superfície corbada estructural inferior, a una superfície plana superior, sobre la que es disposa un encadellat ceràmic, i a continuació el paviment.

Incorporat en el gruix dels murs i/o en els sinus de determinades voltes, es troba un sistema estructural complementari format per perfils metàl·lics de diferents seccions. La funció del mateix a primera vista – es recomana llegir els documents emesos per la Direcció Facultativa al respecte, ja que no és objecte d'aquest document entrar en detall en aquesta qüestió - , és equilibrar l'empenta horitzontal generada per la component horitzontal del sistema de voltes.

3.1.2.- Sistema estructural vertical.

El sistema estructural vertical està constituït per murs de ceràmica massissos. Segons s'indica en alguns escrits als que hem tingut accés, els murs a la vegada, també serien compostos, i estarien formats per dues fulles de 15 cm de gruix i una cambra interior.

El sistema combinat de mur de càrrega / esquelet metàl·lic, fa que la transmissió de les càrregues generades pels pesos propis i les sobrecàrregues verticals de l'edifici, quedí associada - a nivell d'esquema estructural – a un model clar i consistent.

Es desconeixen per part de qui escriu aquest document, quins són els mecanismes amb que l'edifici afronta i transfereix els esforços externs horitzontals (vent, sisme, etc). Aprofitem doncs per deixar constància de que, en qualsevol cas, no és aquest - determinar el comportament global de l'edifici - l'objecte del present document.

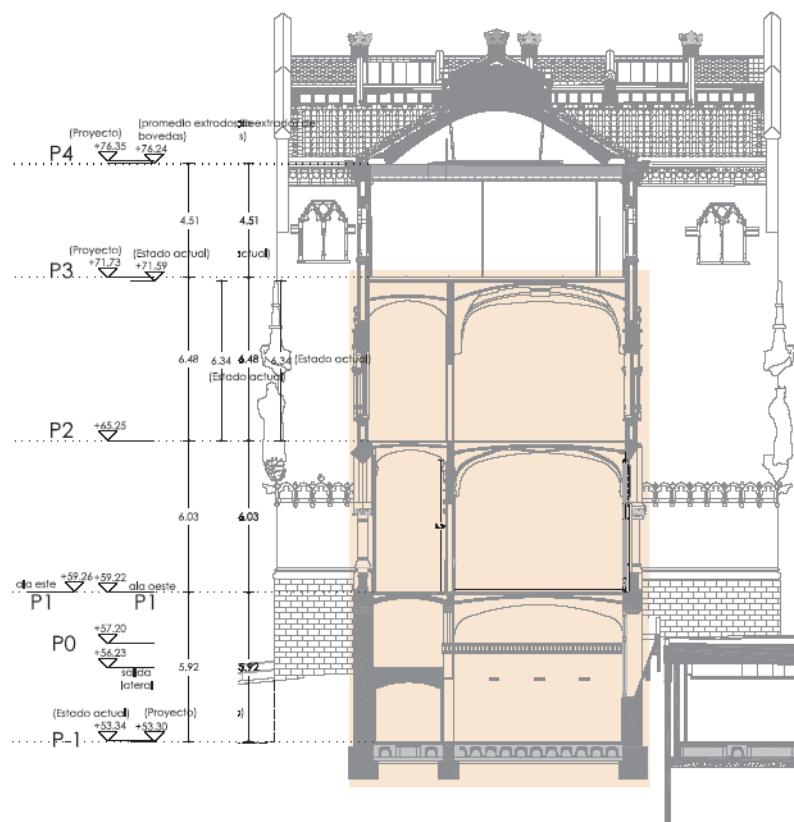


Fig. 1: Secció transversal de l'edifici per una de les ales.

(Font: Documentació de la Direcció Facultativa)

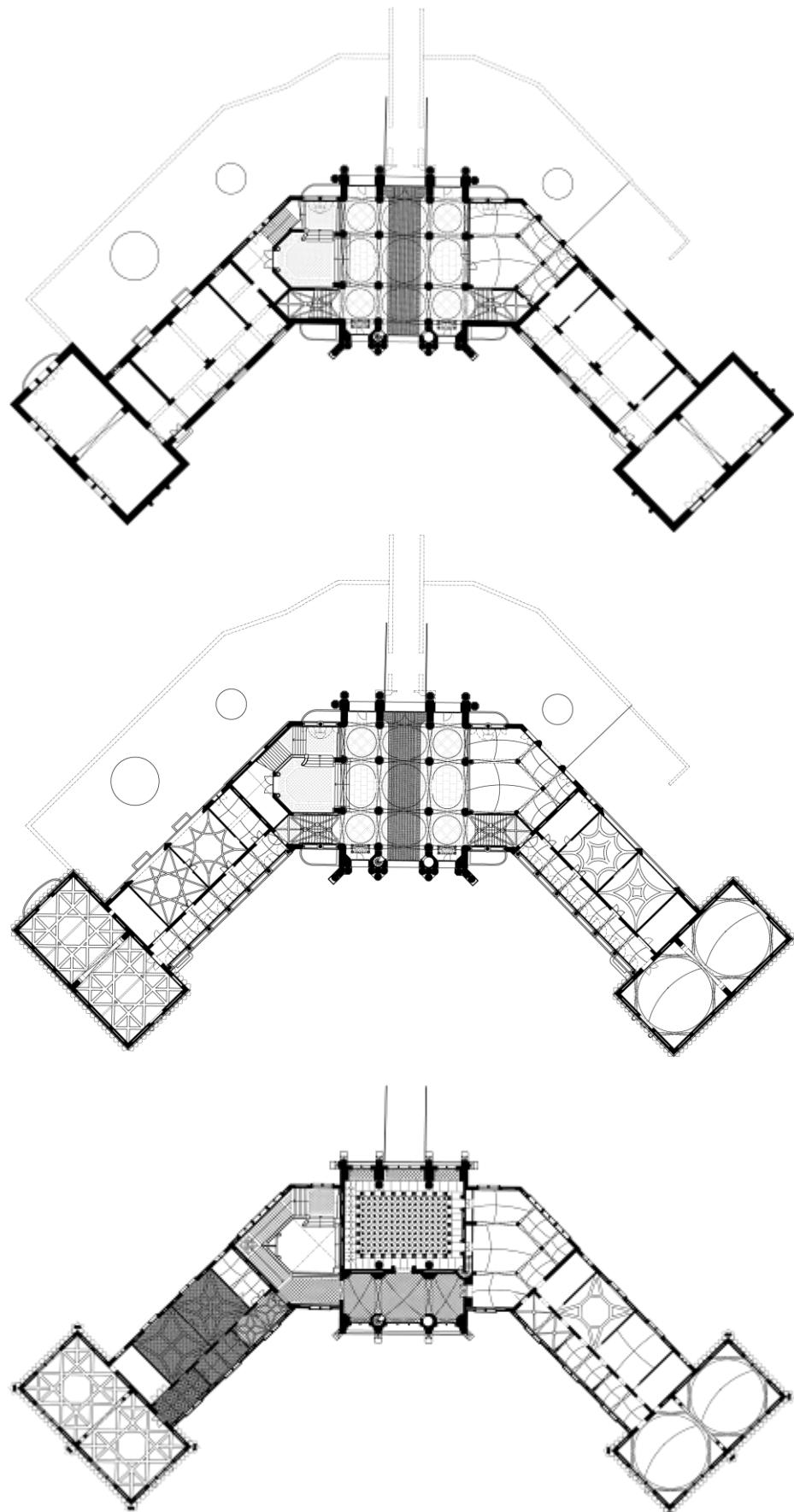


Fig. 2: Plantes de l'edifici.
(Font: Documentació de la Direcció Facultativa)

4.- DESENVOLUPAMENT DE L'APARTAT A.

La forma habitual en que s'utilitza la ceràmica, és col·locant-la "de pla". Això vol dir: assentant les peces per la cara amb una major superfície (en el cas de murs portants) i col·locant una capa de morter entre les diferents filades.

El que obtenim d'aquesta manera és una seqüència de ceràmica - morter, on els esforços es transfereixen de forma perpendicular a la interfície de contacte (generalment, de forma vertical).

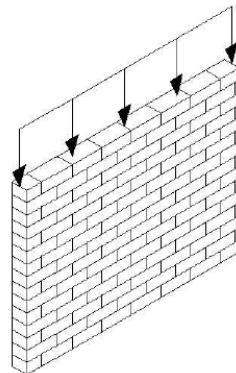


Fig. 3: Paret d'obra ceràmica carregada pel pla de la peça.

El diferents codis (Codi tècnic de l'edificació, Eurocodis, etc) que tracten sobre ceràmica, presenten una teoria adreçada a l'avaluació estructural i definició constructiva dels murs de fàbrica, ja que aquest és l'ús més extés d'aquest material.

Per tant bàsicament es contempla un model on els esforços es transfereixen a través de les cares amb major superfície amb independència de si aquest esforç és normal (compressió o flexió fora del pla) o tangencial (tallant i esforços en el pla).

La volta catalana no s'ajusta a aquest esquema:

- .- la seqüència peça ceràmica - morter està situada bàsicament en el sentit de l'esforç
- .- l'esforç està aplicat per testa, i per tant sobre les cares de menor superfície.

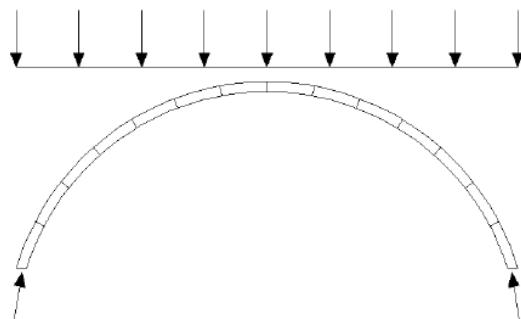


Fig. 4: Volta catalana on es veu la transmissió de càrregues i reaccions als recolzaments.

El Codi Tècnic de l'Edificació i en general la major part de les normatives vigents, caracteritzen la resistència a compressió de l'obra de fàbrica, mitjançant expressions del tipus:

$$F_k = K \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25}$$

(01)

On:

- K : constant que depèn del tipus de mur i el tipus de peça emprada.
- f_b : resistència normalitzada de les peces ceràmiques en la direcció de l'esforç
- f_m : resistència a la compressió del morter.

Existeixen molt pocs estudis relatius al comportament de l'obra de fàbrica, i els que trobem, generalment donen resultats amb altes dispersions i no es troba ben descrit el mecanisme del trencament.

Per altre part, la fàbrica presenta una gran dispersió pel que fa a la seva resistència característica a la compressió (f_k) i com a conseqüència en la major part dels seus paràmetres resistentes (ja que gairebé tots es calculen a partir d'aquest). Per tant s'ha creut oportú, caracteritzar el material concret amb que s'ha efectuat l'edifici.

4.1.- Resistència a la compressió simple de la peça.

4.1.1.- Descripció de les peces emprades.

Per tal de tenir una referència relativa a la qualitat de la ceràmica emprada a les voltes de Sant Pau, s'inclou l'anàlisi de les provetes fetes a partir de les peces obtingudes a l'edifici del pavelló de l'Administració en una campanya general d'assaigs realitzada als laboratoris de la UdG.

Les provetes realitzades a la campanya endegada per la UdG són el producte d'un procés de fabricació amb més de cent anys de història i que encara actualment s'utilitza a la rajoleria Quintana de Llambilles (Girona).

Per a fabricar les peces es poden utilitzar diferents tipus de terra. La composició d'aquesta determinarà les propietats i el color de la peça. Totes les terres que utilitzen per a la fabricació de ceràmica han sigut seleccionades per la rajoleria en zones on es sap que la qualitat de la terra és òptima per aquest ús.

La terra es barreja amb aigua per formar una massa fangosa, que posteriorment els operaris col·loquen dins uns motlles de fusta i es deixa assecar en un ambient controlat.



Fig. 5: Procés d'elaboració de les rajoles artesanals.

Ja assecades, les peces es porten a coure. La col·locació de les peces al forn es fa de manera manual, ja que és important tenir cura de que la seva posició deixi passar l'escalfor i així es pugui coure de manera homogènia. El procés d'escalfament del forn és controlat fins a una temperatura inicial de 600 °C. Un cop assolit aquest valor, s'incrementa la temperatura del forn fins a la temperatura de cocción desitjada. En aquest cas, la temperatura de cocción ha estat de 1000 °C.



Fig. 6: Procés de cuita de les rajoles artesanals.

4.1.2.- Descripció dels procediments normatius i comprovacions prèvies.

La normativa d'aplicació és la UNE-EN 772-1: “Mètodes d'assaig per a peces ceràmiques. Part 1: Determinació de la resistència a compressió”.

La normativa exigeix fer l'assaig sobre un mínim de 6 peces., mentre que l'Eurocodi 6 n'exigeix un mínim de 10. Es decideix seguir el criteri de l'Eurocodi 6.

La dimensió de les provetes assajades és de 100 x 100 mm de tal manera que el coeficient de correcció és 1.

		Ample (mm)				
		50	100	150	200	≥250
Alt (mm)	40	0,8	0,7			
	50	0,85	0,75	0,7		
	65	0,95	0,85	0,75	0,7	0,65
	100	1,15	1	0,9	0,8	0,75
	150	1,3	1,2	1,1	1	0,95
	200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,1
	≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Fig. 7: Taula de coeficient de correcció.

Per a un correcte procediment d'assaig de compressió, la norma defineix un procés a seguir abans de la seva realització. És bàsic un refrendat per tal que la superfície sobre la que s'aplica la càrrega sigui planera i les cares paral·leles entre si.

La normativa que indica com procedir per fer un bon refrentat és la UNE-EN 772-1 “Mètodes d'assaig per a les peces ceràmiques”.

Refrendat per a peces ceràmiques sense forats:

.- *Eliminar la matèria sobrant de les cares on s'aplicarà la càrrega. Les cares hauran de ser planes amb una tolerància de 0,1 mm per 100 mm. En cas de no complir-se aquesta condició s'han de polir o refrendar.*

.- *Per refrendar, s'utilitzarà un morter de ciment i sorra.*

.- *La resistència del morter utilitzat haurà de ser la prevista en les peces ceràmiques o 30 N/mm² utilitzant el menor dels valors.*

.- *Ja que les peces tenen una gran capacitat d'absorció, s'ha de fer un condicionament per immersió, submergint-les en aigua un període mínim de 15 h a una temperatura de 20 °C ± 5 °C i després es deixen escorrer de 15 a 20 minuts.*

.- *Col·locar la proveta sobre una placa rígida amb una desviació respecte la superfície plana inferior de 0,1 mm per 100 mm.*

.- *Fixar la placa de refrendat, anivellant-la en les dos direccions perpendiculars. S'haurà de procurar que el morter no s'adhereixi a la placa.*

.- *Col·locar una capa uniforme de morter d'uns 5 mm de gruix i de dimensions superiors a les de la peça (25 mm més de longitud i 10 mm més d'amplada).*

.- *Pressionar firmament la cara de contacte de la proveta contra la capa de morter, de forma que l'eix vertical sigui perpendicular a la placa. Per a comprovar-ho farem servir una esquadra o un nivell de bombolla.*

.- *El gruix del morter haurà de ser mínim de 3 mm en tota la superfície.*

.- *Eliminar el morter sobrant de les cares de la proveta. La proveta refractada s'haurà de cobrir amb un drap humit.*

. - La capa de morter s'haurà d'examinar quan hagi endurit el suficient.

. - En cas que no tingui defectes es refrendarà la segona cara seguint el mateix procediment.

Les provetes s'han refrendat amb morter Sika MonoTop-352 SFG. És un morter de reparació estructural alleugerat amb inhibidors de corrosió. Classe R3. Aquest morter ofereix una alta resistència a la compressió al poc temps de la seva col·locació.



Fig. 8: Provetes de peça ceràmica refrendades per una de les cares.

Per a garantir la resistència del morter utilitzat, s'ha esperat una setmana abans de procedir a realitzar l'assaig.

Seguint el procediment normatiu, s'ha determinat la longitud, l'amplada i l'alçada de cada proveta. un cop mesurades; es descarten les peces que tenen una diferència entre les dues cares superior a 1mm.

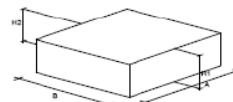
A continuació es mostra la comprovació anterior efectuada sobre les provetes obtingudes a partir del material corresponent al pavelló de l'Administració de l'Hospital Sant Pau.

RECORDATORI. Per identificar les provetes es fa servir la següent nomenclatura:

SP : mostres corresponents a Sant Pau.

LB : mostres corresponents a rajoleria Quintana

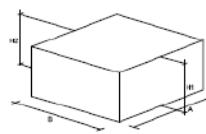
Croquis de la proveta



PECES CERÀMIQUES HOSPITAL SANT PAU							
CODI PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]					
		A	B	H1	H2	(H1-H2)≤ 1	Hmig
SP-P1	05/04/12	97,2	99,1	45,6	45,15	0,45	45,375
SP-P2	05/04/12	100,9	100,3	44,67	45,01	-0,34	44,84
SP-M1	05/04/12	100	99,5	47,18	47,09	0,09	47,135
SP-M2	05/04/12	98,5	99,8	48,6	48,7	-0,1	48,65
SP-M3	05/04/12	100,2	100	46,5	45,9	0,6	46,2
SP-M4	05/04/12	100,2	100,4	45,2	46,4	-1,2	45,8
SP-M5	05/04/12	99,3	100,4	43,9	43,9	0	43,9
SP-M6	05/04/12	99,7	100,4	45,2	45,65	-0,45	45,425
SP-M7	05/04/12	98,9	100,4	47,41	47	0,41	47,205
SP-M8	05/04/12	98,9	101,2	46,25	46,99	-0,74	46,62
SP-M9	05/04/12	99,1	97,5	46,3	44,3	2	45,3
SP-M10	05/04/12	101,1	99,9	44,5	44,1	0,4	44,3

Fig. 9: Mides provetes ceràmiques Hospital Sant Pau.

Croquis de la proveta



PECES CERÀMIQUES LABORATORI							
CODI PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]					
		A	B	H1	H2	(H1-H2)≤ 1	Hmig
LB 7-1	05/04/12	98,7	99,4	74,8	76,1	-1,3	75,45
LB 7-2	05/04/12	100,3	100,5	76,2	76,9	-0,7	76,55
LB 7-3	05/04/12	99,4	100,6	77,2	77,9	-0,7	77,55
LB 7-4	05/04/12	99,2	99,1	74,98	75,75	-0,77	75,365
LB 7-5	05/04/12	100,1	100,7	79,25	79,35	-0,1	79,3
LB 7-6	05/04/12	98,8	100,2	75,87	75,81	0,06	75,84
LB 7-7	05/04/12	100,5	100,5	79,18	77,77	1,41	78,475
LB 7-8	05/04/12	98,8	99,6	76,97	76,09	0,88	76,53
LB 7-9	05/04/12	101,1	99,1	77,9	77,02	0,88	77,46
LB 7-10	05/04/12	100,5	99,7	81,73	80,28	1,45	81,005
LB 7-11	09/05/12	98,33	98	83	80,89	2,11	81,945
LB 7-12	09/05/12	100,19	99,82	83,93	83,7	0,23	83,815
LB 7-13	09/05/12	100,3	92,92	81,43	81,5	-0,07	81,465
LB 7-14	09/05/12	90,89	92,88	74,95	75,11	-0,16	75,03
LB 7-15	09/05/12	100,24	100,28	80,96	80,82	0,14	80,89

Fig. 10: Mides provetes ceràmiques Rajoleria Quintana.

La forma de realitzar l'assaig queda recollida a la norma UNE-EN 772-1 “*Mètodes d'assaig per a les peces ceràmiques*”.

- .- Netejar els plats de la màquina d'assaig assecant-los i eliminant les partícules que existeixen a la cara de recolzament de la proveta.
- .- Alinear la proveta al centre de la màquina d'assaig per a obtenir resultats uniformes.
- .- Aplicar la càrrega amb la velocitat inicial adequada.
- .- La càrrega màxima prevista s'ha d'assolir com a mínim 1 minut després d'haver superat la meitat de la càrrega total.

NOTA

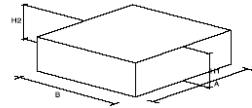
En certes provetes és possible que abans d'arribar a la càrrega màxima de ruptura, es produueixi una disminució de la càrrega en el moment abans que la proveta cedeixi, això anirà seguit d'un augment de la càrrega. Aquest fet es pot produir varíades vegades abans de la ruptura de la proveta.

Donat que algunes provetes no compleixen amb els requisits de la normativa, i que s'ha optat per seguir les recomanacions de l'Eurocodi – nombre mínim de provetes igual a 10 - es realitza una segona campanya de 5 provetes per a substituir les 4 mostres que no compleixen.

S'aplica la càrrega a una velocitat de 0,6 kN/s (kilonewton/segon) i es comprova que la proveta assoleix una càrrega superior a 400 kN.

Per a la presa de resultats de l'assaig a compressió de les peces ceràmiques realitzat a laboratori, es fa una fitxa on es recull el resultat dels diferents assajos. Es confecciona amb les dades definides per la norma UNE-EN 772-1.

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESIÓ DE PEÇES CERÀMQUES								Croquis de la proveta
PECES CERÀMQUES HOSPITAL SANT PAU								
NORMATIVA	UNE-EN 772-1 Octubre 2002 Mètode d'assaig de peces per a l'obra de fàbrica. Part 1: Determinació de la resistència							
Mètode acondicionat	Inmersió							
Mètode preparació superfície	Refrentat amb morter de reparació estructural alleugerat amb inhibidors de corrosió classe R3. Sika MonoTop-352 SFG							



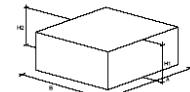
CODI PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]					Data de trencament	Càrrega de ruptura [Tn]	Sup. d'aplicació [mm²]	Vel. de trencament	
		A	B	H1	H2	(H1-H2)≤1					
SP-P1	05/04/12	97,2	99,1	45,6	45,15	0,45	45,375	13/04/12	25,751	252617,31	9632,5
SP-P2	05/04/12	100,9	100,3	44,67	45,01	-0,34	44,84	13/04/12	29,406	288472,86	10120,3
SP-M1	05/04/12	100	99,5	47,18	47,09	0,09	47,135	13/04/12	24,442	239776,02	9950,0
SP-M2	05/04/12	98,5	99,8	48,6	48,7	-0,1	48,65	13/04/12	26,623	261171,63	9830,3
SP-M3	05/04/12	100,2	100	46,5	45,9	0,6	46,2	13/04/12	28,042	275092,02	10020,0
SP-M4	05/04/12	100,2	100,4	45,2	46,4	-1,2	45,8	13/04/12	24,096	236381,76	10060,1
SP-M5	05/04/12	99,3	100,4	43,9	43,9	0	43,9	13/04/12	26,148	256511,88	9969,7
SP-M6	05/04/12	99,7	100,4	45,2	45,65	-0,45	45,425	13/04/12	25,56	250743,6	10009,9
SP-M7	05/04/12	98,9	100,4	47,41	47	0,41	47,205	13/04/12	23,49	230436,9	9929,6
SP-M8	05/04/12	98,9	101,2	46,25	46,99	-0,74	46,62	13/04/12	21,75	213367,5	10008,7
SP-M9	05/04/12	99,1	97,5	46,3	44,3	2	45,3	13/04/12	23,799	233468,19	9662,3
SP-M10	05/04/12	101,1	99,9	44,5	44,1	0,4	44,3	13/04/12	27,318	267989,58	10099,9

OBSERVACIONSSP-P1 i SP-P2 són provetes de prova. *Resultats no vàlids*

SP-M1 Proveta amb refrentat a una de les cantonades superiors, ja que està escantona.

SP-M7 Proveta es carregada a velocitat 0,42([N/mm²]/seg) degut a un error de manipulació, la màquina aplica la càrrega [mm/s] i no a [Tn/s]. *Resultat no vàlid*SP-M4 (H1-H2) és superior a 1 [mm]. *Resultat no vàlid*.**Fig. 11:** Resultats de l'assaig de resistència a compressió de les peces ceràmiques Hospital Sant Pau.

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESIÓ DE PEÇES CERÀMQUES								Croquis de la proveta
PECES CERÀMQUES LABORATORI								
NORMATIVA	UNE-EN 772-1 Octubre 2002 Mètode d'assaig de peces per a l'obra de fàbrica. Part 1: Determinació de la resistència							
Mètode acondicionat	Inmersió							
Mètode preparació superfície	Refrentat amb morter de reparació estructural alleugerat amb inhibidors de corrosió classe R3. Sika MonoTop-352 SFG							



CODI PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]					Data de trencament	Càrrega de ruptura [Tn]	Sup. d'aplicació [mm²]	Vel. de trencament [N/mm²/seg]	
		A	B	H1	H2	(H1-H2)≤1					
LB 7-1	05/04/12	98,7	99,4	74,8	76,1	-1,3	75,45	04/05/12	31,31	307151,1	9810,8
LB 7-2	05/04/12	100,3	100,5	76,2	76,9	-0,7	76,55	04/05/12	36,65	359536,5	9999,6
LB 7-3	05/04/12	99,4	100,6	77,2	77,9	-0,7	77,55	04/05/12	57,91	568097,1	9830,7
LB 7-4	05/04/12	99,2	99,1	74,98	75,75	-0,77	75,365	04/05/12	60,90	597429	10080,1
LB 7-5	05/04/12	100,1	100,7	79,25	79,35	-0,1	79,3	04/05/12	51,55	505705,5	10100,3
LB 7-6	05/04/12	98,8	100,2	75,87	75,81	0,06	75,84	04/05/12	79,76	782445,6	9899,8
LB 7-7	05/04/12	100,5	100,5	79,18	77,77	1,41	78,475	04/05/12	69,64	683168,4	9840,5
LB 7-8	05/04/12	98,8	99,6	76,97	76,09	0,88	76,53	04/05/12	75,36	739281,6	10019,0
LB 7-9	05/04/12	101,1	99,1	77,9	77,02	0,88	77,46	04/05/12	81,005	617539,5	10019,9
LB 7-10	05/04/12	100,5	99,7	81,73	80,28	1,45	81,005	04/05/12	43,78	429481,8	9636,3
LB 7-11	09/05/12	98,33	98	83	80,89	2,11	81,945	21/05/12	30,00	294300	10001,0
LB 7-12	09/05/12	100,19	99,82	83,93	83,7	0,23	83,815	21/05/12	32,00	313920	9319,9
LB 7-13	09/05/12	100,3	92,92	81,43	81,5	-0,07	81,465	21/05/12	24,00	235440	8441,9
LB 7-14	09/05/12	90,89	92,88	74,95	75,11	-0,16	75,03	21/05/12	30,00	294300	10052,1
LB 7-15	09/05/12	100,24	100,28	80,96	80,82	0,14	80,89	21/05/12			

OBSERVACIONS

La màquina no pot superar les 40T. Per tant provetes fetes a laboratori no les arriba a trencar 13.04.2012.

LB 7-1 Peça que va ser sotmesa a càrrega el dia 13.04.2012. Va arribar a suportar una càrrega de 40 Tn, però la màquina no podia superar aquest valor. Dia 04.05.2012. "la reutilitzem" *Resultats no vàlids*.

LB 7-2 S'interpreta erròniament la normativa: Sotmetre a càrrega la proveta fins arribar a la meitat de la càrrega prevista (20 Tn) sense tenir en compte la velocitat. Posteriorment carregar fins a ruptura a velocitat 0,6 en un temps >1minut.

Per tant, trencada en dos cicles: 1r cicle fins a 20 Tn a vel 0,18 Tn/s 2n cicle fins a trencament a velocitat 0,6 tn/s.

Resultats no vàlids.

LB 7-3 Proveta de prova. Es carrega a velocitat constant de 0,1 tn/s fins al trencament de la mostra. D'aquí s'obté la càrrega màxima que resisteix. Amb la càrrega màxima es calcula la velocitat ideal per trencar les provetes, volent que a partir de la meitat de la càrrega que resisteix passi més d'un minut fins trencar-se, és a dir >2 minuts en total.

LB 7-6 Mostra una esquerra aparentment superficial. A la cara esquerre de la cara que té el codi.

LB 7-8 Mostra una esquerra aparentment superficial. A la cara esquerre de la cara que té el codi.

Fig. 12: Resultats de l'assaig de resistència a compressió de les peces ceràmiques laboratori.

El procediment a seguir per determinar el valor de la resistència a la compressió de la peça està definit a la norma UNE-EN 772-1 “*Mètodes d'assaig per a les peces ceràmiques*”:

A.- Indicacions relatives a la geometria i la precisió requerits:

- .- *Calcular la resistència de la proveta dividint la càrrega màxima per la superfície sotmesa a càrrega (àrea bruta). El resultat s'expressa amb una aproximació de 0,1 N/mm².*
- .- *L'àrea bruta es calcula en mm² i s'obté multiplicant la longitud i l'amplada de la proveta.*

B.- Avaluació dels resultats:

- .- *Calcular la resistència a compressió efectuant la mitjana de les resistències obtingudes de les provetes individuals amb una aproximació de 0,1 N/mm².*

- .- *Calcular el coeficient de variació de la mostra.*

C.- Conversió de la resistència a compressió normalitzada:

- .- *La resistència a compressió obtinguda s'ha de convertir primer en una resistència a compressió equivalent corresponent al règim de condicionament d'assecatge a l'aire: el coeficient previst per la norma en el cas de condicionar les peces per immersió, és de 1,2.*

- .- *Per obtenir la resistència a compressió normalitzada, la resistència a compressió de les peces assecades a l'aire es multiplicarà per un factor determinat per l'amplada i l'alçada de la proveta aquest apareix a la taula I.*

4.1.3.- Resultats.

4.1.3.1.- Resultats corresponents als assaigs de laboratori (peces de la rajoleria Quintana)

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE PEDES CERÀMIQUES						
PECES CERÀMIQUES LABORATORI						
NORMATIVA	UNE-EN 772-1 Octubre 2002 Mètode d'assaig de peces per a l'obra de fàbrica. Part 1: Determinació de la resistència					
Mètode acondicionat	Inmersió					
PROVETA	Dimensions		Càrrega de ruptura		Sup. d'aplicació	Resistència
	A [mm]	B [mm]	[Tn]	[N]	[mm ²]	[N/mm ²]
LB 7-3	99,40	100,60	36,65	359536,50	9999,64	36,0
LB 7-4	99,20	99,10	57,91	568097,10	9830,72	57,8
LB 7-5	100,10	100,70	60,90	597429,00	10080,07	59,3
LB 7-6	98,80	100,20	79,76	782445,60	9899,76	79,0
LB 7-8	98,80	99,60	69,64	683168,40	9840,48	69,4
LB 7-9	101,10	99,10	75,36	739281,60	10019,01	73,8
LB 7-12	100,19	99,82	30,00	294300,00	10000,9658	29,4
LB 7-13	100,30	92,92	32,00	313920,00	9319,876	33,7
LB 7-14	90,89	92,88	24,00	235440,00	8441,8632	27,9
LB 7-15	100,24	100,28	30,00	294300,00	10052,0672	29,3
<hr/>						Σ Resistences
						495,6 [N/mm ²]
						Nº de provetes
						10
<hr/>						Resistència mitjana
						49,6 [N/mm ²]
<hr/>						Coef segons acondicionament
						1,2
<hr/>						Factor de forma
						1
<hr/>						Resistència Normalitzada
						59,5 [N/mm ²]

Fig. 13: Càcul i resultats de la resistència a compressió de les peces ceràmiques de rajoleria Quintana.

4.1.3.2.- Resultats corresponents als assaigs de les mostres de Sant Pau.

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE PEDES CERÀMIQUES						
PEDES CERÀMIQUES HOSPITAL SANT PAU						
NORMATIVA		UNE-EN 772-1 Octubre 2002 Mètode d'assaig de pedes per a l'obra de fàbrica. Part 1: Determinació de la resistència				
Mètode acondicionat		Inmersió				
<hr/>						
PROVETA	Dimensions		Càrrega de ruptura		Sup. d'aplicació [mm ²]	Resistència [N/mm ²]
	A [mm]	B [mm]	[Tn]	[N]		
SP-M1	100,00	99,50	24,44	239776,02	9950	24,1
SP-M2	98,50	99,80	26,62	261171,63	9830,3	26,6
SP-M3	100,20	100,00	28,04	275092,02	10020	27,5
SP-M5	99,30	100,40	26,15	256511,88	9969,72	25,7
SP-M6	99,70	100,40	25,56	250743,60	10009,88	25,0
SP-M8	98,90	101,20	21,75	213367,50	10008,68	21,3
SP-M9	99,10	97,50	23,80	233468,19	9662,25	24,2
SP-M10	101,10	99,90	27,32	267989,58	10099,89	26,5
					\sum Resistències Nº de provetes	200,9 [N/mm ²] 8
					Resistència mitjana	25,1 [N/mm²]
					Coef segons acondicionament	1,2
					Factor de forma	1
					Resistència Normalitzada	30,1 [N/mm²]

Es registra la resistència de cada proveta amb una aproximació de 0,1 N/mm²

Fig. 14: Càlcul i resultats de la resistència a compressió de les peces ceràmiques de Sant Pau.

4.2. Propietats del morter: Caracterització química.

Es compara la mostra de morter de Sant Pau amb una del morter proposat per l'Empresa per ser emprat en els treballs de reparació i consolidació.

4.2.1.- Descripció de l'assaig.

Per a analitzar la composició del morter de Sant Pau va ser necessari utilitzar un difractòmetre de “raig x” de pols (XRD), aquest aparell determina els materials que componen la mostra analitzada i el percentatge que en compona. Un cop es va analitzar el morter de Sant Pau es va decidir utilitzar un morter en base a calç.

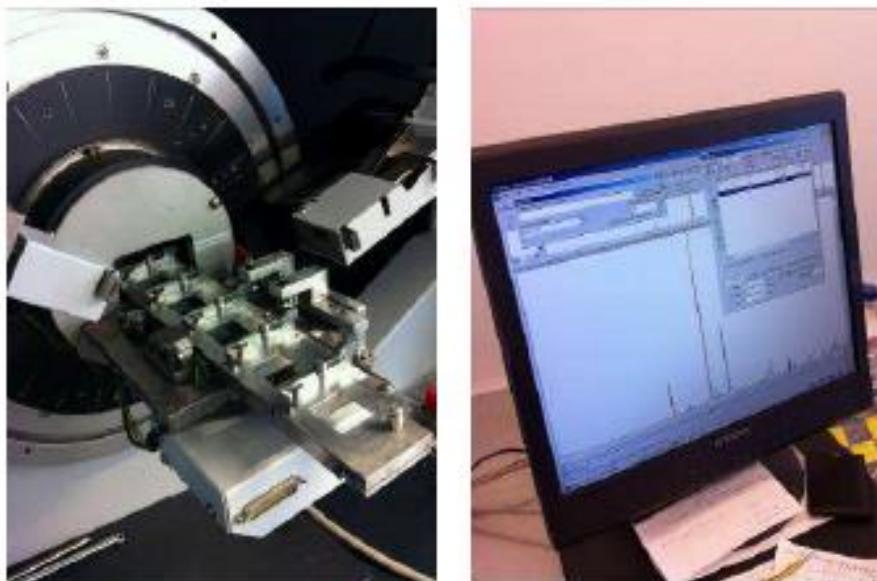


Fig. 15: Difractòmetre (Parc Tecnològic UdG).

Per a poder conèixer els materials que componen el morter que hi ha col·locat a l'hospital Sant Pau i poder d'aquesta manera dosificar un morter de propietats semblants, es porta a analitzar una mostra. Per fer-ho s'utilitza un difractòmetre de raigs x de pols (XRD). Aquest assaig es dur a terme al Parc Tecnològic de la UDG.

Aquest es un aparell que utilitza una tècnica analítica que per fases, va analitzant la estructura cristal·lina del material. La mostra analitzada és un sòlid polvoritzat mitjançant un moli d'àgata mecanitzat.

Les substàncies cristal·lines actuen com a xarxes de difracció tridimensional de raigs X de longitud d'ona similar a la separació dels plans en una xarxa cristal·lina. La Difracció de raigs X es actualment una tècnica comuna per a l'estudi d'estructures cristal·lines.

Es basa en una interferència dels raigs X monocromàtics d'una mostra cristal·lina. La interacció dels raigs amb la mostra produeix una interferència (i un raig difractat).

Es molt important l'angle entre el raig incident i el raig difractat, llavors s'interpreten els resultats seguint la llei de Bragg ($n\lambda=2d \sin \theta$). Aquesta llei relaciona la longitud d'ona de relació electromagnètica per l'angle de difracció i l'espaiat reticular de la mostra cristal·lina. Aquests raigs X són detectats, processats i comptats mitjançant una amplia gamma d'angles (2θ). S'han d'assolir totes les direccions possibles de la xarxa ja que els materials en pols tenen una orientació aleatòria.

La conversió dels pics de difracció d'espais permet la identificació dels materials, ja que cada material genera un pic que es registrat i té sortida a un dispositiu (impressora o monitor d'ordinador). Llavors, la

identificació, s'aconsegueix mitjançant una comparació dels resultats amb els patrons estàndard regularitzats dels pics generats pels diferents materials.

4.2.2.- Resultats obtinguts.

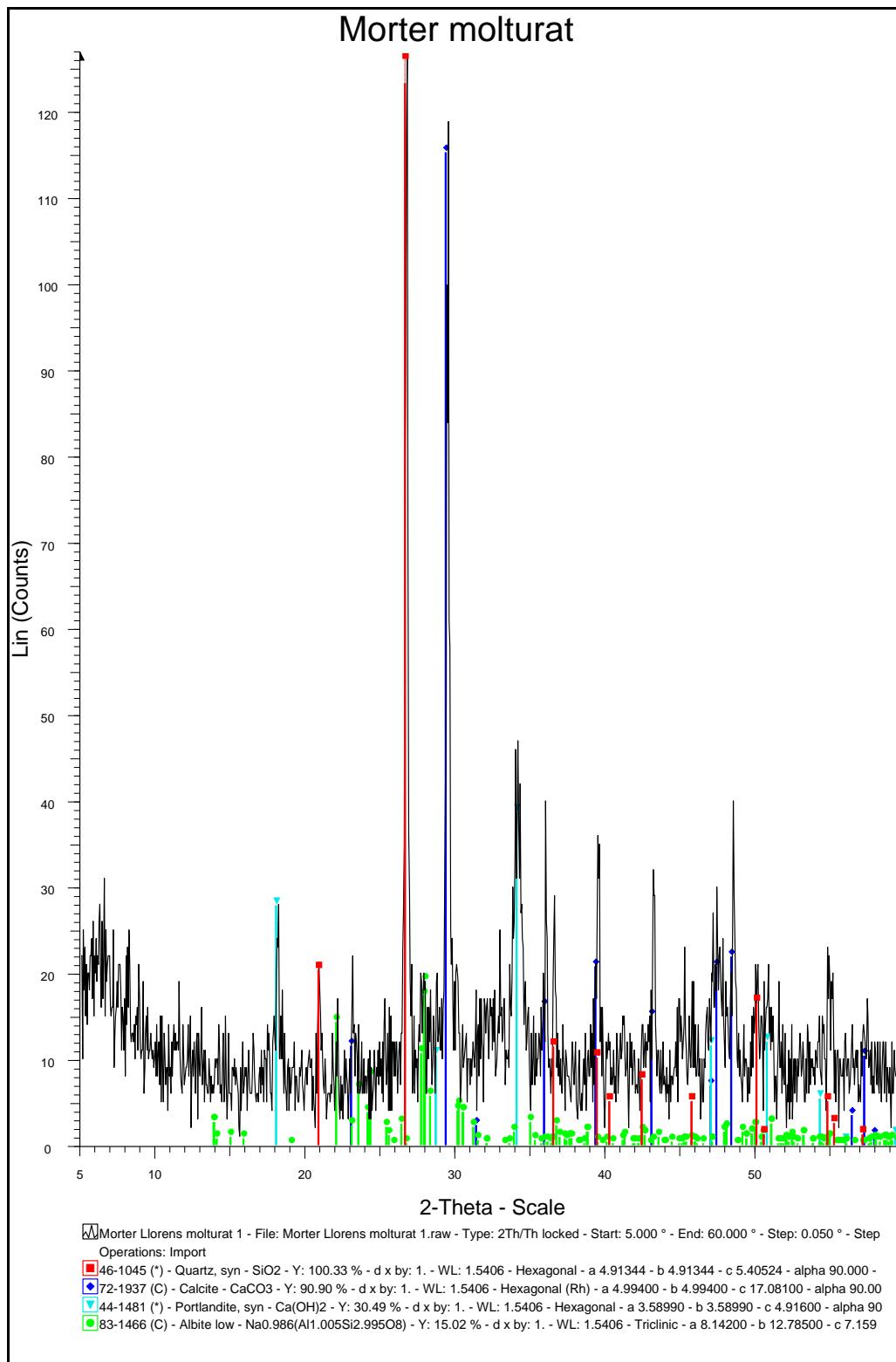


Fig. 16: Resultat corresponent al morter de Sant Pau.

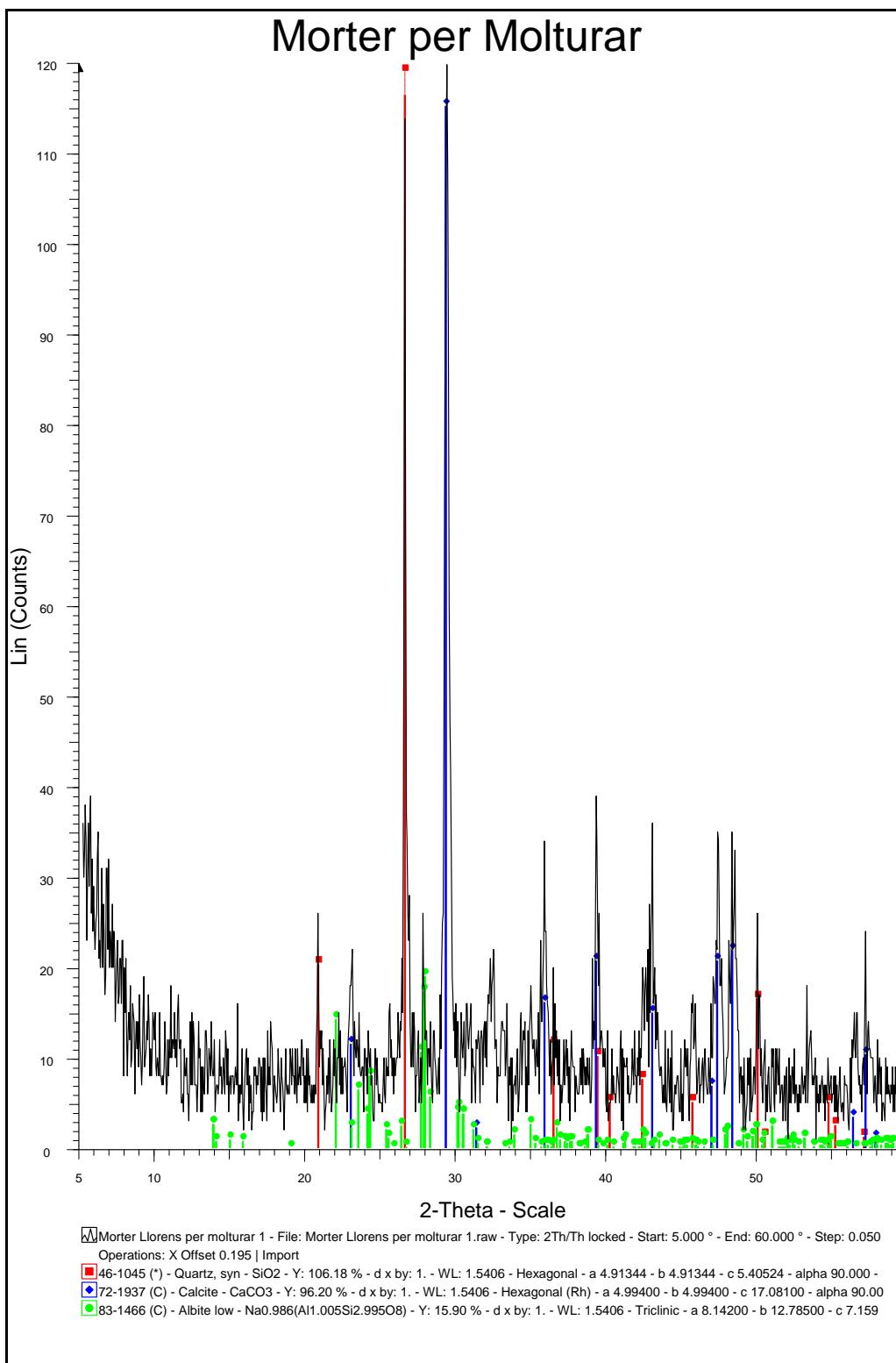


Fig. 17: Resultat corresponent al morter del morter proposat.

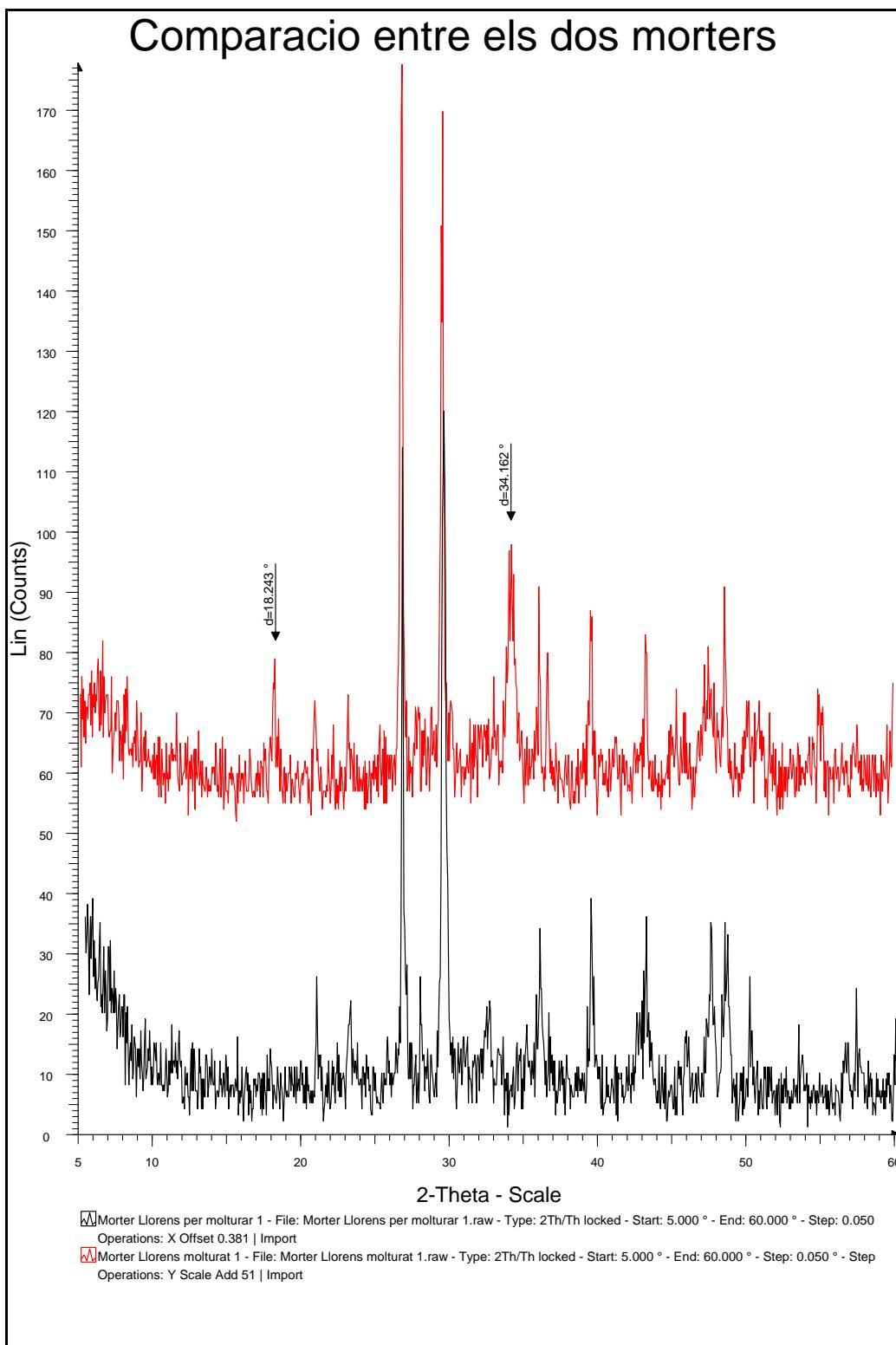


Fig. 18: Comparació entre ambdós morters.

4.3.- Propietats del morter: caracterització mecànica.

La caracterització mecànica del morter de Sant Pau es fa a partir dels resultats dels assaigs fets als laboratoris de l'empresa CECAM (Centre d'Estudis de la Construcció i Anàlisi de Materials).

Els assaigs que es realitzen són els de compressió i flexo-tracció.

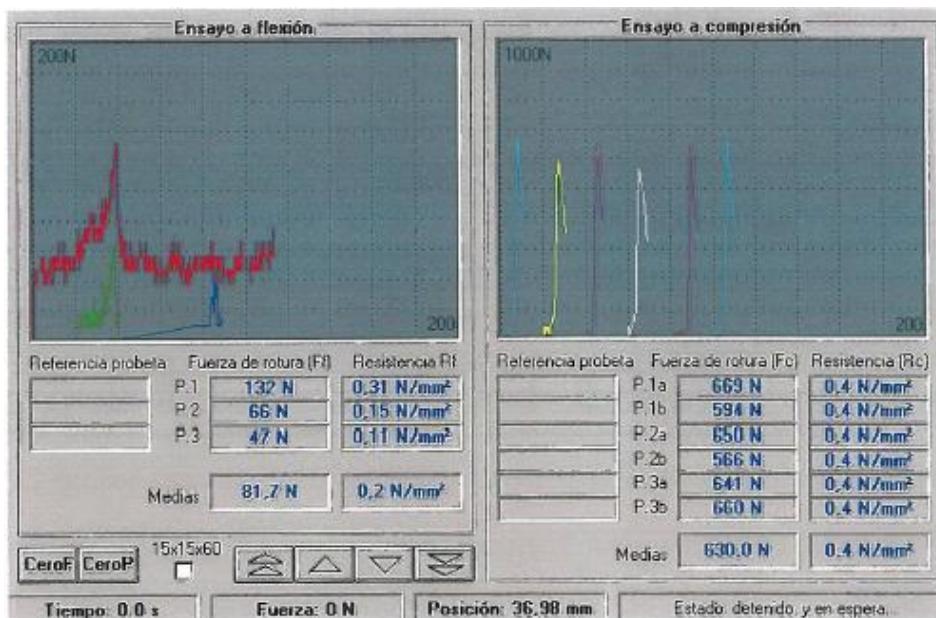


Fig. 19: Assaig a flexo-tracció i compressió del morter extret de l'Hospital Sant Pau realitzat per CECAM.

Els resultats obtinguts dels assaigs, han estat els següents:

referència PROVETA	EDAT RUPTURA		RESISTÈNCIA A FLEXO-TRACCIÓ		RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ		
	(data)	(dies)	(N)	(N/mm ²)	(N)	(N/mm ²)	
1	06/02/2012	28	132	0.31	660	594	0.39
2	06/02/2012	28	66	0.15	650	566	0.38
3	06/02/2012	28	47	0.11	641	660	0.41
				0.19			0.39

Fig. 20: Assaig a flexo-tracció i compressió efectuat sobre proveta de morter.



Fig. 21: Assaig a flexo-tracció de la proveta de morter.

A partir d'aquest punt, les mostres de morter i els conseqüents anàlisis ja no provenen de l'Hospital Sant Pau, sinó que són resultat d'una campanya engegada per La Universitat de Girona per a caracteritzar la fàbrica treballant per testa, tal i com s'efectua en les voltes catalanes de l'Hospital Sant Pau.

Amb la caracterització química del morter corresponent a Sant Pau, s'estableix que el morter utilitzat és en base a calç. A fi de poder establir comparacions entre els resultats de les dues campanyes, la corresponent als assaigs de la UdG es fa sobre un morter amb composició similar al de l'Hospital Sant Pau. Es fa una primera anàlisi on es comparen diferents productes disponibles en el mercat, triant finalment l'anomenat BIOCALCE MURO, un morter de calç amb una resistència a la compressió de 5 N/mm².

Aquest tipus de morter no es caracteritza per tenir una resistència a la compressió molt alta a curt termini, sinó que necessita temps per aconseguir resistència. Per contra, és més elàstic, més natural i transpirable que un morter de ciment pòrtland. El tipus de calç utilitzada en la fabricació del morter és la hidràulica. A diferència de la calç àeria, la hidràulica té millor comportament en ambients humits. A més a més, assoleix una resistència a compressió més elevada.

Aquest morter entra dins la categoria M5 pel que fa a la resistència a compressió. La taula següent, proporcionada pel fabricant, recull les propietats del producte:

DATOS TÉCNICOS según Sistema de Calidad Biocalce		
Agua de amasado	≈ 4.8 ℥ / 1 saco 25 kg	
Consistencia mortero fresco	= 178 mm	EN1015-3
Densidad aparente del mortero fresco	≈ 1.94 kg/dm ³	EN 1015-6
Densidad aparente del mortero endurecido y seco	≈ 1.72 kg/dm ³	EN 1015-10
pH mezcla	≥ 12	
Temperaturas límite de aplicación	de +5 °C a +35 °C	
Rendimiento	= 1.7 kg/dm ³	

PRESTACIONES FINALES		
Resistencia a compresión	Categoría M 5	EN 998-2
Coeficiente de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	≥ 15 ≤ 35 (valor tabulado)	EN 1015-19
Absorción de agua por capilaridad	≈ 0.7 kg/(m ² · min ^{0.5})	EN 1015-18
Reacción al fuego	Clase A1	EN 13501-1
Resistencia a cizalladura inicial	≥ 0.2 N/mm ²	EN 1052-3
Adherencia al soporte (ladrillo)	≥ 0.5 N/mm ² - FP: B	EN 1015-12
Contenido de cloruros	≤ 0.004% Cl	EN 1015-17
Conductividad térmica ($\lambda_{10, dry}$)	0.83 W/mK (valor tabulado)	EN 1745
Durabilidad (hielo-deshielo)	Valoración basada sobre las características válidas en el lugar de uso previsto del mortero	EN 998-2

Toma de datos a +20 ± 2 °C de temperatura, 65 ± 5% H.R. y sin ventilación. Pueden variar en función de las condiciones particulares de cada obra.

El procés d'elaboració de les provetes està indicat a la norma UNE-EN 1015-11 “Mètode d'assaig dels morters per a fàbrica”.

A.- Indicacions relatives a la realització, conservació i curat de les provetes.

.- De cada amassada s'agafa 1,5l de morter per fer 3 provetes rectangulars de dimensions 16x4x4cm.

.- El motlle metàl·lic es munta sobre una placa de vidre i dues capes de gasa de cotó. Aquest s'omple amb morter aplicat en dues capes. Cada capa es compacta amb 25 cops. El morter sobrant es retira amb un enrasador.

.- Es col·loquen dues capes de gasa de cotó sobre la superfície del morter i, després, sis capes de paper de filtre absorbent. El paper es cobreix amb una placa de vidre. Se li dóna la volta al motlló. Es retira el

vidre superior i es posen 6 capes de paper de filtre absorbent. Es torna a col·locar el paper i es torna el motllo a la seva posició original. Es col·loca un pes de 5 kg a sobre.

.- Passades 3 hores, el pes i la placa de vidre es retiren. Es treuen el paper de filtre absorbent i la gasa de la part superior del motllo i es torna a posar la placa de vidre. Se li dóna la volta al motllo i es retira la gasa i el paper de l'altra cara.

.- El motllo es col·loca dins una bossa de polietilè durant 5 dies. Després les provetes obtingudes es conserven 2 dies més en la bossa. Després es conserven 21 dies en una cambra humida amb una humitat relativa del 65%.



Fig. 12: Provetes de morter elaborades seguint el procediment establert.

Un cop elaborades les provetes de morter, es procedeix a trencar-les seguint la normativa anteriorment esmentada (UNE-EN 1015-11 “*Mètode d'assaig dels morters per a fàbrica*”).

B.- Indicacions relatives a la realització de l'assaig.

Al cap de 28 dies de curat en ambient controlat, les provetes es preparen per posar-les a la premsa seguint el següent procés:

.- Col·locar a la màquina un estri de 16x16 cm que distribueixi la càrrega a la proveta.

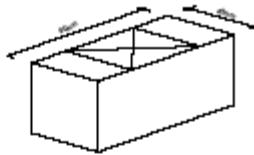
.- Col·locar la proveta centrada a la màquina d'assaig amb les seves cares llises en contacte amb els plats de la màquina.

Les provetes es tallen per la meitat i després es posen a la premsa, de tal manera que de cada amassada en surten tres provetes que després de ser tallades, es converteixen en sis provetes per amassada. La càrrega s'aplica mitjançant esglaons de velocitat constant i es va augmentant progressivament a un ritme comprès entre 50N/s i 500N/s (Newton/segon) de manera que la ruptura es produueixi després d'un lapse de temps comprès entre 30 i 90 segons.

Els resultats obtinguts, es presenten a les següents taules:

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE MORTER**PROVETES DE MORTER****NORMATIVA**

UNE-EN 1015-11 Març del 2000 Mètode d'assaig de morters per a l'obra de fàbrica. Part 11: Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit.

Croquis de la proveta

Designació del morter: Cal hidràulica natural pura NHL 3,5

PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]			Data de trencament	Càrrega de ruptura		Vel. de trencament [N/mm ²]/seg
		A	B	Sup. d'aplicació de la càrrega [mm ²]		[Tn]	[N]	
m11a	21/03/2012	40	40	1600	16/05/2012	1,818	17834,58	0,11
m11b	21/03/2012	40	40	1600	17/05/2012	1,802	17677,62	0,22
m11c	21/03/2012	40	40	1600	21/05/2012	2,122	20816,82	0,22
m11d	21/03/2012	40	40	1600	21/05/2012	2,199	21572,19	0,22
m11e	21/03/2012	40	40	1600	21/05/2012	1,998	19600,38	0,22
m11f	21/03/2012	40	40	1600	21/05/2012	2,234	21915,54	0,22
m21a	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	0,914	8966,34	0,22
m21b	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	0,613	6013,53	0,22
m21c	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,326	13008,06	0,22
m21d	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,320	12949,2	0,22
m21e	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,784	17501,04	0,22
m21f	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012			
m22a	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,860	18246,6	0,22
m22b	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,653	16215,93	0,22
m22c	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,516	14871,96	0,22
m22d	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,489	14607,09	0,22
m22e	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,533	15038,73	0,22
m22f	28/03/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,491	14626,71	0,22
m23a	16/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,320	12949,2	0,22
m23b	17/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,370	13439,7	0,22
m23c	21/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,309	12841,29	0,22
m23d	21/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,410	13832,1	0,22
m23e	21/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,404	13773,24	0,22
m23f	21/05/2012	40	40	1600	25/05/2012	1,346	13204,26	0,22
m31a	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	1,545	15156,45	0,22
m31b	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	1,848	18128,88	0,22
m31c	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	1,659	16274,79	0,22
m31d	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	1,617	15862,77	0,22
m31e	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	2,047	20081,07	0,22
m31f	04/04/2012	40	40	1600	30/05/2012	1,725	16922,25	0,22
m41a	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,106	10849,86	0,22
m41b	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,187	11644,47	0,22
m41c	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,011	9917,91	0,22
m41d	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,232	12085,92	0,22
m41e	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,216	11928,96	0,22
m41f	11/04/2012	40	40	1600	06/06/2012	1,335	13096,35	0,22

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE MORTER**PROVETES DE MORTER**

NORMATIVA | UNE-EN 1015-11 Març del 2000 Mètode d'assaig de morters per a l'obra de fàbrica. Part 11: Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit.

CODI PROVETA	Data de fabricació	Dimensions [mm]			Data de trençament	Càrrega de ruptura		Vel. de trençament [N/mm ²]/seg
		A	B	Sup. d'aplicació [mm ²]		[Tn]	[N]	
m51a	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	1,311	12860,91	0,22
m51b	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	1,291	12664,71	0,22
m51c	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	1,218	11948,58	0,22
m51d	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	0,628	6160,68	0,22
m51e	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	1,304	12792,24	0,22
m51f	18/04/2012	40	40	1600	13/04/2012	1,128	11065,68	0,22
m61a	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,024	10045,44	0,22
m61b	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,287	12625,47	0,22
m61c	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,461	14332,41	0,22
m61d	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,399	13724,19	0,22
m61e	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,192	11693,52	0,22
m61f	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,08	10594,8	0,22
m62a	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	0,963	9447,03	0,22
m62b	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,038	10182,78	0,22
m62c	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,049	10290,69	0,22
m62d	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	1,066	10457,46	0,22
m62e	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	0,969	9505,89	0,22
m62f	25/04/2012	40	40	1600	20/04/2012	0,97	9515,7	0,22
m71a	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,463	4542,03	0,22
m71b	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,613	6013,53	0,22
m71c	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,573	5621,13	0,22
m71d	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0	0	0,22
m71e	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,652	6396,12	0,22
m71f	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0	0	0,22
m72a	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,976	9574,56	0,22
m72b	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	1,049	10290,69	0,22
m72c	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,602	5905,62	0,22
m72d	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	1,392	13655,52	0,22
m72e	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,943	9250,83	0,22
m72f	02/05/2012	40	40	1600	27/05/2012	0,817	8014,77	0,22

OBSERVACIONS

m21f La proveta es carregada a velocitat molt alta degut a un error de manipulació, la premsa aplica la càrrega [mm/s] i no a [Tn/s]. *Resultat no vàlid*

m71d i m71f Es descarta per problemes tècnics amb la premsa. *Resultat no vàlid*

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE MORTER**PROVETES DE MORTER**

NORMATIVA UNE-EN 1015-11 Març del 2000 Mètode d'assaig de morters per a l'obra de fàbrica. Part 11: Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit.

PROVETA	Dimensions [mm]		Sup. d'aplicació de la càrrega [mm ²]	Càrrega de ruptura		Resistència [N/mm ²]	3)Resistències [N/mm ²]	Resistència mitja [N/mm ²]	Resistència mitja de totes les provetes [N/mm ²]
	A	B		[Tn]	[N]				
m11a	40	40	1600	1,818	17834,58	11,15			
m11b	40	40	1600	1,802	17677,62	11,05			
m11c	40	40	1600	2,122	20816,82	13,00			
m11d	40	40	1600	2,199	21572,19	13,50			
m11e	40	40	1600	1,998	19600,38	12,25			
m11f	40	40	1600	2,234	21915,54	13,70	74,7	12,5	
m21a	40	40	1600	0,914	8966,34	5,60			
m21b	40	40	1600	0,613	6013,53	3,75			
m21c	40	40	1600	1,326	13008,06	8,15			
m21d	40	40	1600	1,320	12949,2	8,10			
m21e	40	40	1600	1,784	17501,04	10,95	36,6	7,3	
m21f	40	40	1600	0	0	0,00			
m22a	40	40	1600	1,860	18246,6	11,40			
m22b	40	40	1600	1,653	16215,93	10,15			
m22c	40	40	1600	1,516	14871,96	9,30			
m22d	40	40	1600	1,489	14607,09	9,15			
m22e	40	40	1600	1,533	15038,73	9,40			
m22f	40	40	1600	1,491	14626,71	9,15	58,5	9,8	
m23a	40	40	1600	1,320	12949,2	8,10			
m23b	40	40	1600	1,370	13439,7	8,40			
m23c	40	40	1600	1,309	12841,29	8,05			
m23d	40	40	1600	1,410	13832,1	8,65			
m23e	40	40	1600	1,404	13773,24	8,60			
m23f	40	40	1600	1,346	13204,26	8,25	50,1	8,3	
m31a	40	40	1600	1,545	15156,45	9,45			
m31b	40	40	1600	1,848	18128,88	11,35			
m31c	40	40	1600	1,659	16274,79	10,15			
m31d	40	40	1600	1,617	15862,77	9,90			
m31e	40	40	1600	2,047	20081,07	12,55			
m31f	40	40	1600	1,725	16922,25	10,60	64,0	10,7	
m41a	40	40	1600	1,106	10849,86	6,80			
m41b	40	40	1600	1,187	11644,47	7,30			
m41c	40	40	1600	1,011	9917,91	6,20			
m41d	40	40	1600	1,232	12085,92	7,55			
m41e	40	40	1600	1,216	11928,96	7,45			
m41f	40	40	1600	1,335	13096,35	8,20	43,5	7,3	
m51a	40	40	1600	1,311	12860,91	8,05			
m51b	40	40	1600	1,291	12664,71	7,90			
m51c	40	40	1600	1,218	11948,58	7,45			
m51d	40	40	1600	0,628	6160,68	3,85			
m51e	40	40	1600	1,304	12792,24	8,00			
m51f	40	40	1600	1,128	11065,68	6,90	42,1	7,0	
m61a	40	40	1600	1,024	10045,44	6,30			
m61b	40	40	1600	1,287	12625,47	7,90			
m61c	40	40	1600	1,461	14332,41	8,95			
m61d	40	40	1600	1,399	13724,19	8,60			

INFORME D'ASSAIG DE RESISTÈNCIA A COMPRESSIÓ DE MORTER**PROVETES DE MORTER**

NORMATIVA UNE-EN 1015-11 Març del 2000 Mètode d'assaig de morters per a l'obra de fàbrica. Part 11: Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit.

PROVETA	Dimensions [mm]		Sup. d'aplicació de la càrrega [mm ²]	Càrrega de ruptura		Resistència [N/mm ²]	Resistències [N/mm ²]	Resistència mitja [N/mm ²]	Resistència mitja de totes les provetes [N/mm ²]
	A	B		[Tn]	[N]				
m61e	40	40	1600	1,192	11693,52	7,30			
m61f	40	40	1600	1,080	10594,8	6,60	45,6	7,6	
m62a	40	40	1600	0,963	9447,03	5,90			
m62b	40	40	1600	1,038	10182,78	6,35			
m62c	40	40	1600	1,049	10290,69	6,45			
m62d	40	40	1600	1,066	10457,46	6,55			
m62e	40	40	1600	0,969	9505,89	5,95			
m62f	40	40	1600	0,970	9515,7	5,95	37,1	6,2	
m71a	40	40	1600	0,463	4542,03	2,85			
m71b	40	40	1600	0,613	6013,53	3,75			
m71c	40	40	1600	0,573	5621,13	3,50			
m71d	40	40	1600		0				
m71e	40	40	1600	0,652	6396,12	4,00			
m71f	40	40	1600		0		14,1	3,5	
m72a	40	40	1600	0,976	9574,56	6,00			
m72b	40	40	1600	1,049	10290,69	6,45			
m72c	40	40	1600	0,602	5905,62	3,70			
m72d	40	40	1600	1,392	13655,52	8,55			
m72e	40	40	1600	0,943	9250,83	5,80			
m72f	40	40	1600	0,817	8014,77	5,00	35,5	5,9	8,3

OBSERVACIONS

m21f La proveta es carregada a velocitat molt alta degut a un error de manipulació, la premsa aplica la càrrega [mm/s] i no a [Tn/s]. *Resultat no vàlid*

m71 tota la sèrie descartada per problemes tècnics amb la premsa

Es registra la resistència de cada proveta amb una aproximació de 0,05 N/mm²; amb 0,1 N/mm² la mitjana.



Fig. 23: Assaig a compressió del morter.

4.4.- Caracterització de la fàbrica: resistència a la compressió.

L'Empresa en el seu moment, confecciona dues provetes emprant peces ceràmiques corresponents elements enderrocats a Sant Pau. Com a morter s'utilitza un de característiques similars al existent a les voltes. Aquestes provetes s'utilitzen inicialment a l'assaig per determinar el mòdul de Young dinàmic. Posteriorment, de la peça inicial se n'obtenen dues de 290 x 290 x 80 mm que són les emprades en l'assaig a compressió simple de la fàbrica.

La resistència a la compressió es determina a partir d'assaig de proveta en premsa hidràulica. L'assaig és relativament simple: coneguts la força màxima aplicada mitjançant el pistó de la premsa i la secció transversal de la peça, es pot determinar la resistència característica a compressió.

En general, en els assaigs no s'ha obtingut el valor màxim, ja que s'ha arribat al trencament de la peça per altres causes.

La secció transversal a partir de la qual es determina la resistència a la compressió de la fàbrica és 290 x 80 mm.

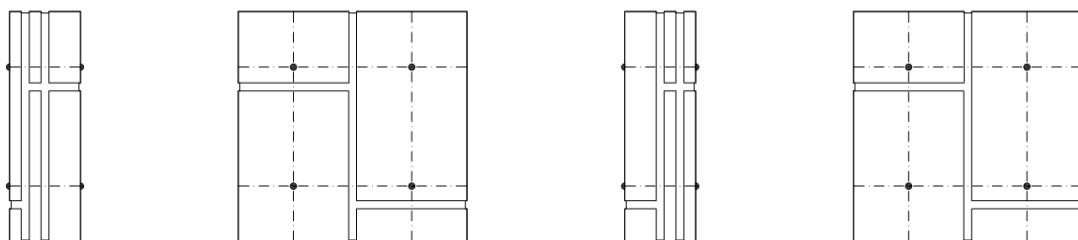


Fig. 24. Posició dels DEMEC durant la prova corresponent a la compressió màxima de la fàbrica.

La càrrega màxima mesurada en l'instant del trencament a cadascuna de les provetes ha estat:

Primera proveta (F_1):

$$F_1 = 153225.18 \text{ N} \quad (02)$$

Primera proveta (F_2):

$$F_2 = 213252.13 \text{ N} \quad (03)$$

Per determinar la tensió emprem l'expressió habitual

$$\sigma = \frac{F_i}{A} \quad (04)$$

On:

σ : tensió a la secció.

F_i : força i-èsima aplicada.

f_m : Area transversal de la peça, en sentit perpendicular a la força aplicada.

Els valors obtinguts han estat:

$$\sigma_1 = \frac{153225.18}{290 \cdot 80} = 6,60 \text{ MPa} \quad (05)$$

$$\sigma_1 = \frac{213252.13}{290.80} = 9,19 MPa$$

(06)

Aquests valors no estan penalitzats per cap factor, ni per cap coeficient corrector.

4.5.- Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young estàtic.

Emprant els valors obtinguts durant l'assaig de les dues provetes anteriorment definides, es procedeix a determinar el valor del mòdul de Young estàtic.

Per poder determinar la llei tensió – deformació que permetrà obtenir el mòdul de Young, s'instrumenten les provetes amb 3 sistemes alternatius, la qual cosa donarà informació redundant per poder procedir a l'obtenció d'aquest valor de forma ajustada.

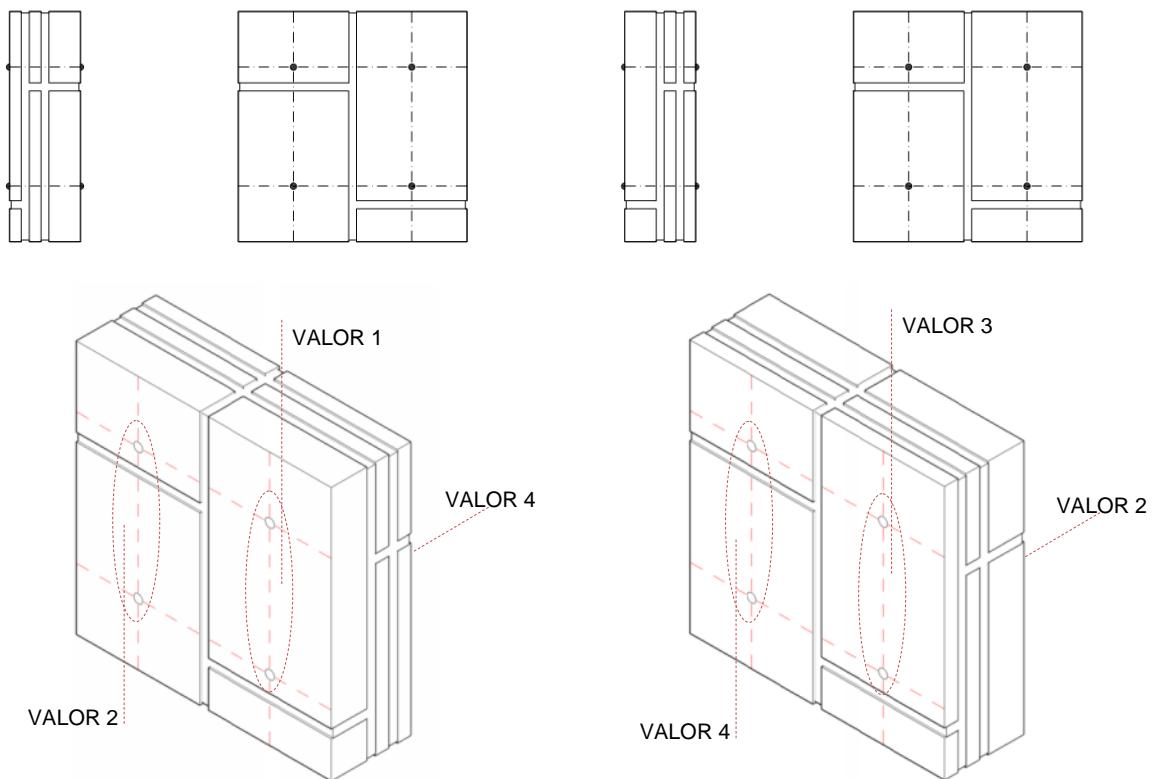


Fig. 25. Alçats i perspectives de la mostra de ceràmica analitzada extreta d'una volta de l'Hospital de Sant Pau.

4.5.1.- Breu descripció de l'assaig.

Tal com s'ha indicat anteriorment, per mesurar els desplaçaments i/o les deformacions unitàries (les deformacions es converteixen posteriorment en deformacions unitàries referint el desplaçament mesurat amb la longitud mesurada a partir de l'expressió:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{\Delta L}{L} \quad (07)$$

On:

ε : allargament unitari

L : distància entre les referències de la mesura.

δ : increment (positiu o negatiu) de la distància respecte a les referències inicials.

Resulta important fer notar la diferència entre:

- mesures efectuades sobre el material (entre els punts de referència de la mesura existeix un únic material).

Amb aquesta col·lecció de mesures obtenim propietats de la ceràmica.

- mesures efectuades sobre la fàbrica (entre els punts de referència de la mesura existeixen dos materials).

Amb aquesta col·lecció de mesures obtenim propietats de la fàbrica, ja que la mesura incorpora el comportament de la peça i d'almenys una junta de morter.

Al fer la mesura s'han utilitzat tres sistemes independents:

- Galges extensomètriques.

Aquestes mesures són locals i únicament involucren a un dels materials.

- DEMEC (Demountable mechanical strain gauge).

El que mesurem es el increment de distància entre dues referències (δ) al aplicar-hi un increment de càrrega (F_i). Obtenim dos tipus de dada:

- Casos on hi ha una junta de morter entre els dos DEMEC.

Obtenim dades relatives al comportament de la fàbrica.

- Casos on NO hi ha una junta de morter entre els dos DEMEC.

Obtenim dades relatives al comportament de la ceràmica

- Transductors de desplaçament.

Les mesures obtingudes amb el transductor sempre incorporen junes de morter, per la qual cosa, el resultat sempre està referit al comportament de la fàbrica.



Fig. 26: Vistes lateral i frontal de la mostra, un cop col·locada a la premsa.

Amb aquesta configuració, s'obtenen:

- 4 mesures de DEMEC (δ). (dues referides a la fàbrica i dues referides a la ceràmica).

- 4 mesures de transductor de desplaçament (δ). (totes quatre referides al comportament de fàbrica)

- 2 mesures de galga extensomètrica (μ_s). (referides al comportament de la ceràmica).

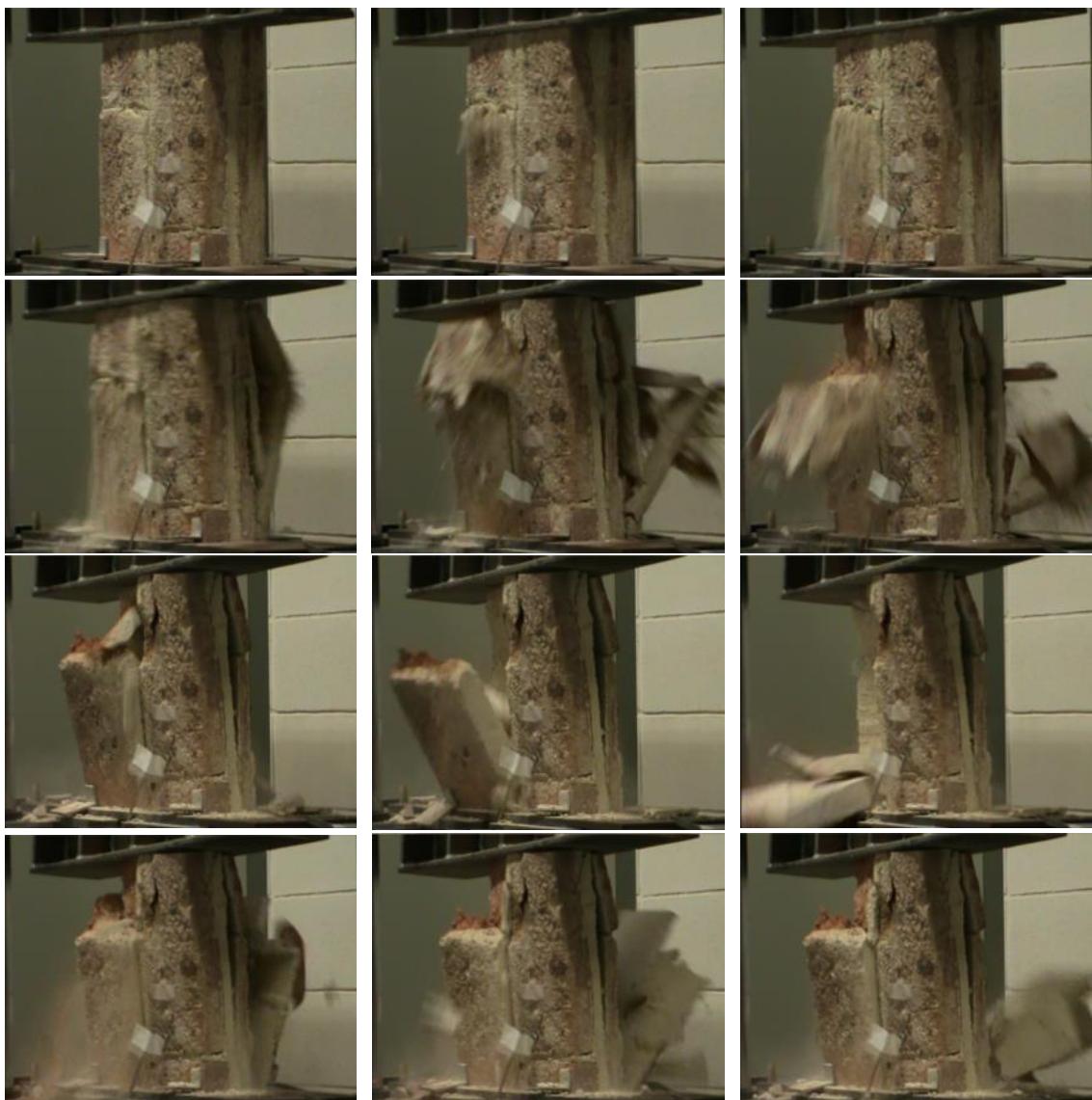


Fig. 27: Seqüència d'imatges del trencament de la peça d'assaig.

A la primera línia del fotograma, s'observa com el trencament comença a les junes de morter. A continuació es formen junes verticals desolidaritzant-se les diferents capes de ceràmica. Finalment, el col·lapse s'inicia per inestabilitat a les capes externes.

4.5.2.- Resultat de les mesures dels DEMEC

1^a PROVA

VALOR 1	VALOR 2	VALOR 3	VALOR 4
9,54	8,88	9,76	9,75
9,38	7,26	9,80	5,54
9,48	7,25	9,85	5,50
9,45	7,18	9,75	5,38
9,47	7,12	8,78	5,30
9,44	7,10	9,70	5,22
9,40	7,08	9,69	5,14
9,42	7,03	9,64	5,08
9,39	7,00	9,44	5,03
9,40	6,92	9,58	4,78
9,36	6,97	9,53	4,91
9,30	6,89	9,44	4,78

2^a PROVA

VALOR 1	VALOR 2	VALOR 3	VALOR 4
9,36	9,36	9,36	9,28
9,34	9,22	9,31	9,26
9,26	9,29	9,38	9,29
9,29	9,37	9,49	9,28
9,335	9,365	9,45	9,29
9,30	9,365	9,45	9,22
9,27	9,34	9,435	9,12
9,24	9,25	9,43	9,02
9,21	9,10	9,38	8,89
9,15	8,95	9,34	8,78
9,14	8,785	9,32	8,68
9,09	8,56	9,26	8,545
9,055	8,40	9,25	8,46

Com es pot comprovar a la gràfica, hi ha valors que surten de la tendència natural de l'assaig. Solen ser degudes a errors de mesura (“outliers”). Aquestes mesures han estat obviades a l'hora de calcular el valor del mòdul de Young.

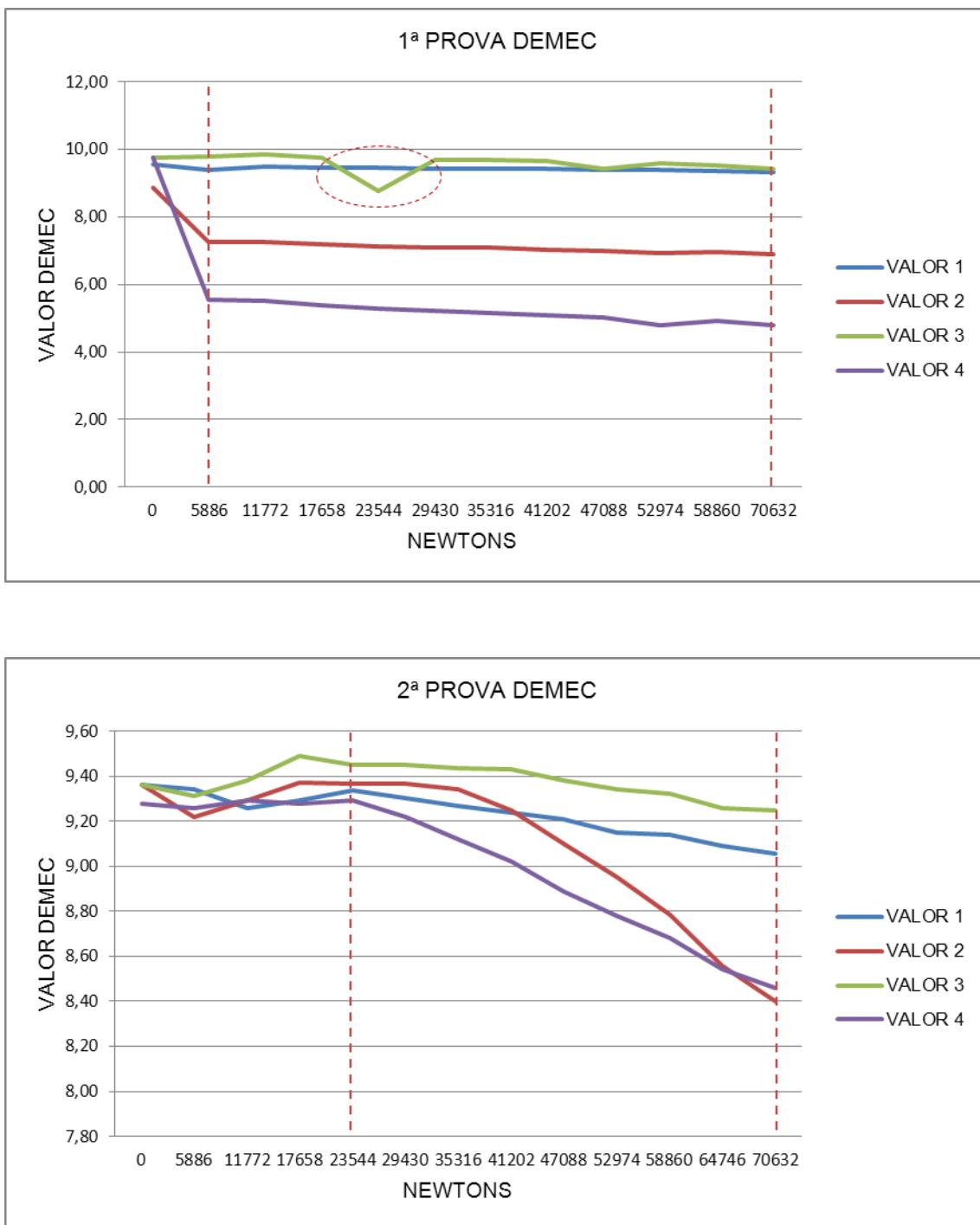


Fig. 28: Assaig amb DEMEC. Valors corresponents a les proves 1 i 2.

Tal com era d'esperar, es formen dues famílies de valors:

- .- valors 1 i 3. DEMEC que mesuren al comportament de la ceràmica
- .- valors 2 i 4. DEMEC que mesuren al comportament de la fàbrica.

Els valors obtinguts mitjançant el DEMEC han de ser corregits per un factor corrector. En el cas de l'equip emprat, és 0.16. Un cop feta la correcció sobre els valors, s'obté l'allargament unitari fent la següent operació:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (08)$$

Lògicament, con a cloenda, cal aproximar els valors finals obtinguts a una recta que els representi. S'assumeix que el mòdul de Young és un valor constant en l'interval de tensions i deformacions unitàries d'interès.

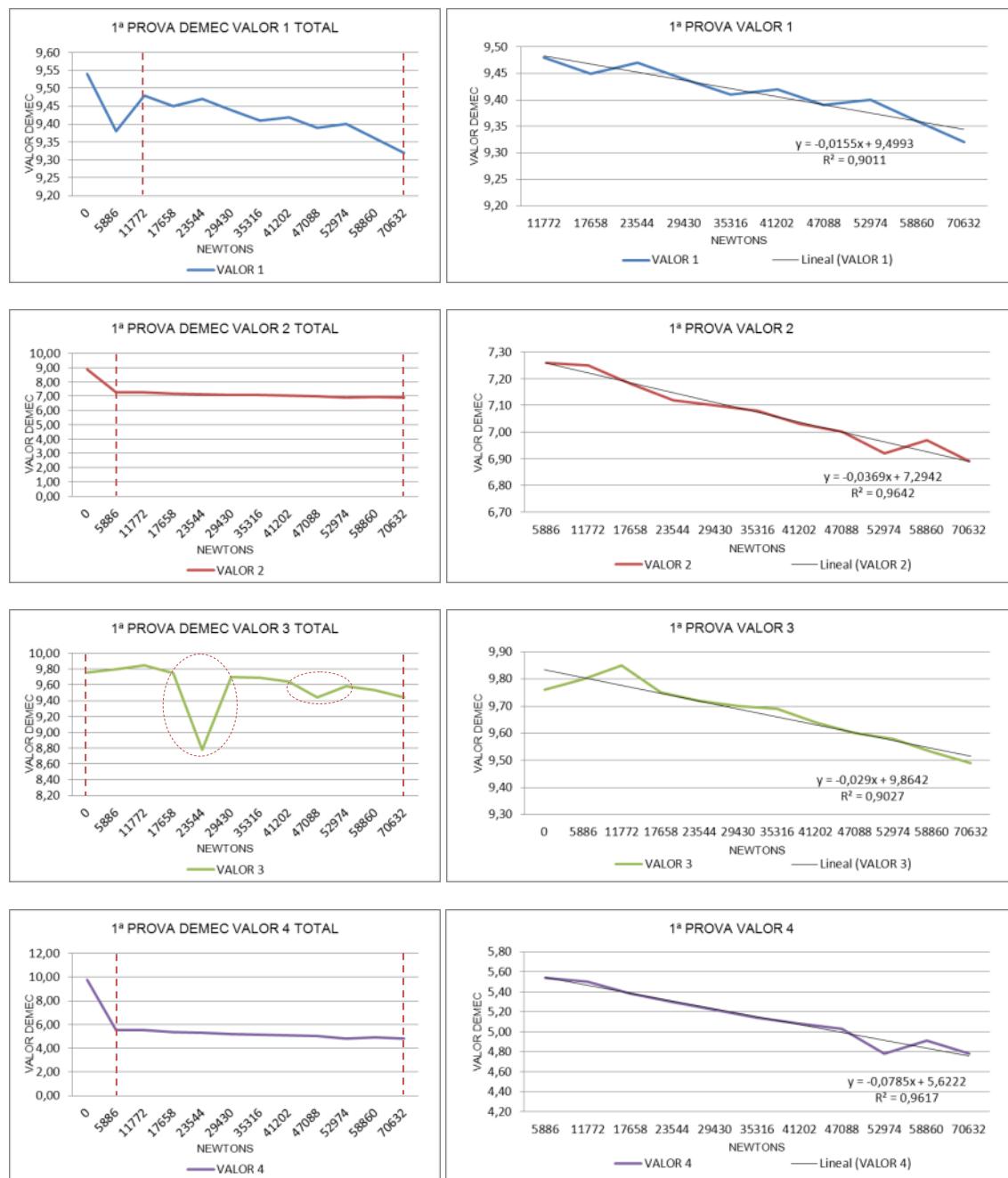


Fig. 29: Procediment per l'obtenció del mòdul de Young (primera proveta).

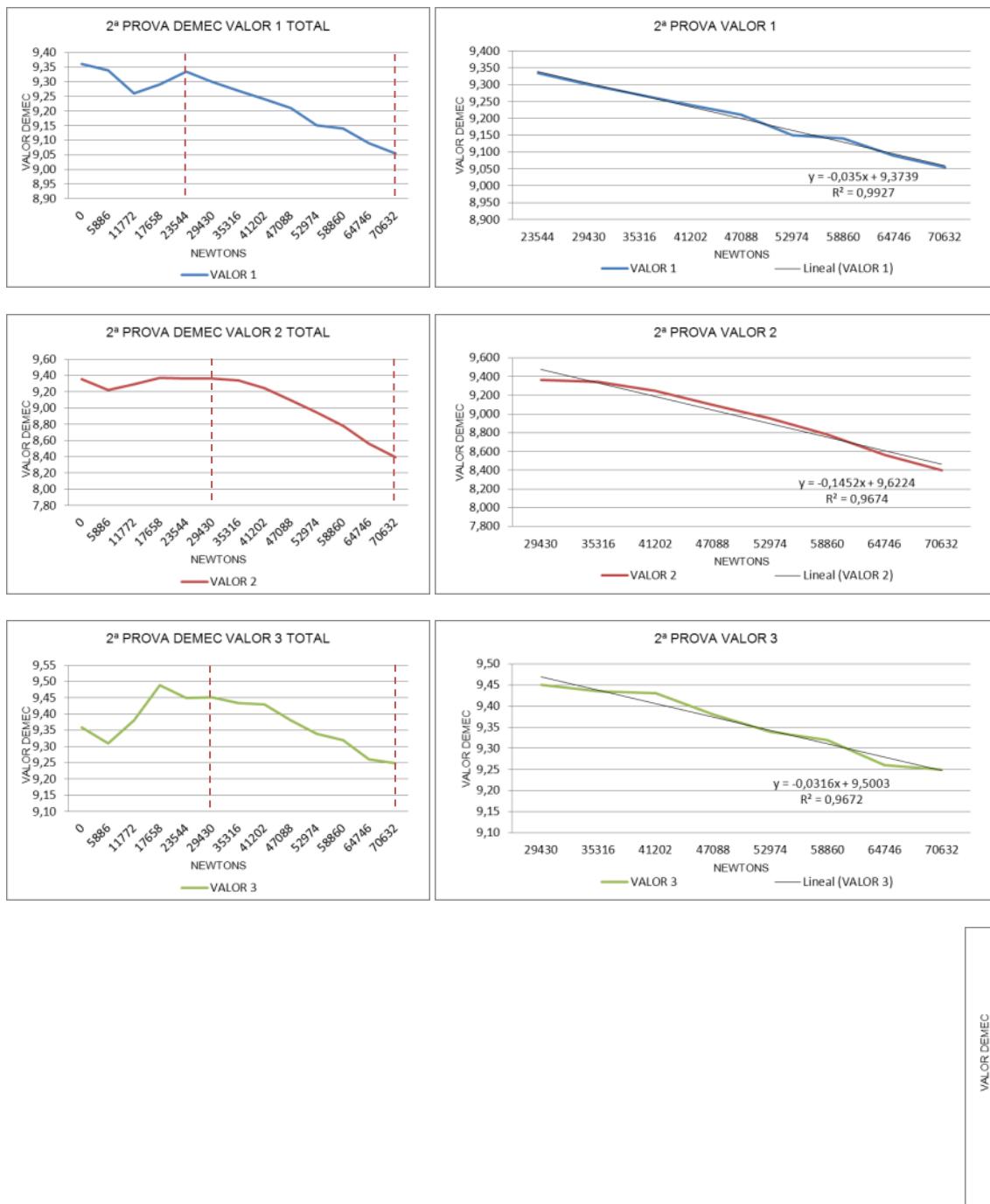


Fig. 30: Procediment per l'obtenció del mòdul de Young (segona proveta).

De forma analítica, i amb la totalitat de les dades determinades, es pot procedir a determinar el valor del mòdul de Young estàtic en el sentit longitudinal de la proveta. Per fer-ho només cal aplicar la llei de Hooke pròpia dels materials amb comportament elàstic i lineal:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{E \cdot L}{A \cdot \Delta L} \quad (09)$$

On:

- E : Mòdul d'elasticitat longitudinal (mòdul de Young)
- σ : Tensió exercida sobre l'àrea de secció transversal de l'objecte.
- ϵ : Deformació unitària en qualsevol punt de la peça.
- F : força aplicada.
- A : àrea de la secció transversal de la mostra. A= 23200mm².
- ΔL : increment de longitud de la mostra.
- L : distància inicial entre els dos DEMEC. L= 150mm.

Aplicant l'expressió anterior, obtenim els següents valors:

1^a PROVA DEMEC VALOR 1

	VALOR 1	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)			
1	9,54	0,000	0,000000	0	0,00			
2	9,38	0,026	0,000171	5886	0,25			
3	9,48	0,016	0,000107	11772	0,51			
4	9,45	0,005	0,000032	17658	0,76	PROMIG	ξ	0,000028
5	9,47	0,003	0,000021	23544	1,01		$\Delta\sigma$	0,28
6	9,44	0,005	0,000032	29430	1,27			
7	9,41	0,005	0,000032	35316	1,52			
8	9,42	0,002	0,000011	41202	1,78			
9	9,39	0,005	0,000032	47088	2,03			
10	9,40	0,002	0,000011	52974	2,28			
11	9,36	0,006	0,000043	58860	2,54			
12	9,32	0,006	0,000043	70632	3,04	E	9910,43 Mpa	

1^a PROVA DEMEC VALOR 2

	VALOR 2	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)			
1	8,88	0,000	0,000000	0	0,00			
2	7,26	0,259	0,001728	5886	0,25			
3	7,25	0,002	0,000011	11772	0,51	PROMIG	ξ	0,000050
4	7,18	0,011	0,000075	17658	0,76		$\Delta\sigma$	0,28
5	7,12	0,010	0,000064	23544	1,01			
6	7,10	0,003	0,000021	29430	1,27			
7	7,08	0,003	0,000021	35316	1,52			
8	7,03	0,008	0,000053	41202	1,78			
9	7,00	0,005	0,000032	47088	2,03			
10	6,92	0,013	0,000085	52974	2,28			
11	6,97	0,008	0,000053	58860	2,54			
12	6,89	0,013	0,000085	70632	3,04	E	5622,94 Mpa	

1^a PROVA DEMEC VALOR 3

	VALOR 3	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)			
1	9,76	0,000	0,000000	0	0,00			
2	9,80	0,006	0,000043	5886	0,25	PROMIG	ξ	0,000044
3	9,85	0,008	0,000053	11772	0,51		$\Delta\sigma$	0,28
4	9,75	0,016	0,000107	17658	0,76			
5	9,72	0,005	0,000032	23544	1,01			
6	9,70	0,003	0,000021	29430	1,27			
7	9,69	0,002	0,000011	35316	1,52			
8	9,64	0,008	0,000053	41202	1,78			
9	9,60	0,006	0,000043	47088	2,03			
10	9,58	0,003	0,000021	52974	2,28			
11	9,53	0,008	0,000053	58860	2,54			
12	9,49	0,006	0,000043	70632	3,04	E	6460,13 Mpa	

1ª PROVA DEMEC VALOR 4

	VALOR 4	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)	PROMIG	ξ	0,000109
1	9,75	0,000	0,000000	0	0,00			
2	5,54	0,674	0,004491	5886	0,25			
3	5,50	0,006	0,000043	11772	0,51	PROMIG	ξ	0,000109
4	5,38	0,019	0,000128	17658	0,76		$\Delta\sigma$	0,28
5	5,30	0,013	0,000085	23544	1,01			
6	5,22	0,013	0,000085	29430	1,27			
7	5,14	0,013	0,000085	35316	1,52			
8	5,08	0,010	0,000064	41202	1,78			
9	5,03	0,008	0,000053	47088	2,03			
10	4,78	0,040	0,000267	52974	2,28			
11	4,91	0,021	0,000139	58860	2,54			
12	4,78	0,021	0,000139	70632	3,04	E	2590,96 Mpa	

2ª PROVA DEMEC VALOR 1

	VALOR 1	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)	PROMIG	ξ	0,000039
1	9,36	0,000	0,000000	0	0,00			
2	9,34	0,003	0,000021	5886	0,25			
3	9,26	0,013	0,000085	11772	0,51			
4	9,29	0,005	0,000032	17658	0,76			
5	9,335	0,007	0,000048	23544	1,01	PROMIG	ξ	0,000039
6	9,30	0,006	0,000037	29430	1,27		$\Delta\sigma$	0,25
7	9,27	0,005	0,000032	35316	1,52			
8	9,24	0,005	0,000032	41202	1,78			
9	9,21	0,005	0,000032	47088	2,03			
10	9,15	0,010	0,000064	52974	2,28			
11	9,14	0,002	0,000011	58860	2,54			
12	9,09	0,008	0,000053	64746	2,79			
13	9,055	0,006	0,000037	70632	3,04	E	6490,38 Mpa	

2ª PROVA DEMEC VALOR 2

	VALOR 2	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)	PROMIG	ξ	0,000147
1	9,36	0,000	0,000000	0	0,00			
2	9,22	0,022	0,000149	5886	0,25			
3	9,29	0,011	0,000075	11772	0,51			
4	9,37	0,013	0,000085	17658	0,76			
5	9,365	0,001	0,000005	23544	1,01			
6	9,365	0,000	0,000000	29430	1,27			
7	9,34	0,004	0,000027	35316	1,52	PROMIG	ξ	0,000147
8	9,25	0,014	0,000096	41202	1,78		$\Delta\sigma$	0,25
9	9,10	0,024	0,000160	47088	2,03			
10	8,95	0,024	0,000160	52974	2,28			
11	8,785	0,026	0,000176	58860	2,54			
12	8,56	0,036	0,000240	64746	2,79			
13	8,40	0,026	0,000171	70632	3,04	E	1699,95 Mpa	

2ª PROVA DEMEC VALOR 3

	VALOR 3	δ	ξ	Newtons	σ (MPa)	PROMIG	ξ	0,000031
1	9,36	0,000	0,000000	0	0,00			
2	9,31	0,008	0,000053	5886	0,25			
3	9,38	0,011	0,000075	11772	0,51			
4	9,49	0,018	0,000117	17658	0,76			
5	9,45	0,006	0,000043	23544	1,01			
6	9,45	0,000	0,000001	29430	1,27			
7	9,435	0,003	0,000017	35316	1,52	PROMIG	ξ	0,000031
8	9,43	0,001	0,000005	41202	1,78		$\Delta\sigma$	0,25
9	9,38	0,008	0,000053	47088	2,03			
10	9,34	0,006	0,000043	52974	2,28			
11	9,32	0,003	0,000021	58860	2,54			
12	9,26	0,010	0,000064	64746	2,79			
13	9,25	0,002	0,000011	70632	3,04	E	8162,31 Mpa	

2^a PROVA DEMEC VALOR 4

	VALOR 4	δ	ξ	Newton	σ (MPa)		
1	9,28	0,000	0,000000	0	0,00		
2	9,26	0,003	0,000021	5886	0,25		
3	9,29	0,005	0,000032	11772	0,51		
4	9,28	0,002	0,000011	17658	0,76		
5	9,29	0,002	0,000011	23544	1,01		
6	9,22	0,011	0,000075	29430	1,27		
7	9,12	0,016	0,000107	35316	1,52		
8	9,02	0,016	0,000107	41202	1,78	PROMIG ξ	0,000117
9	8,89	0,021	0,000139	47088	2,03	$\Delta\sigma$	0,25
10	8,78	0,018	0,000117	52974	2,28		
11	8,68	0,016	0,000107	58860	2,54		
12	8,545	0,022	0,000144	64746	2,79		
13	8,46	0,014	0,000091	70632	3,04	E	2130,68 Mpa

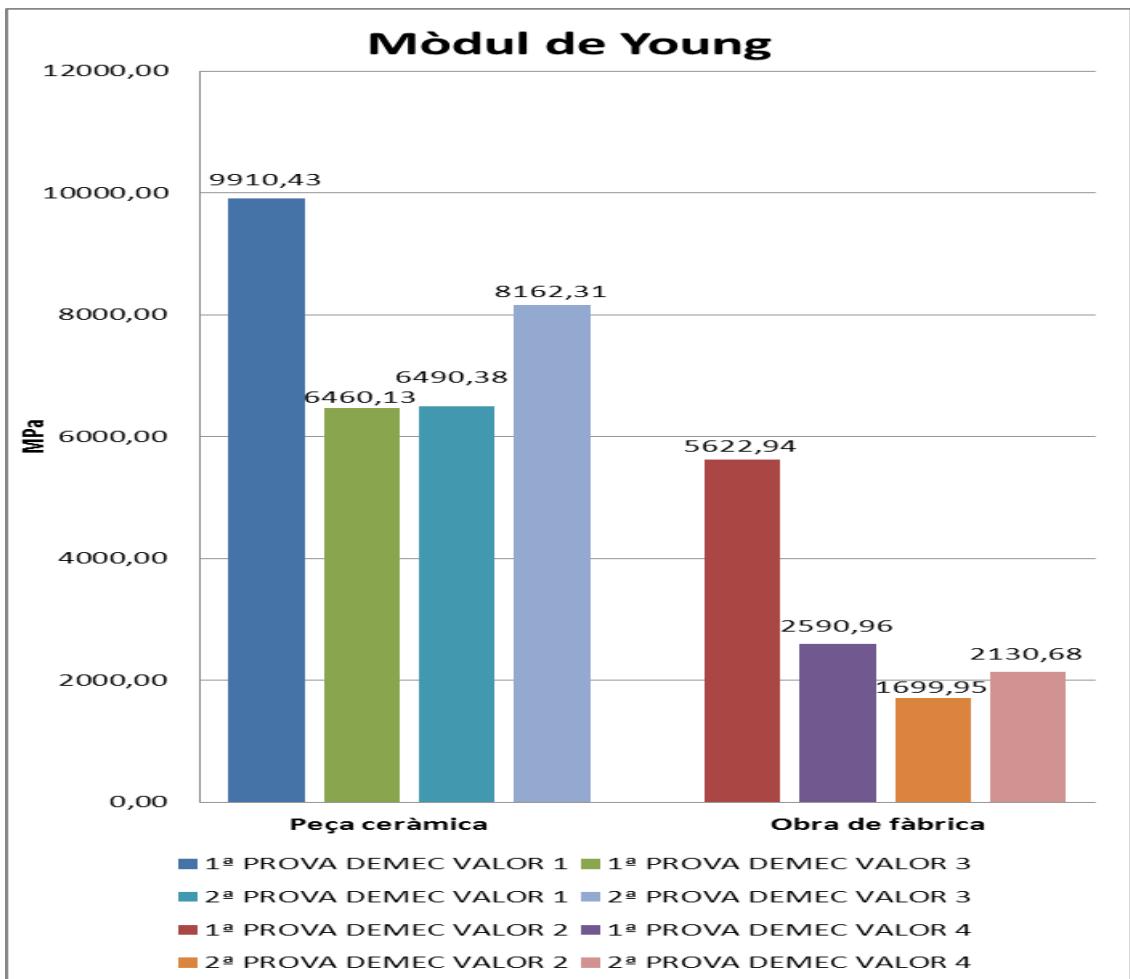


Fig. 31: Quadre resum dels valors corresponents als mòduls de Young de la fàbrica i de la ceràmica.

Fem el promig dels valors del mòdul de Young del totxo i de la fàbrica per separat i els resultats són:

$$E_{totxo} = 7755,81 \text{ MPa}$$

$$E_{fàbrica} = 3011,13 \text{ MPa}$$

4.5.3.- Resultat de les mesures dels transductors de desplaçament.

Tal com ja s'ha avançat, durant l'assaig es van utilitzar, apart dels DEMEC ja descrits, galges i transductors.

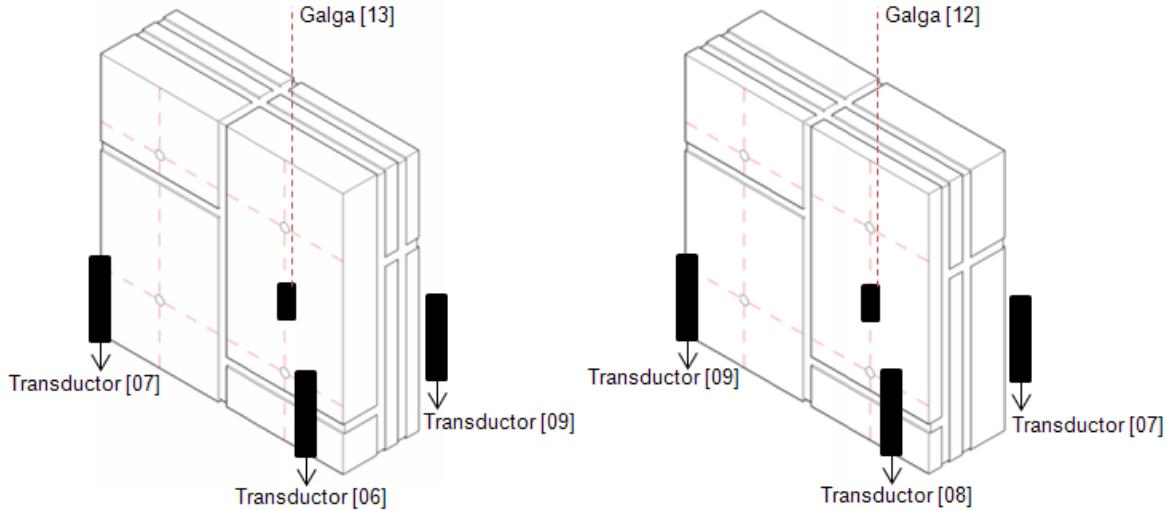
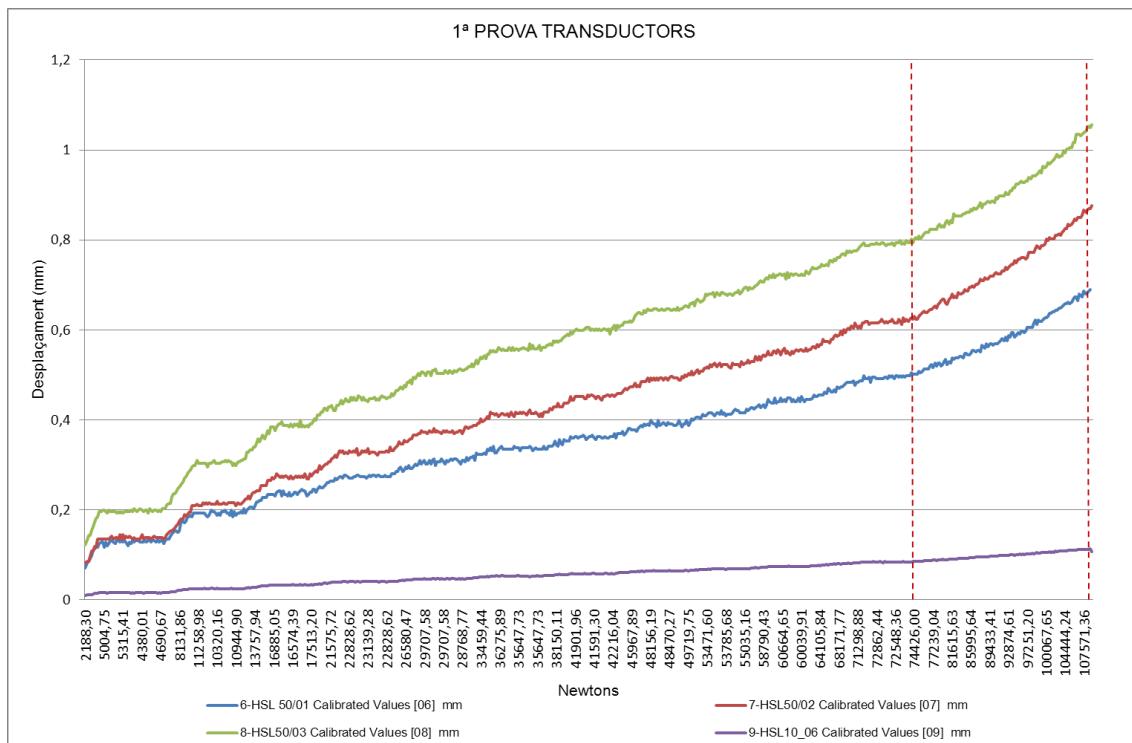


Fig. 32: Posició dels transductors de desplaçament i de les galges extensomètriques.

Les mesures corresponents als transductors de desplaçament, s'aturen instants abans de que s'arribi al trencament per evitar el seu deteriorament. És per aquest motiu que les lectures queden truncades.



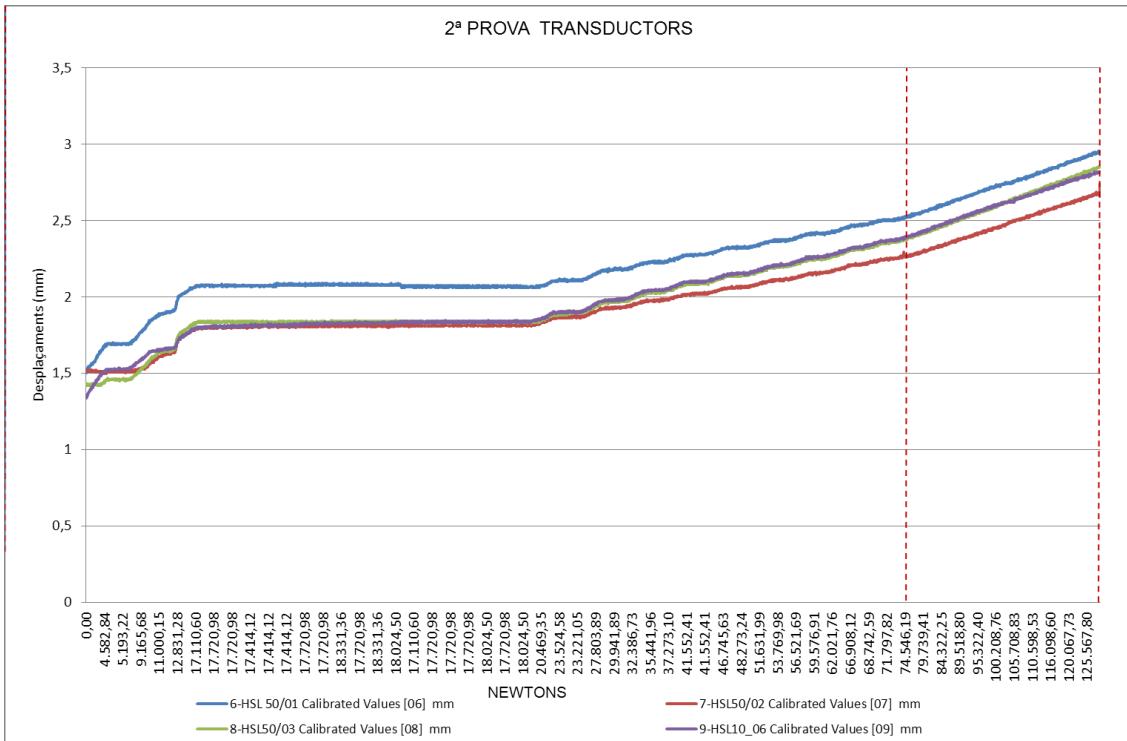


Fig. 33: Transductors de desplaçament. Resultats de les proves corresponents a les provetes 1 i 2.

El tram horitzontal es correspon a una aturada temporal del segon assaig. Per determinar el mòdul de Young únicament es té en compte, el tram ascendent final de la gràfica.

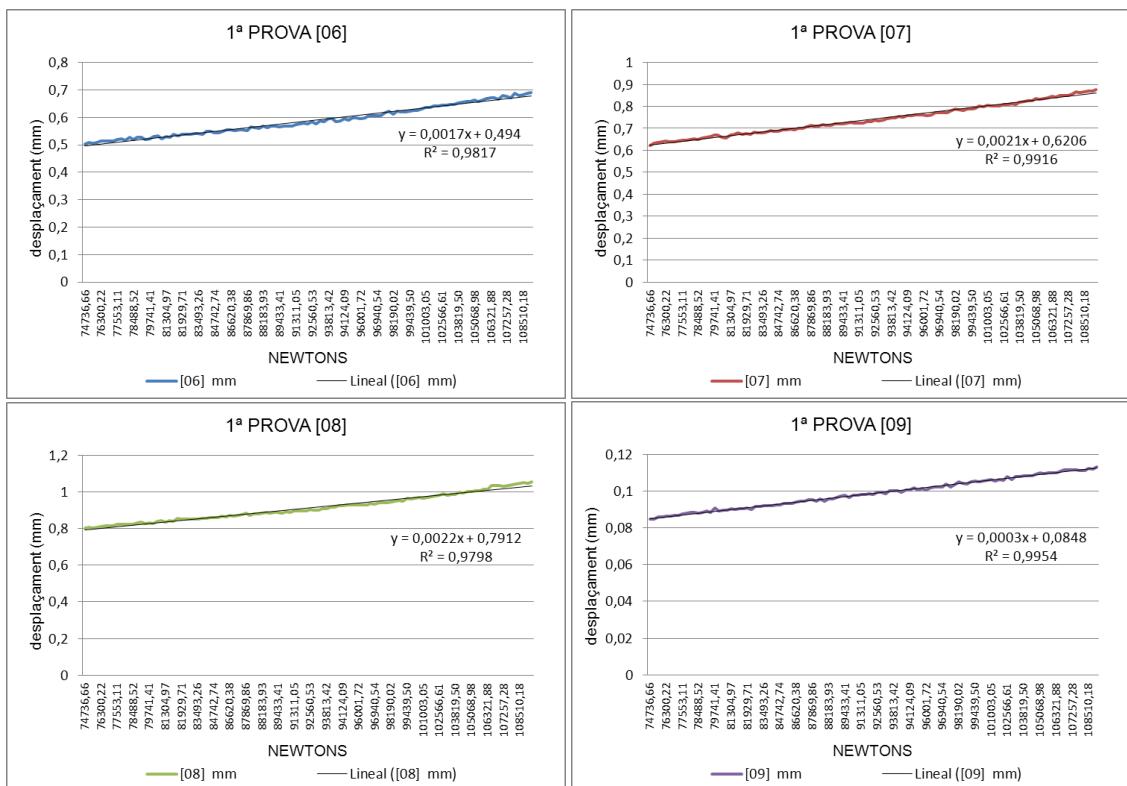


Fig. 34: Transductors de desplaçament. Resultats corresponents a la primera proveta.

A la primera prova, el canal [09] dóna uns resultats molt diferents de la resta de canals. Donat que l'error podria ser un problema del sistema, es desestima el canal [09] i es fa el promig dels 3 primers valors de la primera prova.

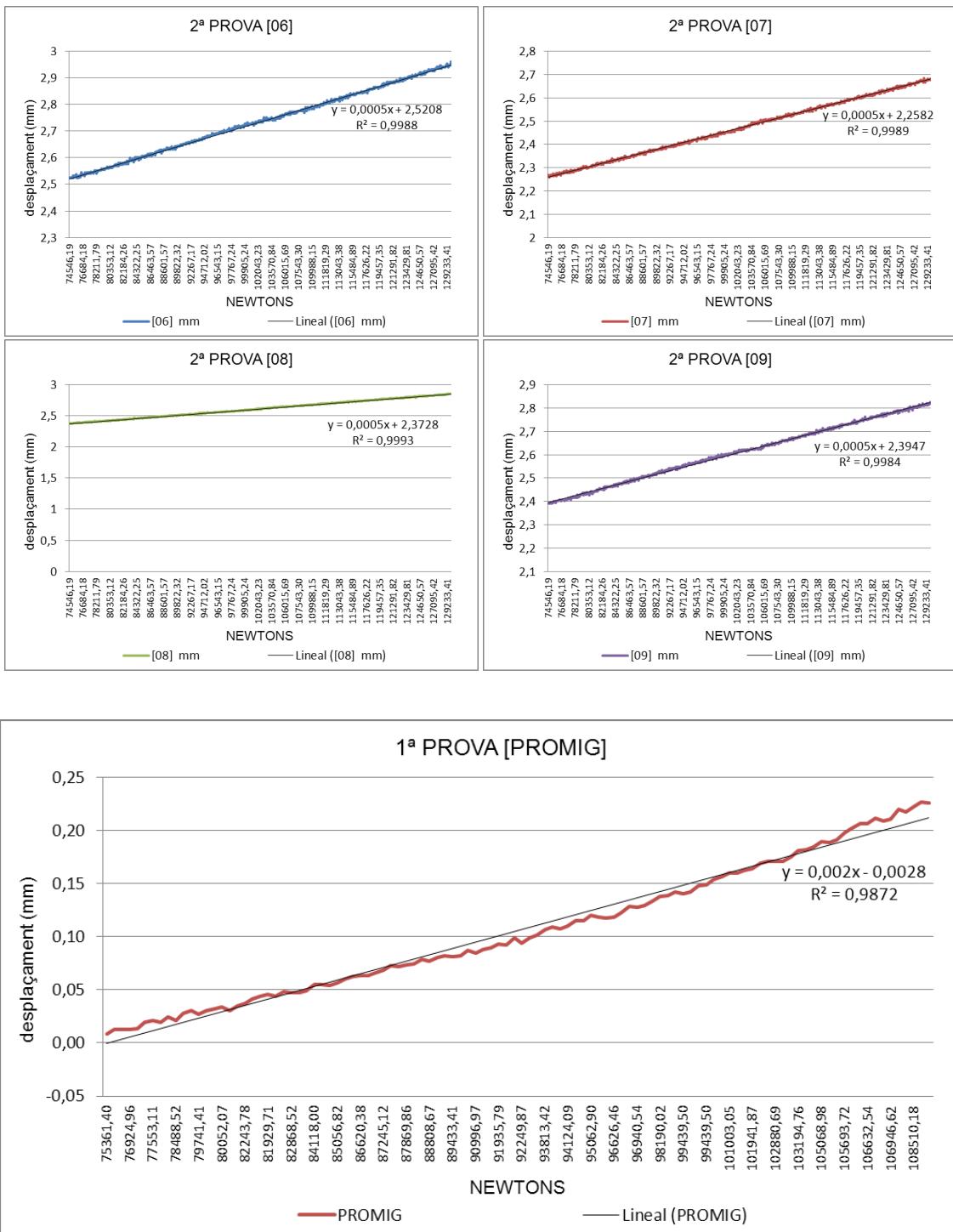
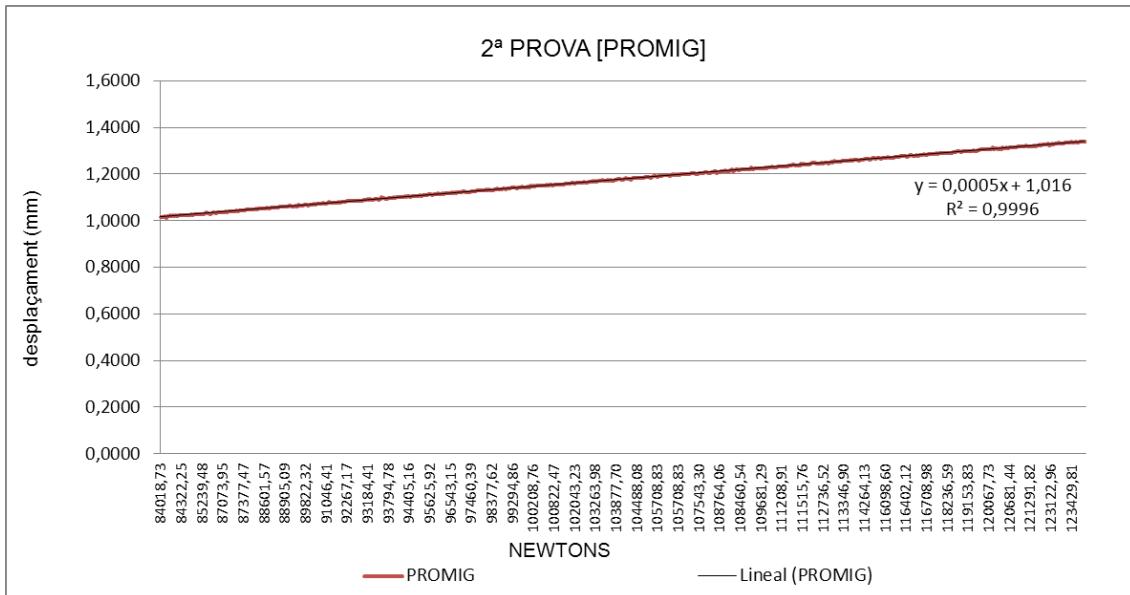


Fig. 35: Transductors de desplaçament. Valors promig corresponents a la primera proveta.



Fent el promig d'aquests valors ens dóna que per a la primera prova, el mòdul de Young de la fàbrica obtinguda amb els transductors és de:

$$E_{\text{fàbrica}} = 2385.35 \text{ MPa}$$

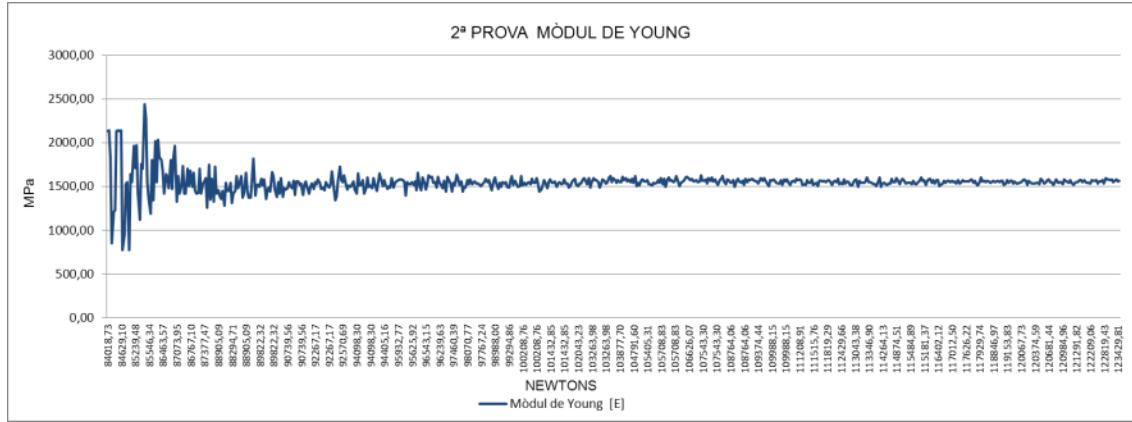


Fig. 38: Mòdul de Young corresponent a la segona prova.

Per la segona prova, el promig dels valors del Mòdul d'elasticitat longitudinal és de:

$$E_{\text{fàbrica}} = 1549.99 \text{ MPa}$$

4.5.4. Resultat de les mesures de les galges extensomètriques.

Avaluem a continuació les mesures obtingudes a partir de les galges. En aquest cas els resultats són:

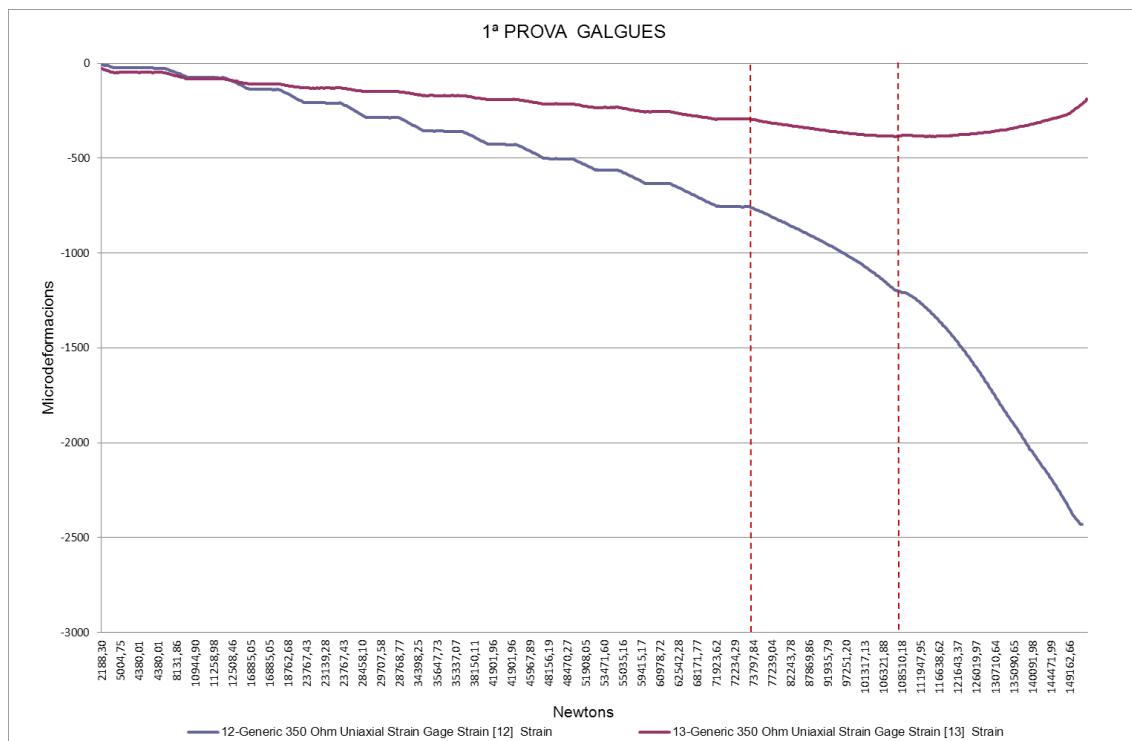


Fig. 39: Galges extensomètriques. Resultats corresponents a la primera proveta.

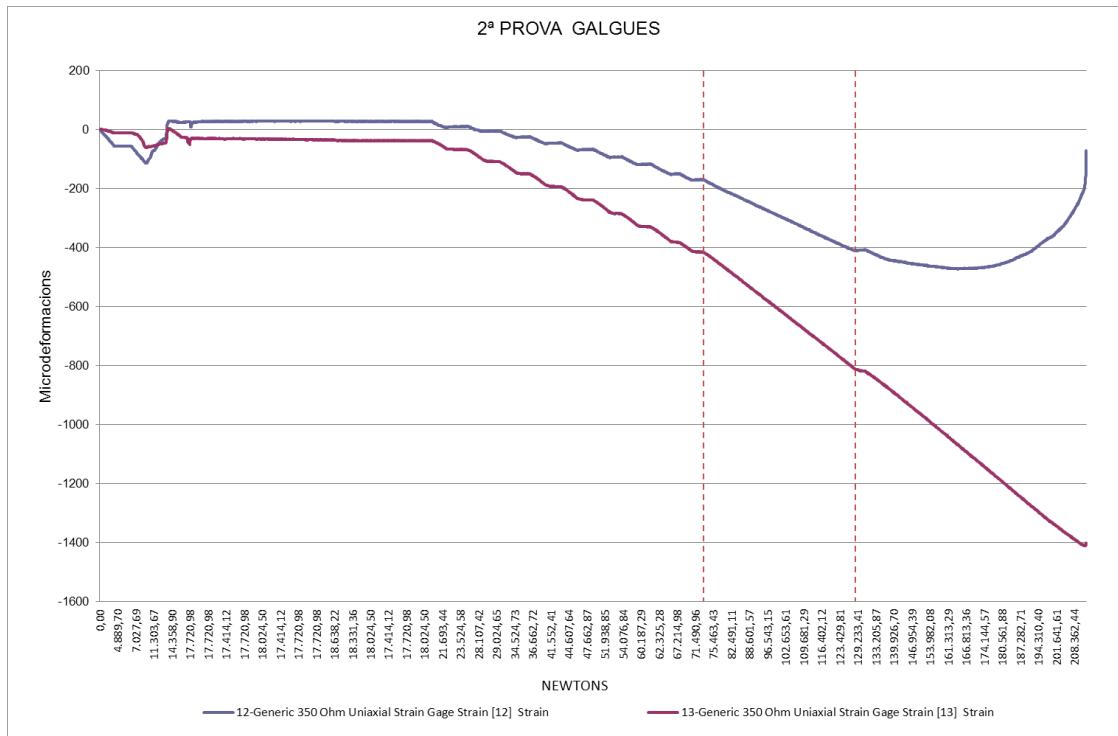


Fig. 40: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la segona proveta.

Seguint el mateix procediment que en els altres assajos, destriem el tram que ens interessa per a poder elaborar un millor ànalisi per a poder calcular el mòdul d'elasticitat longitudinal.

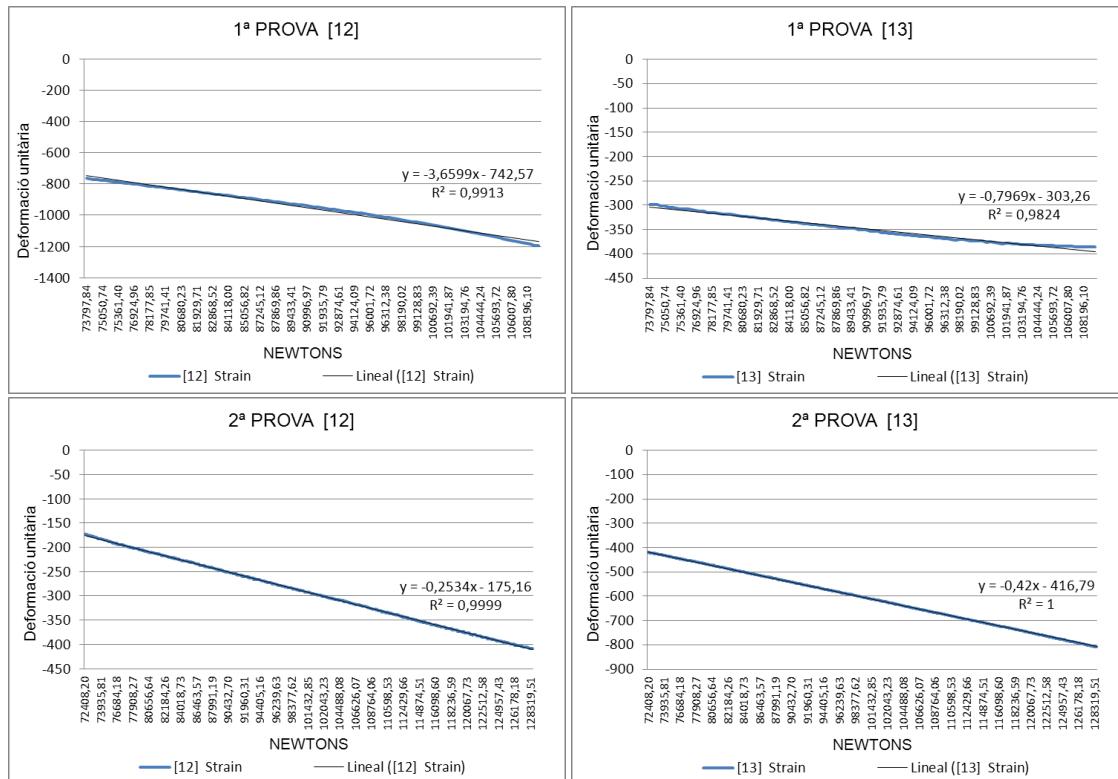


Fig. 2: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la primera i segona proveta.

Fent servir el mateix procediment que en els casos anteriors, obtenim els següents resultats:

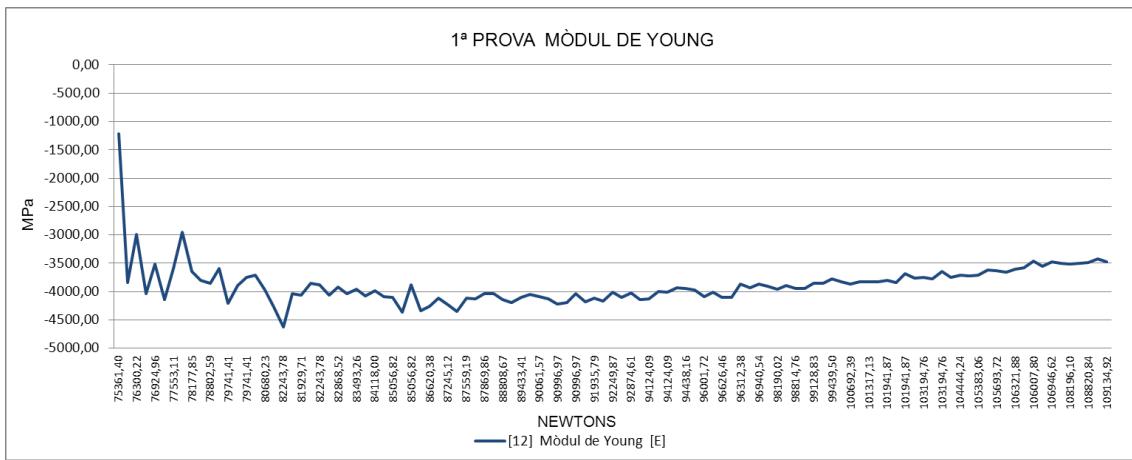


Fig. 42: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la primera i segona proveta.

Es procedeix de la mateixa manera que s'ha actuat davant els transductors. Es fa el promig dels valors del Mòdul de Young exposats a la gràfica, en aquest cas de la galga [12], i se n'obté:

$$E_{totxo} = 3875.72 \text{ MPa}$$

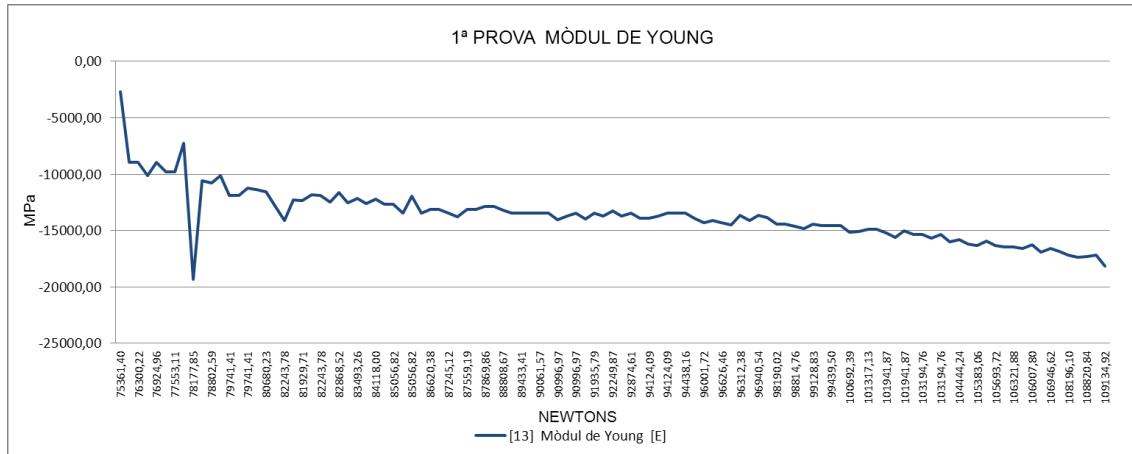


Fig. 43: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la primera i segona proveta.

El promig dels valors del Mòdul de Young de la peça ceràmica provenints de la galga [13] és:

$$E_{totxo} = 13672.88 \text{ MPa}$$

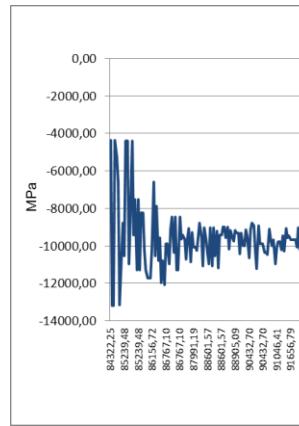


Fig. 44: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la primera i segona proveta.

I procedint de la mateixa manera a la segona prova:

$$E_{\text{totxo}} = 10058.18 \text{ MPa}$$

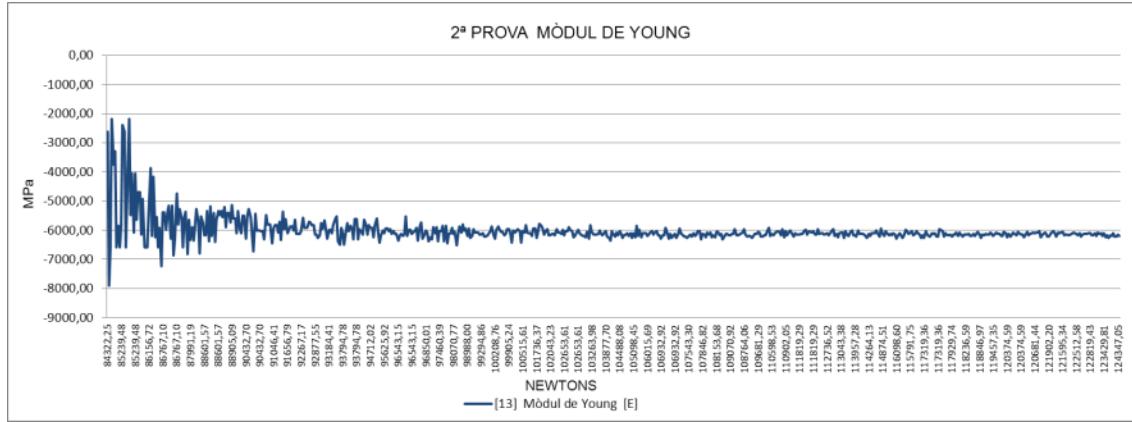


Fig. 45: Galgues extensomètriques. Resultats corresponents a la primera i segona proveta.

A la segona prova, galga [13], el promig dels valors del Mòdul de Young és:

$$E_{\text{totxo}} = 6013.12 \text{ MPa}$$

Aquests valors ens donen aquests valors com a resultat final per al Mòdul de Young, tant de la peça ceràmica com de la fàbrica en global.

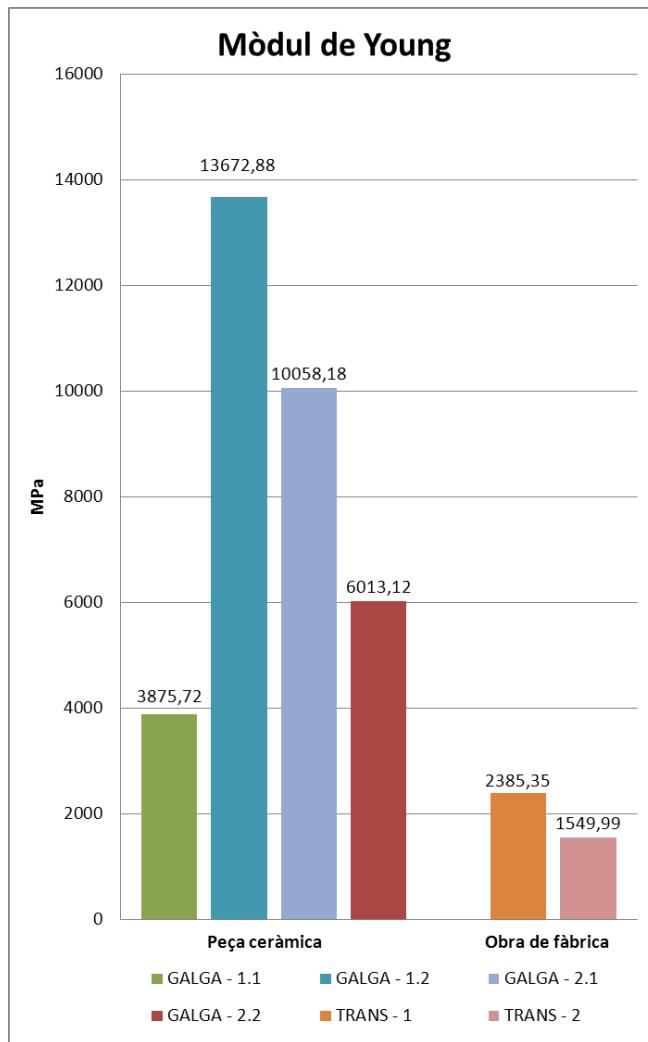


Fig. 46: Galgues extensomètriques i transductors de desplaçament: quadre resum.

El promig dels valors de la peça ceràmica, obtinguts per mitjà de les galgues, és de:

$$E_{\text{toxto}} = 8404.98 \text{ MPa}$$

El promig dels valors de l'obra de fàbrica, obtinguts per mitjà dels transductors, és de:

$$E_{\text{fàbrica}} = 1967.67 \text{ MPa}$$

El valor total del Mòdul d'Elasticitat Longitudinal extret de les proves de laboratori és el que dóna al combinar totes les proves executades.

DEMEC

$$E_{\text{toxto-demec}} = 7755.81 \text{ MPa}$$

GALGA

$$E_{\text{toxto-galga}} = 8404.98 \text{ MPa}$$

$$E_{toxto} = 8080.39 \text{ MPa}$$

DEMEC

$$E_{fàbrica-demec} = 3011.13 \text{ MPa}$$

TRANSDUCTOR

$$E_{fàbrica-trans} = 1967.67 \text{ MPa}$$

$$E_{fàbrica} = 2489.40 \text{ MPa}$$

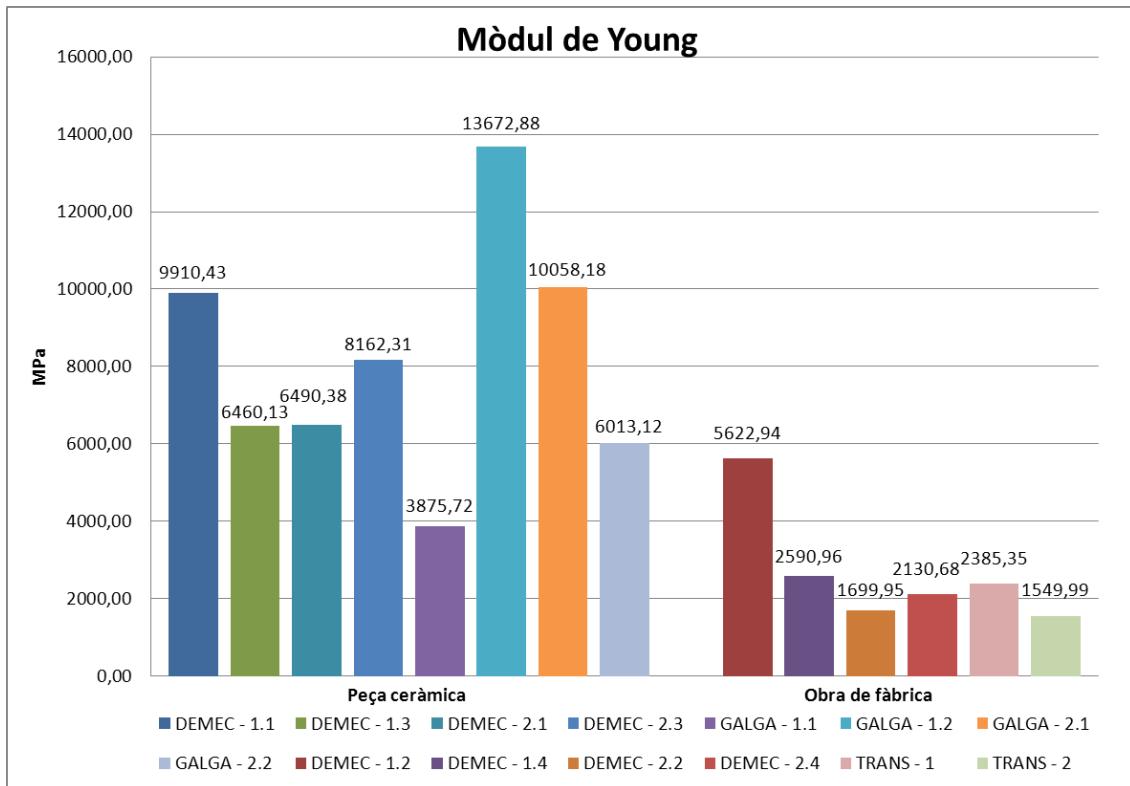


Fig. 47: Quadre resum final.

4.6.- Caracterització de la fàbrica: Mòdul de Young dinàmic.

Per a poder trobar el Mòdul de Young dinàmic, és necessari dur a terme una anàlisi experimental de la fàbrica mitjançant proves dinàmiques.

Es programari emprat a la prova ha estat LMS Pimento (extracció de senyals temporals i tractament de les mateixes mitjançant transformada de Fourier) i el Test-Lab (identificació dels paràmetres modals). Ambdós productes són de la Companyia LMS International.

El procediment d'identificació es basa en un procés d'actualització de dades on s'utilitzen dades de caràcter experimental (Pimento + Test.Lab) i les dades corresponents a un model numèric (ANSYS).

4.6.1.- Descripció de l'assaig.

Les proves s'efectuen sobre una peça d'obra ceràmica rectangular allargada de 882.5x290x85mm. A fi de millorar la qualitat de les dades evitant el soroll propi de les condicions de contorn, es simulen condicions lliure - lliure. Això s'aconsegueix mitjançant un joc de 4 molles especialment dissenyades per l'experiment. En el model numèric es simulen les mateixes condicions de contorn.



Fig. 48: Prova per determinar el mòdul de Young dinàmic.

Es generen dues col·leccions de dades consistents cadascuna d'elles en:

- .- les freqüències (autovalors del sistema).
- .- els seus corresponents modes associats (autovectors del sistema).

La primera col·lecció correspon als resultats experimentals, mentre que la segona correspon als valors obtinguts numèricament.

A fi de poder correlacionar de forma inequívoca els valors de les freqüències experimentals i les numèriques, es comparen els seus modes corresponents. D'aquesta manera s'evita que tot i tenir valors semblants, estem comparant freqüències corresponents a modes diferents.

En el cas de les freqüències numèriques caldrà descartar els sis primers valors, ja que es tracta de freqüències amb valors iguals o molt pròxims a zero, i que es corresponen amb els modes de sòlid rígid.

En el cas del model experimental, caldrà identificar també aquests modes i aïllar-los ja que es pretén comparar únicament modes flexibles.

El procediment seguit per determinar el mòdul de Young dinàmic mitjançant la informació descrita anteriorment és el següent:

A.- Introduir l'estructura d'anàlisi en el Ansys.

B.- Programar dins ANSYS utilitzant APDL (Ansys Parametric Design Language) una rutina que calcula les 10 primeres freqüències per diferents valors del mòdul de Young.

C.- Comparar la i-èsima freqüència experimental amb la col·lecció corresponent a la i-èsima freqüència numèrica.

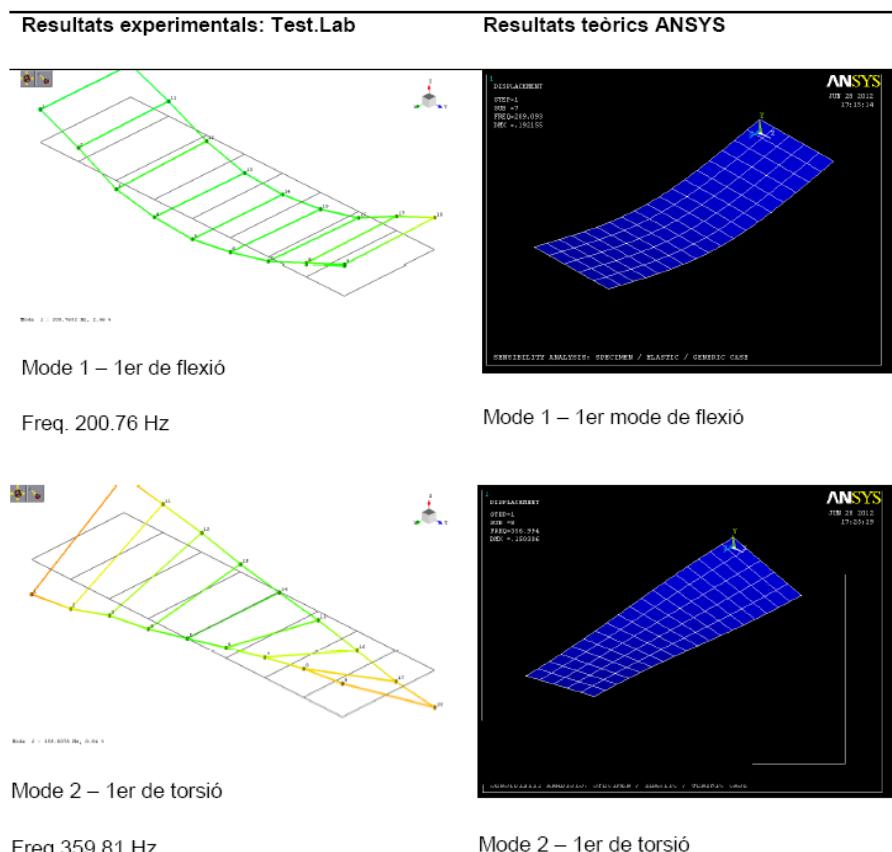
Guardar el valor del mòdul de Young corresponent a la freqüència numèrica que es correspon amb la experimental.

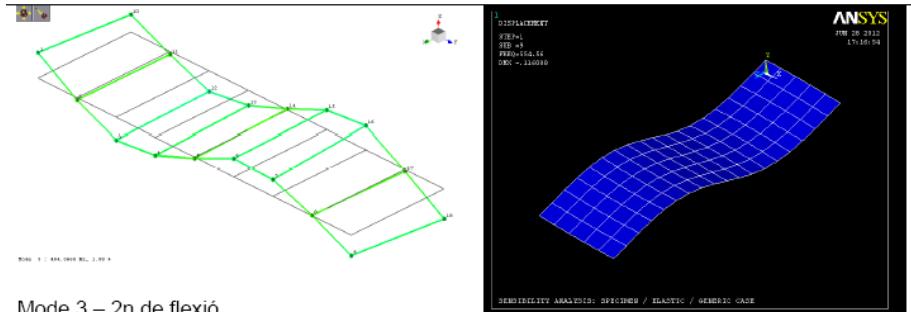
El mòdul de Young ha de coincidir sensiblement en tots els i-èsims casos estudiats. En qualsevol cas, és condició indispensable que els modes corresponents a ambdues freqüències siguin el mateix.

4.6.2. Resultats obtinguts.

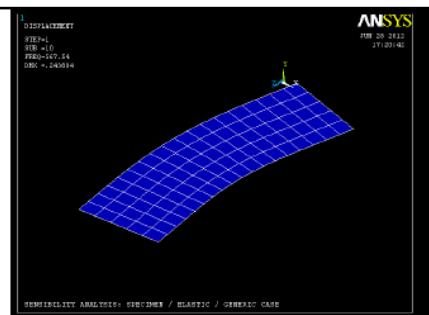
4.6.2.1. Correlació de modes.

- Dimensions: 882.5x290x85mm
- Densitat: 1710.06 kg/m³

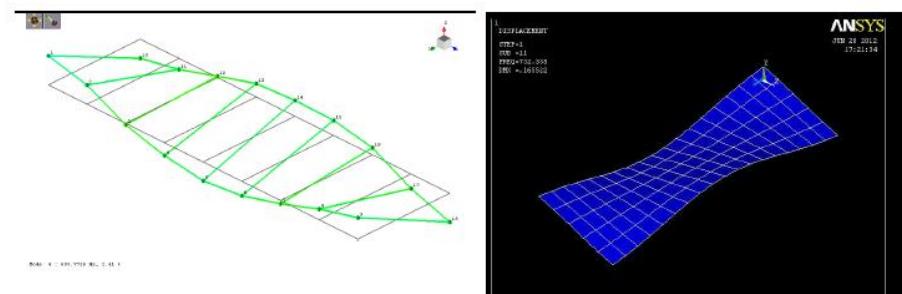




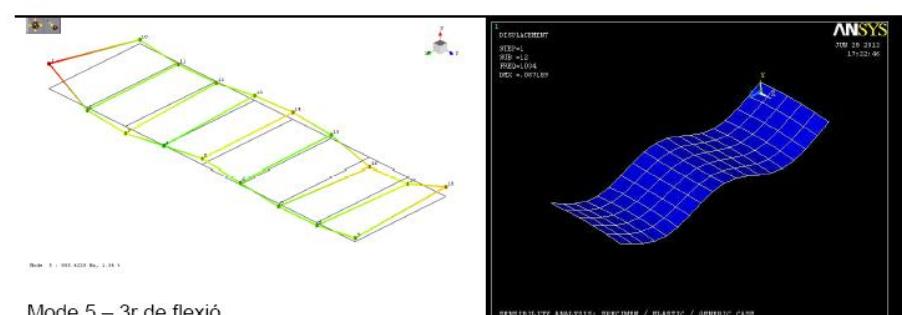
Aquest mode no és possible de ser detectat amb el Test.Lab ja que els acceleròmetres tan sols detecten els moviments experimentats en l'eix vertical i aquests es troben sobre el pla horitzontal.



Mode 4 – 3r de Flexió

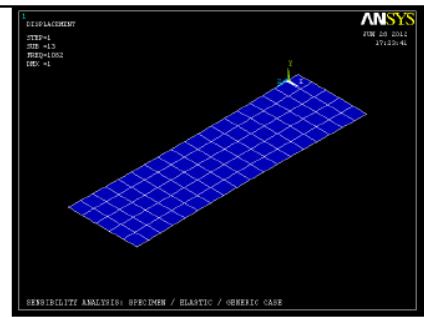


Mode 5 – 2n de torsió

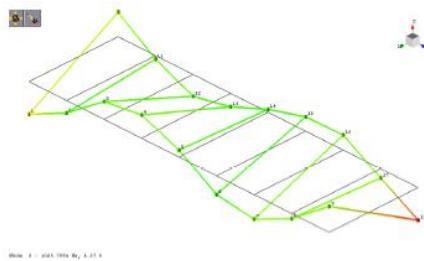


Mode 6 – 4t de flexió

Aquest mode no és possible de ser detectat amb el Test.Lab ja que els acceleròmetres tan sols detecten els moviments experimentats en l'eix vertical i aquests es troben sobre el pla horitzontal.

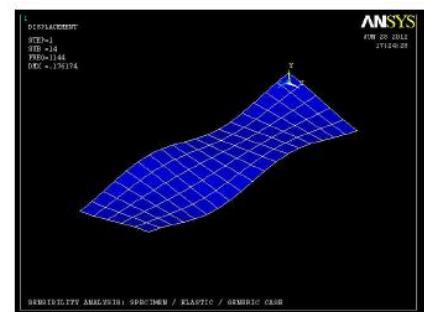


Mode 7 – 5è de flexió



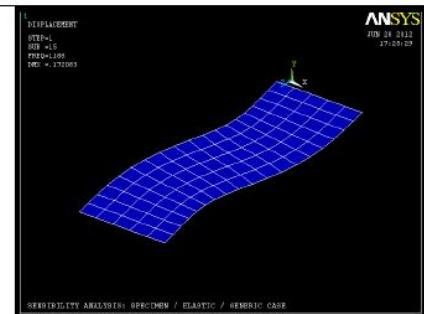
Mode 6 – 3r de torsió

Freq. 1025.80 Hz



Mode 8 – 3er de torsió

Aquest mode no és possible de ser detectat amb el Test.Lab ja que els acceleròmetres tan sols detecten els moviments experimentats en l'eix vertical i aquests es troben sobre el pla horitzontal.



Mode 9 – 6è de flexió

Fig. 49: Correlació entre modes experimentals i numèrics.

A la pàgina següent hi ha les correlacions directes obtingudes. Els valors presenten una certa variabilitat, ja que no s'ha inclòs l'esmorteïment en el càlcul de les freqüències numèriques.

La freqüència natural experimental menys esmorteïda, es correspon amb la primera. S'ha introduït l'esmorteïment a les següents, observant-se una clara convergència cap aquest valor. Per tant, s'ha optat per prendre els valors corresponents a la primera freqüència com als més significatius.

És important veure que en aquest cas, el valor té sentit com a ordre de magnitud, ja que no s'està interessat en el valor en si, si no en determinar l'error comès si es fa servir el mòdul de Young estàtic per ajustar els models numèrics dinàmics.

- Mode [Exp] 1 → Freq. 200.76 Hz → Mode [Teo]1
- Mode [Exp] 2 → Freq. 359.81 Hz → Mode [Teo]2
- Mode [Exp] 3 → Freq. 484.37 Hz → Mode [Teo]3
- Mode [Exp] 4 → Freq. 693.77 Hz → Mode [Teo]5
- Mode [Exp] 5 → Freq. 885.42 Hz → Mode [Teo]6
- Mode [Exp] 6 → Freq. 1025.80 Hz → Mode [Teo]9

MODE 1									
1700000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	169.07	288.67	448.42
1800000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	173.98	297.04	461.42
1900000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	178.74	305.18	474.07
2000000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	183.39	313.10	486.38
2100000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	187.92	320.84	498.39
2200000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	192.34	328.39	510.12
2300000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	196.66	335.77	521.59
2400000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200.89	342.99	532.80
2500000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	205.03	350.06	543.79
2600000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	209.09	356.99	554.56
2700000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	213.08	363.79	565.12
2800000000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	216.99	370.47	575.49

Mode	Freqüència Experimental	Mode	Freqüència teòrica	Densitat	Mòdul Young
Mode [EXP] 1	200,76 Hz	Mode [TEO] 1	196'66 - 200'89 Hz	1.710'06 kg/m ³	2'4-2'5·10E9 N/m ²
Mode [EXP] 2	359,81 Hz	Mode [TEO] 2	356'99 - 363'79 Hz	1.710'06 kg/m ³	2'6-2'7·10E9 N/m ²
Mode [EXP] 3	484,37 Hz	Mode [TEO] 3	474'07 - 486'38 Hz	1.710'06 kg/m ³	1'9-2'0·10E9 N/m ²
Mode [EXP] 4	693,77 Hz	Mode [TEO] 5	703'60 - 718'11 Hz	1.710'06 kg/m ³	2'3-2'4·10E9 N/m ²
Mode [EXP] 5	885,42 Hz	Mode [TEO] 6	883'89 - 906'85 Hz	1.710'06 kg/m ³	1'9-2'0·10E9 N/m ²
Mode [EXP] 6	1025,80 Hz	Mode [TEO] 8	1003,3 - 1028'11 Hz	1.710'06 kg/m ³	2'0-2'1·10E9 N/m ²

En aquest cas hi ha molt bona coherència en els resultats obtinguts del mòdul de Young. Aquest valor es troba entre 2'3 i 2'4·10⁹ N/m².

Fig. 50: Taula: correlació entre freqüències numèriques i experimentals.

4.7. Correlació entre el Mòdul de Young estàtic i el Mòdul de Young dinàmic.

Del resultat del quadre anterior, es dedueix que en aquest cas, els mòduls de Young estàtic i dinàmic de la fàbrica, pràcticament coincideixen.

En el model 1 analitzat al laboratori per mitjà d'anàlisi dinàmic, ens dóna que el Mòdul de Young dinàmic és de 2300MPa a 2400MPa. Un resultat molt similar als resultats dels anàlisis de la fàbrica obtinguts per mitjà del trencament de la peça amb premsa. El resultat d'aquesta prova ha estat que el Mòdul de Young estàtic té de valor 2489,40MPa.

4.8. Influència dels reforços de la fàbrica mitjançant capes addicionals.

A fi de poder determinar l'eficàcia d'un reforç fet a la volta mitjançant l'aplicació d'una capa d'un producte específicament dissenyat per fer aquesta funció de l'Empresa Mapei, es trien quatre provetes de les desenvolupades a una campanya de laboratori en curs a Girona, i se'ls hi aplica el mencionat producte.

Les provetes no estan fetes amb el material de les voltes del pavelló de l'Administració, pel fet que es tracta d'una consulta feta en el transcurs d'aquest treball, però no prevista inicialment.

4.8.1. Descripció del procediment seguit.

L'objectiu és comprovar si l'aplicació d'aquest material millora el comportament del material base, i en quin sentit ho fa.

Els materials emprat sen la confecció de les provetes són:

- .- Peces ceràmiques de la rajoleria Quintana fetes de forma manual.
- .- Morter de cal Biocalce. Es tracta d'un morter de cal natural del tipus NHL-3.5

les provetes d'obra de fàbrica es realitzen a trencajunts amb una geometria uniforme de 600x570x70mm en el cas de les provetes que es carregaran descansant sobre una aresta horitzontal i de 440x425x70mm en el cas de les provetes que treballaran en diagonal.

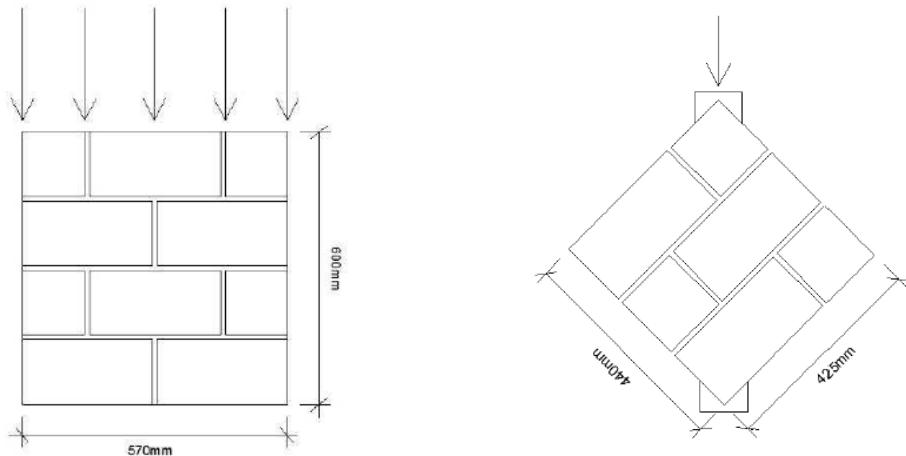


Fig. 51: Taula: Geometria i forma d'aplicació de la càrrega en els dos tipus de proveta emprats.

La campanya en curs als laboratoris de Girona consta de provetes de gruix constant - 70 mm – formades alternativament amb una, dues i tres fulles. El que es pretén és estudiar el comportament de l'obra de fàbrica carregada per testa en funció del nombre de capes. Al disposar dels resultats de la resta de la campanya, serà possible comparar els resultats i conseqüentment, la influència del reforç.

De les provetes disponibles s'utilitza la de tres fulles, ja que es la que s'aproxima més al tipus dominant a les voltes de l'Hospital Sant Pau.

L'empresa MAPEI participa col·locant a dues provetes horizontals i a dues diagonals, una capa de morter de reparació per tal de comprovar les millores mecàniques que presenta.

Les provetes es construeixen seguint els criteris de la norma UNE-EN 1052-1 “Mètode d'assaig per a l'obra de fàbrica”:

-Abans de la seva utilització, les peces ceràmiques hauran hagut de romandre submergides en aigua neta durant un mínim de 15 hores a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ i després es deixen escorrer de 15 a 20 minuts.

-S'han de fabricar les provetes en una superfície llisa horitzontal.

-Les cares en contacte amb el morter d'unió han de ser les originals de les peces, i no cares tallades.

-Les cares de les provetes sobre les que s'aplicarà la càrrega han de ser planes i paral·leles entre elles utilitzant, en cas que sigui necessari, una capa fina de reprendat.

-La normativa específica que durant l'elaboració del morter per a la fàbrica se n'extrauran mostres per a poder assajar també la resistència d'aquest en el moment que s'assagin les provetes de fàbrica.

-S'ha d'evitar que les provetes s'assequin en els tres primers dies de ser construïdes. Per això es cobriran amb làmines de polietilè. Passats els tres dies es deixaran assecar en ambient de laboratori.

-S'han d'assajar les provetes quan tinguin una edat en la que la resistència de compressió del morter sigui l'adequada. Haurem d'esperar 28 dies.

El recrescut efectuat emprant els productes de MAPEI ha estat de 10mm aproximadament i per fer-lo s'han emprat els següents components:

PLANITOP HDM.

Morter cementós bicomponent, amb reactivitat puzolànica, d'elevada ductilitat. S'utilitza per a la regulació de les superfícies.

MAPEGRID.

Es tracta d'una malla de $12,7 \times 12,7\text{mm}$ de fibra de vidre, resistent als àlcalis i de gramatge 125g/m^2 . És col·loca després de fer l'anivellat amb el bicomponent.

Es completa la solució aplicant una última capa de PLANITOP HDM amb la finalitat de cobrir íntegrament la malla col·locada quan la primera capa encara està fresca.

Per dur a terme les comprovacions corresponents, s'ha seguit la norma UNE-EN 1052-1 “Mètode d'assaig per a l'obra de fàbrica”.

-S'han d'acoblar a les provetes dispositius de mesura per a mesurar la variació d'alçada entre ells. Aplicant la càrrega en al menys 3 etapes iguals fins que arribi a la meitat de la càrrega màxima proveable.

-Després de cada càrrega de compressió s'ha de mantenir constant durant 2min +/- 1mín per determinar les variacions d'alçada.

-Un cop realitzades les lectures de la última etapa, augmentar la càrrega a velocitat constant fins al trencament.

Seleccionar la velocitat constant de càrrega o de desplaçament de manera que s'obtingui la càrrega màxima després de 15 a 30 min.



Fig. 52: Aparell de mesura DEMEC.

Per tal de mesurar les deformacions experimentades per la proveta, s'utilitza l'aparell de lectura DEMEC. Tal com s'ha indicat anteriorment, empar aquest equip permet arribar a trencar les peces sense posar en perill l'equipament de mesura emprat. El procediment segit és el mateix que el que s'ha efectuat en el cas del càcul del Mòdul de Young estàtic durant la caracterització de la fàbrica.

A continuació es mostra la seqüència d'imatges de les provetes 7H303-MP, 7D303-MP i 7D304-MP (3 de les mostres reforçades per Mapei).

La nomenclatura indica:

- .- primer dígit : dia en el qual es va fer la proveta.
- .- primera lletra : H provetes col·locades horitzontalment.
- : D provetes col·locades en diagonal.
- .- segon dígit : nombre de capes (1 fins a 3).
- .- últim grup de lletres : MP. Distintiu de les corresponents al reforç de Mapei.



Fig. 53: Seqüència de trencament de la mostra 7H303MP

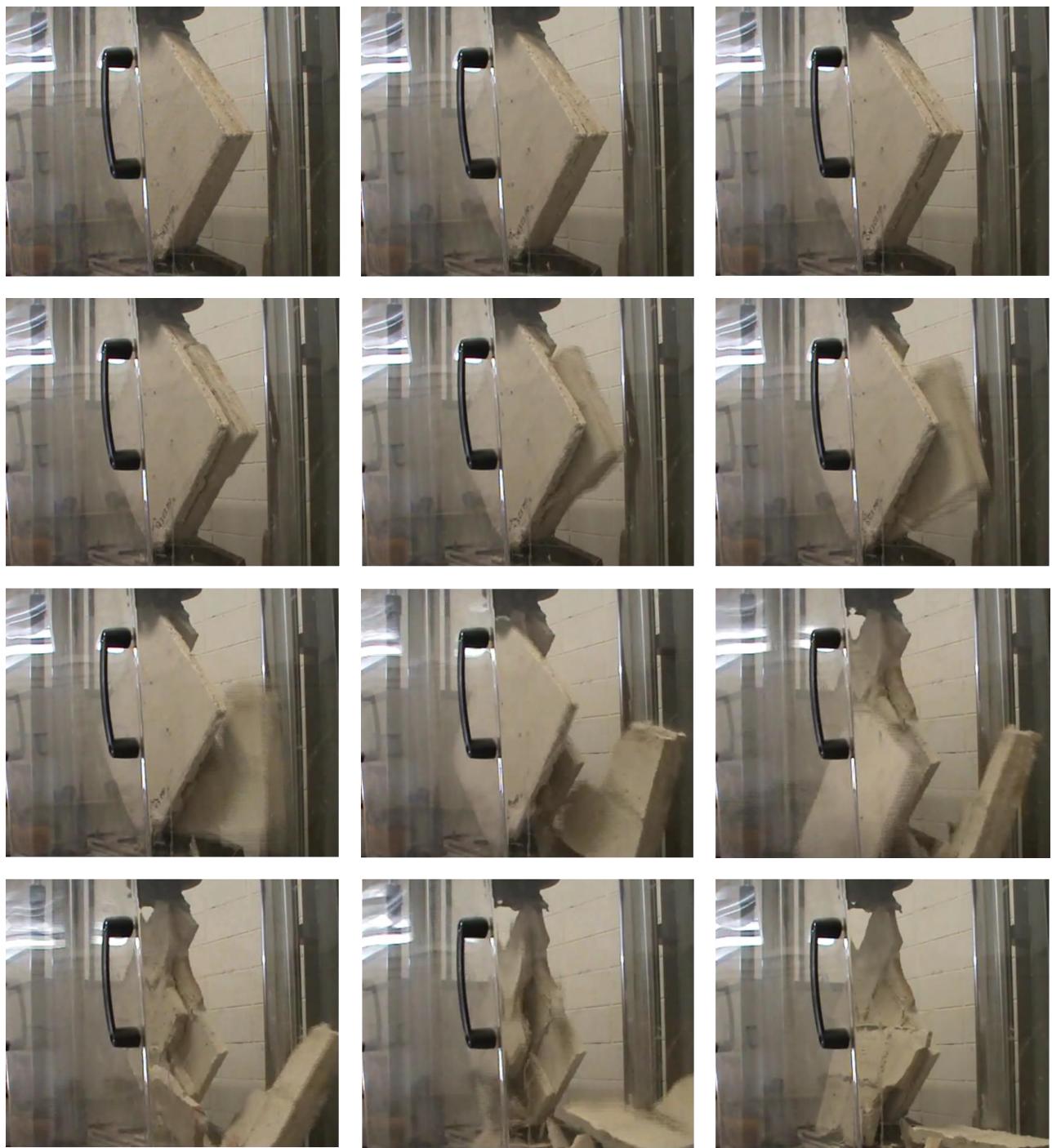


Fig. 54: Seqüència de trencament de la Mostra 7D303MP



Fig. 55: Seqüència de trencament de la Mostra 7D304MP

4.8.2. Resultats càlcul resistència a compressió.

4.8.2.1. Resultats del càlcul de la resistència a compressió en provetes horizontals.

Expressió de resultats de resistència

Calcular la resistència a compressió de cada proveta d'obra de fàbrica amb una exactitud de $0,1 \text{ N/mm}^2$

$$f_i = F_{i,\max} / A_1 [\text{N/mm}^2]$$

On,

f_i Resistència a compressió d'una proveta d'obra de fàbrica
 $F_{i,\max}$ Càrrega màxima aplicada sobre una proveta d'obra de fàbrica
 A_1 Secció transversal de càrrega d'una proveta d'obra de fàbrica

CAPES	PROVETA	$F_{i,\max}$ [Tn]	$F_{i,\max}$ [N]	A_1 [mm 2]	f_i [N/mm 2]
1	1H101	39,957	391978,170	39900	9,824
	1H102	31,404	308073,240		7,721
	5H103	39,504	387534,240		9,713
2	2H201	28,972	284215,320	39900	7,123
	2H202	33,460	328242,600		8,227
	6H203	39,920	391615,200		9,815
	6H204	35,900	352179,000		8,827
3	3H301	20,486	200967,660	39900	5,037
	4H302	23,228	227866,680		5,711
	7H304MP	16,000	156960,000		3,934
	7H303MP	34,290	336384,900		8,431

Resistència característica a compressió

Calcular la resistència característica a compressió de les provetes d'obra de fàbrica amb una exactitud de $0,1 \text{ N/mm}^2$

$$f_k = f_i / 1,2 \text{ ó } f_k = f_{i,\min} [\text{N/mm}^2]$$

On,

f_i Resistència mitja a compressió de l'obra de fàbrica
 f_k Resistència característica a compressió de l'obra de fàbrica
 $f_{i,\min}$ Menor valor de la resistència a compressió corregida d'una proveta d'obra de fàbrica

CAPES	PROVETA	f_i [N/mm 2]	$f_{i,\min}$ [N/mm 2]	f [mm 2]	$f_i / 1,2$	f_k [N/mm 2]
1	1H101	9,824	7,721	7,721	9,086	7,572
	1H102	7,721				
	5H103	9,713				
2	2H201	7,123	8,227	7,123	8,498	7,082
	2H202	8,227				
	6H203	9,815				
	6H204	8,827				
MAPEI	3H301	5,037	5,374	4,478	4,478	4,478
	4H302	5,711				
3 MAPEI	7H304MP	3,934	6,182	5,152	3,934	3,934
	7H303MP	8,431				

4.8.2.2. Resultats del càlcul de la resistència a compressió en provetes diagonals.

Expressió de resultats de resistència

Calcular la resistència a compressió de cada proveta d'obra de fàbrica amb una exactitud de 0,1 N/mm²

$$f_i = F_{i,\max} / A_1 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

On,

f_i	Resistència a compressió d'una proveta d'obra de fàbrica
$F_{i,\max}$	Càrrega màxima aplicada sobre una proveta d'obra de fàbrica
A_1	Secció transversal de càrrega d'una proveta d'obra de fàbrica

CAPES	PROVETA	$F_{i,\max}$ [Tn]	$F_{i,\max}$ [N]	A_1 [mm ²]	f_i [N/mm ²]
1	1D101	4,501	44154,810	21000	2,103
	4D102	5,072	49756,320		1,247
	5D103	5,545	54396,450		1,363
2	2D201	4,977	48824,370	21000	2,325
	2D202	4,005	39289,050		0,985
	6D203	6,392	62705,520		1,572
	6D204	5,260	51600,600		1,293
3	3D301	3,078	30195,180	21000	1,438
	5D302	4,578	44910,180		1,126
	7D304MP	7,636	74909,160		1,877
	7D303MP	5,048	49520,880		1,241

Resistència característica a compressió

Calcular la resistència característica a compressió de les provetes d'obra de fàbrica amb una exactitud de 0,1 N/mm²

$$f_k = f_i / 1,2 \text{ ó } f_k = f_{i,\min} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

On,

f	Resistència mitja a compressió de l'obra de fàbrica
f_k	Resistència característica a compressió de l'obra de fàbrica
$f_{i,\min}$	Menor valor de la resistència a compressió corregida d'una proveta d'obra de fàbrica

CAPES	PROVETA	f_i [N]	$f_{i,\min}$ [N/mm ²]	f [mm ²]	$f_i / 1,2$	f_k [N/mm ²]
1	1D101	2,103	1,247	1,247	1,571	1,247
	4D102	1,247				
	5D103	1,363				
2	2D201	2,325	0,985	0,985	1,544	0,985
	2D202	0,985				
	6D203	1,572				
	6D204	1,293				
3	3D301	1,438	1,126	1,282	1,068	1,068
	5D302	1,126				
3 MAPEI	7D304MP	1,877	1,241	1,559	1,299	1,241
	7D303MP	1,241				

4.9.- Discussió dels resultats corresponents a l'assaig dels materials.

4.9.1.- Consideracions relatives a la peça ceràmica.

Els resultats obtinguts, mostren que les peces de Sant Pau, tot i presentar valors menors que els assaigs de laboratori realitzats amb peces manuals de la rajoleria Quintana, tenen una resistència a la compressió suficient per ser considerades com a estructurals. El valor obtingut, està en el rang alt dels valors considerats per la resistència de la peça (f_b) indicats en el Codi Tècnic DB-SE-F.

4.9.2.- Consideracions relatives al morter.

La mostra de morter extreta del pavelló de l'Administració de l'Hospital de Sant Pau, dona com a resultat que es tracta d'un morter a la cal. Comparat amb el proposat per dur a terme els treballs de reparació i consolidació, s'obté que ambdós materials presenten propietats similars.

Pel que fa a la seva resistència a la compressió (f_m), els valors obtinguts són baixos (0.39 MPa).

4.9.3.- Consideracions relatives a la resistència a la compressió de la fàbrica.

Es detecta que el trencament de la mostra, es produeix en la majoria dels casos seguint un patró de delaminació.

Aquest patró es caracteritza per:

- .- formar fissures verticals generalment seguint les junes entre morter i ceràmica.
- .- Pèrdua de la geometria degut probablement a fenòmens relacionats amb l'esbeltesa de les capes considerades de forma independent.
- .- Col·lapse de les cares exteriors.

L'assaig 'ha efectuat sobre dues mostres. El valor obtingut, sense penalitzar es de 7.89 MPa. Aquest valor està molt per sobre del que s'obtindria en el cas d'utilitzar la formulació definida al Codi Tècnic DB-SE-F (2.21 – 3.32 MPa). Aquest fet mostra que tal com es preveia, aquesta expressió no resulta vàlida pel cas en que la càrrega s'aplica a un element de fàbrica a través de la testa i les filades de morter estan disposades en la mateixa direcció que el sentit de la càrrega.

4.9.4.- Consideracions relatives al reforç de la fàbrica emprant productes Mapei.

El producte Mapei no ha actuat com una capa independent, sino que el que fa a efectes de comportament estructural, és incrementar el gruix de la capa a la que s'adhereix.

Aquest fet comporta dos avantatges:

- .- És fet de que el morter estigui armat, fa que la capa sobre la que s'aplica, pugui soportar un cert nivell de traccions.
- .- La resistència a la compressió del conjunt creix de forma proporcional al increment experimentat per la part de la fàbrica que correspon a les peces ceràmiques.

Expressions analitzades en bibliografia especialitzada apunten cap a la hipòtesi de que la contribució dels elements de ceràmica sigui més determinant en el cas de la fàbrica carregada per testa que no en el cas de murs convencionals.

4.9.5.- Respecte als mòduls de Young estàtic i dinàmic.

Les proves han donat que ambdós valors estan molt pròxims, tenint un coeficient d'homogeneització pròxima a la unitat. El valor a adoptar serà 2500 MPa.

Aquest valor és baix si el comparem amb els valors habituals de fàbrica.

No respon al valor que s'obté al aplicar l'expresió del CTE que relaciona resistència característica a la compressió i mòdul de Young estàtic. Això no és de extranyar, ja que hi ha molta bibliografia que questiona aquesta relació.

El nombre de mostres general, no és suficient perquè pugui tenir un tractament amb base estadística. Tot i això es considera fiable per poder ser emprat en les següents fases previstes.

5.- DESENVOLUPAMENT DE L'APARTAT B

5.1.- Característiques dels equips emprats.

StrainSmart Data Acquisition System (Model 5000)	
Supplier	Vishay
Scan rate	1 scan per second.
Op. environment	-10° to +50°
Strain gage card	
Strain gages	120 Ω, 350Ω (quarter bridge)
Resolution	1 με
Accuracy	± 5 mV
System noise	± 2 με
Software	

Strain gages	
Identification	10/120 LY41 3-2M
Nominal resistance	120 Ω
Dimension grid	10.0 x 5.0
Strain gage factor	2.07 ± 1.00%
Transv. sensitivity	0.20%
Op. environment	-10°C – +45°C
α	10.8·E ⁻⁶ /K (steel)
Max. excitation	14 V.

Adhesives	
Model	HBM – Z70
	cianocrylate
Density	1.1 g/cm ³
Flash point	2.12 ± 1.00%
Curing time	60-120 s
Op. environment	-55°C – +80°C

Displacement transducers	
Model	HS
Displac. range	10 – 25 mm
Spring force	250 g
Bridge resistance	350 Ω
Nonlinearity	0.35% FS
Op. environment	-10 °C – +60 °C
Resolution	Infinite
Range of excitation	2 to 10 V

Pimento 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



Accelerometer	
supplier	PCB Piezotronics
model	PCB 393B12
Sensitivity ($\pm 10\%$)	1019.4 mV/(m/s ²)
Weight	210 gr
Frequency Range ($\pm 5\%$)	0.15 to 1000 Hz
Broadband Resolution	0.00008 m/s ² rms
Excitation Voltage	18 to 30 VDC
Measurement Range	4.9 m/s ² pk
Output Impedance	<1500 Ohm



Impact hammer	
supplier	PCB Piezotronics
model	PCB 98650
Hammer Mass	55,50 kg.
Sensitivity ($\pm 15\%$)	0.23 mV/N
Excitation Voltage	20 to 30 VDC
Measurement Range	± 22240 N pk
Output Impedance	<100 Ohm
Output Bias Voltage	8 to 14 VDC



5.2.- Procediment de càrrega.

5.2.1.- Definició de l'estat de càrrega a aplicar.

En general, la definició de la càrrega a aplicar en les proves de càrrega efectuades sobre elements estructurals existents, es defineix partint del tipus d'estructura concreta.

No existeix una normativa que reguli com fer aquest tipus d'assaig sobre una volta ceràmica, i per tant, sovint s'agafa com a referència l'expressió corresponent a sostres plans:

$$q.aplicada = 0.85 \left[\sum_{j \geq 1} (G_{k,ap,j} + G_{k,npa,j}) \gamma_G + \sum_{i \geq 1} (G_{k,t,ap,i} + G_{k,t,npa,i} + Q_{k,npa,i}) \gamma_Q - (G_{k,ap,j} + Q_{k,t,ap,i}) \right] \quad (11)$$

On:

$G_{k,ap,i}$: Càrregues permanents (excepte tabiqueria) existents en el moment de fer la prova.

$G_{k,npa,i}$: Càrregues permanents (excepte tabiqueria) NO existents en el moment de fer la prova.

$G_{k,t,ap,i}$: Càrregues permanents de tabiqueria existents en el moment de fer la prova.

$G_{k,t,npa,i}$: Càrregues permanents de tabiqueria NO existents en el moment de fer la prova.

$Q_{k,npa,i}$: Càrregues variables NO existents en el moment de fer la prova.

γ_G : Coeficient de seguretat a aplicar a les càrregues permanents.

$\gamma_G = 1.35$

γ_Q : Coeficient de seguretat a aplicar a les càrregues variables.

$\gamma_Q = 1.50$

(12)

En el cas de les proves corresponents al pavelló de l'Administració de Sant Pau, s'ha fet una previsió de material, i s'ha anat aplicant de forma controlada fins arribar a uns valors –tensions o deformacions prefixats- per sobre dels quals, la prova s'atura.

La càrrega s'ha aplicat mitjançant capes de sacs de morter.

El procediment general ha consistit en:

- .- col·locar les capes deixant intervals de temps entre escalons de càrrega successius.
- .- mesurar durant un cert interval de temps el comportament de la volta carregada (influència del temps en el comportament), un cop finalitzada la càrrega.
- .- Descarregar la volta retirant progressivament les capes de sacs deixant intervals de temps entre els diferents esglaons de descarrega.
- .- Mesurar durant un cert temps el comportament de la volta descarregada.
- .- Tancar equips i donar per finalitzada la prova.

5.2.2.- Documentació gràfica de la prova.

5.3.- Descripció de les proves efectuades.

5.3.1.- Primera prova de càrrega.

La primera prova s'efectua al sostre de la planta primera en la volta marcada a la Fig.7. Es tracta de la volta corresponent a uns antics banys que es preveu sigui enderrocada per a poder-hi encabir un nucli de comunicació vertical.

Nomenclatura: **E2p1_V1**

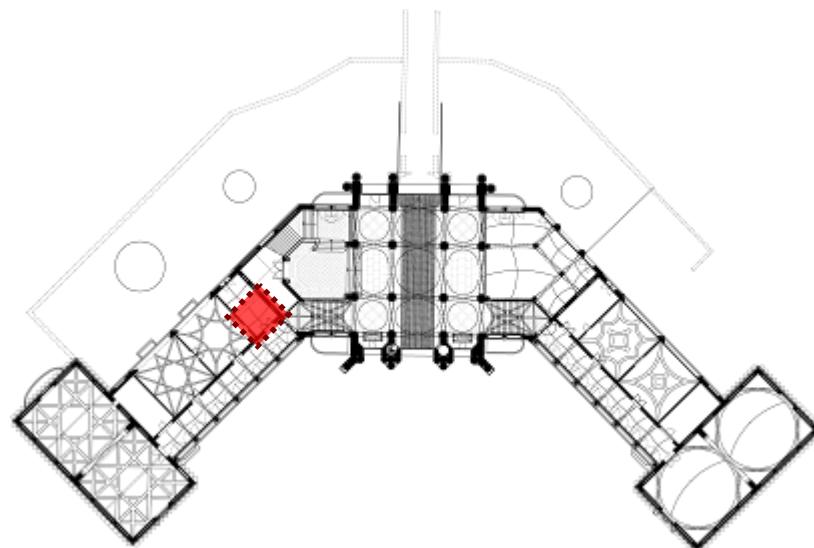


Fig. 56: Situació de la volta E2p1_V1. Sostre Planta Primera.



Fig. 57: Fotografia volta E2p1_V1.

5.3.1.1.- Relació de les proves efectuades a la volta E2p1_V1.

Primera prova.

Data:	09/05/2012
Hora inici:	16:31:28
Hora final:	18:48:47
Duració:	2.00h:17':19''
Descripció:	Es carrega i descarrega la primera volta sense retirar cap de les capes que la configuren. Es conserva la capa de ceràmica vidrada inferior. Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg
Fitxer:	P1_1A PROVA.txt P1_1A PROVA.xls

Segona prova.

Data:	15/05/2012
Hora inici:	17:27:52
Hora final:	19:47:33
Duració:	1.00h:19':41''
Descripció:	Es carrega i descarrega la primera volta retirant únicament la capa de ceràmica vidrada inferior. Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg
Fitxer:	P1_2A PROVA.txt P1_2A PROVA.xls

Tercera prova.

Data:	15/05/2012
Hora inici:	17:27:52
Hora final:	09:18:51
Duració:	15.00h:50':59''
Descripció:	Amb la volta descarregada, es mesura el comportament durant la nit.
Fitxer:	P1_3A PROVA.txt P1_3A PROVA.xls

Quarta prova.

Data:	21/05/2012
Hora inici:	10:55:48
Hora final:	15:18:37
Duració:	4.00h:36':49''
Descripció:	Es carrega la segona volta, retirant prèviament l'encadellat ceràmic superior. Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg
Fitxer:	P1_4A PROVA.txt P1_4A PROVA.xls

Cinquena prova.

Data:	21/05/2012
Hora inici:	15:47:54
Hora final:	18:05:51
Duració:	2.00h:17':57''
Descripció:	Es carrega la segona volta, retirant prèviament l'encadellat ceràmic superior i els envans Càrrega aplicada: 308 sacs de 25 kg = 7700 kg
Fitxer:	P1_5A PROVA.txt P1_5A PROVA.xls

Sisena prova (I).

Data: 21/05/2012-22/05/2012
Hora inici: 18:12:40
Hora final: 10:42:21
Duració: 16.00h:28':41''
Descripció: Es mesura el comportament diferit de la volta un cop descarregada.
Fitxer:
P1_6A PROVA 1.txt
P1_6A PROVA 1.xls

Sisena prova (II).

Data: 22/05/2012
Hora inici: 11:07:35
Hora final: 13:03:15
Duració: 1.00h:55':40''
Descripció: Es mesura el comportament diferit de la volta un cop descarregada.
Fitxer:
P1_6A PROVA 2.txt
P1_6A PROVA 2.xls

5.3.1.2.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P1.

(totes les proves efectuades dins prova de càrrega P1 (P1-1a, P1-2a, P1-3a, P1-4a, P1-5a i P1-6a) tenen la mateixa ubicació de sensors.

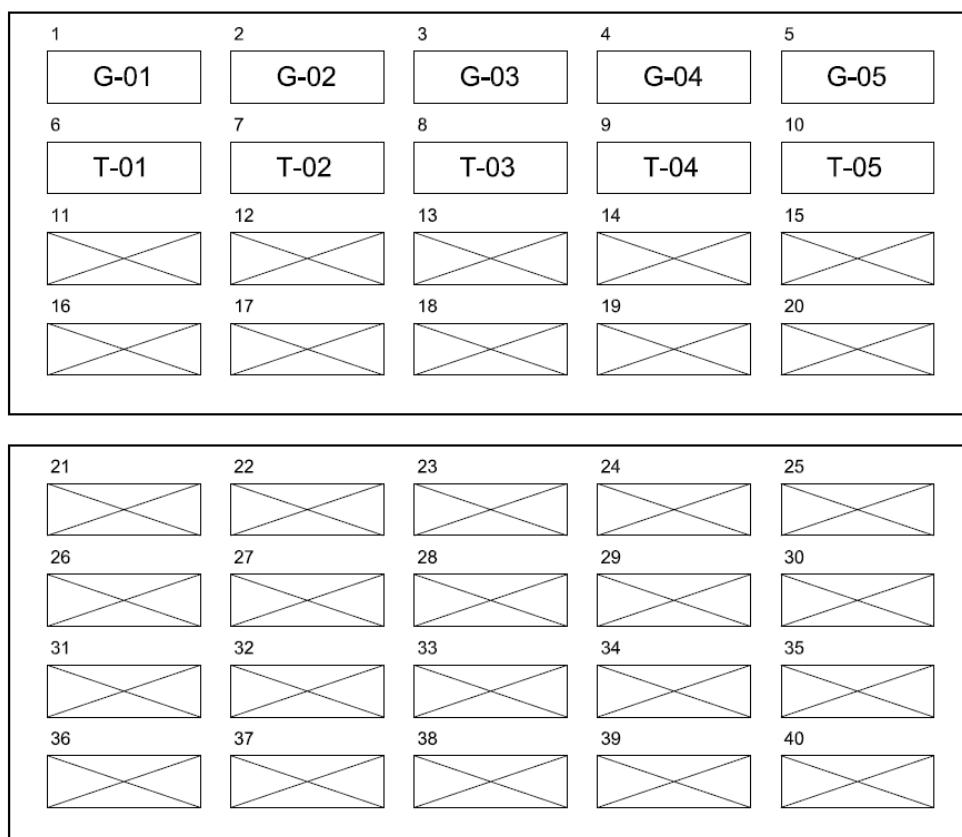
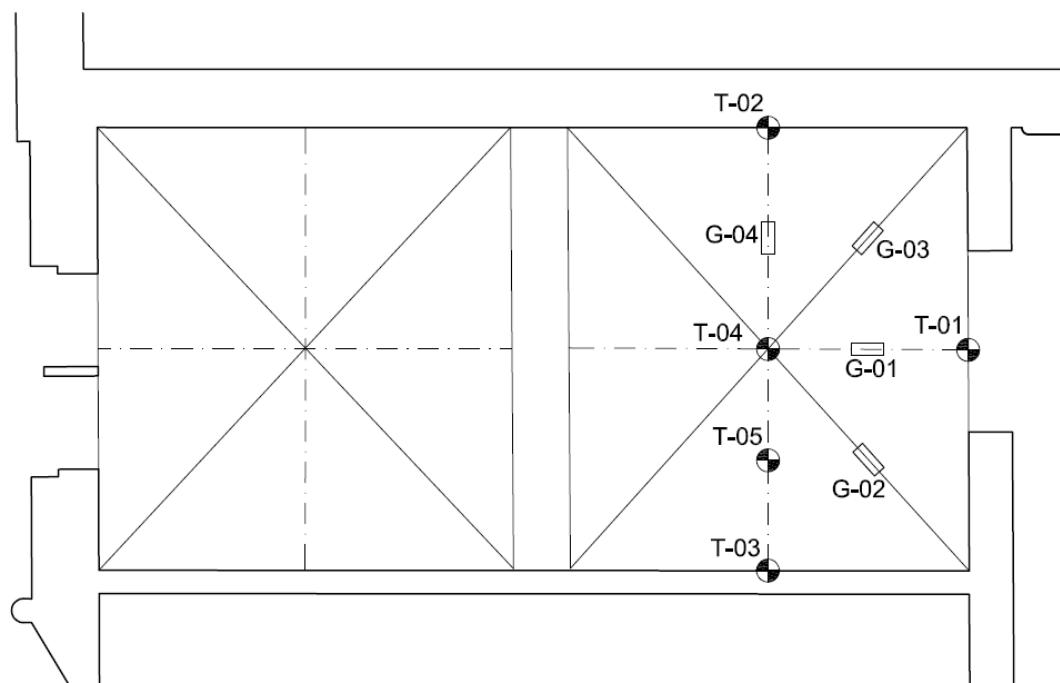


Fig. 58: Esquema de la prova de càrrega P1 a la volta E2p1_V1.

5.3.1.3.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-1a.

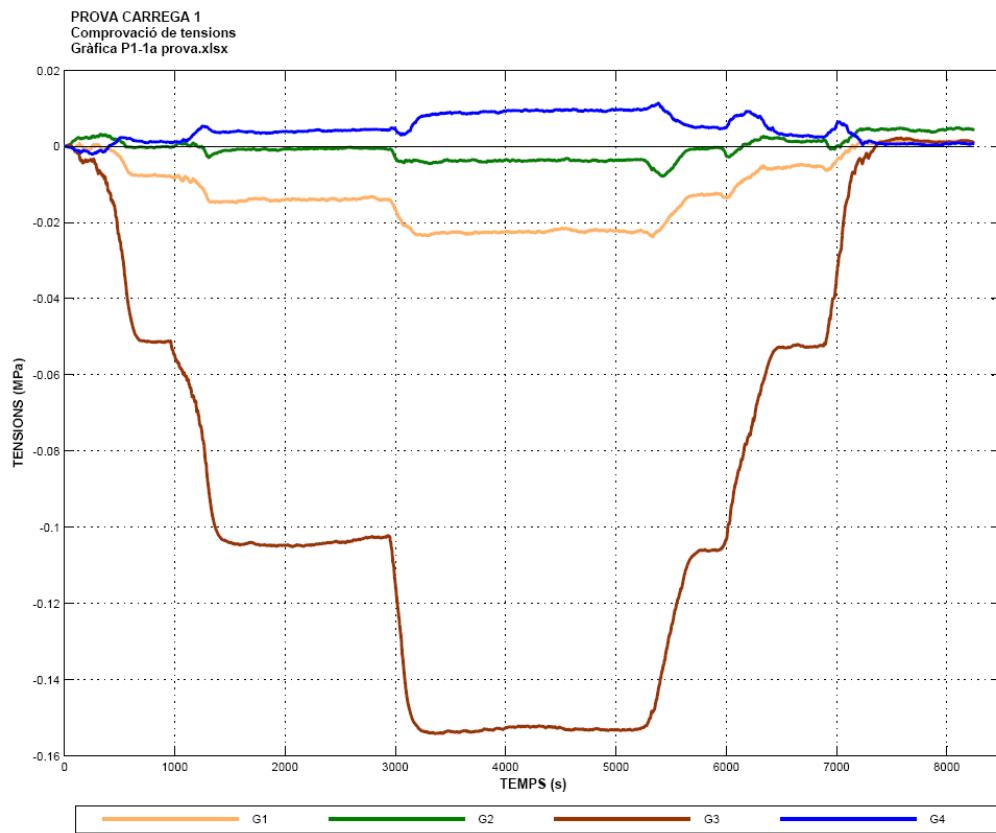


Fig. 59: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-1a.

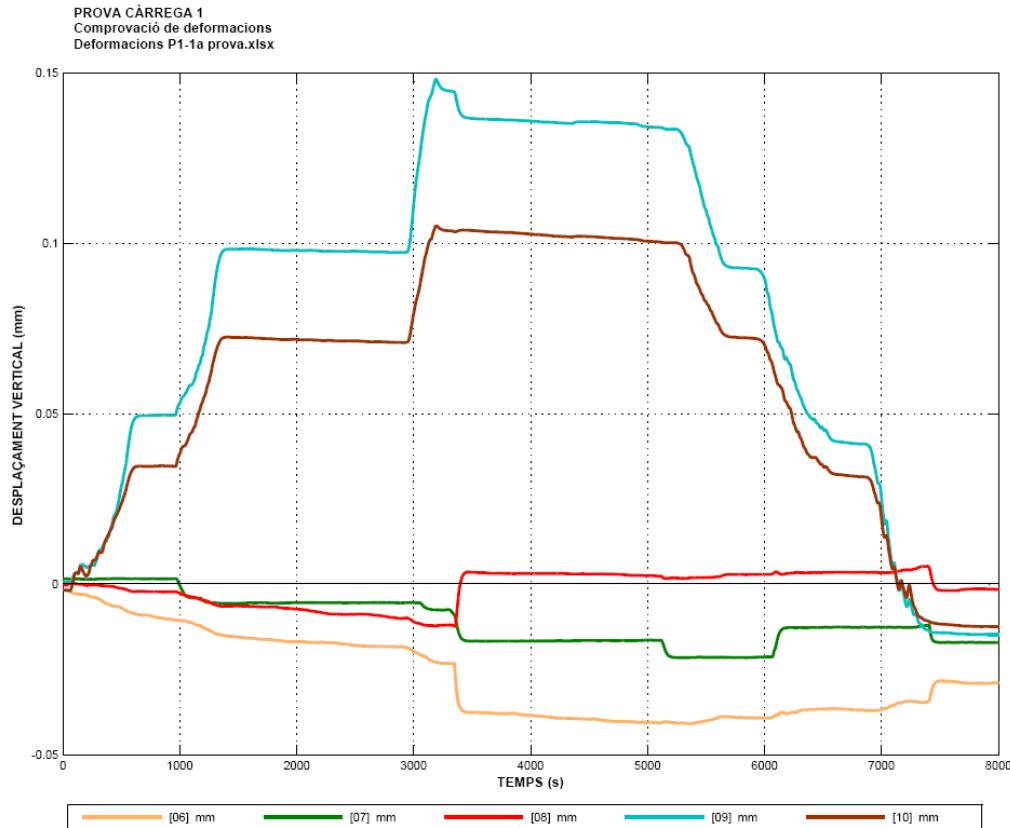


Fig. 60: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-1a.

5.3.1.4.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-2a.

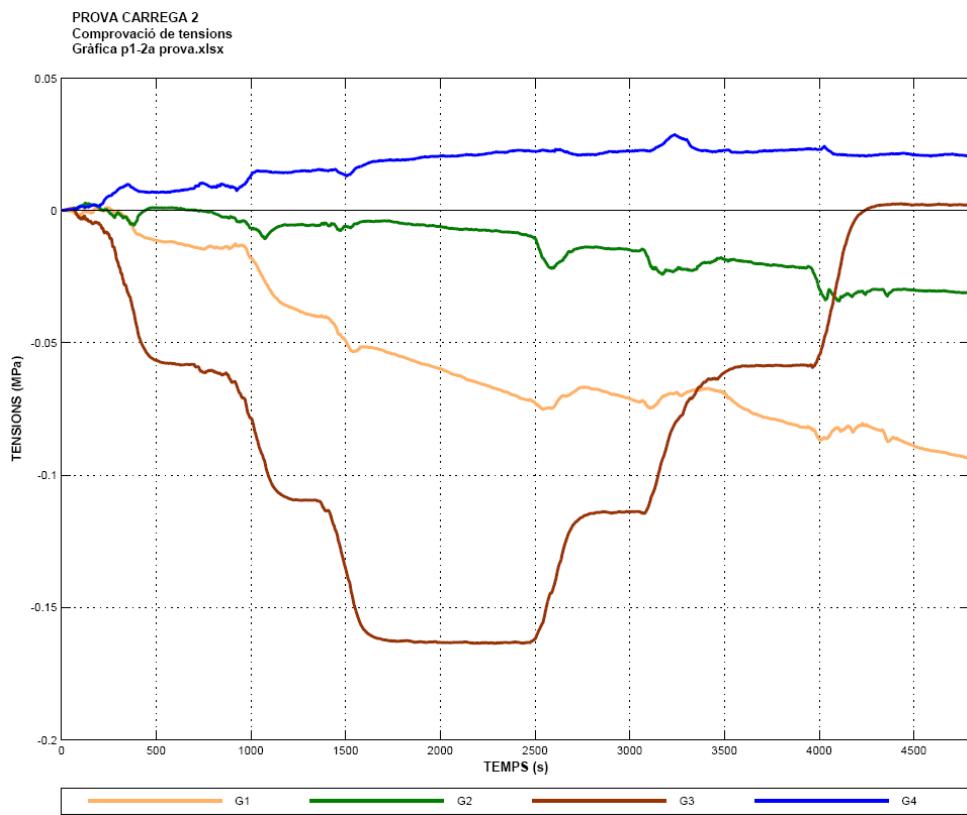


Fig. 61: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-2a.

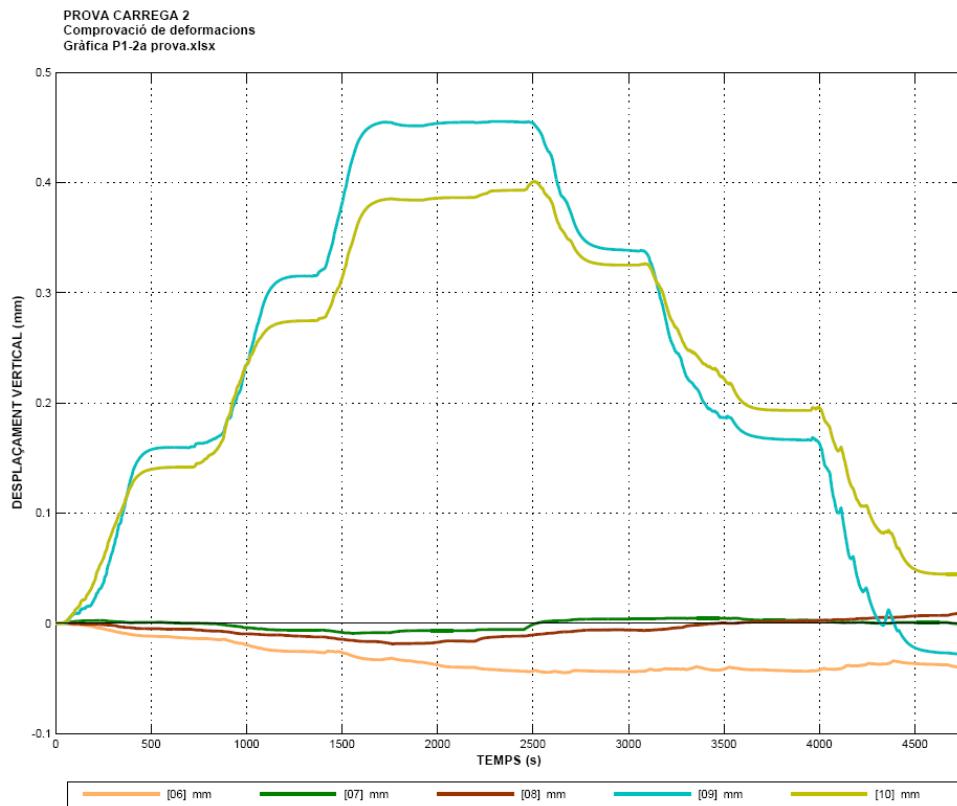


Fig. 62: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-2a.

5.3.1.5.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-3a.

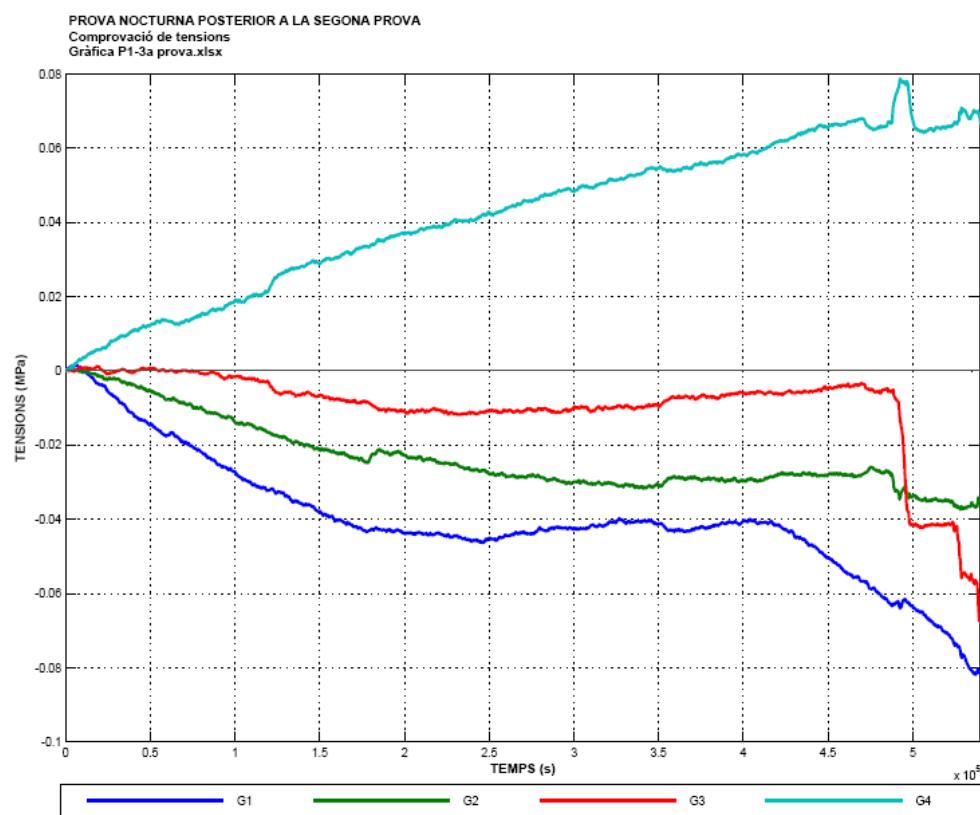


Fig. 63: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-3a.

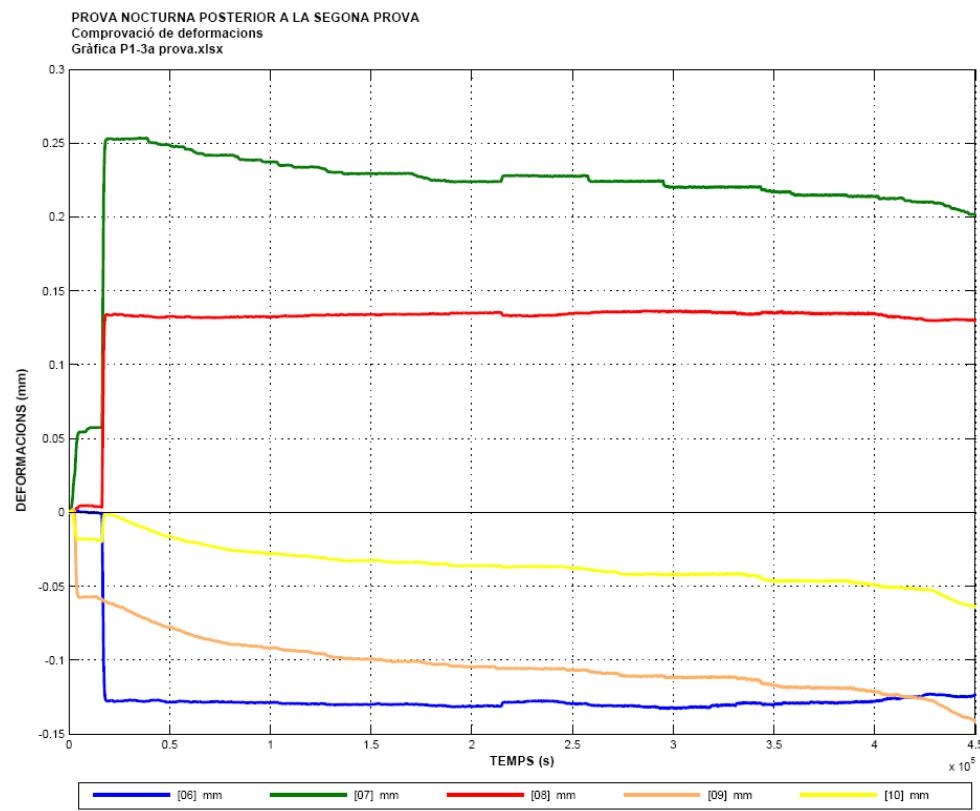


Fig. 64: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-3a.

5.3.1.6.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-4a.

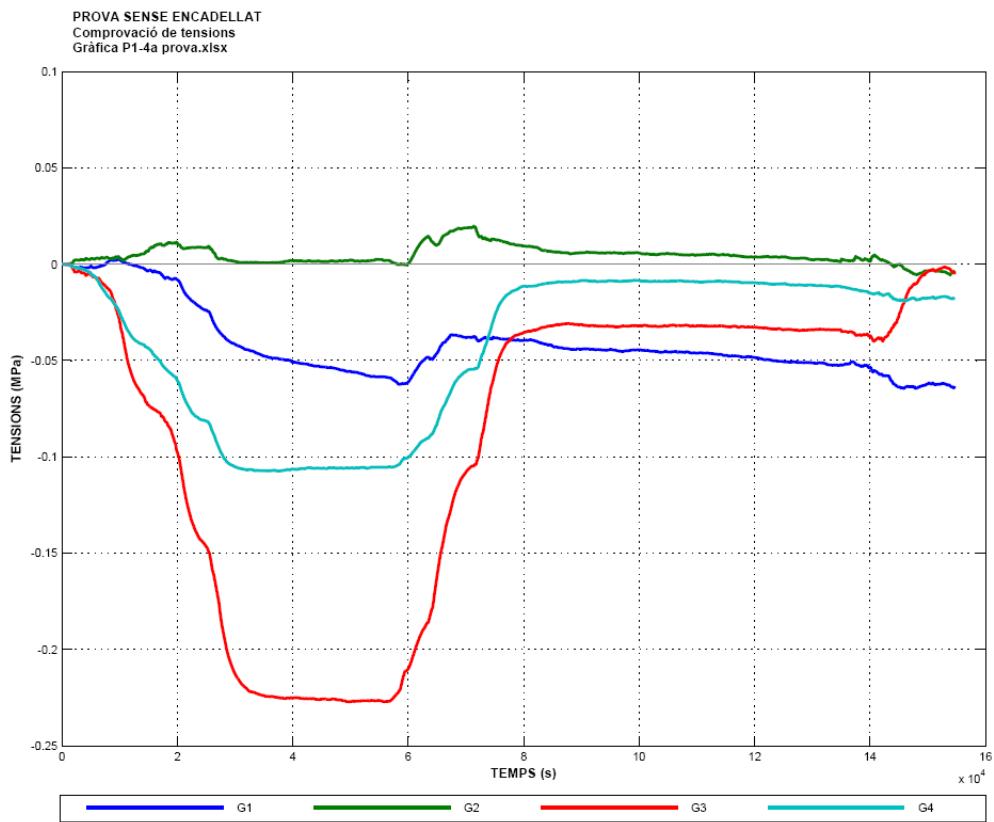


Fig. 65: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-4a.

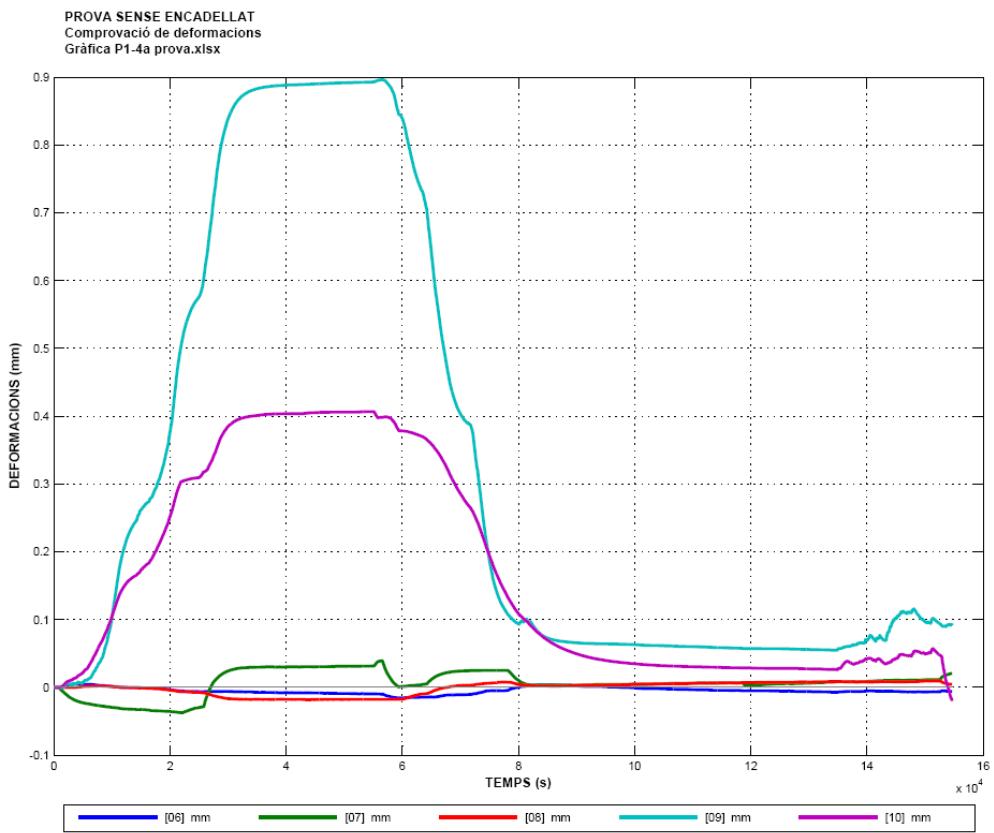


Fig. 66: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-4a.

5.3.1.7.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-5a.

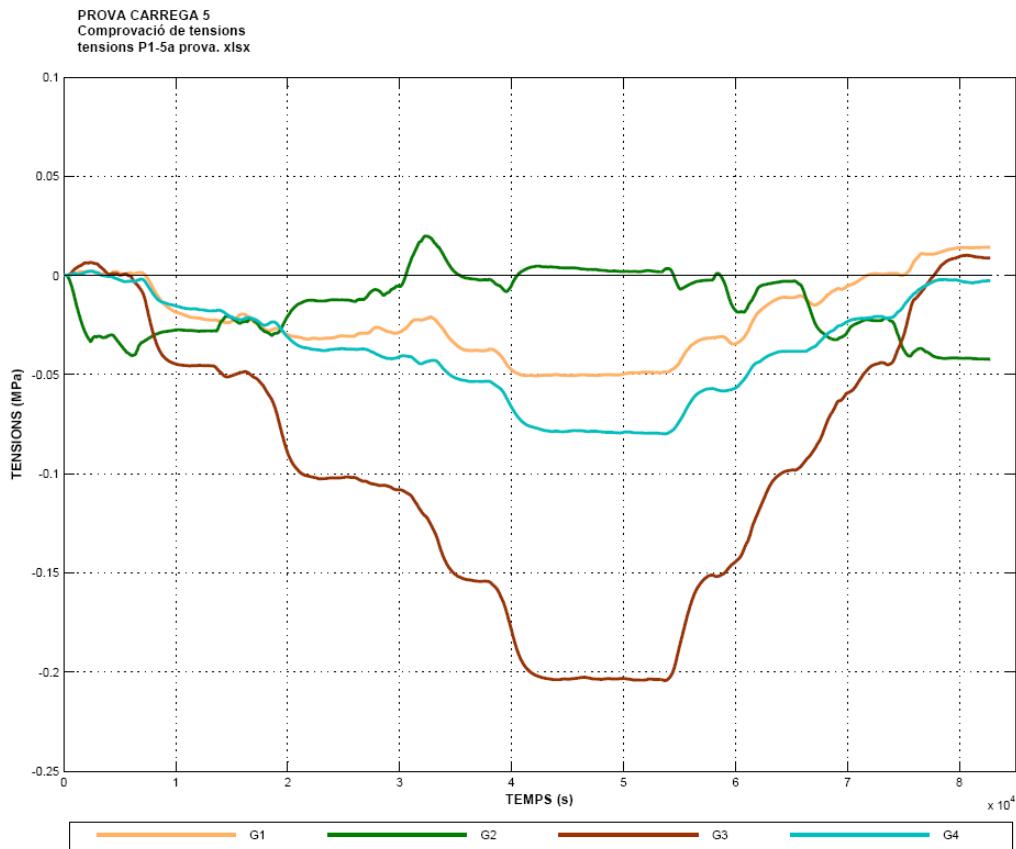


Fig. 67: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-5a.

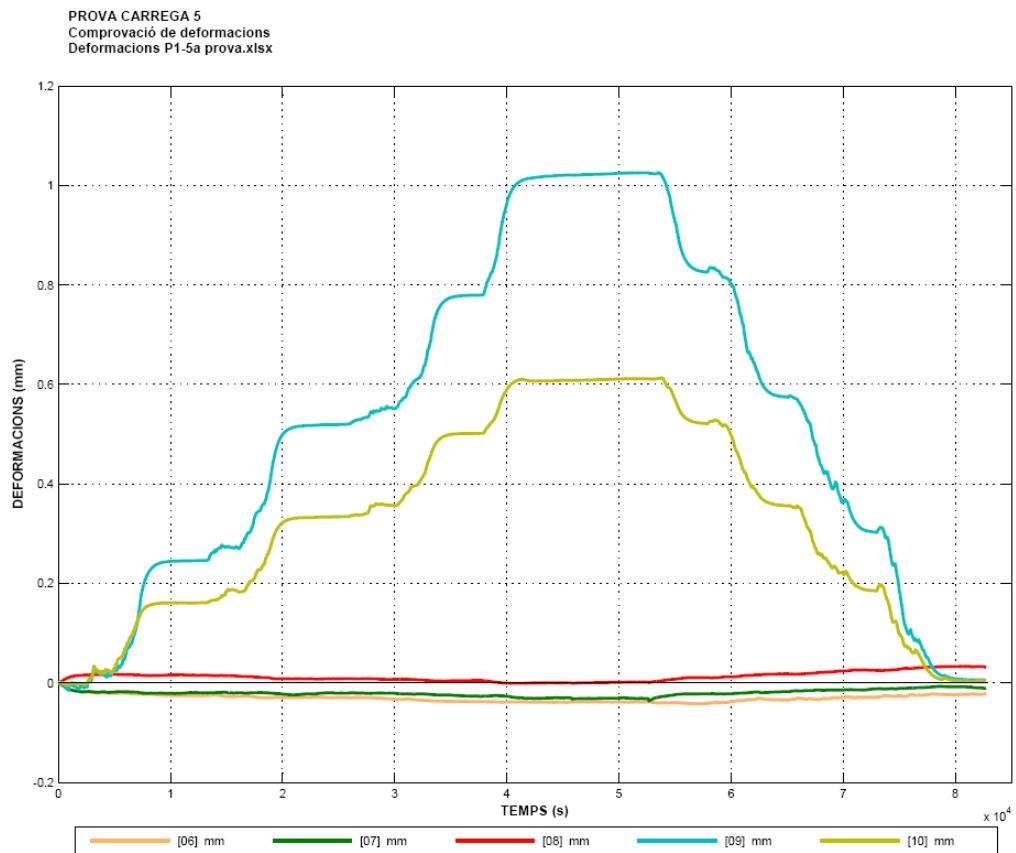


Fig. 68: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-5a.

5.3.1.8.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V1 - P1-6a.

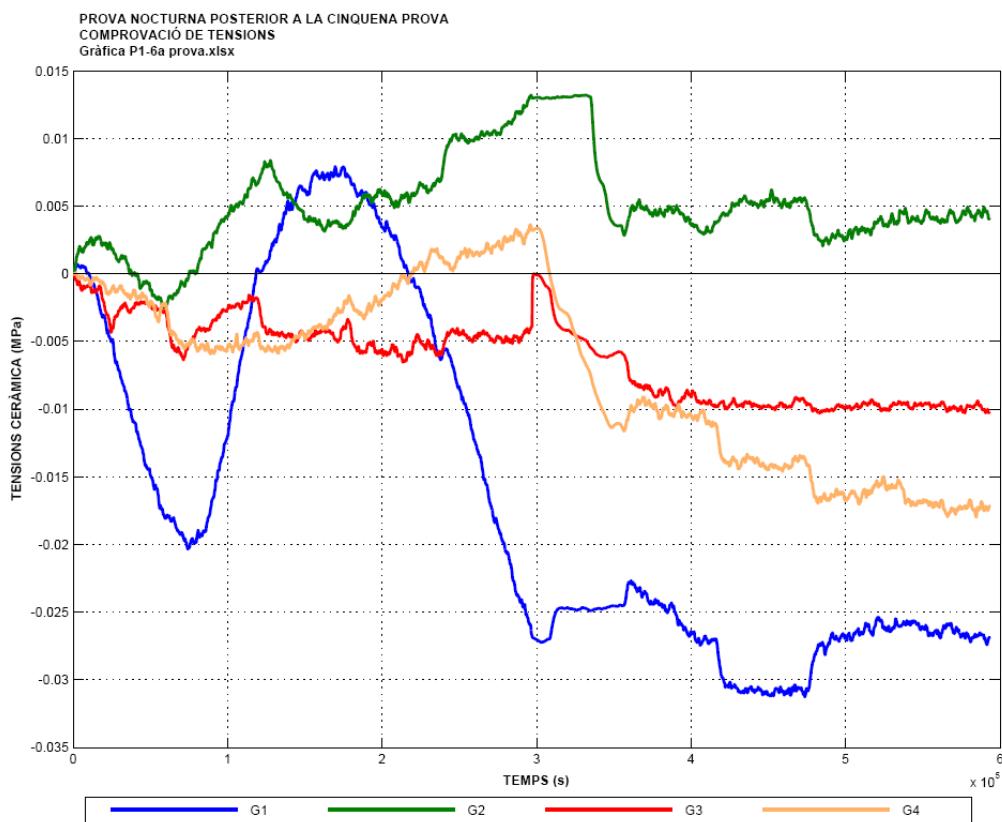


Fig. 69: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-6a.

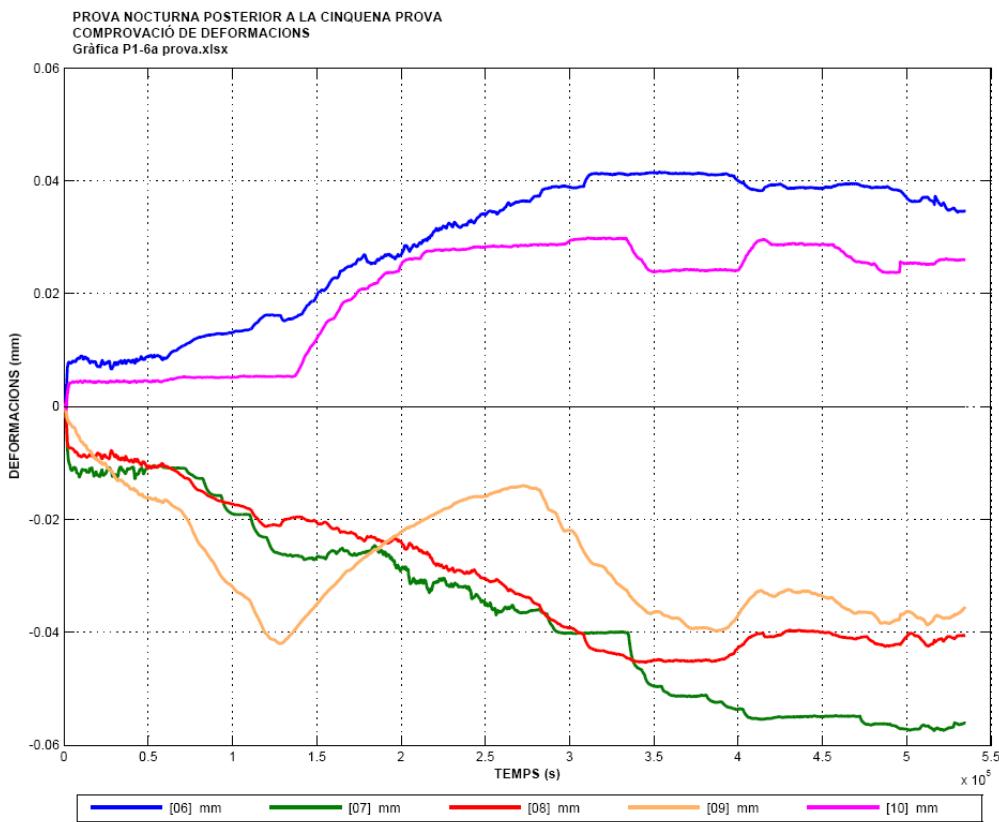
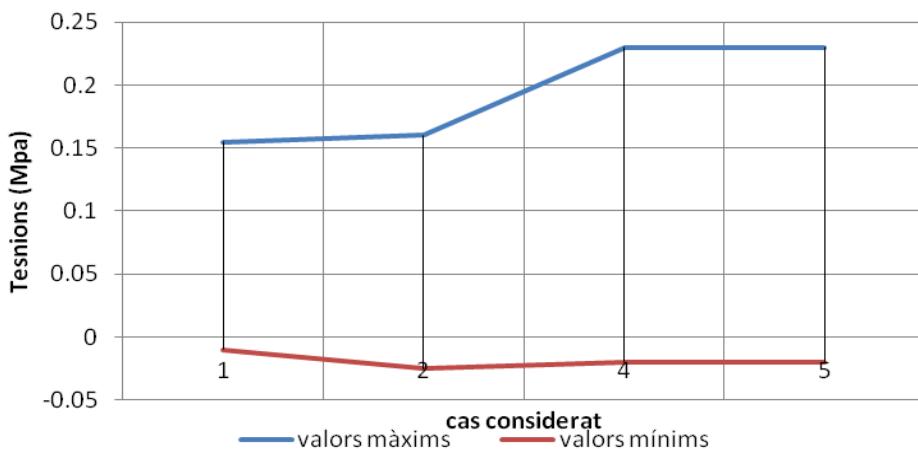


Fig. 70: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-6a.

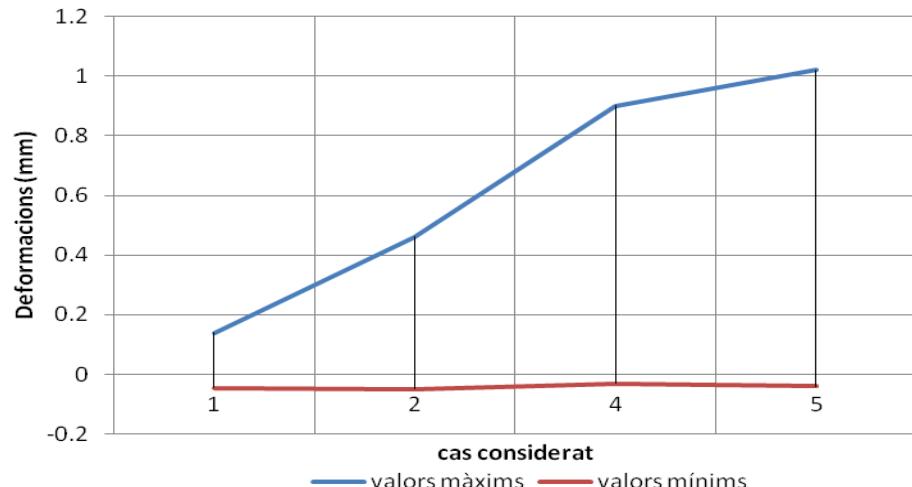
5.3.1.9.- Resum dels resultats: volta E2p1_V1.

ETAPA DE LA PROVA	Tensions (Mpa)		Deformacions (mm)		Comentaris.
	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	
PROVA 01: Volta sencera. (Càrrega i descàrrega)	-0.155	0.010	0.140	-0.045	
PROVA 02: Volta sense capa ceràmica. (Càrrega i descàrrega)	-0.160	0.025	0.460	-0.050	
PROVA 03 Comprovació comportament diferit. Volta descarregada.	-0.080	0.070	----	----	
PROVA 04 Volta sense encadellat superior. (Càrrega i descàrrega)	-0.230	0.020	0.900	0.030	
PROVA 05 Volta sense encadellat ni envanets. (Càrrega i descàrrega)	-0.230	0.020	1.020	----	
PROVA 06 Comprovació comportament diferit. Volta descarregada.	-0.030	0.013	-0.055	0.004	

Volta Ep2p1_v1: TENSIONS



VOLTA Ep2p1_V1 : DEFORMACIONES



5.3.1.10.- Conclusions parcials relatives a la volta E2p1_V1.

.- La càrrega màxima aplicada a la volta ha estat aproximadament de 77 kN. Aquesta càrrega s'ha aplicat en l'últim assaig; per tant, s'ha fet sobre el cas d'una estructura exclusivament formada per la closca ceràmica.

Això implica que s'han aplicat una càrrega superficial aproximadament equivalent a:

.- Al fer la volta, les tensions màximes de compressió mesurades han estat d'aproximadament 0.23 MPa, essent les de tracció molt inferiors.

.- Les deformacions màximes han estat al voltant de 1.02 mm.

.- En la major part dels assaigs s'observen petites deformacions remanents. Aquest fenomen s'atribueix a causes tèrmiques. Les proves s'han efectuat en període estiuenc, en un edifici obert. És coneguda la incidència de la temperatura tant en el comportament de la volta (especialment en aquells casos en els que les condicions de vora impedeixen el moviment lateral de la volta, o en els propis equips de mesura).

.- Per avaluar aquest fenomen, s'han fet lectures amb la volta descarregada. S'aprecien en aquests casos, petits moviments - probablement deguts a l'estat de càrrega inicial ja que les lectures s'han efectuat un cop acabades les lectures de descàrrega – que en general tendeixen a estabilitzar-se.

.- Es pot apreciar a les gràfiques adjuntes, la importància de l'encadellat superior tant en la deformabilitat com en la distribució de tensions de la volta.

.- Al aplicar la càrrega màxima de 77,00 kN sobre la superfície de la volta, la càrrega superficial equivalent val aproximadament 7,05 kN/m². Avaluant l'expressió (03) (convenientment arreglada) i suposant que el pes propi de la volta és de 2,50 kN/m², obtenim finalment que la sobrecàrrega a aplicar és de **4.95 kN/m²**.

$$q.aplicada = 0.85 \cdot \left[\sum_{j \geq 1} (G_{k,ap,j} + G_{k,npa,j}) \gamma_G + \sum_{i \geq 1} (G_{k,t,ap,i} + G_{k,t,npa,i} + Q_{k,npa,i}) \gamma_Q - (G_{k,ap,j} + Q_{k,t,ap,i}) \right] \quad (03)$$

5.3.2.- Segona prova de càrrega.

La segona prova s'efectua al sostre de la planta primera en la volta marcada a la Fig.12. És la volta d'uns antics banys que s'enderrocarà per a poder-hi encabir la comunicació vertical prevista en projecte.

Nomenclatura: **E2p1_V2**

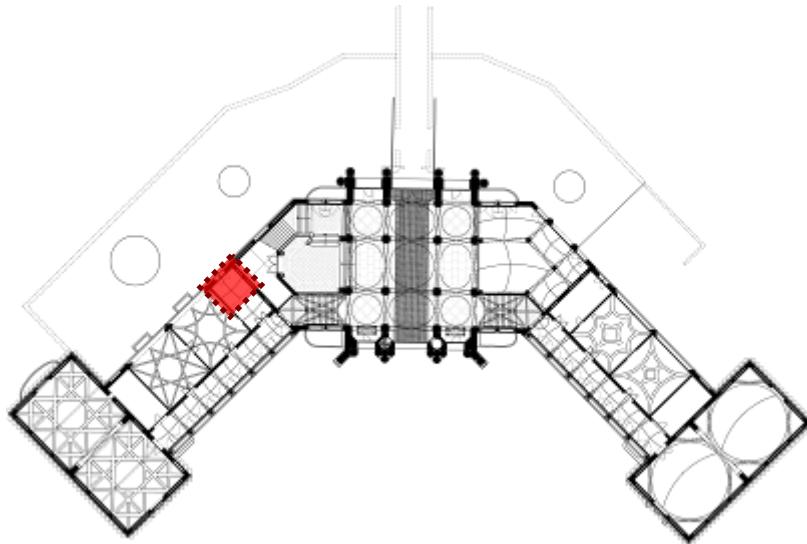


Fig. 71: Situació de la volta E2p1_V2. Sostre Planta Primera.



Fig. 72: Fotografia de la volta E2p1_V2.

5.3.2.1.- Proves realitzades a la volta E2p1_V2.

Primer prova.

Data:	02/07/2012
Hora inici:	17:59:22
Hora final:	21:34:42
Duració:	3.00h:35':20''
Descripció:	Es carrega la segona volta sense retirar cap de les capes que la configuren. Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg
Fitxer:	P2_1A PROVA (VOLTA COMPLETA).txt P2_1A PROVA (VOLTA COMPLETA).xls

Segona prova.

Data:	04/07/2012
Hora inici:	11:38:39
Hora final:	13:02:41
Duració:	1.00h:24':02''
Descripció:	Es carrega la segona volta, retirant prèviament l'encadellat ceràmic superior. Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg
Fitxer:	P2_2A PROVA (CARREGA).txt P2_2A PROVA (CARREGA).xls

Data:	04/07/2012
Hora inici:	13:49:35
Hora final:	14:44:53
Duració:	0.00h:55':18''
Descripció:	Es continuen les mesures amb la volta carregada.
Fitxer:	P2_2A PROVA (CARREGA 2).txt P2_2A PROVA (CARREGA 2).xls

Data:	04/07/2012
Hora inici:	14:53:51
Hora final:	16:37:42
Duració:	1.00h:43':51''
Descripció:	Es carrega la segona volta sense retirar cap de les capes que la configuren.
Fitxer:	P2_2A PROVA (DESCARREGA).txt P2_2A PROVA (DESCARREGA).xls

Tercera prova.

Data:	05/07/2012
Hora inici:	10:26:41
Hora final:	14:17:07
Duració:	3.00h:51':26''
Descripció:	Es carrega la segona volta, retirant prèviament l'encadellat ceràmic superior i els envans de sostremort. Càrrega aplicada: 308 sacs de 25 kg = 7700 kg
Fitxer:	P2_3A PROVA.txt P2_3A PROVA.xls

Quarta prova.

Data:	05/07/2012
Hora inici:	10:26:41
Hora final:	14:17:07
Duració:	3.00h:51':26''
Descripció:	Es carrega la segona volta, retirant prèviament l'encadellat ceràmic superior i els envans de sostremort. Es complementa la solució afegint una capa de morter de Mapei (veure especificacions). Càrrega aplicada: 231 sacs de 25 kg = 5775 kg ????
Fitxer:	P2_4A PROVA.txt P2_4A PROVA.xls

Cinquena prova.

Data:	09/07/2012-10/07/2012
Hora inici:	11:00:06
Hora final:	14:04:05
Duració:	01.00h:03':59''
Descripció:	Sobre la volta sense encadellat superior ni envanets, es fa una prova tèrmica consistent en col·locar una manta tèrmica formada per un terra radiant elèctric, una capa de cartró, un polietilè i un geotèxtil. S'eleva la temperatura superficial fins aproximadament a 40°.
Fitxer:	P2_5A PROVA.txt P2_5A PROVA.xls

Sisena prova.

Data:	12/07/2012
Hora inici:	10:47:25
Hora final:	12:08:34
Duració:	01.00h:31':09''
Descripció:	Sobre la volta sense encadellat superior ni envanets, es fa un trasdossat de la mateixa consistent amb afegir una capa de rajol massís (veure especificacions). Es carrega la volta uniformement. Càrrega aplicada: 308 sacs de 25 kg = 7700 kg
Fitxer:	P2_6A PROVA (CARREGA).txt P2_6A PROVA (CARREGA).xls

Data:	12/07/2012
Hora inici:	12:44:43
Hora final:	15:43:34
Duració:	02.00h:58':51''
Descripció:	Sobre la volta sense encadellat superior ni envanets, es fa un trasdossat de la mateixa consistent amb afegir una capa de rajol massís (veure especificacions). Es descarrega la volta. Fitxer:
	P2_6A PROVA (DESCARREGA).txt P2_6A PROVA (DESCARREGA).xls

Setena prova.

Data:	12/07/2012
Hora inici:	16:09:29
Hora final:	20:45:17
Duració:	04.00h:35':48''
Descripció:	Sobre la volta sense encadellat superior ni envanets, es fa un trasdossat de la mateixa consistent amb afegir una capa de rajol massís. Es carrega la volta de forma no uniforme (s'omple únicament la meitat de la volta). Càrrega aplicada: 154 sacs de 25 kg = 3850 kg
Fitxer:	P2_7A PROVA (CARREGA).txt P2_7A PROVA (CARREGA).xls

5.3.2.2.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-1a.

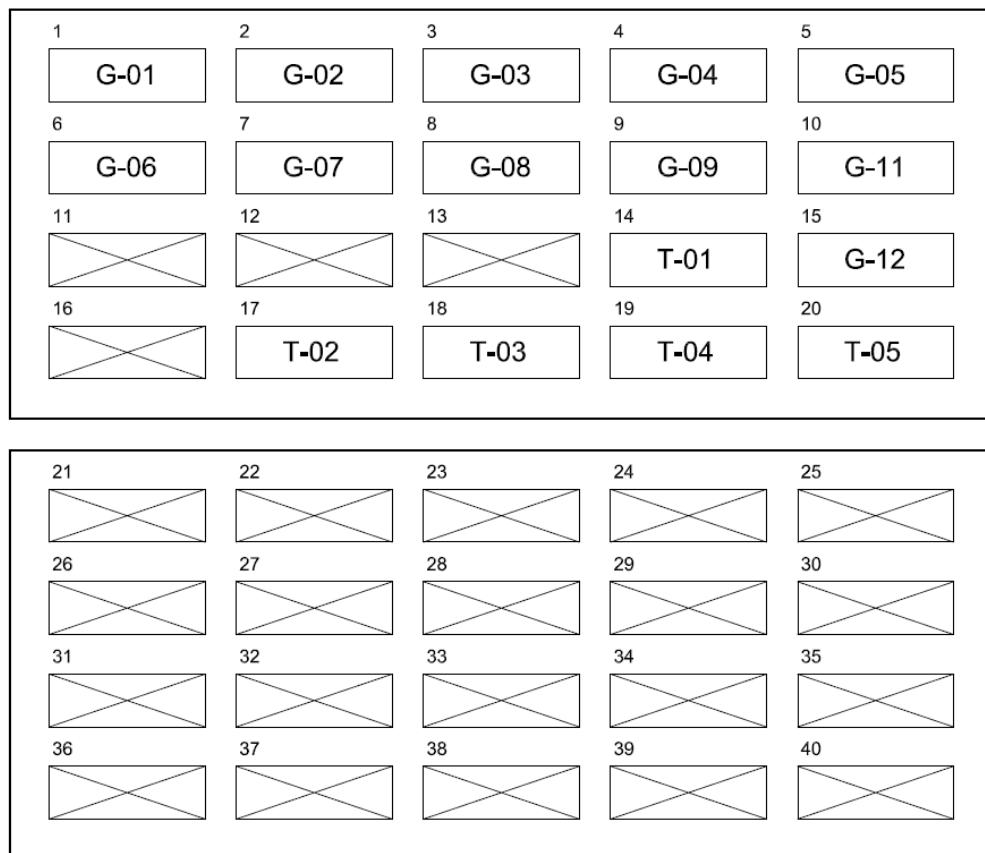
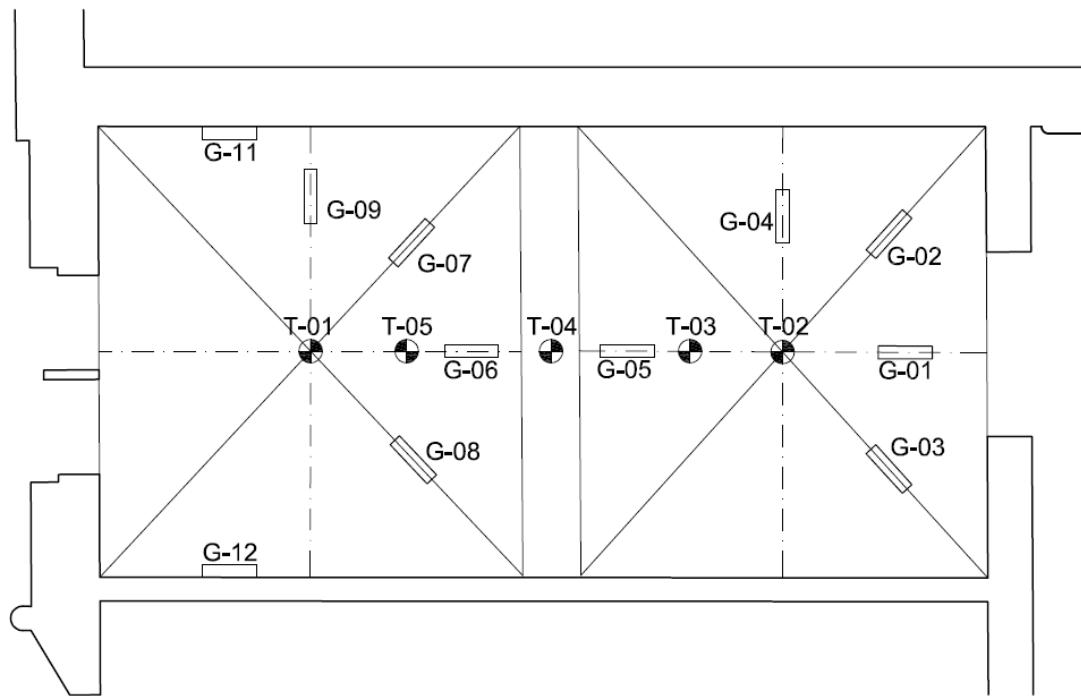


Fig. 73: Esquema de la prova de càrrega P2-1a a la volta E2p1_V2.

5.3.2.3.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-1a.

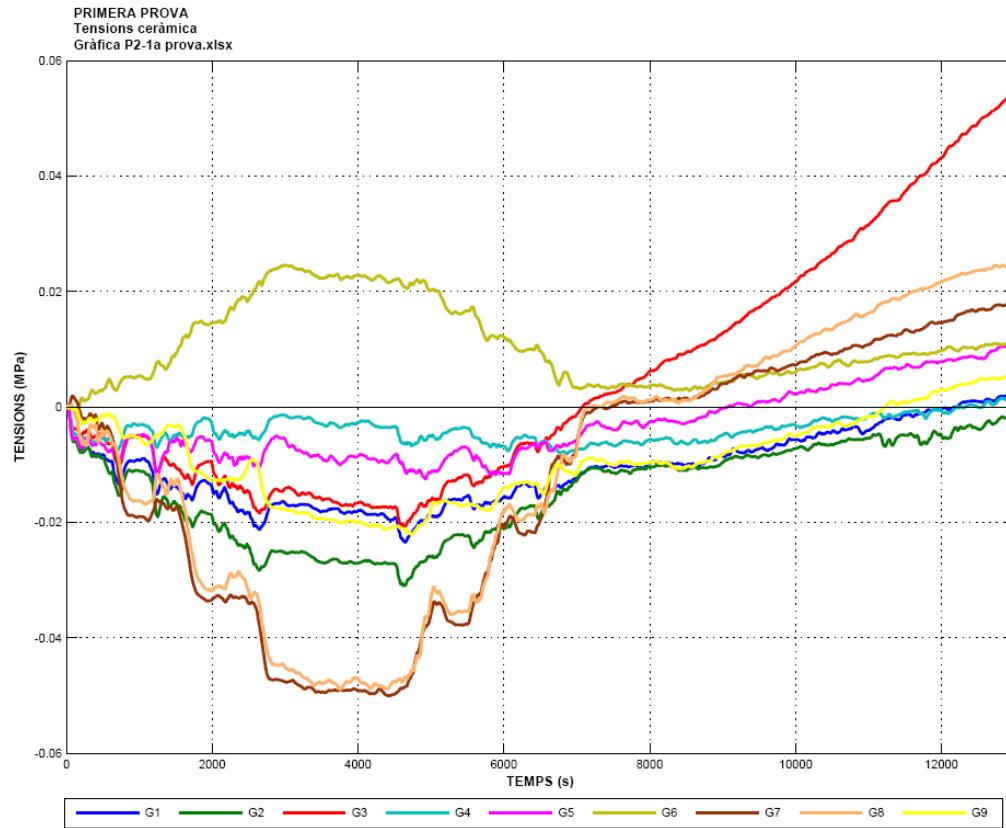


Fig. 74: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

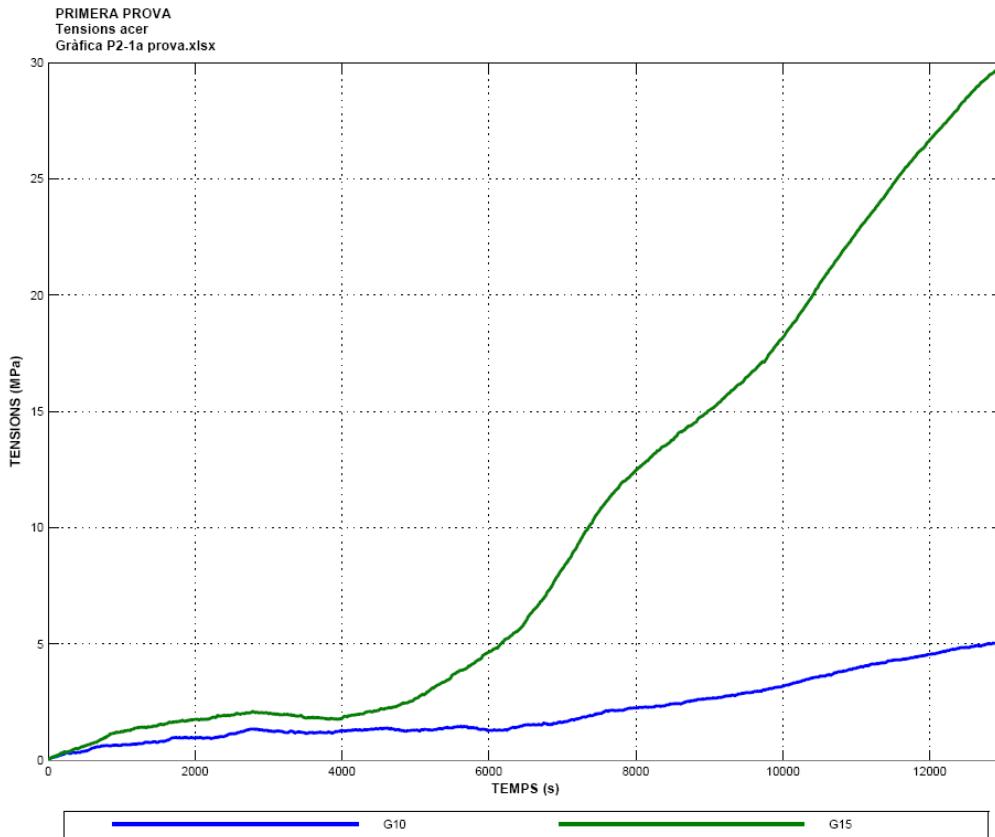


Fig. 75: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

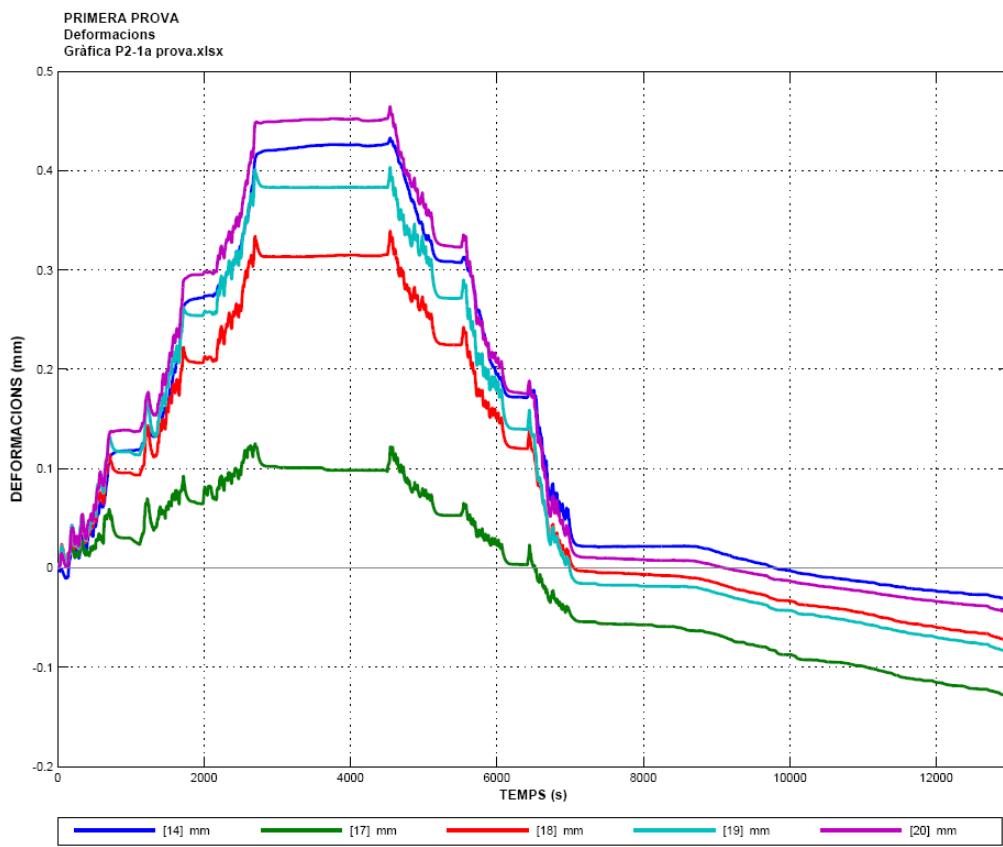


Fig. 76: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

5.3.2.4.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-2a.

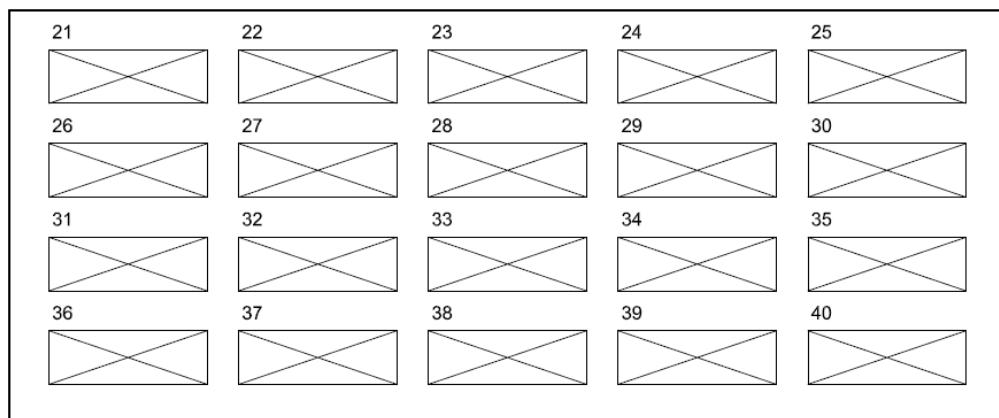
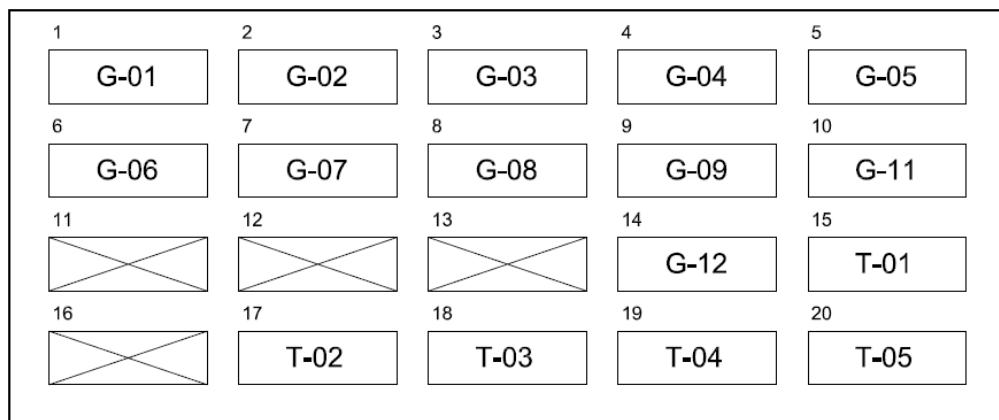
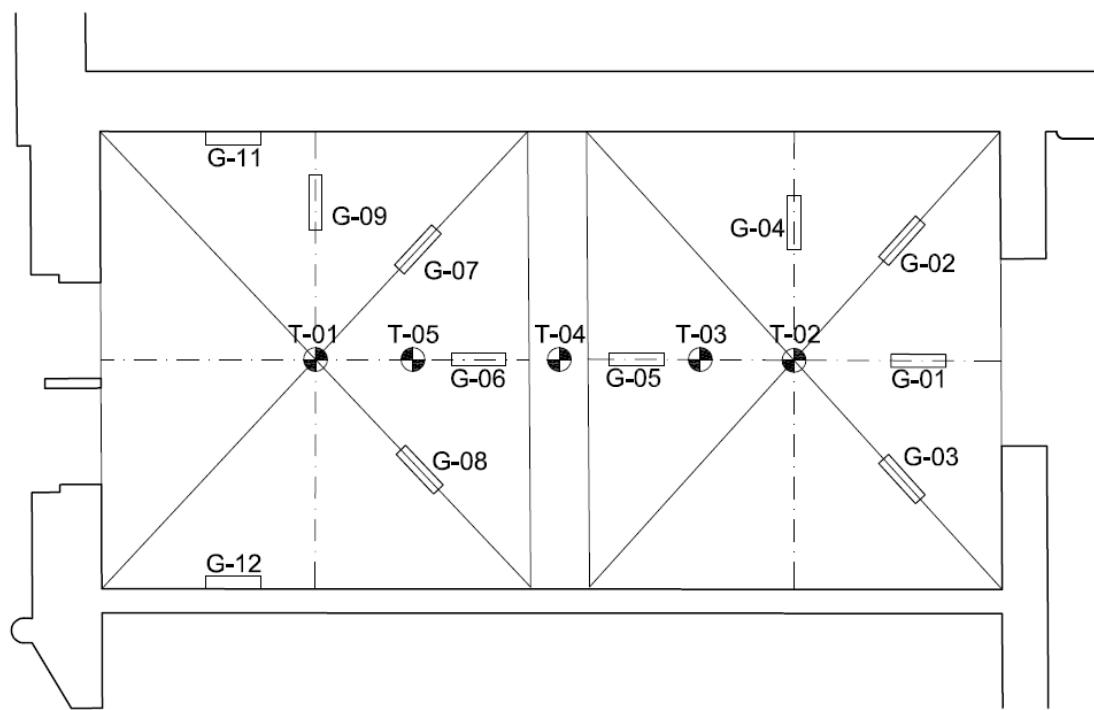


Fig. 77: Esquema de la prova de càrrega P2-2a a la volta E2p1_V2.

5.3.2.5.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-2a.

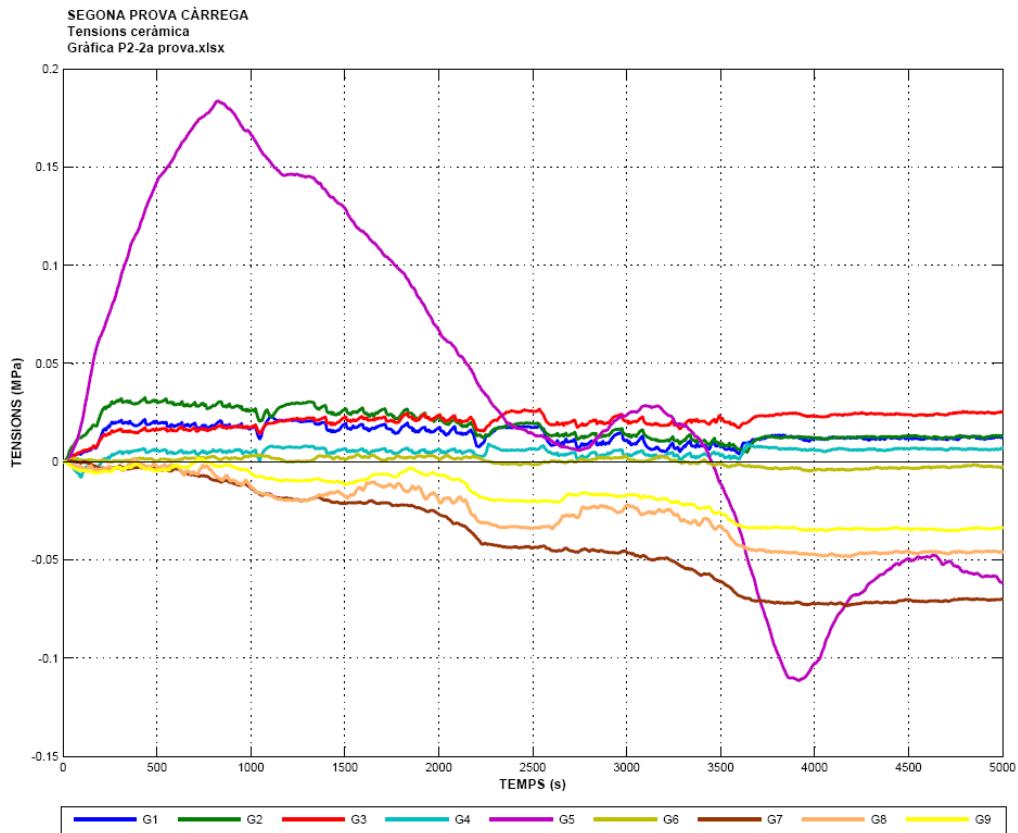


Fig. 78: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-2a.

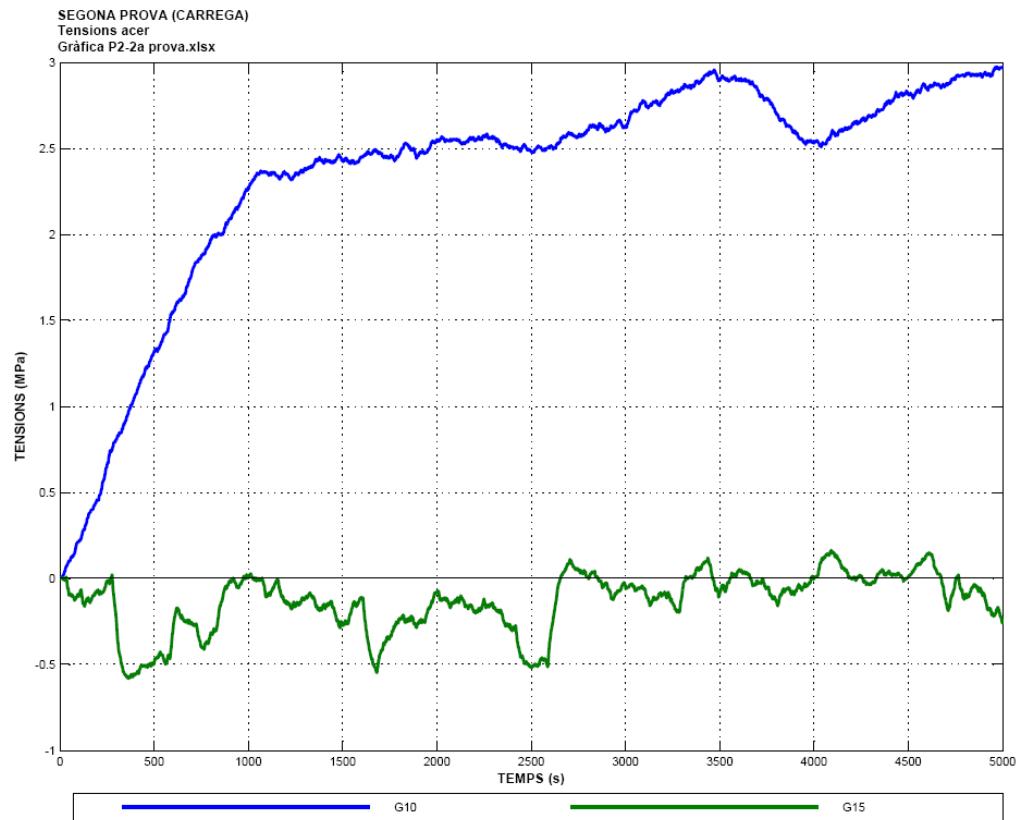


Fig. 79: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-2a.

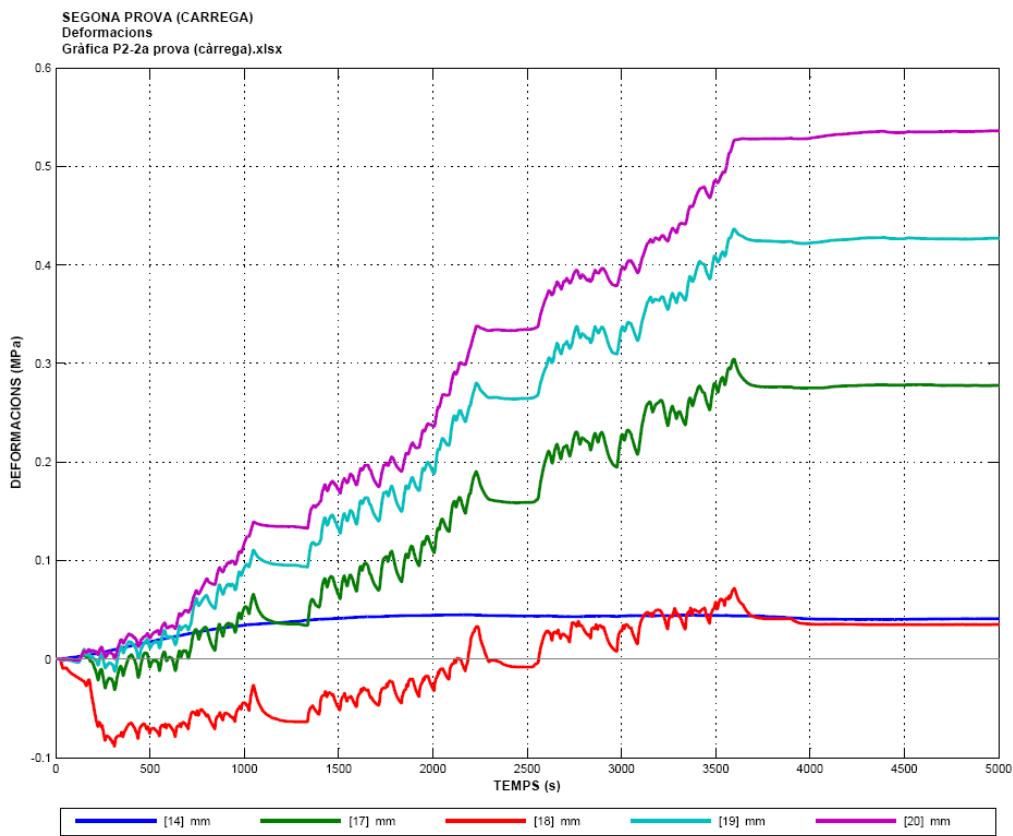


Fig. 80: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-2a.

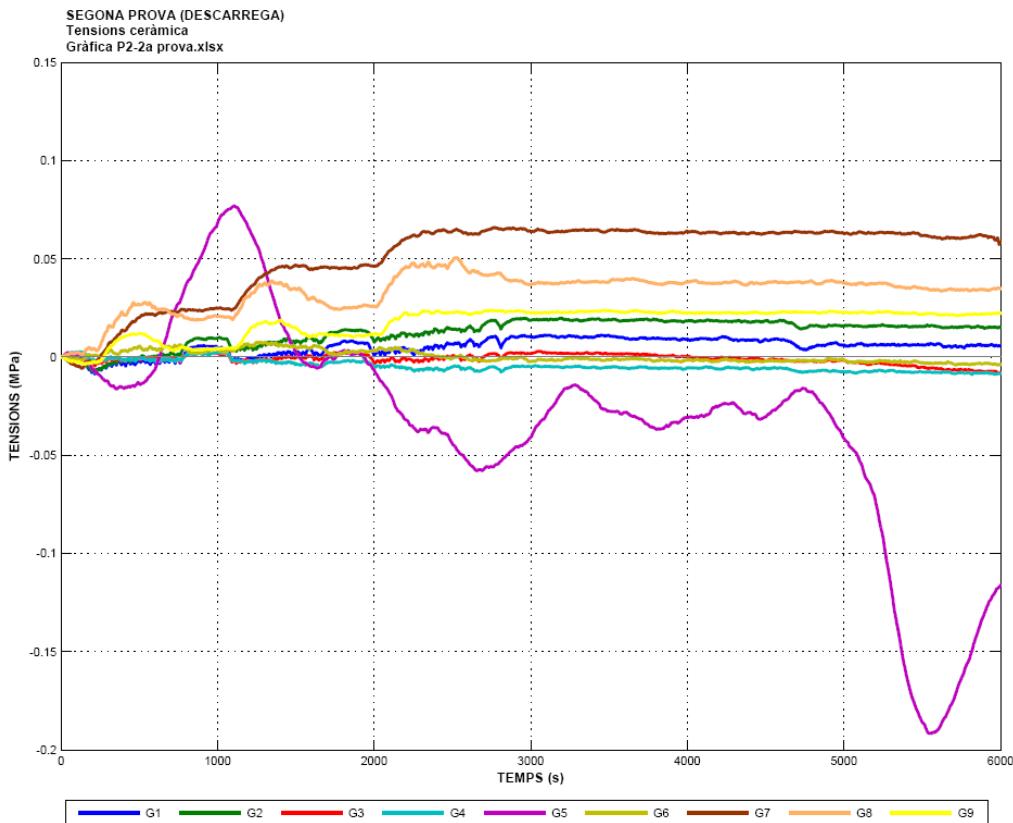


Fig. 81: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-2a.

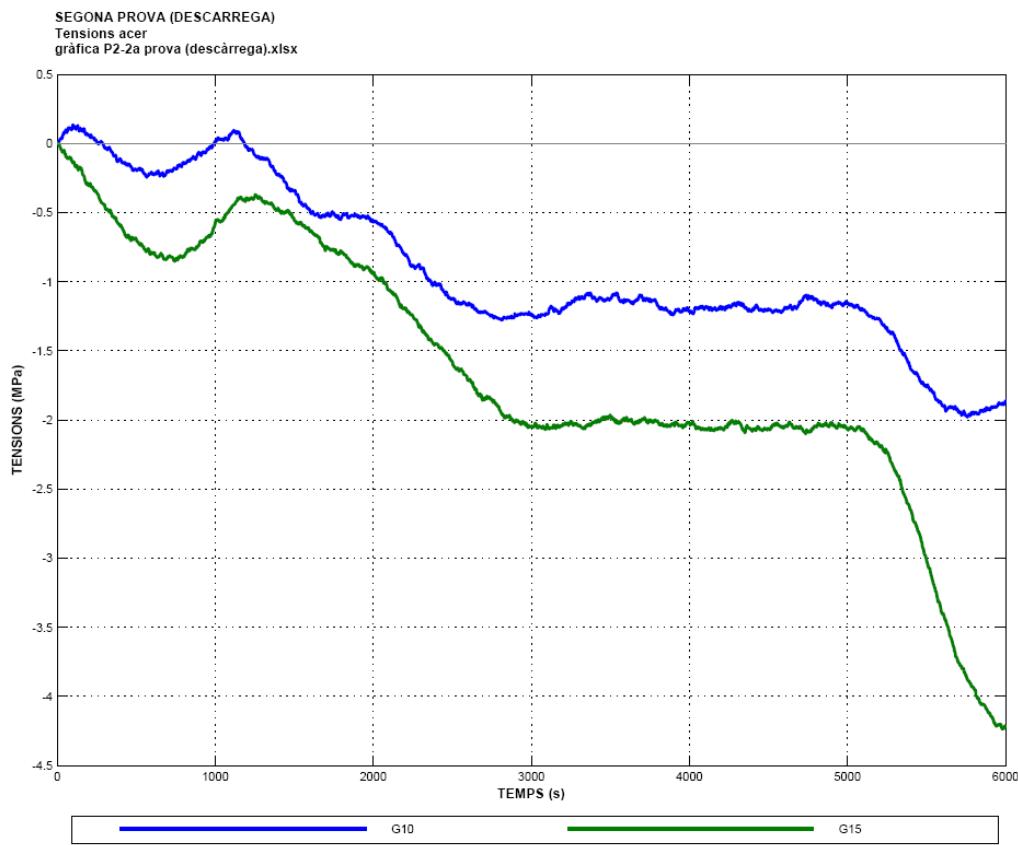


Fig. 82: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-2a.

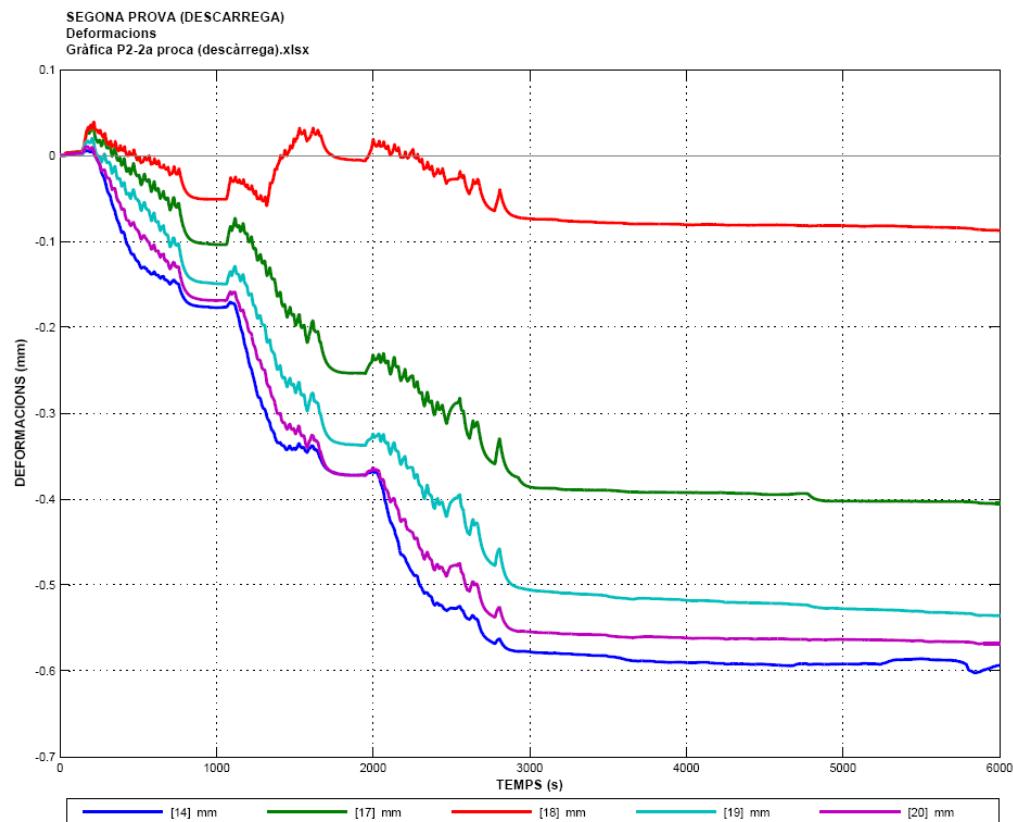


Fig. 83: Deformacions a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-2a.

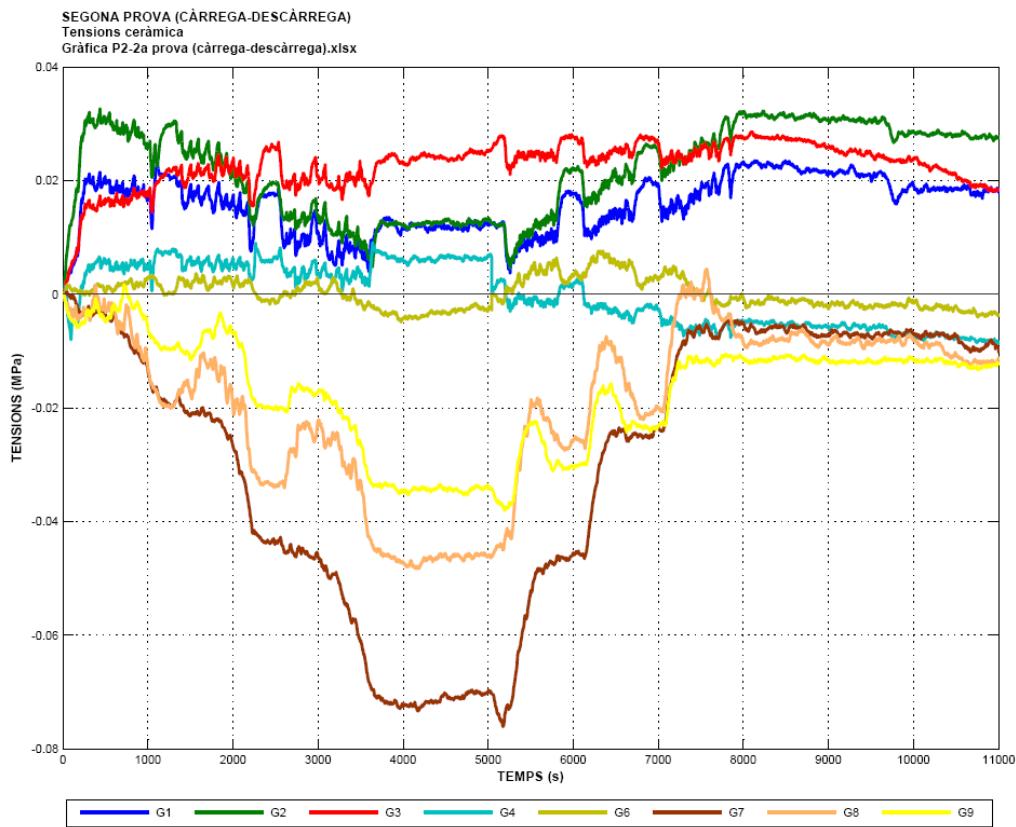


Fig. 84: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

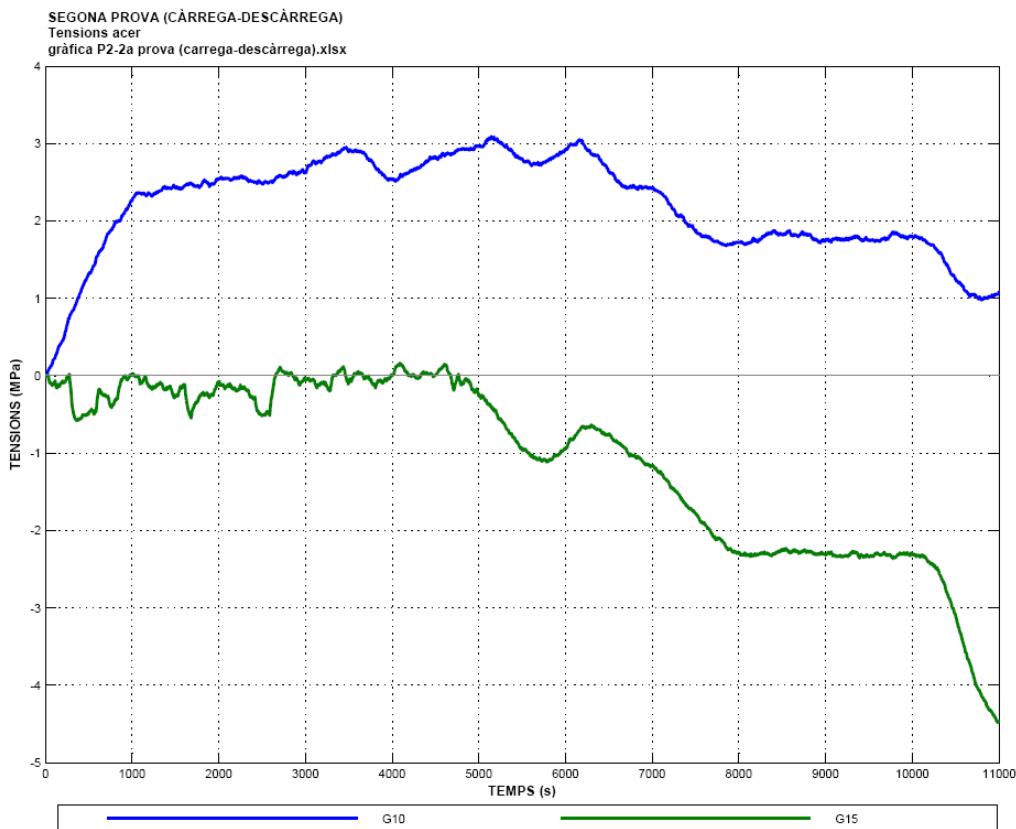


Fig. 85: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

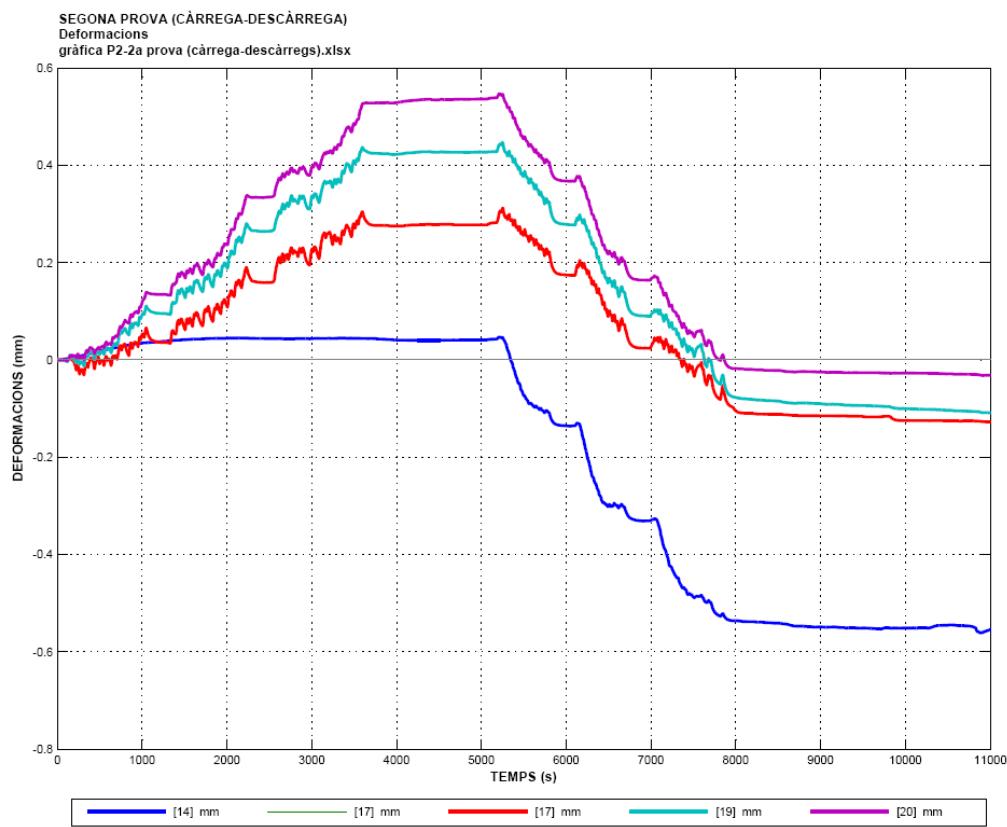


Fig. 86: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

5.3.2.6.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-3a.

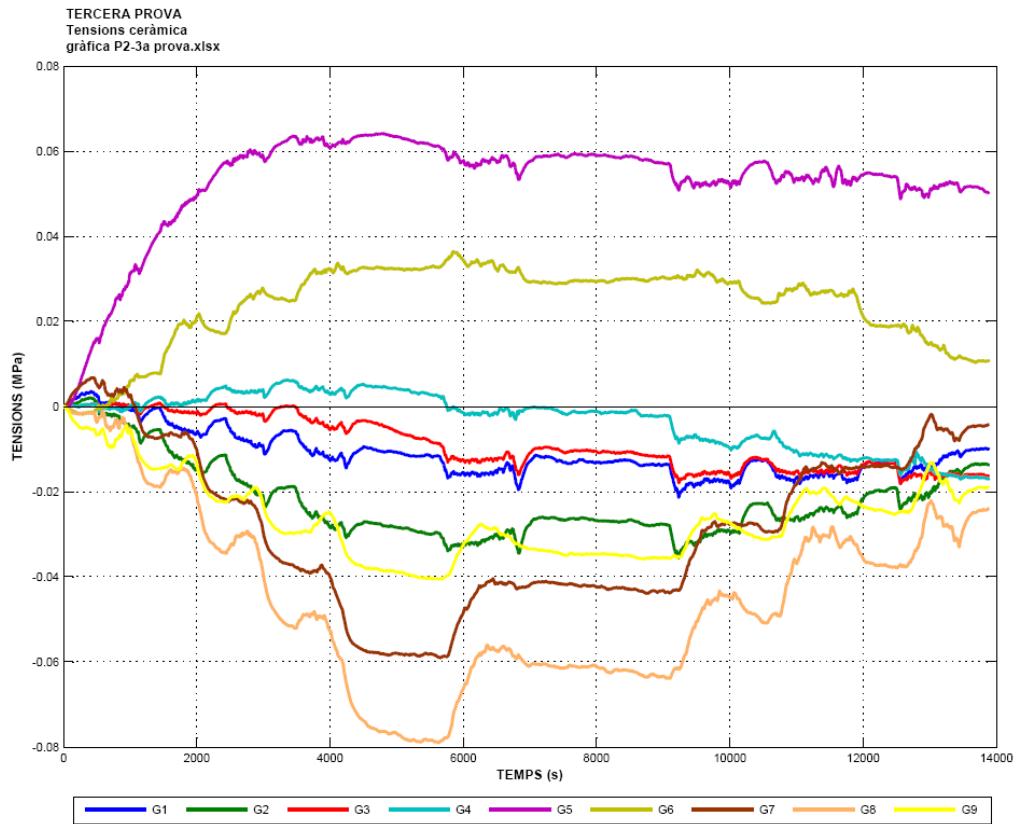


Fig. 87: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

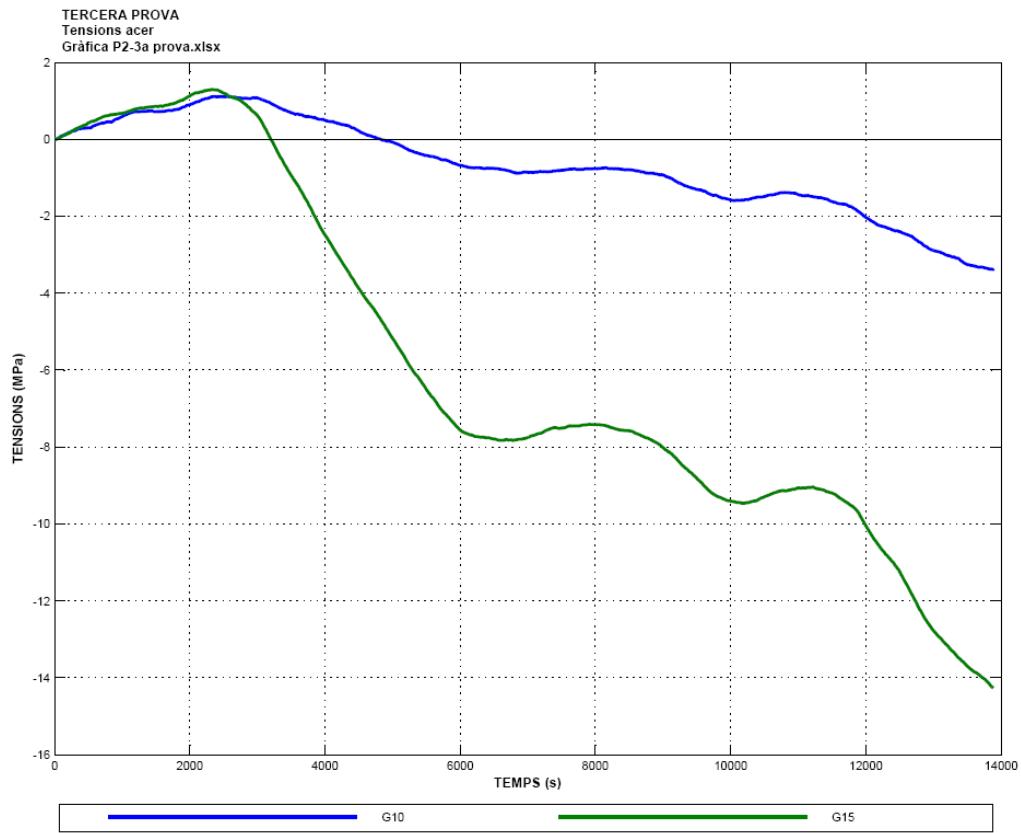


Fig. 88: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

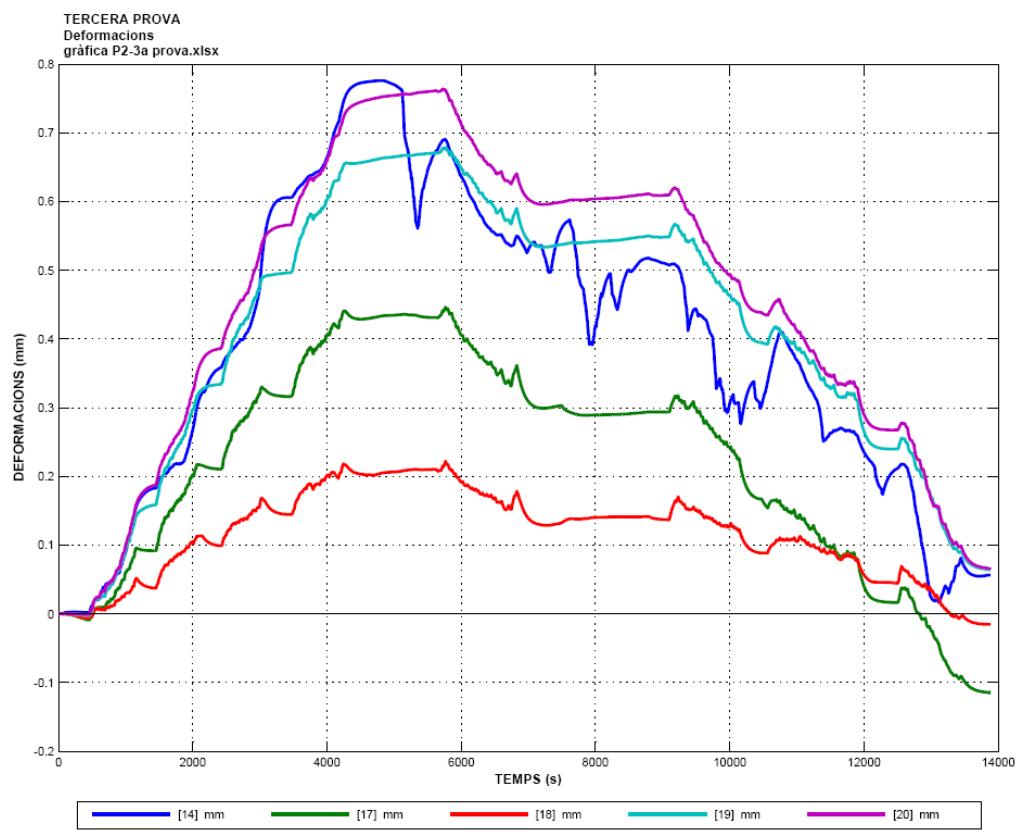


Fig. 89: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

5.3.2.7.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-4a.

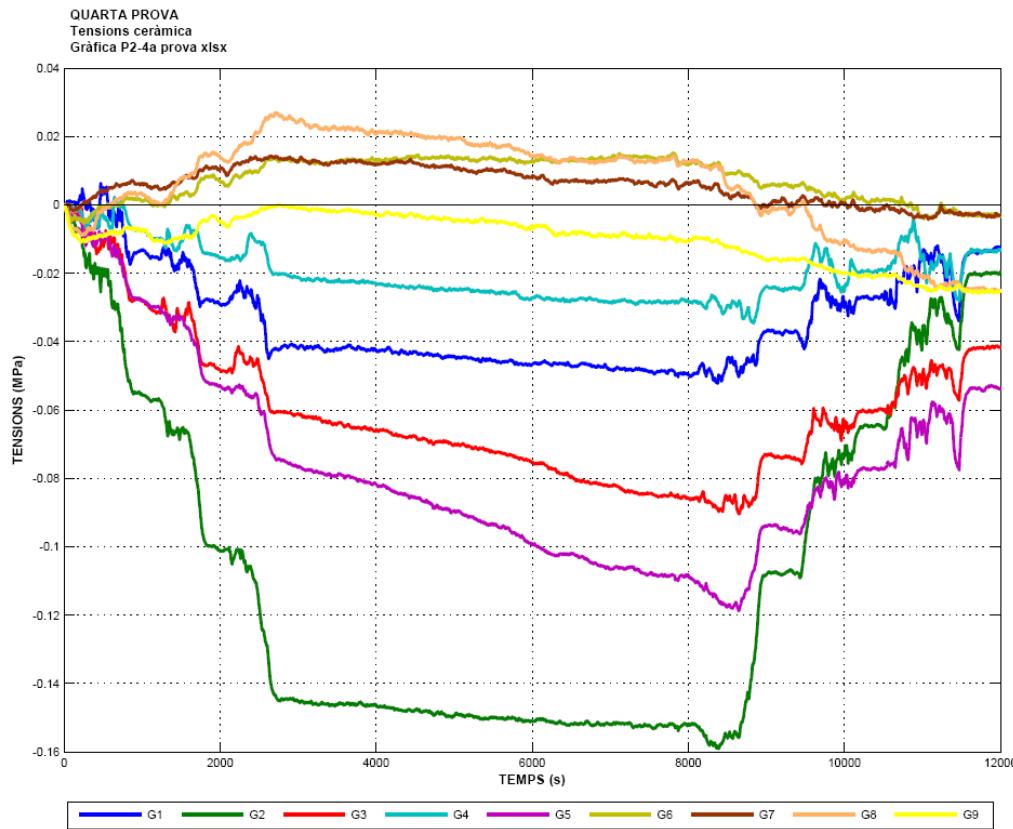


Fig. 90: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-4a.

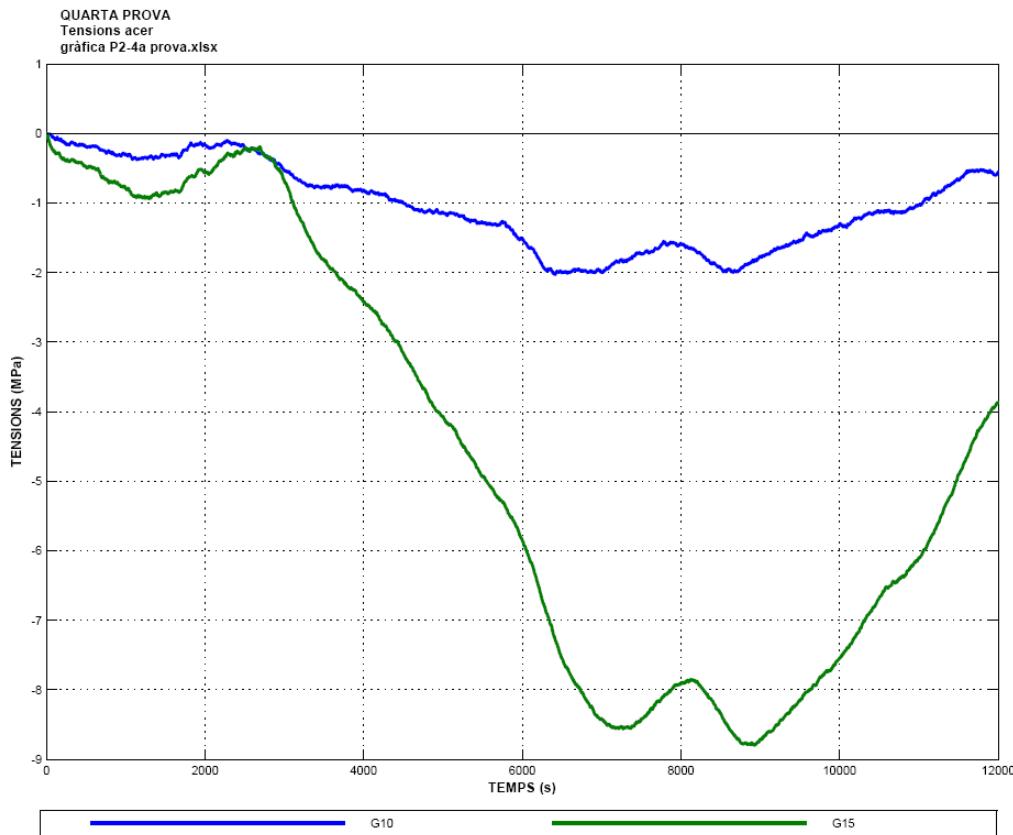


Fig. 91: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-4a.

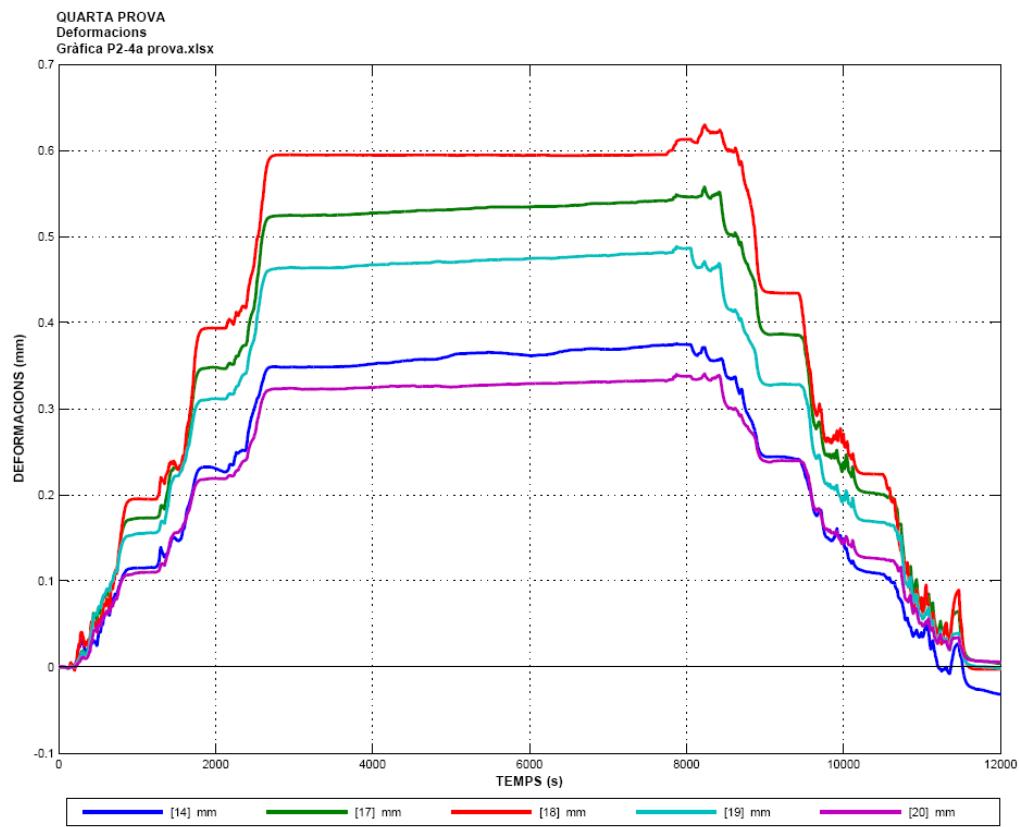


Fig. 92: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-4a.

5.3.2.9.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-6a.

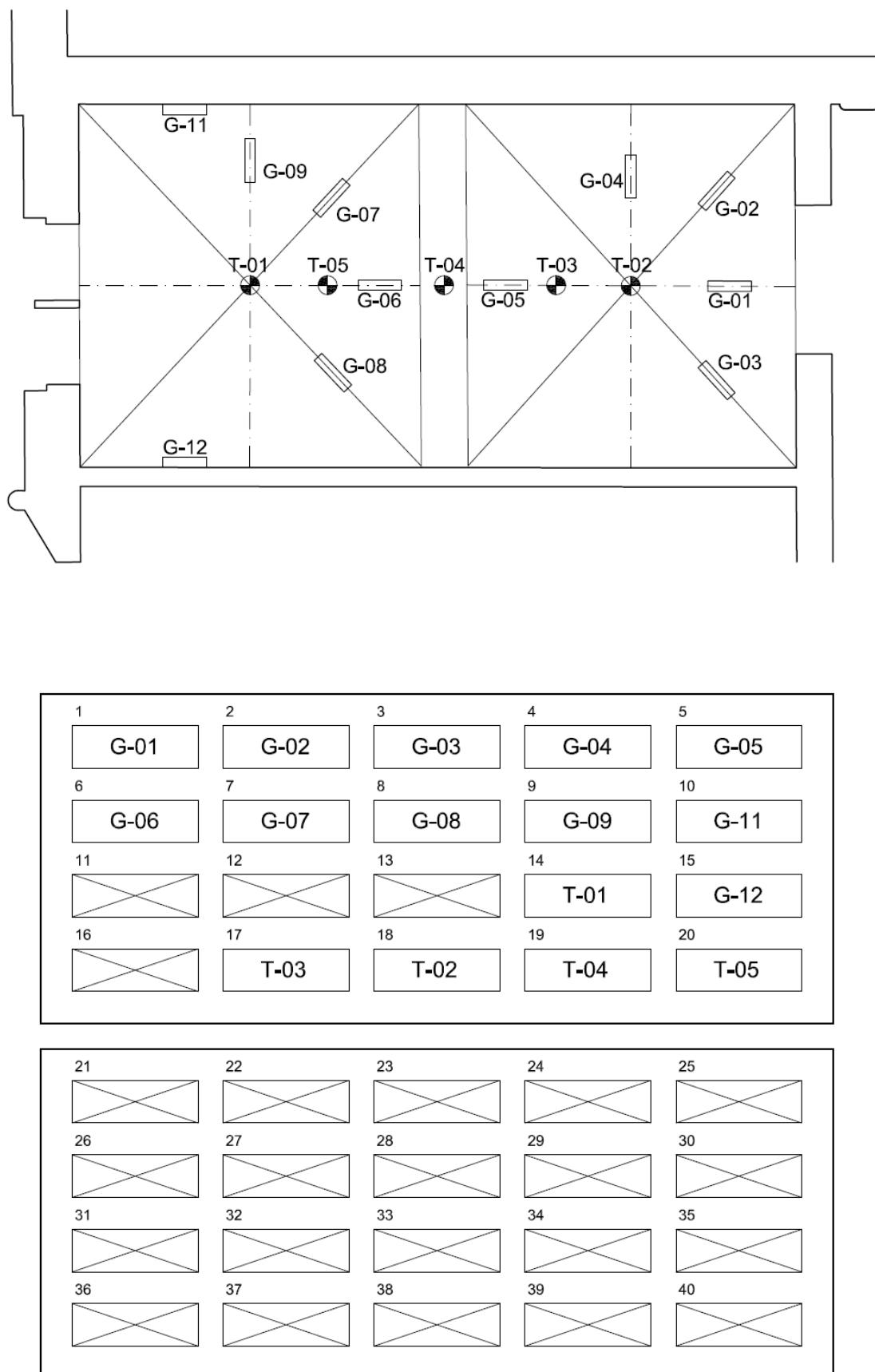


Fig. 93: Esquema de la prova de càrrega P2-6a a la volta E2p1_V2.

5.3.2.10.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-6a.

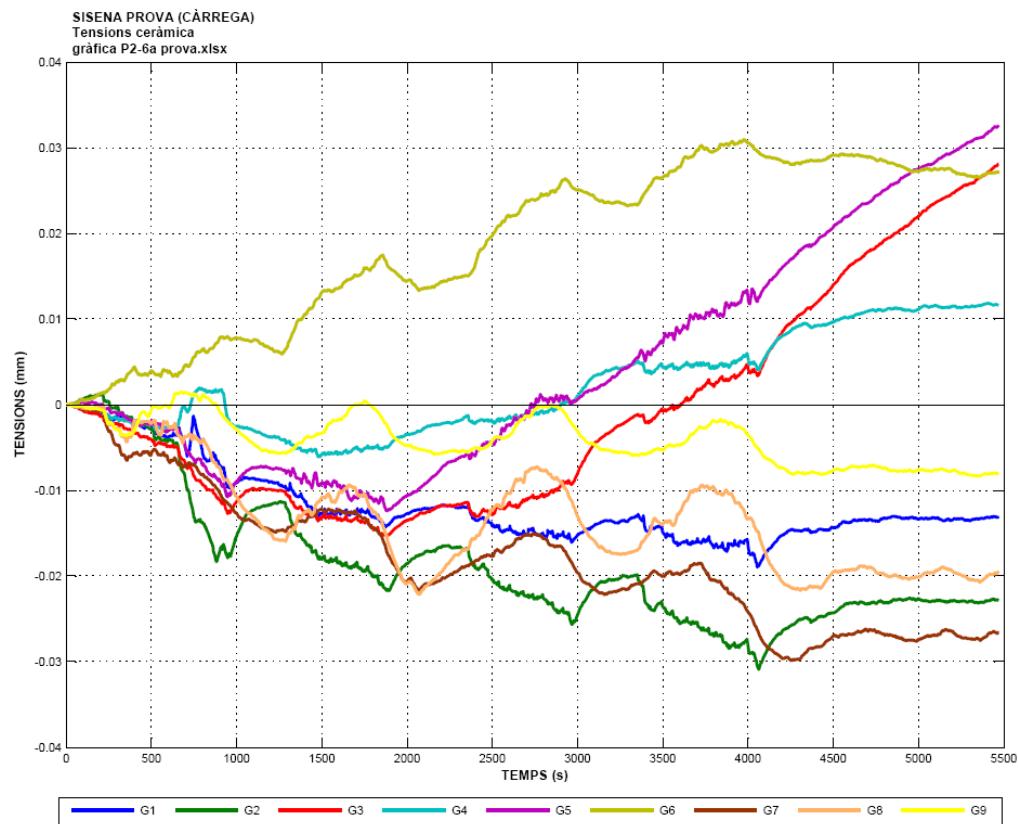


Fig. 94: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-6a.

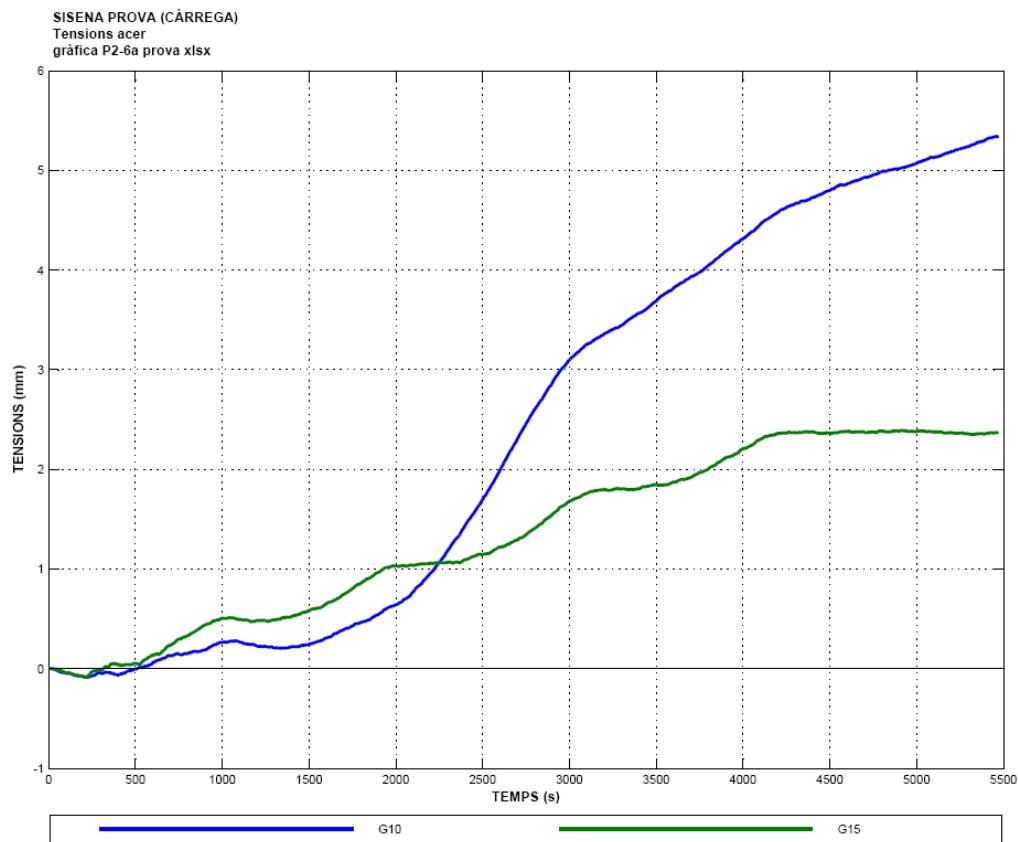


Fig. 95: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-6a.

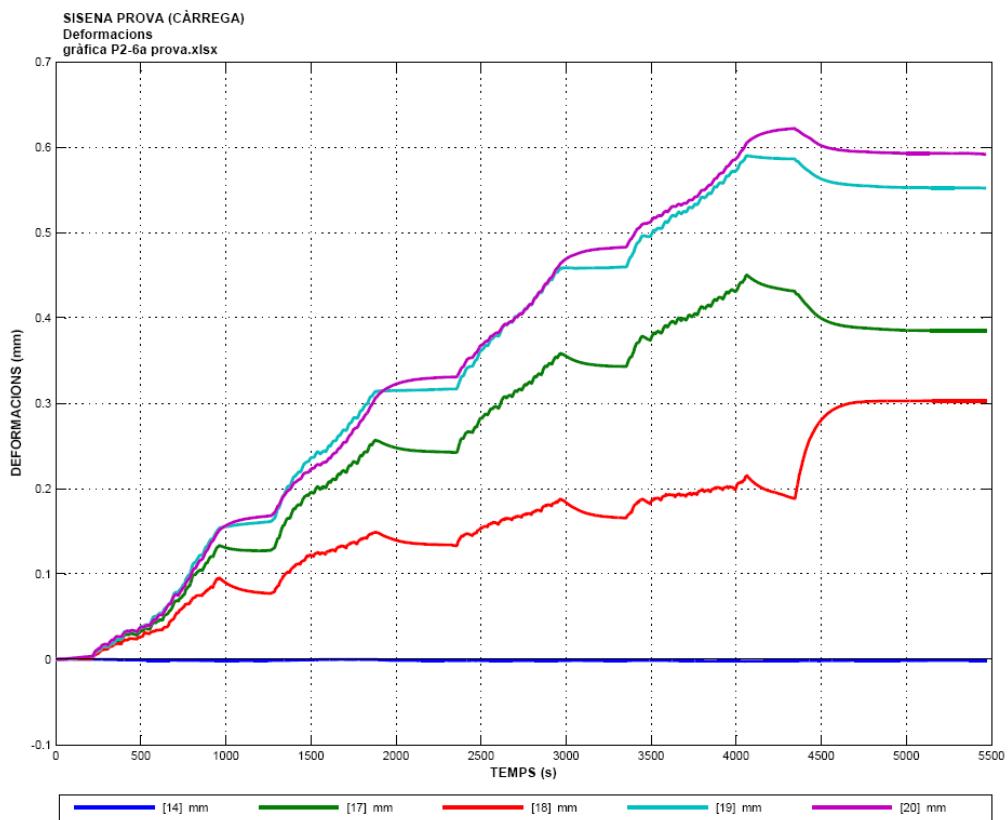


Fig. 96: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-6a.

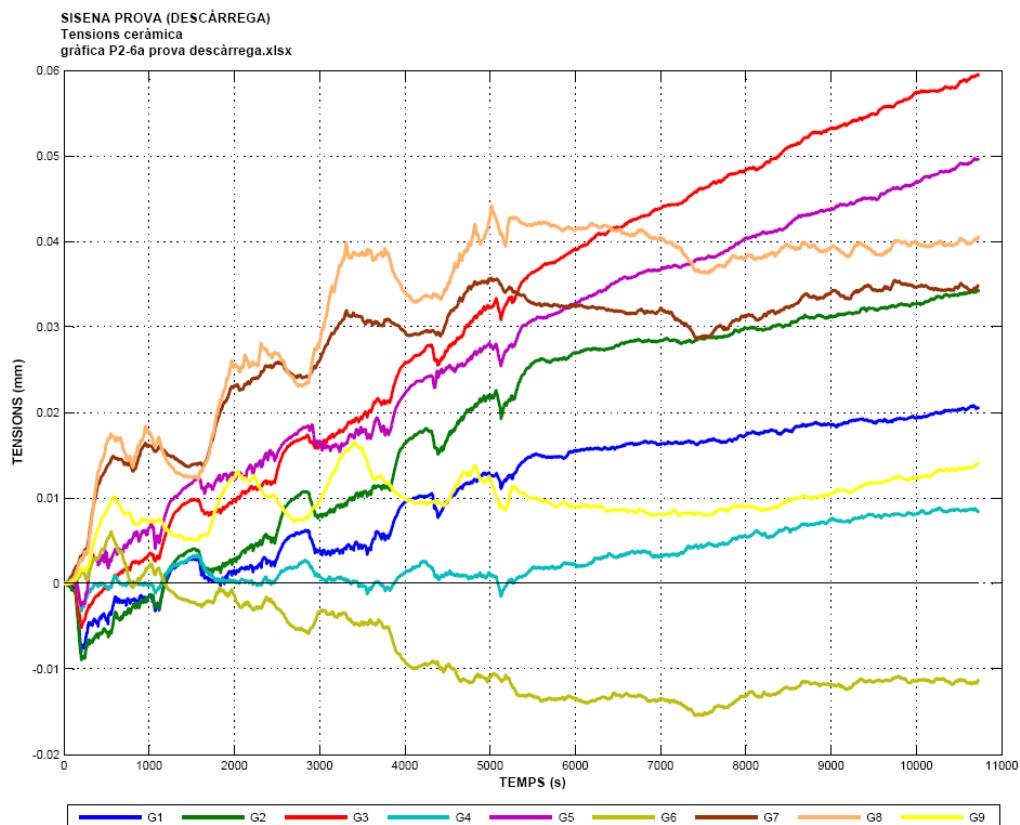


Fig. 97: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-6a.

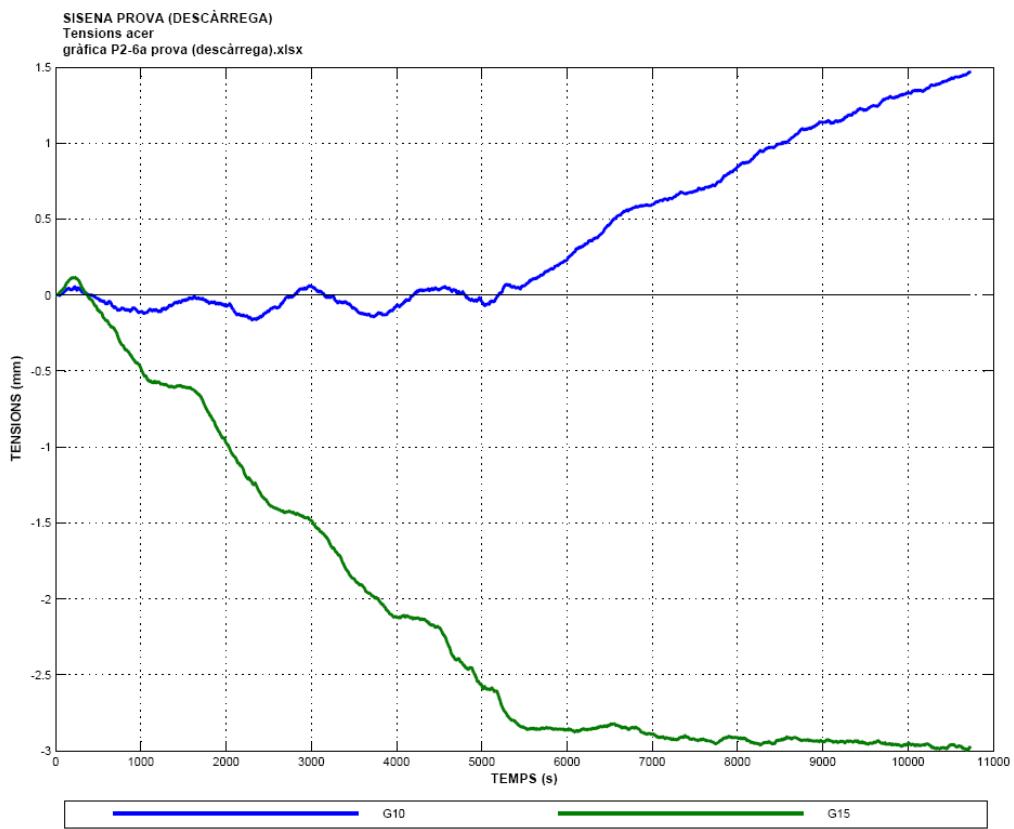


Fig. 98: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-6a.

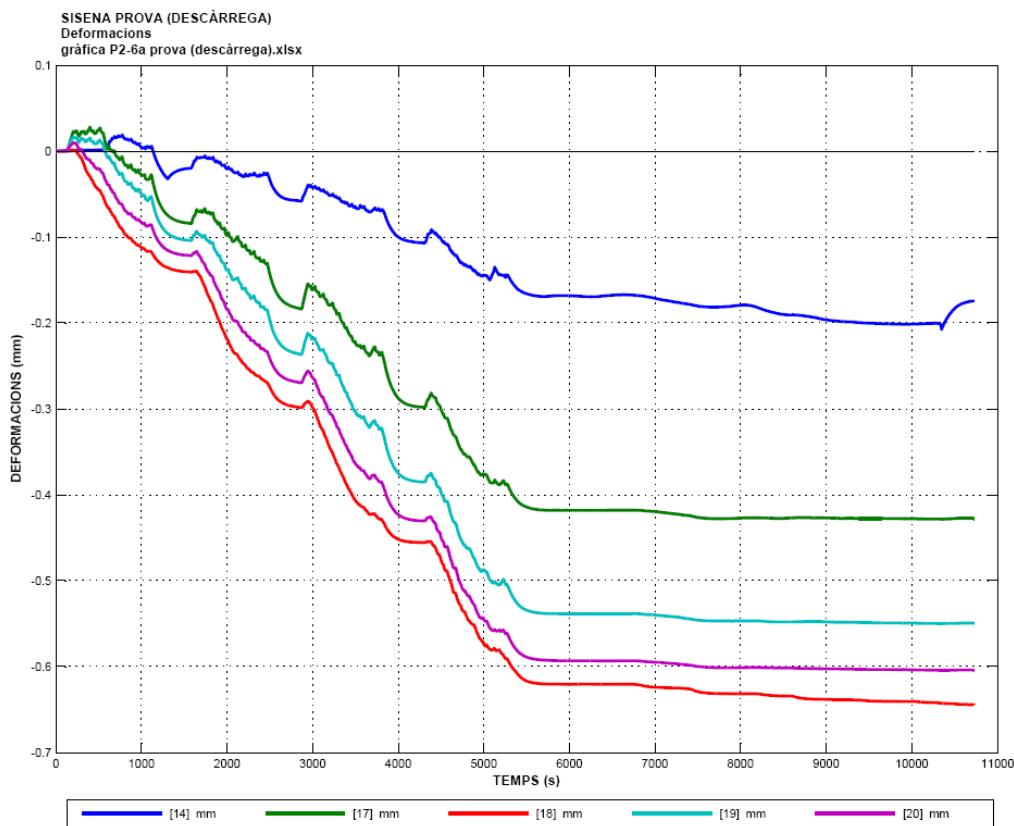


Fig. 99: Deformacions a la volta E2p1_V2, descàrrega P2-6a.

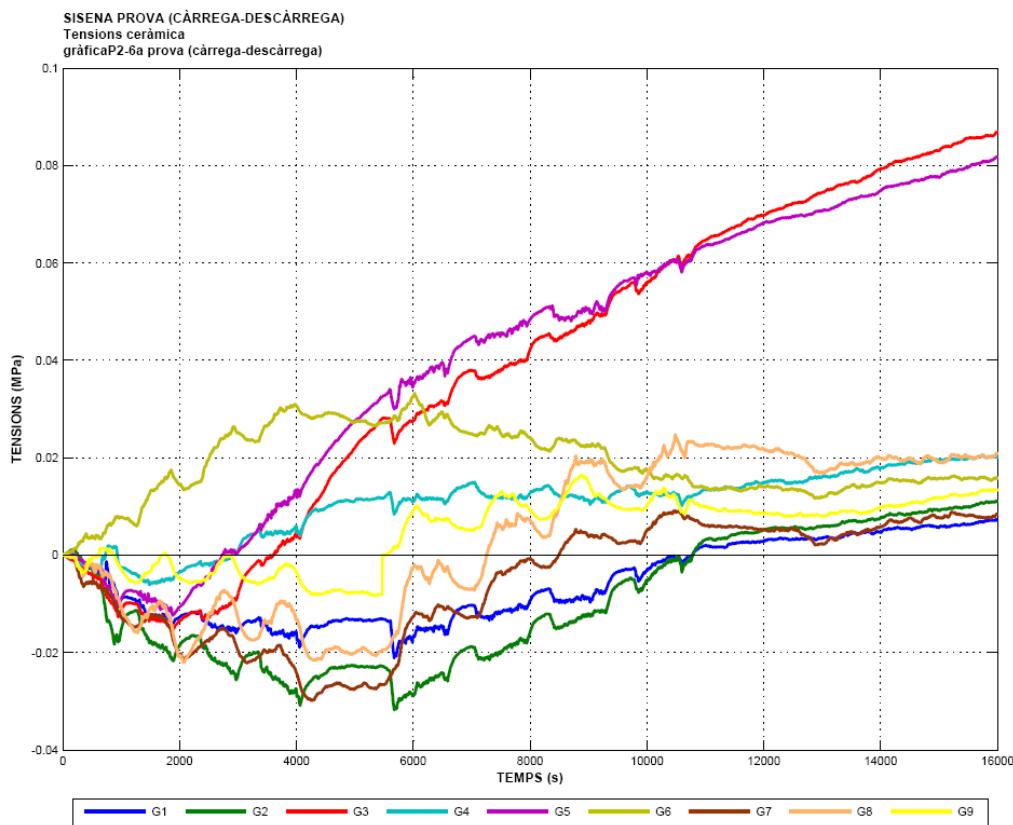


Fig. 100: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-6a.

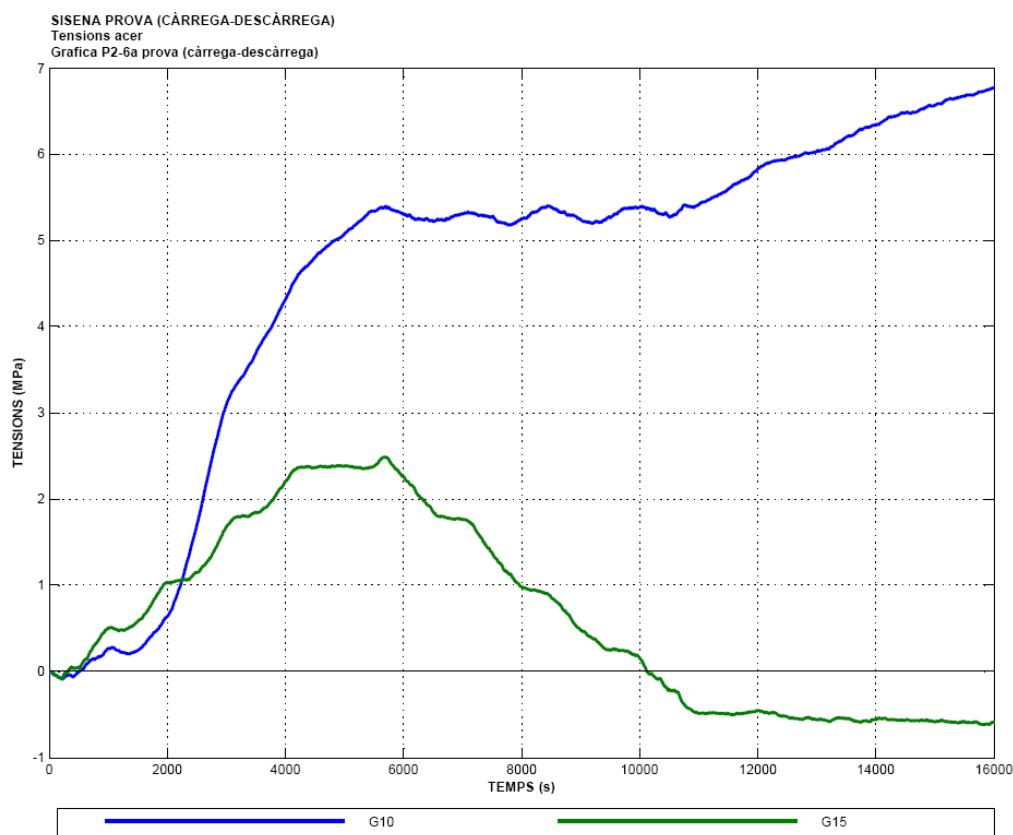


Fig. 101: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-6a.

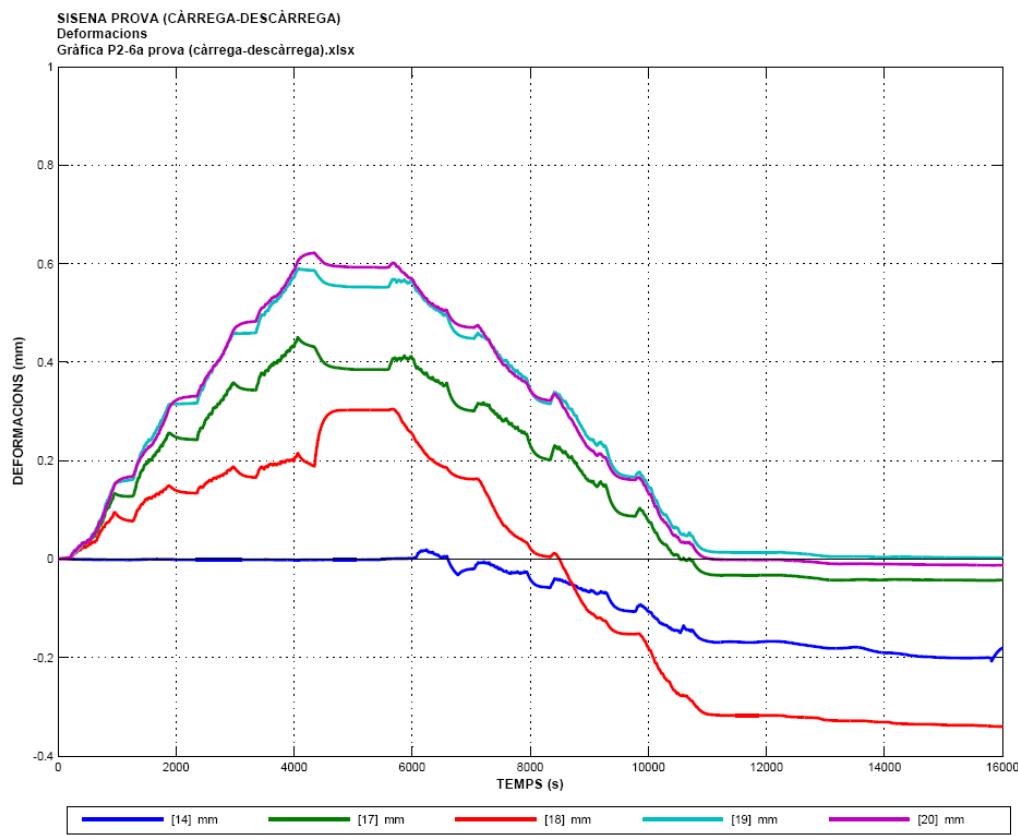


Fig. 102: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-6a.

5.3.2.11.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P2-7a.

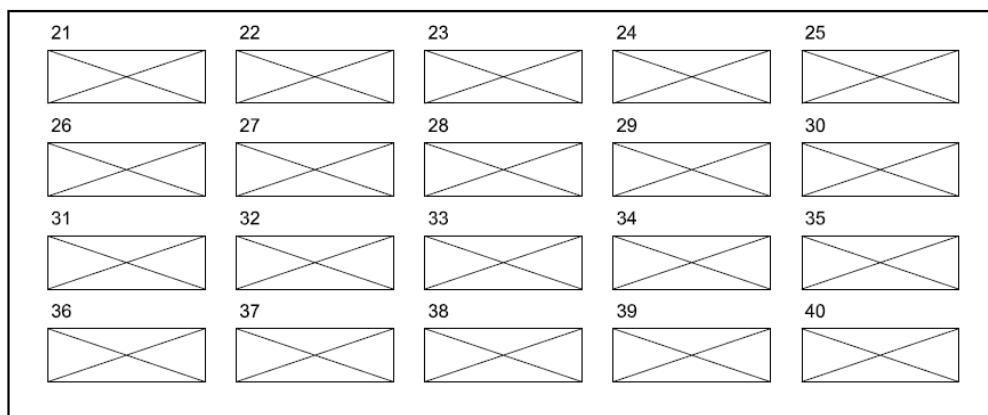
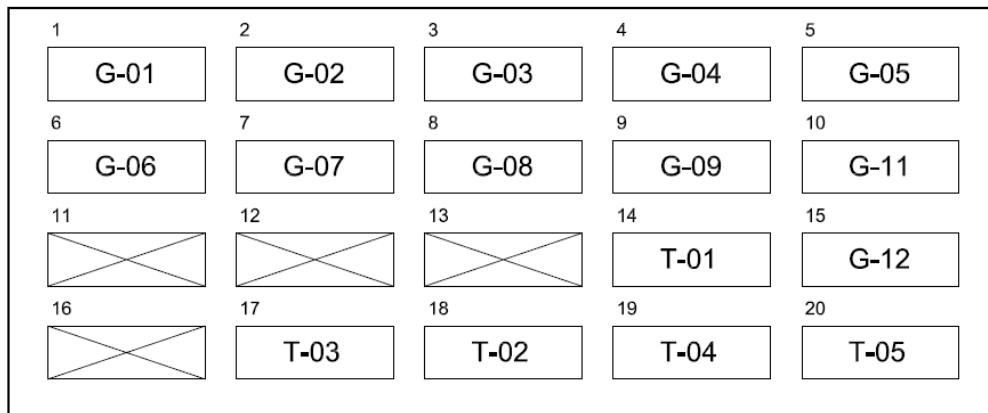
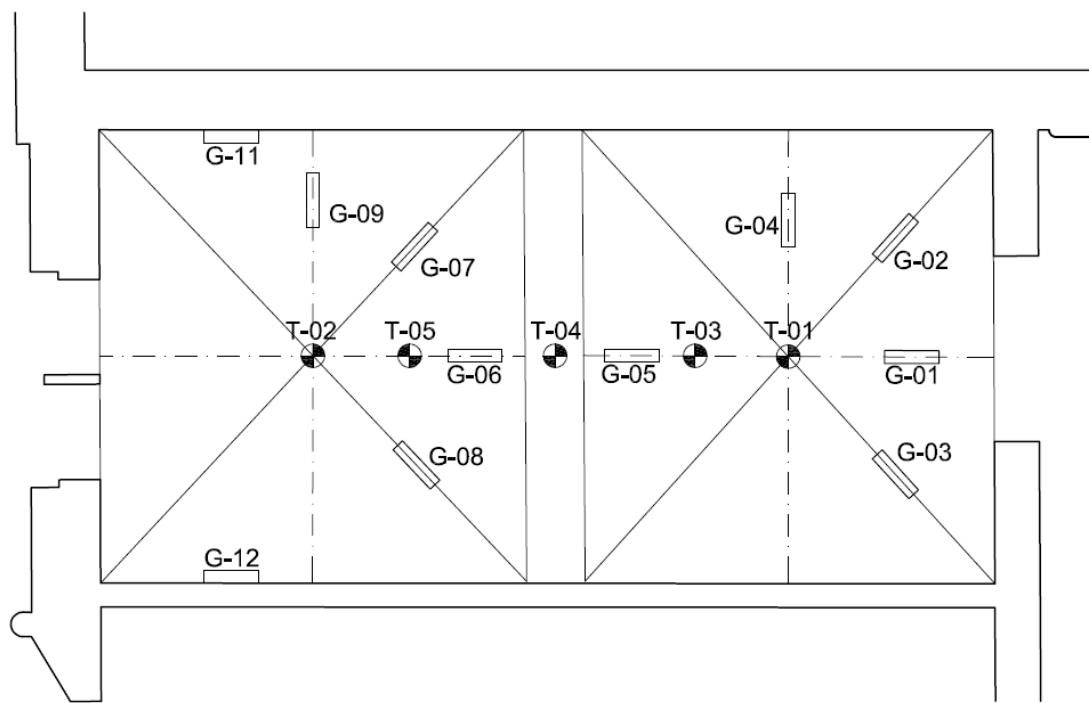


Fig. 103: Esquema de la prova de càrrega P2-7a a la volta E2p1_V2.

5.3.2.12.- Resultats de la prova de càrrega E2p1_V2 – P2-7a.

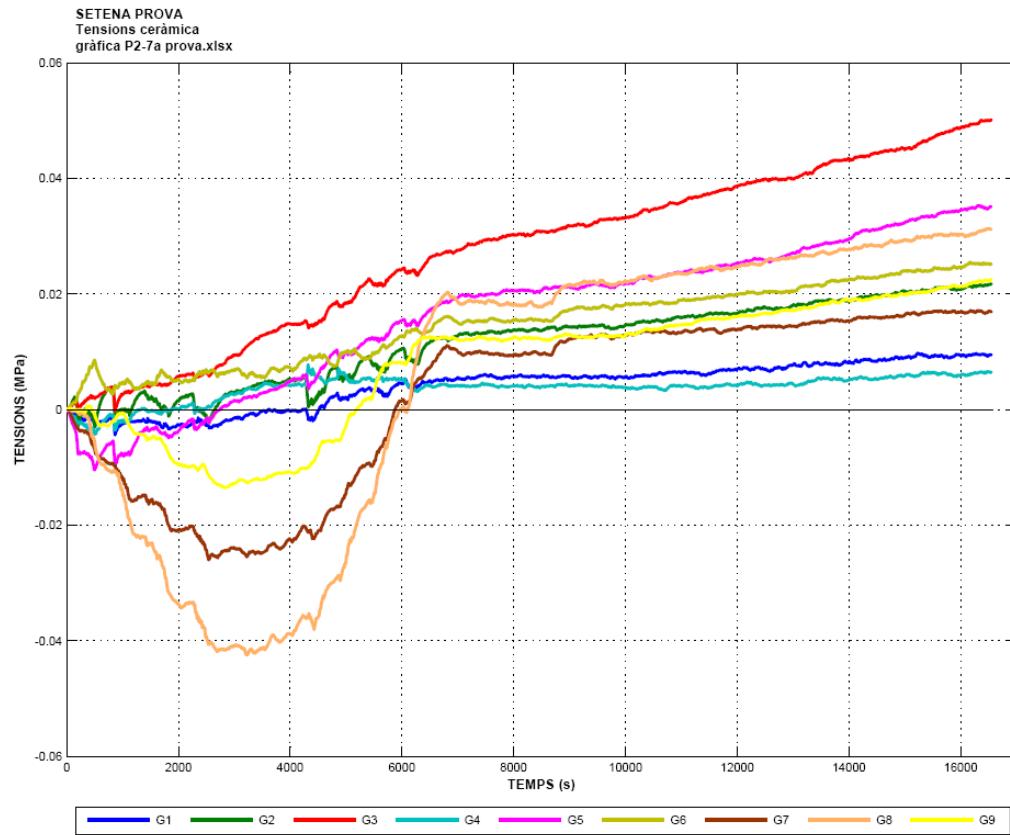


Fig. 104: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-7a.

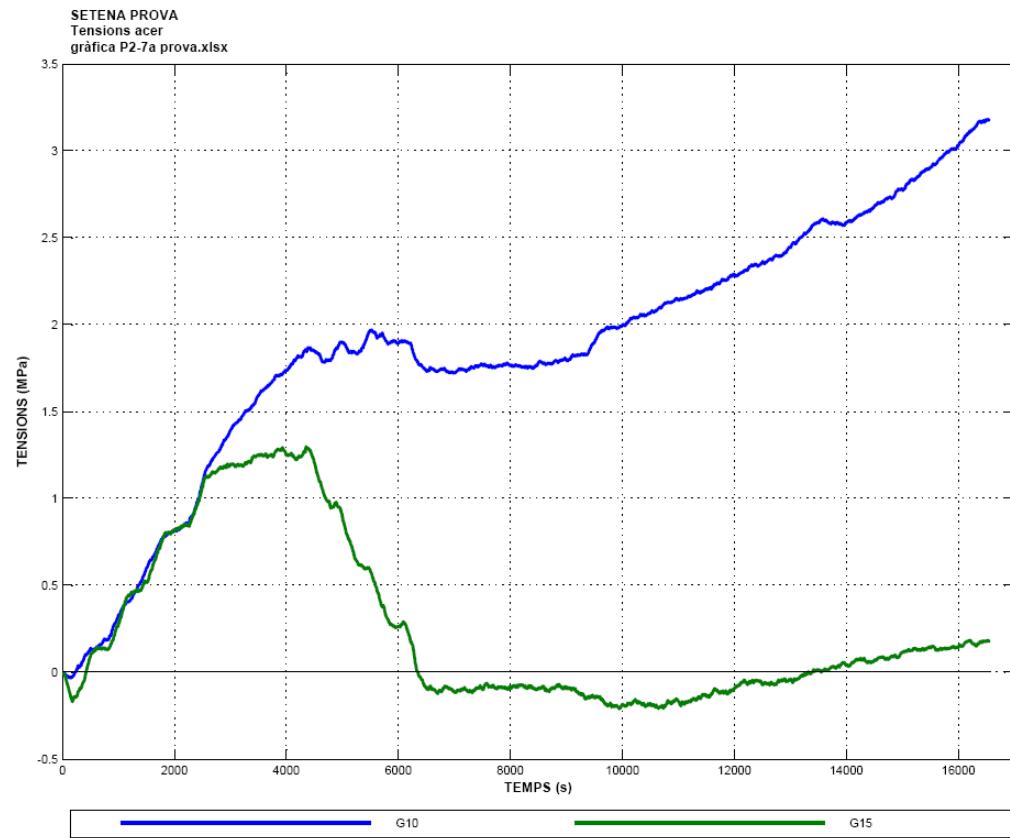


Fig. 105: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-7a.

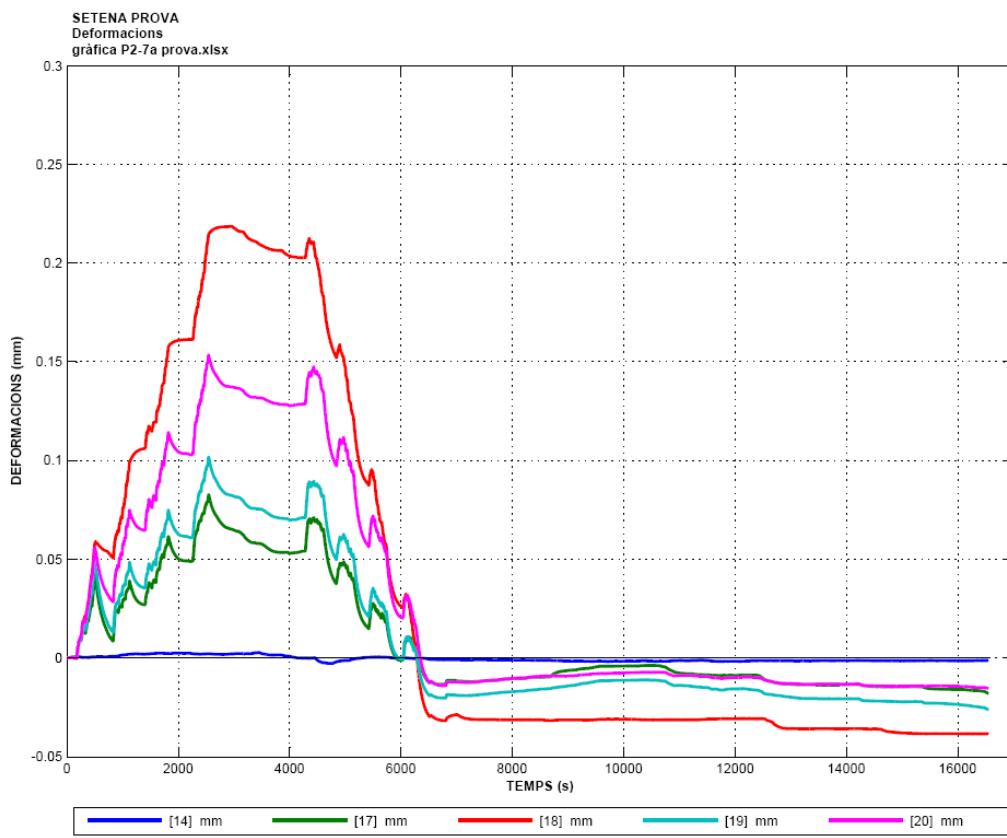


Fig. 106: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-7a.

5.3.2.13.- Resum dels resultats: volta E2p1_V2.

ETAPA DE LA PROVA	Tensions (Mpa)		Deformacions (mm)		Comentaris.
	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	
PROVA 01: Volta sencera. (Càrrega i descàrrega)	-0.050	0.050	0.500	0.100	
PROVA 02: Volta sense encadellat superior (Càrrega i descàrrega)	-0.075	0.035	0.700	0.270	
PROVA 03 Volta sense encadellat ni envanets. (Càrrega i descàrrega)	-0.080	0.062	0.780	0.200	
PROVA 04 Closca ceràmica + capa MAPEI (Càrrega i descàrrega)	-0.160	0.030	0.600	0.330	
PROVA 05 Prova de comportament tèrmic.	(veure resultats en apartat específic)				Aquesta prova, per la seva natura, té un apartat específic de discussió de resultats.
PROVA 06 Closca + cada addicional ceràmica. (Càrrega i descàrrega)	-0.030	0.030	0.600	0.200	
PROVA 07 Closca + cada addicional ceràmica. (Mitja càrrega i descàrrega)	----	----	----	----	Valors menors que la prova 06, ja que la càrrega és menor. Sense informació significativa.

5.3.2.14.- Conclusions parcials relatives a la volta E2p1_V2.

- .- S'aprecia una tendència semblant a les voltes anteriors.
- .- La zona més dèbil de les dues voltes afectades per aquesta segona col·lecció de voltes, es la zona de l'arc central. Les deformacions més importants, es concentren en aquesta zona.
- .- La millora obtinguda en el cas de la capa addicional consistent en una capa de material de l'empresa MAPEI i la obtinguda a partir d'afegir una capa adicional de material ceràmic, és:
 - .- A nivell de deformacions:
Ambdues solucions es comporten de manera similar.
La millora respecte a la solució sense el reforç és notable: es redueix un 25% el nivell de deformació vertical del conjunt.
 - .- A nivell tensional:
Es millora la distribució de tensions i el comportament de la volta és molt més homogeni amb dispersions baixes entre els valors màxims i mínims.
- .- S'han instrumentat els perfils perimetrals de la volta.
S'observa que es comporta clarament com un mecanisme complementari : Quan la volta té rigidesa suficient (casos en que la volta està completa o reforçada) les tensions màximes mesurades són d'aproximadament 8 MPa. En el moment en que la volta disposa únicament de la closca ceràmica, la tensió en aquest sistema alternatiu, s'incrementa fins assolir valors pròxims al doble dels valors anteriorment indicats. En qualsevol cas, el valor mesurat està encara lluny dels valors màxims admissibles.

5.3.3.- Tercera prova de càrrega.

La tercera prova s'efectua al sostre de la planta soterrani en la volta marcada a la Fig.69. És una volta de l'ala lateral oest amb major llum que les anteriors i decoració de ceràmica vidriada a la part inferior.

Nomenclatura: **Bp-1_V2**

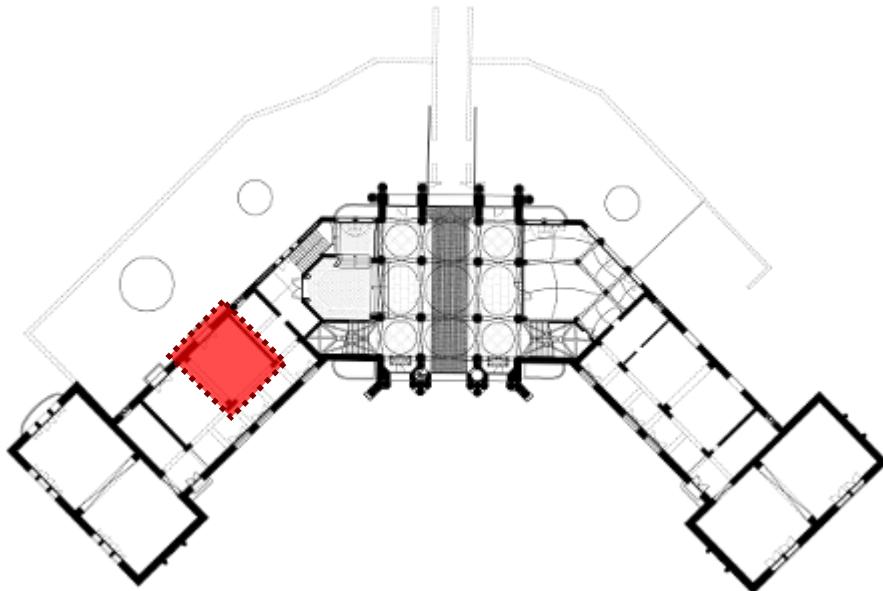


Fig. 107: Situació de la volta Bp-1_V2. Sostre Planta Soterrani.



Fig. 108: Fotografia de la volta Bp-1_V2.

5.3.3.1.- Proves realitzades a la volta Bp-1_V2.

Primer prova.

Data: 09/08/2012 – 10/8/2012
Hora inici: 12:01:30
Hora final: 08:02:23 (branca càrrega)
13:59:52 (branca de descàrrega)

Prova de càrrega: branca de càrrega.

Duració: 19.00h:51':03''

Prova de càrrega: branca de descàrrega.

Duració: 25.00h:33':04''

Descripció: Es carrega la volta en el sostre de planta soterrani, havent tret l'encadellat superior i els envanets.

Fitxer:

PROVA03_CARREGA01.txt
PROVA03_CARREGA02.txt
PROVA03_CARREGA03.txt
PROVA03_CARREGA01.xls
PROVA03_CARREGA02.xls
PROVA03_CARREGA03.xls

PROVA04_DESCARREGA01.txt
PROVA04_DESCARREGA01.xls

5.3.3.2.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors: prova de càrrega P3-1a i P4-1a.

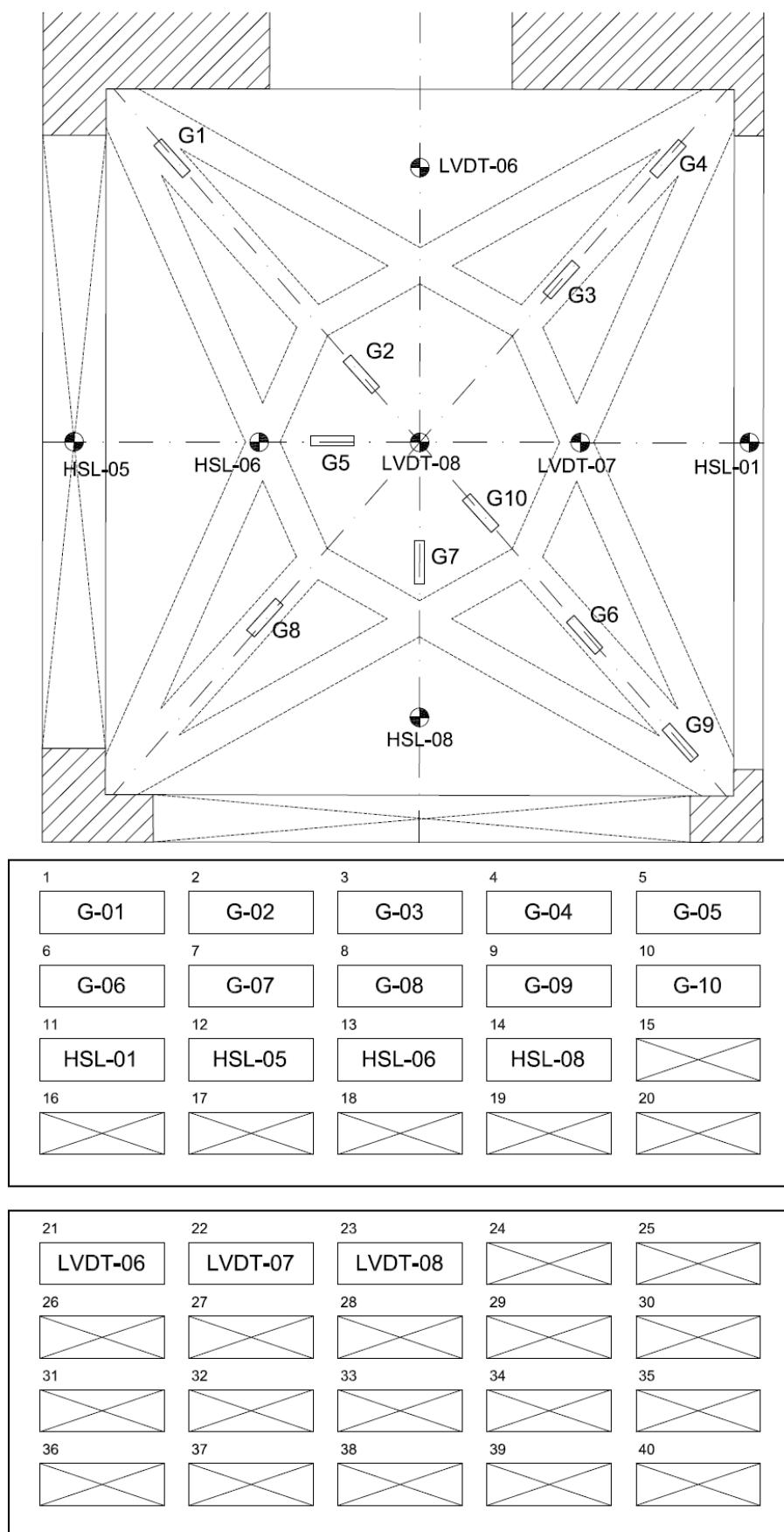


Fig. 109: Esquema de la prova de càrrega P3-1a a la volta Bp-1_V2.

5.3.3.3.- Resultats de la prova de càrrega Bp-1_V2 – P3-1a.

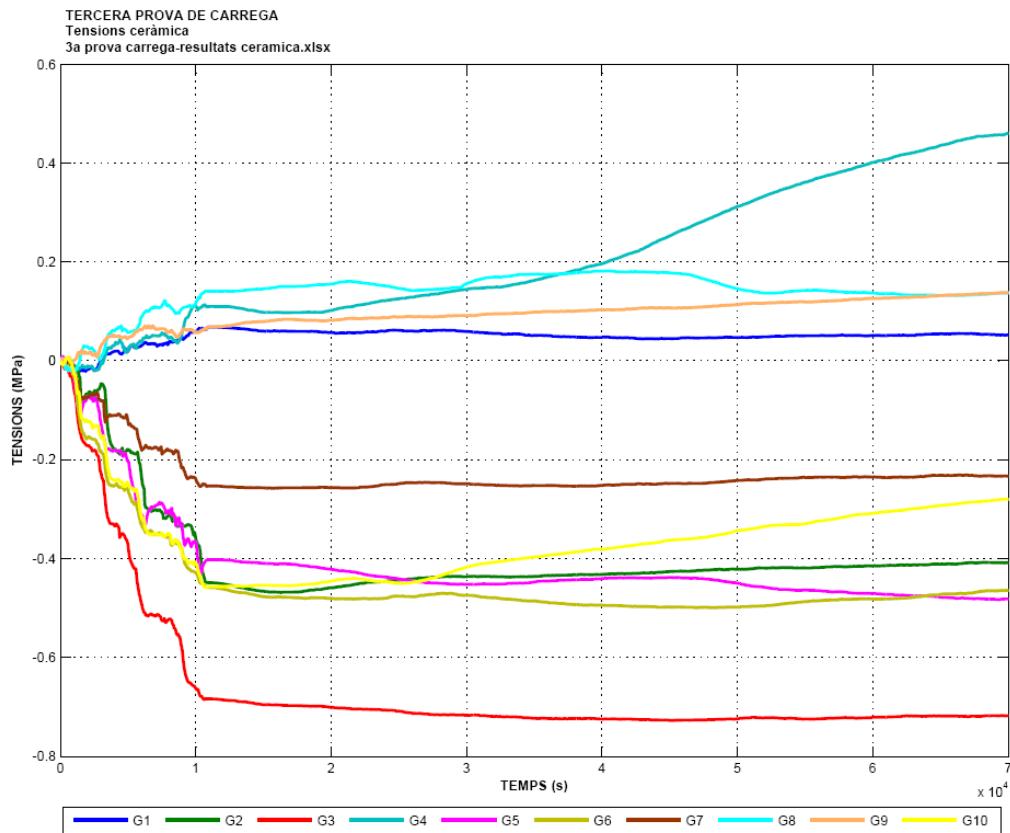


Fig. 110: Tensions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega P3-1a.

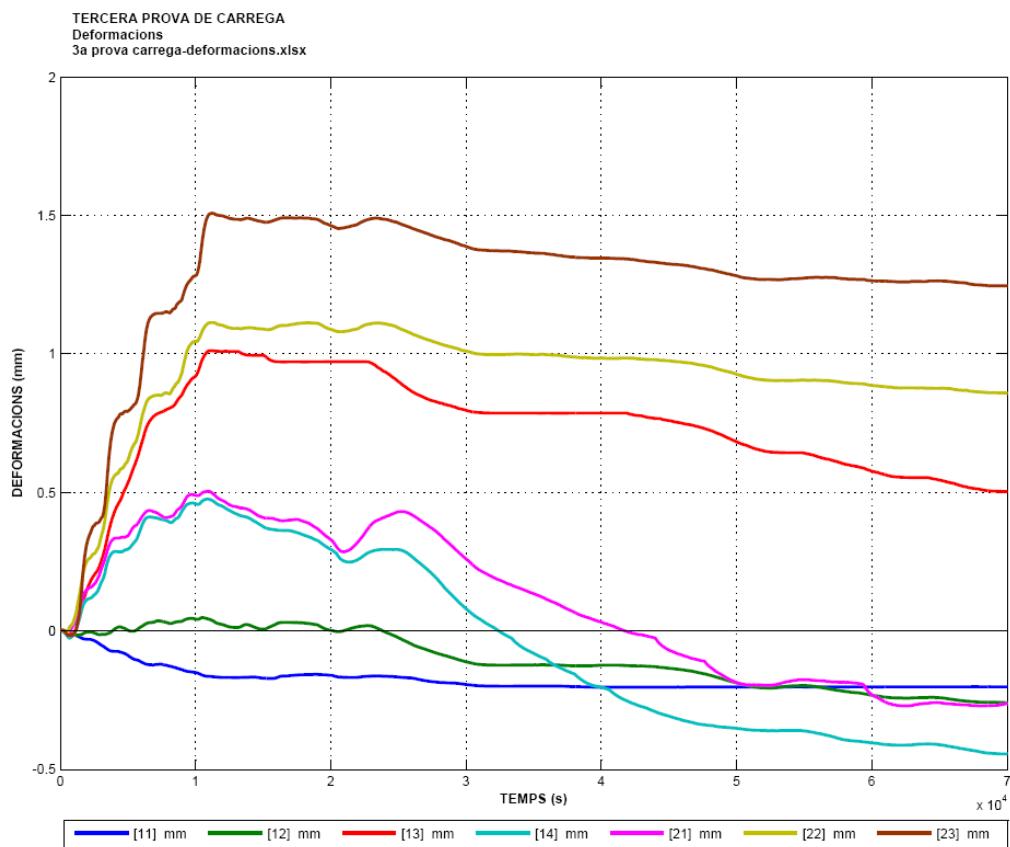


Fig. 111: Deformacions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega P3-1a.

5.3.3.4.- Resultats de la prova de càrrega Bp-1_V2 – P4-1a.

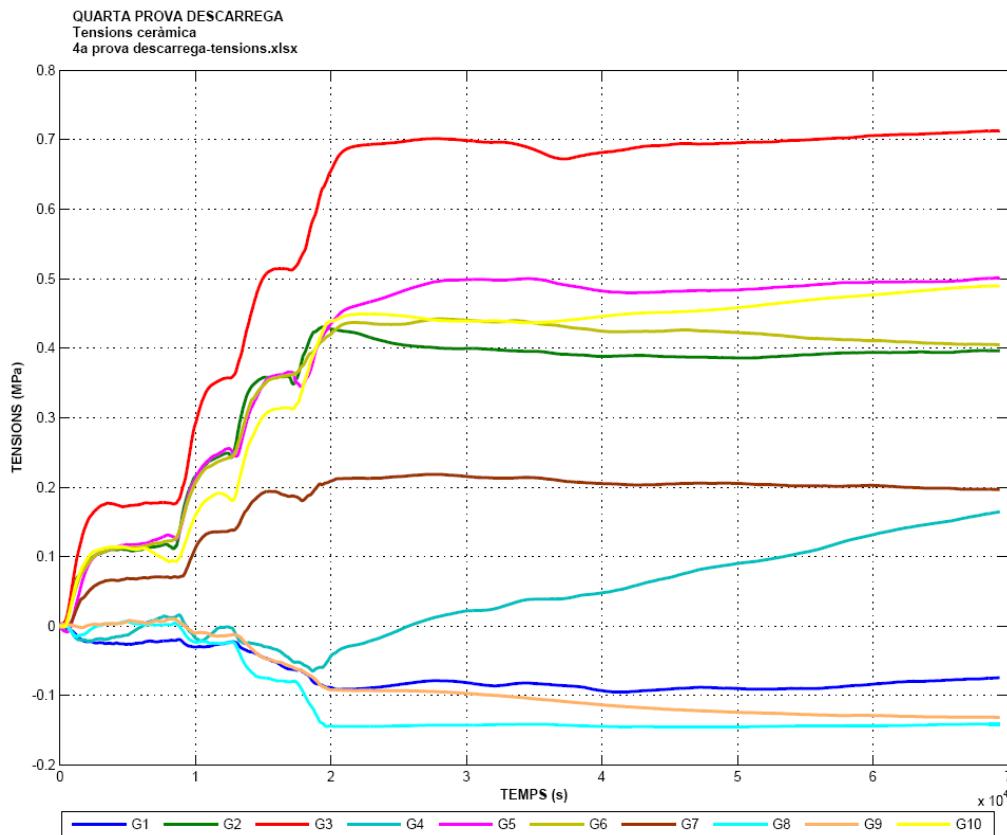


Fig. 112: Tensions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega P4-1a.

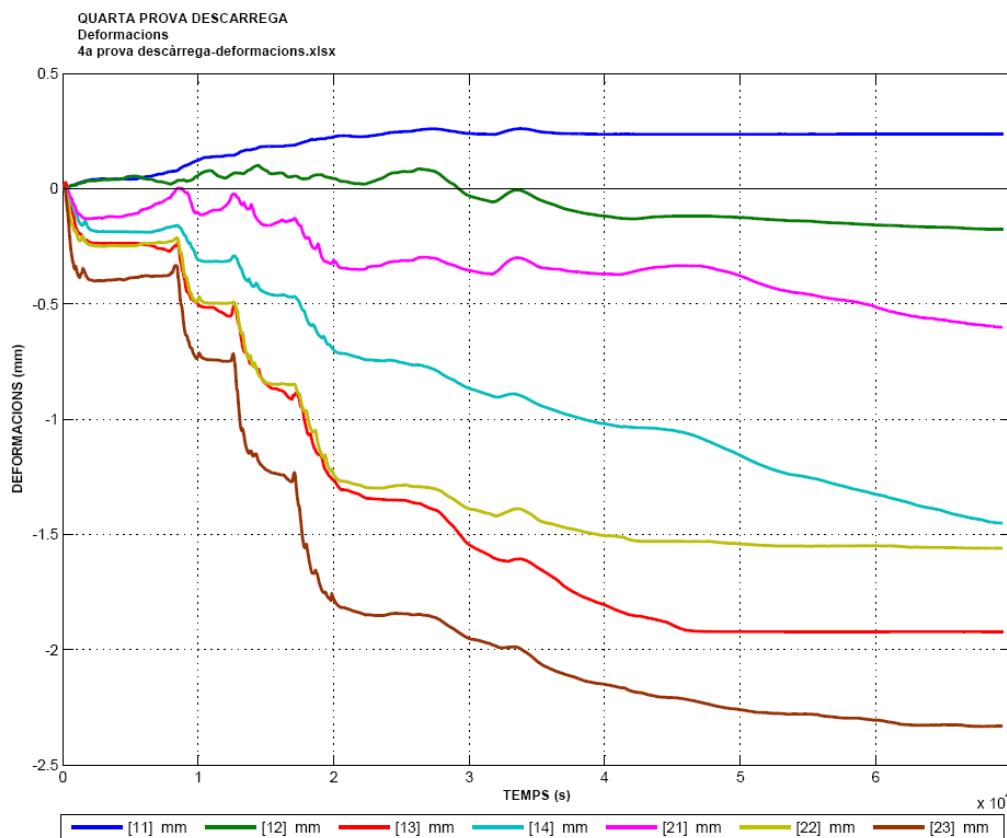


Fig. 113: Deformacions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega P4-1a.

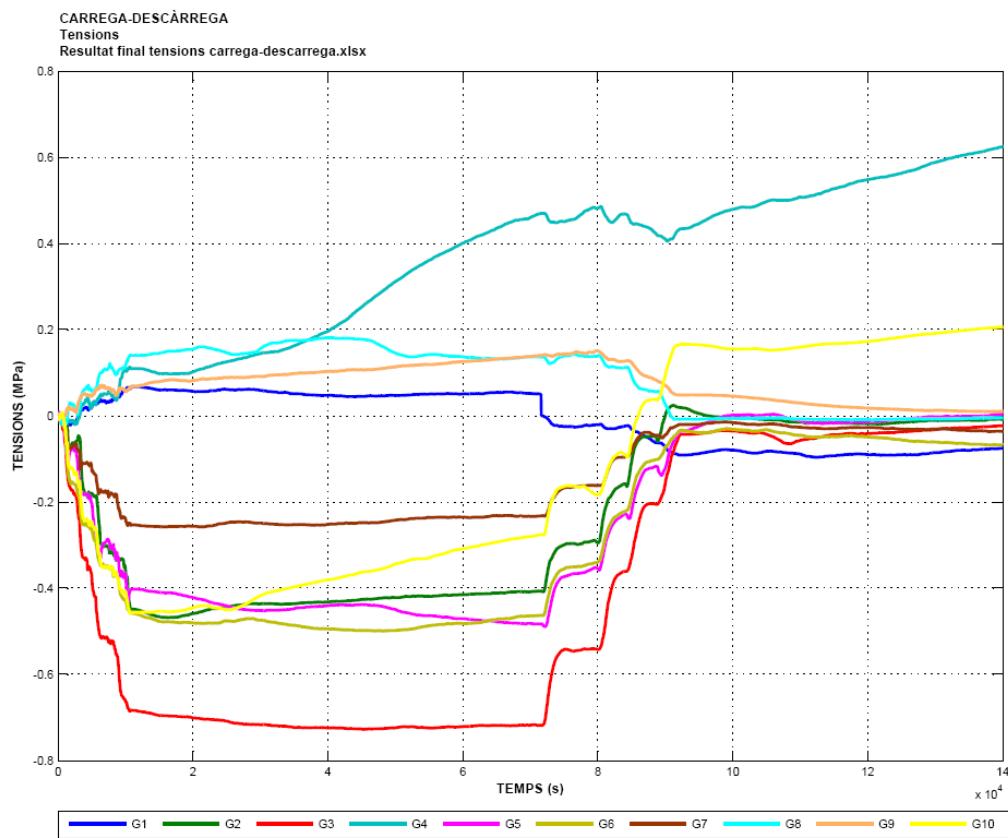


Fig. 114: Tensions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega combinada P3-1a i P4-1a.

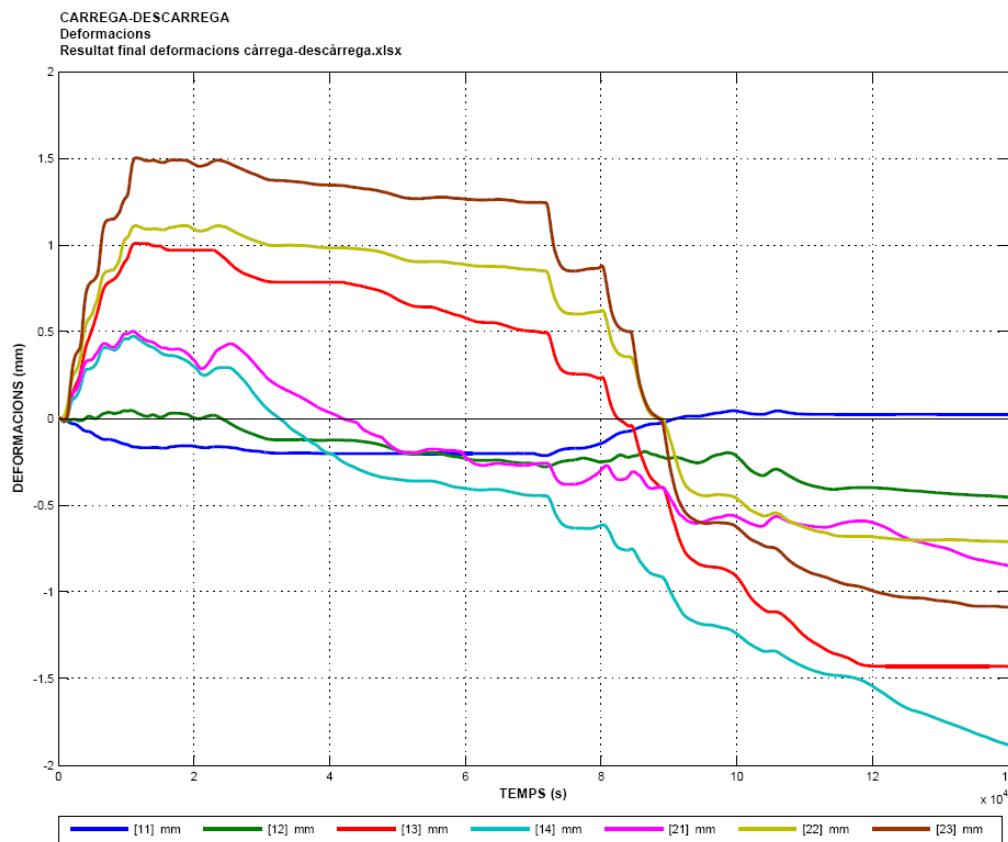


Fig. 115: Deformacions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega combinada P3-1a i P4-1a.

5.3.3.5.- Resum dels resultats: volta Bp1_V2.

Taula 00. Proves corresponents a la volta Bp1_V2					
ETAPA DE LA PROVA	Tensions (Mpa)		Deformacions (mm)		Comentaris.
	Màx.	Mín.	Màx.	Mín.	
PROVA 01: Volta sencera. (Càrrega i descàrrega)	-0.750	0.20	1.500	1.500	

5.3.3.6.- Conclusions parcials relatives a la volta Bp1_V2.

.- Condicions de l'assaig.

Es carrega la volta amb aproximadament 4.25 kN/m^2 , aplicada en 4 capes successives.

-Observacions

Les deformacions indiquen que la volta, desproveïda de les costelles, resulta molt flexible. Aquest fet coincideix amb les observacions fetes sobre les voltes petites. A mesura que es retiren les costelles i especialment els encadellats superiors, les deformacions s'incrementen de forma notable. En el cas de les voltes petites aquest efecte és del 50%.

Per tant, resulta en aquest cas, peremptori conservar aquest disposició constructiva, ja que d'altre manera, aquesta estructura queda debilitada pel que fa a les deformacions, i no es pot garantir –el retorn de la volta resulta molt pronunciat- que no quedessin deformacions residuals d'una certa importància.

$$q.aplicada = 0.85 \cdot \left[\sum_{j \geq 1} (G_{k,ap,j} + G_{k,npa,j}) \gamma_G + \sum_{i \geq 1} (G_{k,t,ap,i} + G_{k,t,npa,i} + Q_{k,npa,i}) \gamma_Q - (G_{k,ap,j} + Q_{k,t,ap,i}) \right] \quad (01)$$

Si estimen que el pes del sistema complet de la volta és d' aproximadament igual a 2.50 kN/m^2 , l'aplicació de la fórmula anterior, ens donaria que les sobrecàrregues -ja penalitzades- a aplicar, serien d' aproximadament $2,75 \text{ kN/m}^2$. Aquest valor seria el corresponent a la volta desproveïda de costelles i encadellat ceràmic.

D'acord amb allò observar a les voltes petites, -les tensions i les deformacions s'incrementen en un 50% en el moment en que es retiren encadellats ceràmics i envans – aquesta sobrecàrrega podria ser netament superior.

Per tant les sobrecàrregues indicades a projecte - **3,00 kN/m²** -, són assumibles.

5.4.- Correlació entre proves estàtiques i dinàmiques.

Com a primer pas per poder calibrar el model, es correlacionen les proves dinàmiques amb les corresponents estàtiques.

Taula 00. Correlacions entre proves estàtiques i dinàmiques a la volta E2p1_V1			
DIA	P. ESTÀTICA	P. DINÀMICA	COMENTARIS
DIMARTS 08/05/2012			
DIMECRES 09/05/2012	Preparació 1 Càrrega 1 Descàrrega 1	E2p1_V1	No es retira cap de les capes que configuren la volta.
DIJOUS 10/05/2012			
DIVENDRES 11/05/2012			
DISSABTE			
DILLUNS 14/05/2012			
DIMARTS 15/05/2012	Preparació 2 Càrrega 2 Descàrrega 2		Es retira únicament la capa de ceràmica vidriada inferior.
	Inici 3		Es mesura durant la nit amb la volta descarregada.
DIMECRES 16/05/2012	Final 3		
DIJOUS 17/05/2012			
DIVENDRES 18/05/2012			
DISSABTE			
DILLUNS 21/05/2012	Preparació 4 Càrrega 4 Descàrrega 4		Es retira l'encadellat ceràmic superior.
	Preparació 5 Càrrega 5 Descàrrega 5		Es retiren els envans que formen les costelles de la volta, deixant únicament la closca.
	Inici 6		Es mesura el comportament diferit de la volta un cop descarregada.
DIMARTS 22/05/2012	Final 6		

Taula 00. Correlacions entre proves estàtiques i dinàmiques a la volta E2p1_V2

DIA	P. ESTÀTICA	P. DINÀMICA	COMENTARIS
DILLUNS 02/07/2012	Preparació 1 Càrrega 1 Descàrrega 1		
		Dinàmica 1	
DIMARTS 03/07/2012			
		Dinàmica 2	
DIMECRES 04/07/2012	Preparació 2 Càrrega 2 Descàrrega 2		
		Dinàmica 3	
DIJOUS 05/07/2012	Preparació 3 Càrrega 3 Descàrrega 3		
DIVENDRES 06/07/2012	Preparació 4 Càrrega 4 Descàrrega 4		Volta amb producte MAPEI
DISSABTE			
DILLUNS 09/07/2012	Preparació 5 Inici 5		Prova tèrmica.
DIMARTS 10/07/2012	Final 5 Retirada dels equips		
DIMECRES 11/07/2012	Preparació 6		
DIJOUS 12/07/2012	Inici 6 Final 6		Prova amb revestiment ceràmic convencional (càrrega completa)
	Inici 7 Final 7 Retirada dels equips		Prova amb revestiment ceràmic convencional (mitja càrrega)

Taula 00. Correlacions entre proves estàtiques i dinàmiques a la volta Bp-1_V2

DIA	P. ESTÀTICA	P. DINÀMICA	COMENTARIS
DILLUNS 06/08/2012			
		Bp-1_V2	
DIMARTS 07/08/2012			
DIMECRES 08/08/2012			
DIJOUS 09/08/2012	Preparació 3 Càrrega 3		Es carrega la volta i es deixa mesurant durant la nit.
DIVENDRES 10/08/2012	Descàrrega 4		Es descarrega la volta.

A continuació, es mostren tots aquells assaigs en les quals hi ha correlació entre proves dinàmiques i estàtiques.

Cada parella de formada – assaig estàtic i dinàmic - d'aquests models experimentals té associat un model numèric. A la taula que ve a continuació es mostra la correlació entre els tres tipus de document descrits.

Taula 00. Correlacions entre assaigs i models numèrics			
	PROVA ESTÀTICA	PROVA DINÀMICA	MODEL DE CÀLCUL
Correlació 1	P1-1a	E2p1_V1	Volta petita_AE
Correlació 2	P2-1a	E2p1_V2 prova 1	Volta petita_AE
Correlació 3	P2-2a	E2p1_V2 prova 2	Volta petita_AC
Correlació 4	P2-3a	E2p1_V2 prova 3	Volta petita_SC
Correlació 5	P3 i P4	Bp-1_V2	Volta mitjana_AE

A continuació es presenta la documentació relativa a aquestes correlacions:

- .- situació de la volta.
- .- resultats estàtics.
- .- resultats dinàmics.
- .- model numèric.
- .- correlacions entre freqüències.

5.4.1.- Primera correlació.

Identificador prova estàtica. : **P1-1a**
Identificador prova dinàmica. : **E2p1_V1**
Identificador model de càlcul. : **Volta petita_AE**

Per establir aquesta primera correlació disposem de la prova de càrrega estàtica P1-1a, la prova dinàmica E2p1_V1 i el model de càlcul Volta petita_AE. La situació avaluada és la corresponent a la volta dels antics banys de planta 1^a, incloent la totalitat de les capes que la componen (volta, costelles, encadellats, i acabat superficial inferior).

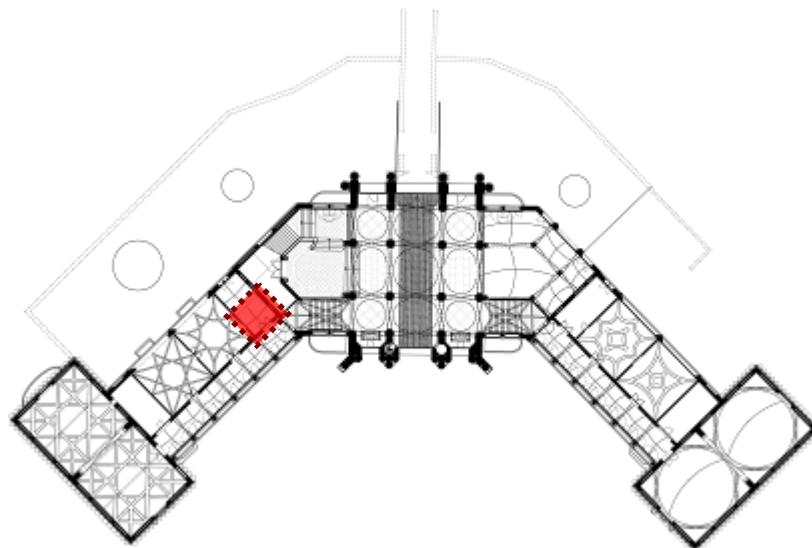


Fig. 116: Situació de la volta E2p1_V1. Sostre Planta Primera.

5.4.1.1.- Prova estàtica.

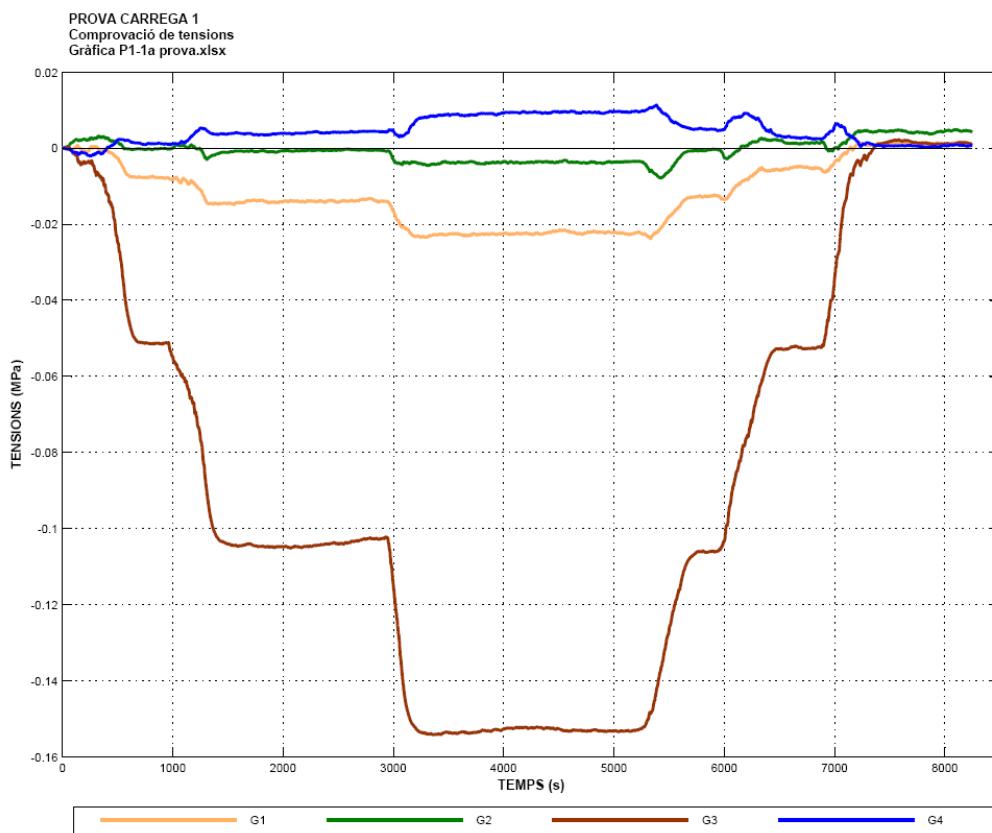


Fig. 117: Tensions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-1a.

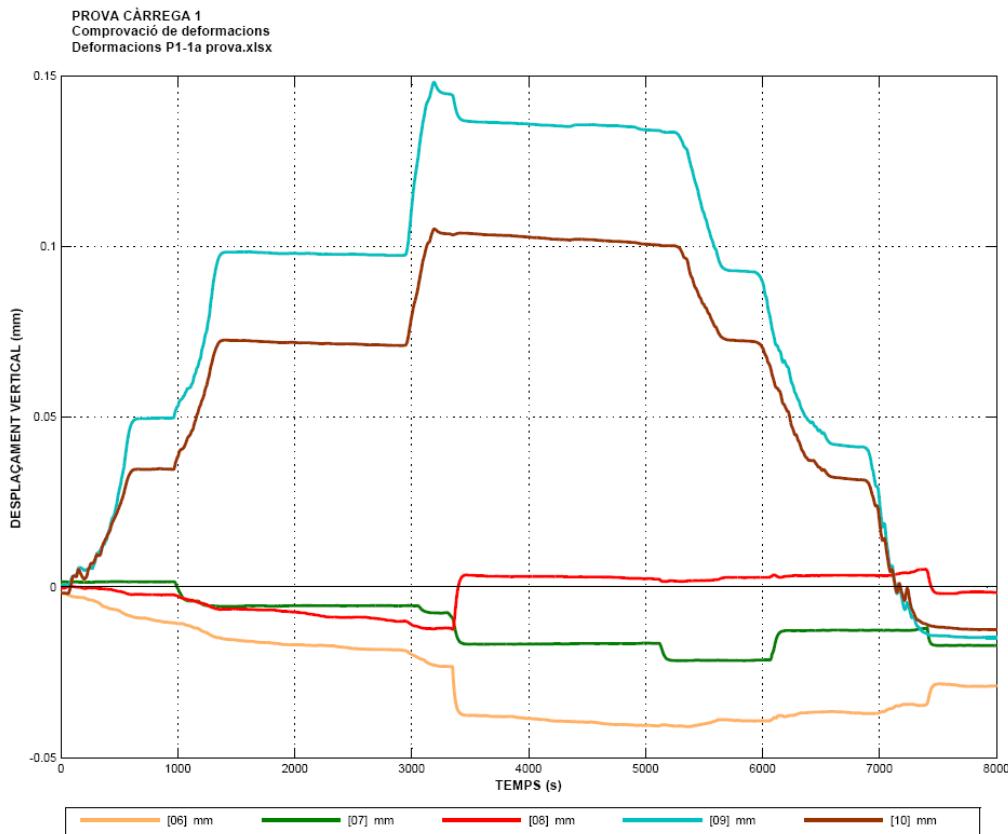
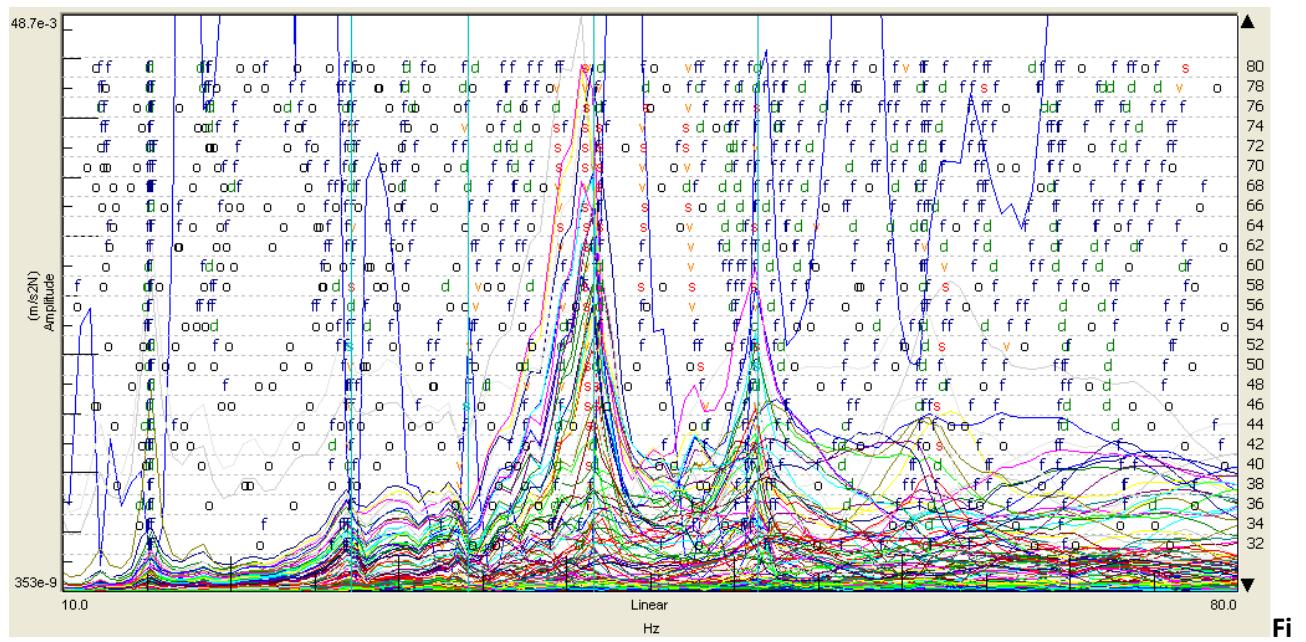


Fig. 118: Deformacions a la volta E2p1_V1, prova de càrrega P1-1a.

5.4.1.2.- Prova dinàmica.



FREQÜÈNCIA VOLTA E2p1_V1			
1a freq (Hz)	2a freq (Hz)	3a freq (Hz)	4a freq (Hz)
27,20	34,10	41,58	51,40

Fig. 119: Diagrama d'estabilització de la volta E2p1_V1 i selecció de freqüències.

5.4.1.3.- Resultats model numèric.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA PETITA									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
SC_can	18,558 Hz	18,636 Hz	22,767 Hz	30,054 Hz	35,100 Hz	35,353 Hz	38,847 Hz	50,375 Hz	54,875 Hz	64,662 Hz
SC_vor-art	43,485 Hz	51,401 Hz	51,521 Hz	70,936 Hz	74,852 Hz	84,178 Hz	96,256 Hz	97,709 Hz	120,100 Hz	120,650 Hz
SC_vor-fix	45,300 Hz	56,795 Hz	57,120 Hz	77,981 Hz	85,534 Hz	93,263 Hz	108,370 Hz	109,510 Hz	133,800 Hz	134,570 Hz
AC_can	18,286 Hz	18,329 Hz	25,055 Hz	25,296 Hz	35,116 Hz	35,242 Hz	35,834 Hz	46,925 Hz	51,242 Hz	59,878 Hz
AC_vor-art	42,311 Hz	48,515 Hz	48,613 Hz	65,564 Hz	74,285 Hz	83,306 Hz	91,196 Hz	92,247 Hz	99,864 Hz	99,923 Hz
AC_vor-fix	43,213 Hz	51,533 Hz	51,683 Hz	69,182 Hz	78,554 Hz	86,733 Hz	96,213 Hz	97,118 Hz	103,400 Hz	103,610 Hz
AE_can	20,565 Hz	20,573 Hz	22,738 Hz	29,919 Hz	34,758 Hz	35,067 Hz	36,863 Hz	51,982 Hz	55,046 Hz	65,559 Hz
AE_vor-art	39,930 Hz	54,539 Hz	54,546 Hz	85,508 Hz	91,744 Hz	96,411 Hz	107,060 Hz	107,240 Hz	127,030 Hz	127,320 Hz
AE_vor-fix	40,311 Hz	56,136 Hz	56,171 Hz	87,137 Hz	93,815 Hz	98,191 Hz	109,930 Hz	110,180 Hz	129,180 Hz	129,480 Hz

Fig. 120: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta petita.

La prova dinàmica es va efectuar en correspondència amb la prova de càrrega 1. En aquesta prova, la volta està completa: està composada per la closca ceràmica, els envanets i l'encadellat superior.

Per tant l'equivalència s'ha de fer considerant aquesta situació (3 últims models de la llista dels models ANSYS).

5.4.2.- Segona correlació.

Identificador prova estàtica.	: P2-1a
Identificador prova dinàmica.	: E2p1_V2
Identificador model de càcul.	: Volta petita_AE

En aquesta correlació tenim la prova de càrrega estàtica P2-1a, la prova dinàmica E2p1_V2 prova 1 i el model de càcul Volta petita_AE. Totes aquestes proves i models estan realitzats utilitzant de base la volta dels antics banys de planta 1^a, amb totes les capes que la componen (a més de la volta, les costelles i solera d'encadellats).

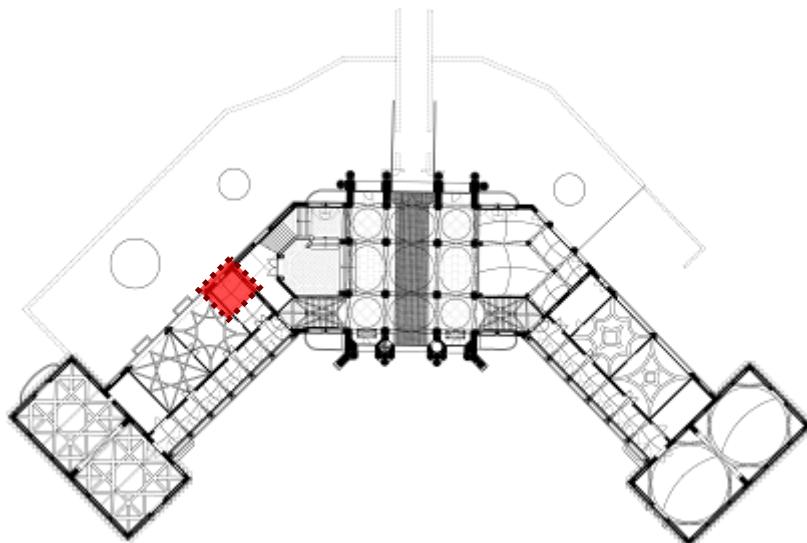


Fig. 121: Situació de la volta E2p1_V2. Sostre Planta Primera.

5.4.2.1.- Prova estàtica.

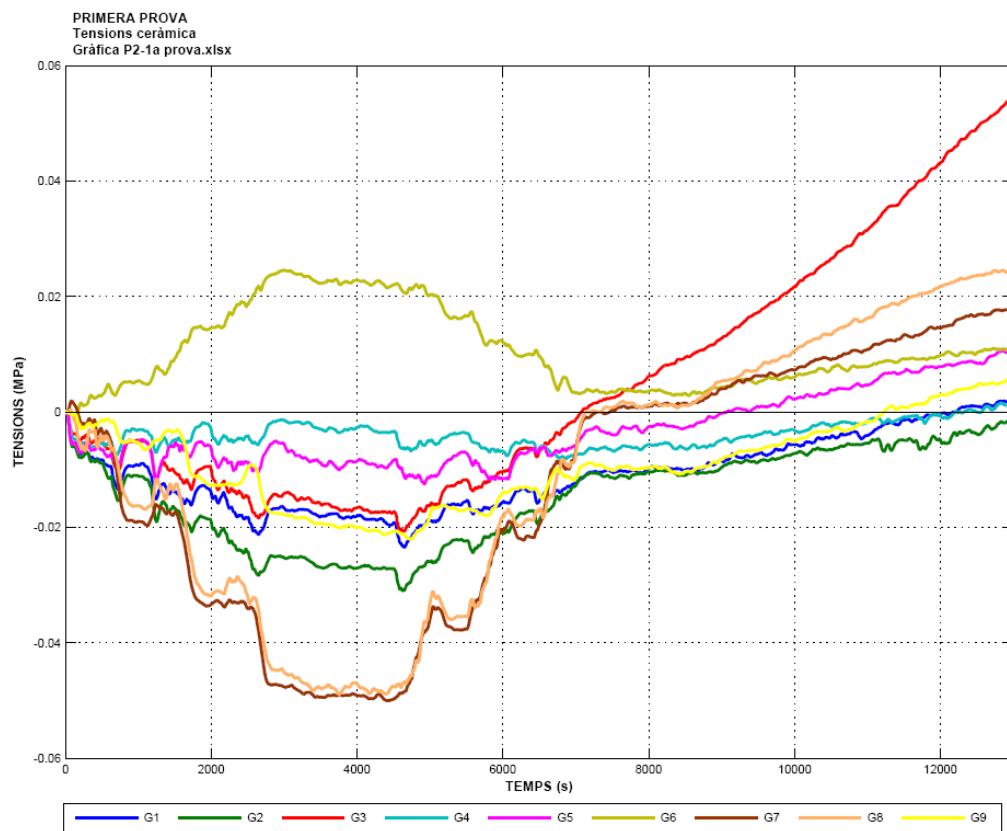


Fig. 122: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

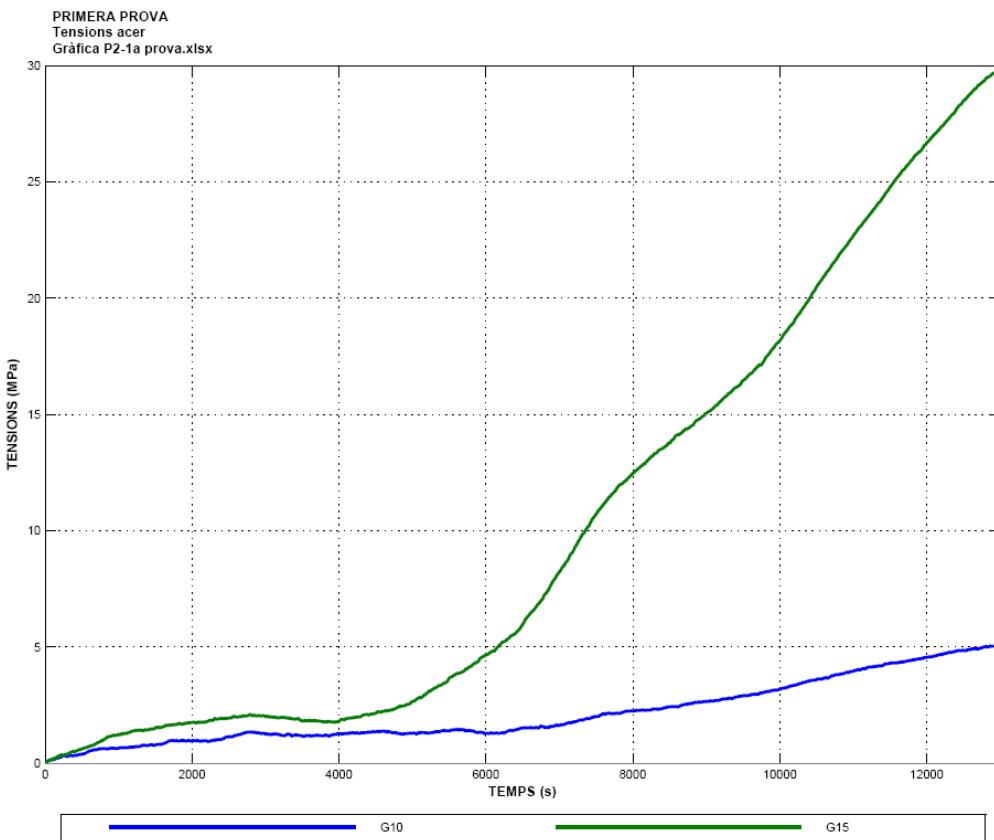


Fig. 123: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

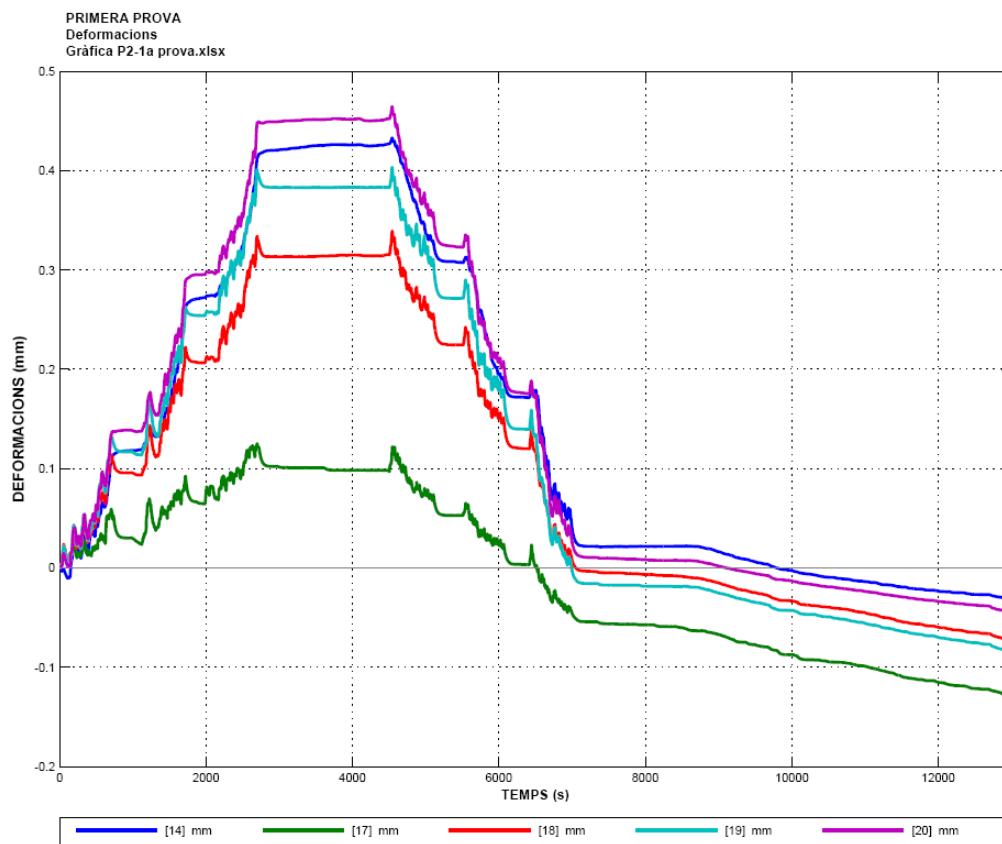
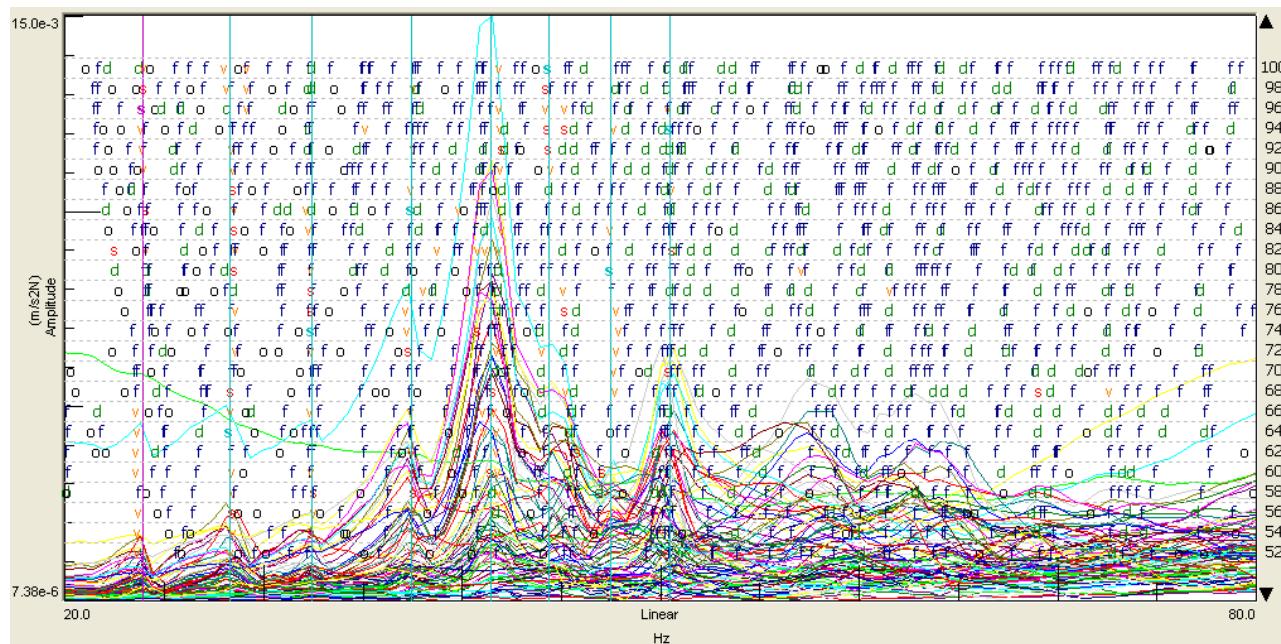


Fig. 124: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-1a.

5.4.2.2.- Prova dinàmica.



FREQÜÈNCIA VOLTA E2p1_V2 prova 1

1a freq (Hz)	2a freq (Hz)	3a freq (Hz)	4a freq (Hz)	5a freq (Hz)	6a freq (Hz)	7a freq (Hz)	8a freq (Hz)
23,908	28,317	32,437	37,453	41,414	44,353	47,490	50,461

Fig. 125: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 1 i selecció de freqüències.

5.4.2.3.- Resultats model numèric.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA PETITA										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
SC_can		18,558 Hz	18,636 Hz	22,767 Hz	30,054 Hz	35,100 Hz	35,353 Hz	38,847 Hz	50,375 Hz	54,875 Hz	64,662 Hz
SC_vor-art		43,485 Hz	51,401 Hz	51,521 Hz	70,936 Hz	74,852 Hz	84,178 Hz	96,256 Hz	97,709 Hz	120,100 Hz	120,650 Hz
SC_vor-fix		45,300 Hz	56,795 Hz	57,120 Hz	77,981 Hz	85,534 Hz	93,263 Hz	108,370 Hz	109,510 Hz	133,800 Hz	134,570 Hz
AC_can		18,286 Hz	18,329 Hz	25,055 Hz	25,296 Hz	35,116 Hz	35,242 Hz	35,834 Hz	46,925 Hz	51,242 Hz	59,878 Hz
AC_vor-art		42,311 Hz	48,515 Hz	48,613 Hz	65,564 Hz	74,285 Hz	83,306 Hz	91,196 Hz	92,247 Hz	99,864 Hz	99,923 Hz
AC_vor-fix		43,213 Hz	51,533 Hz	51,683 Hz	69,182 Hz	78,554 Hz	86,733 Hz	96,213 Hz	97,118 Hz	103,400 Hz	103,610 Hz
AE_can		20,565 Hz	20,573 Hz	22,738 Hz	29,919 Hz	34,758 Hz	35,067 Hz	36,863 Hz	51,982 Hz	55,046 Hz	65,559 Hz
AE_vor-art		39,930 Hz	54,539 Hz	54,546 Hz	85,508 Hz	91,744 Hz	96,411 Hz	107,060 Hz	107,240 Hz	127,030 Hz	127,320 Hz
AE_vor-fix		40,311 Hz	56,136 Hz	56,171 Hz	87,137 Hz	93,815 Hz	98,191 Hz	109,930 Hz	110,180 Hz	129,180 Hz	129,480 Hz

Fig. 126: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta petita.

En aquest estadi, les proves estàtica i dinàmica s’han efectuat sobre la volta en el seu estat inicial (sense haver retirat cap dels elements que la constitueixen. El rang de freqüències corresponent queda identificat tant en el model experimental com en el numèric.

5.4.3.- Tercera correlació.

Identificador prova estàtica. : **P2-2a**
Identificador prova dinàmica. : **E2p1_V2 (prova 2)**
Identificador model de càlcul. : **Volta petita_AC**

En aquesta correlació tenim la prova de càrrega estàtica P2-2a, la prova dinàmica E2p1_V2 prova 2 i el model de càlcul Volta petita_AC. Totes aquestes proves i models estan realitzats utilitzant de base la volta dels antics banys de planta 1^a, quedant a l'estructura, la volta i les costelles.

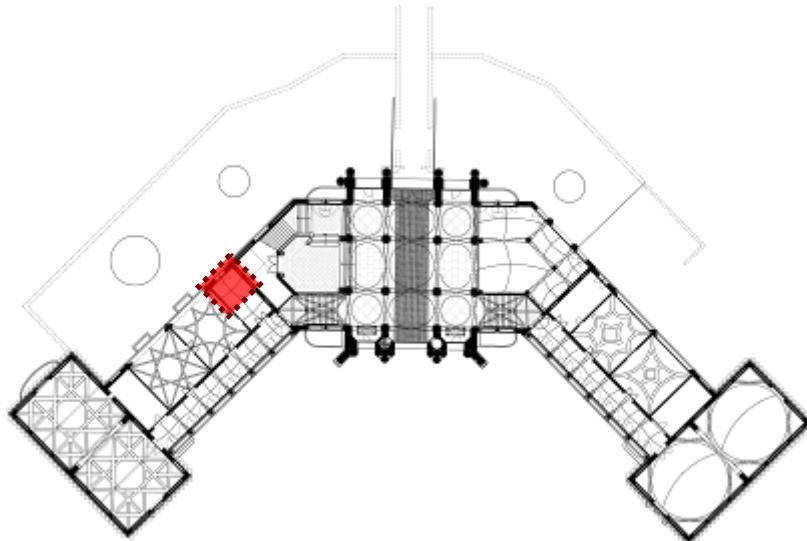


Fig. 127: Situació de la volta E2p1_V2. Sostre Planta Primera.

5.4.3.1.- Prova estàtica.

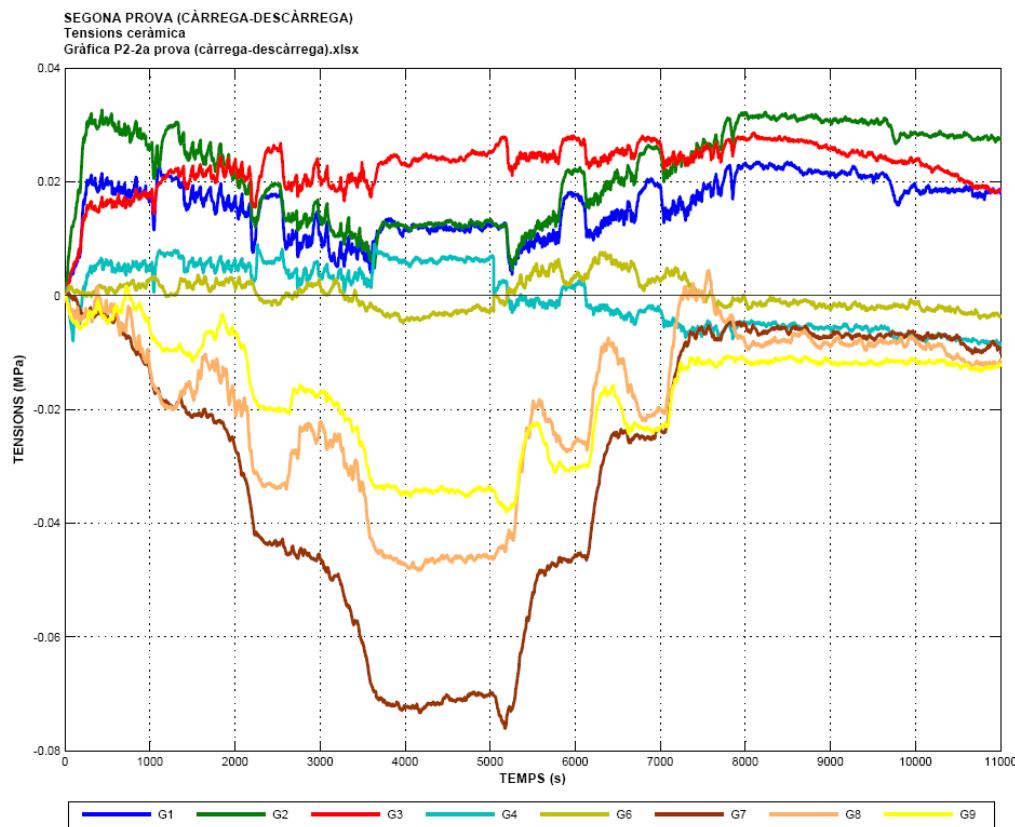


Fig. 128: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

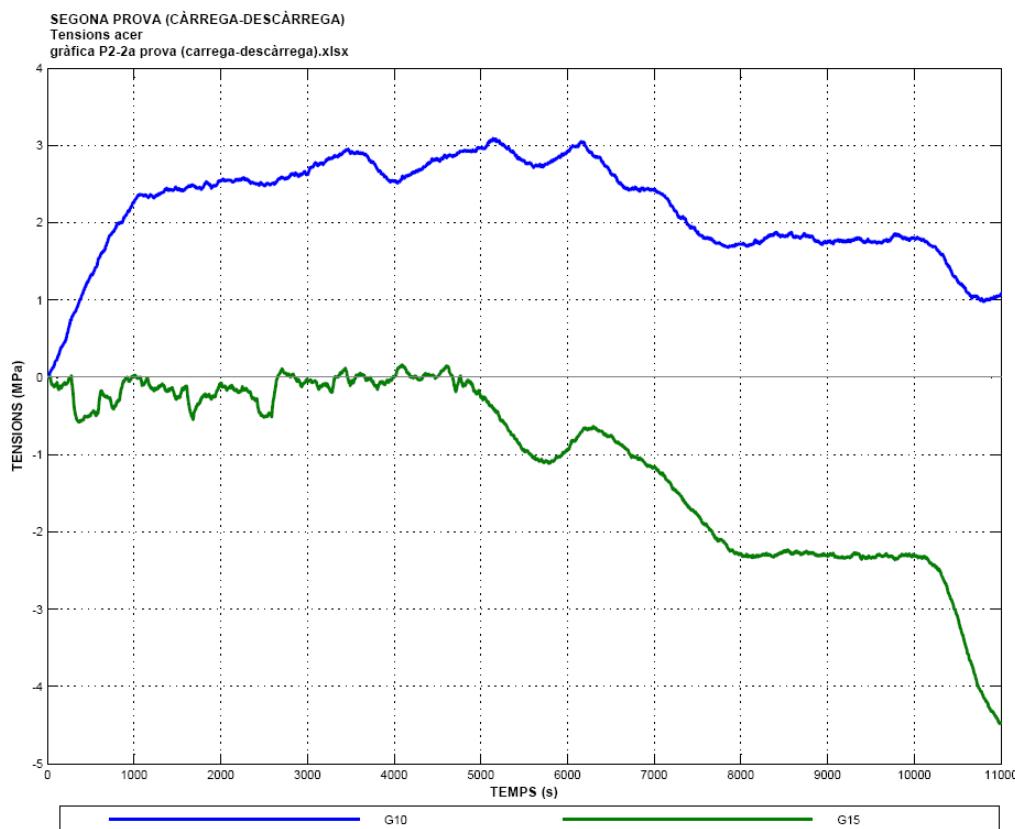


Fig. 129: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

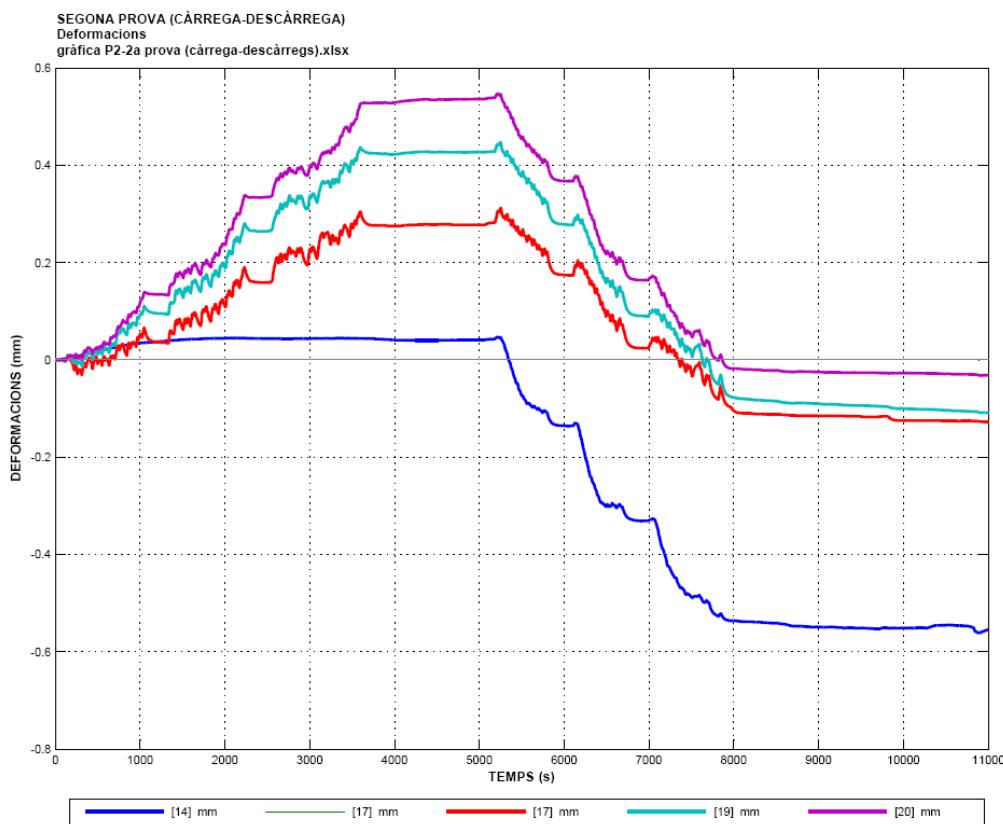


Fig. 130: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega-descàrrega P2-2a.

5.4.3.2.- Prova dinàmica.

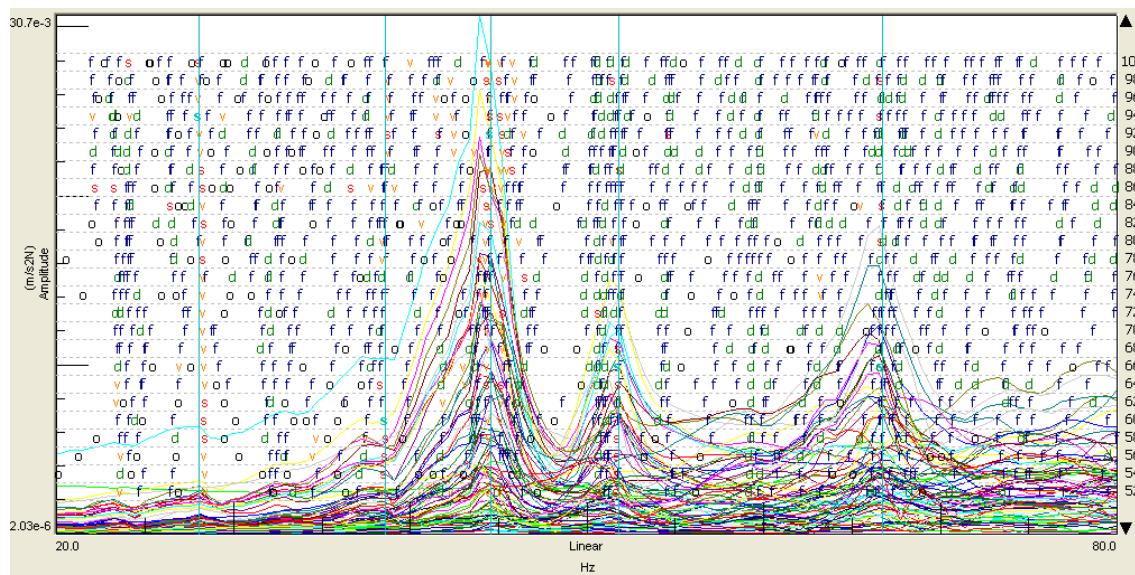


Fig. 131: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 2.

FREQÜÈNCIA VOLTA E2p1_V2 prova 2				
1a freq (Hz)	2a freq (Hz)	3a freq (Hz)	4a freq (Hz)	5a freq (Hz)
28,06	38,58	44,56	51,77	66,75

5.4.3.3.- Resultats model numèric.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTA PETITA										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
SC_can		18,558 Hz	18,636 Hz	22,767 Hz	30,054 Hz	35,100 Hz	35,353 Hz	38,847 Hz	50,375 Hz	54,875 Hz	64,662 Hz
SC_vor-art		43,485 Hz	51,401 Hz	51,521 Hz	70,936 Hz	74,852 Hz	84,178 Hz	96,256 Hz	97,709 Hz	120,100 Hz	120,650 Hz
SC_vor-fix		45,300 Hz	56,795 Hz	57,120 Hz	77,981 Hz	85,534 Hz	93,263 Hz	108,370 Hz	109,510 Hz	133,800 Hz	134,570 Hz
AC_can		18,286 Hz	18,329 Hz	25,055 Hz	25,296 Hz	35,116 Hz	35,242 Hz	35,834 Hz	46,925 Hz	51,242 Hz	59,878 Hz
AC_vor-art		42,311 Hz	48,515 Hz	48,613 Hz	65,564 Hz	74,285 Hz	83,306 Hz	91,196 Hz	92,247 Hz	99,864 Hz	99,923 Hz
AC_vor-fix		43,213 Hz	51,533 Hz	51,683 Hz	69,182 Hz	78,554 Hz	86,733 Hz	96,213 Hz	97,118 Hz	103,400 Hz	103,610 Hz
AE_can		20,565 Hz	20,573 Hz	22,738 Hz	29,919 Hz	34,758 Hz	35,067 Hz	36,863 Hz	51,982 Hz	55,046 Hz	65,559 Hz
AE_vor-art		39,930 Hz	54,539 Hz	54,546 Hz	85,508 Hz	91,744 Hz	96,411 Hz	107,060 Hz	107,240 Hz	127,030 Hz	127,320 Hz
AE_vor-fix		40,311 Hz	56,136 Hz	56,171 Hz	87,137 Hz	93,815 Hz	98,191 Hz	109,930 Hz	110,180 Hz	129,180 Hz	129,480 Hz

Fig. 132: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta petita.

5.4.4.- Quarta correlació.

- Identificador prova estàtica. : **P2-3a**
Identificador prova dinàmica. : **E2p1_V2 (prova 3)**
Identificador model de càlcul. : **Volta petita_SC**

En aquesta correlació tenim la prova de càrrega estàtica P2-3a, la prova dinàmica E2p1_V2 prova 3 i el model de càlcul Volta petita_SC. Totes aquestes proves i models estan realitzats utilitzant de base la volta dels antics banys de planta 1^a, quedant a l'estructura únicament la closca de la volta.

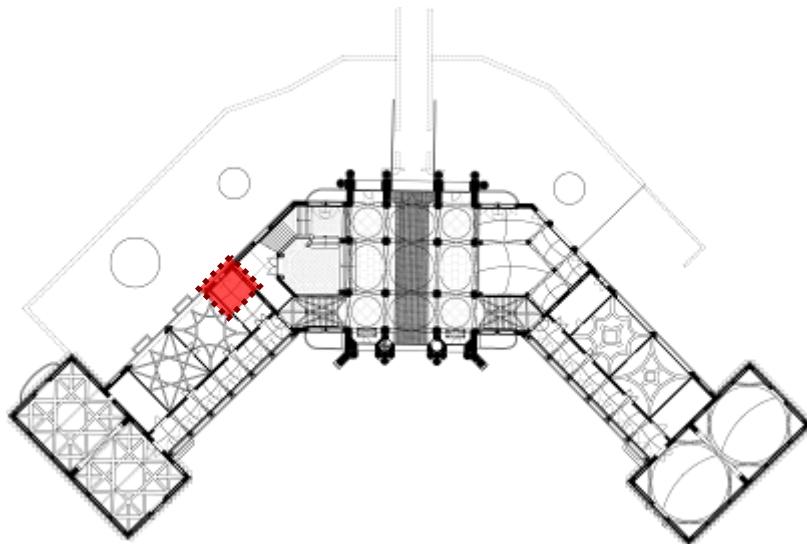


Fig. 133: Situació de la volta E2p1_V2. Sostre Planta Primera.

5.4.4.1.- Prova estàtica.

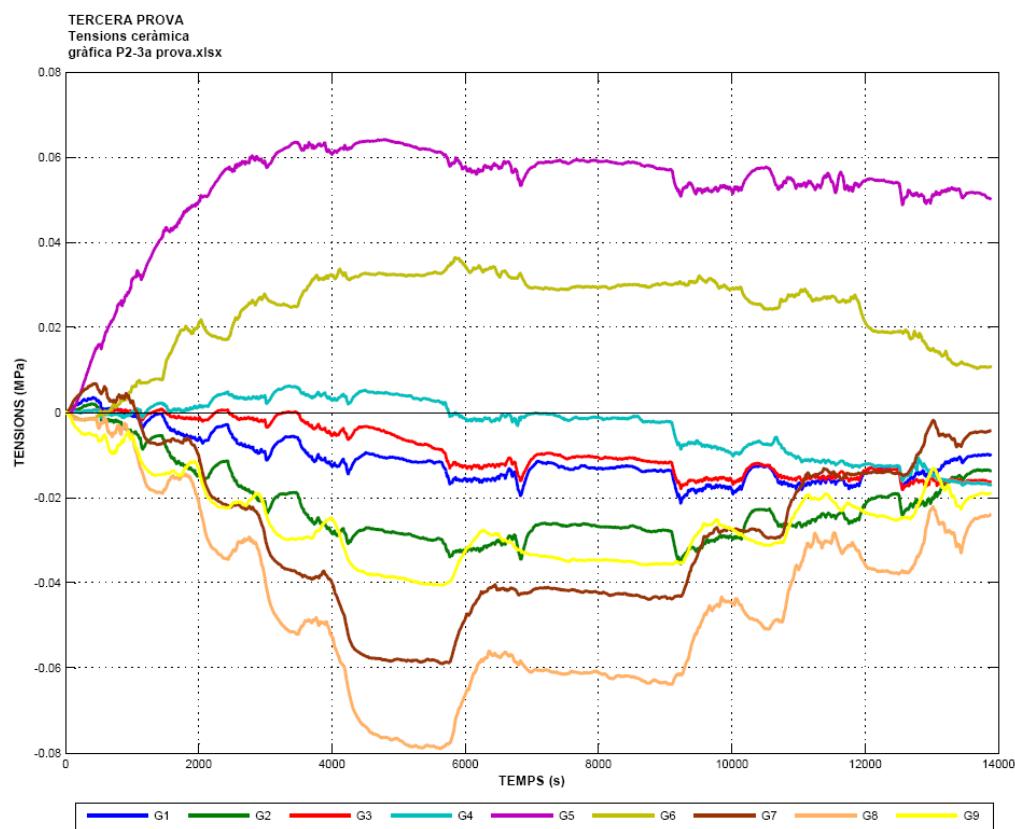


Fig. 134: Tensions de la ceràmica a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

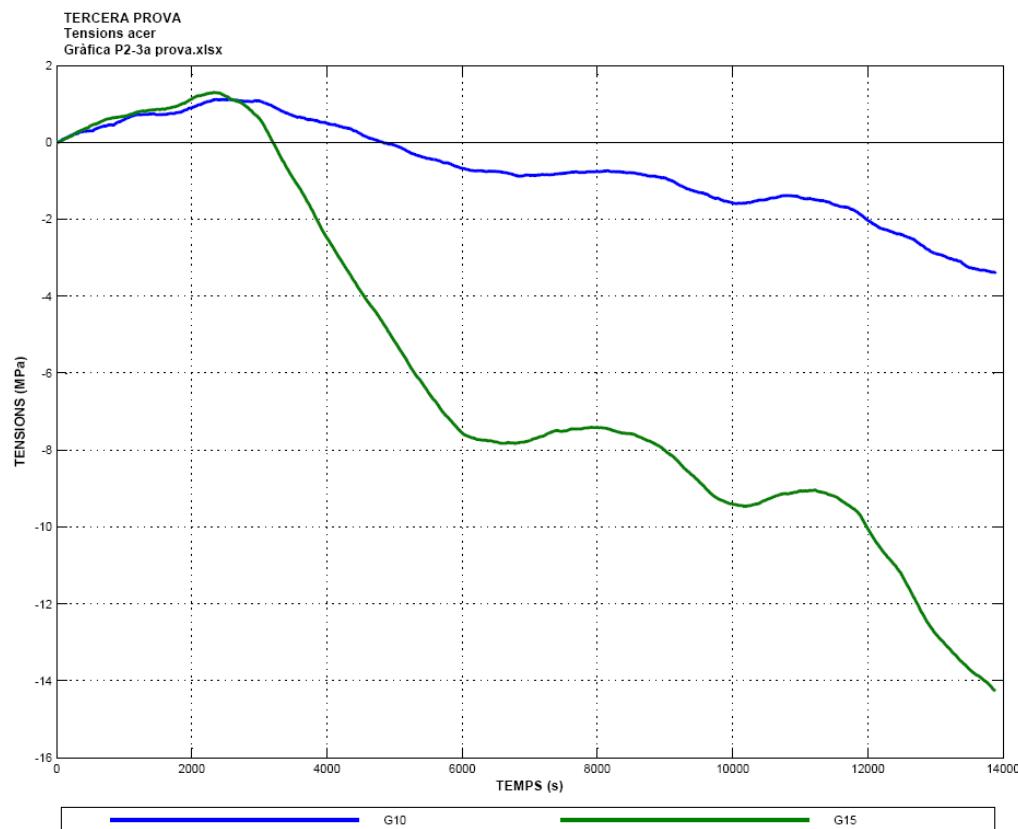


Fig. 135: Tensions de l'acer a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

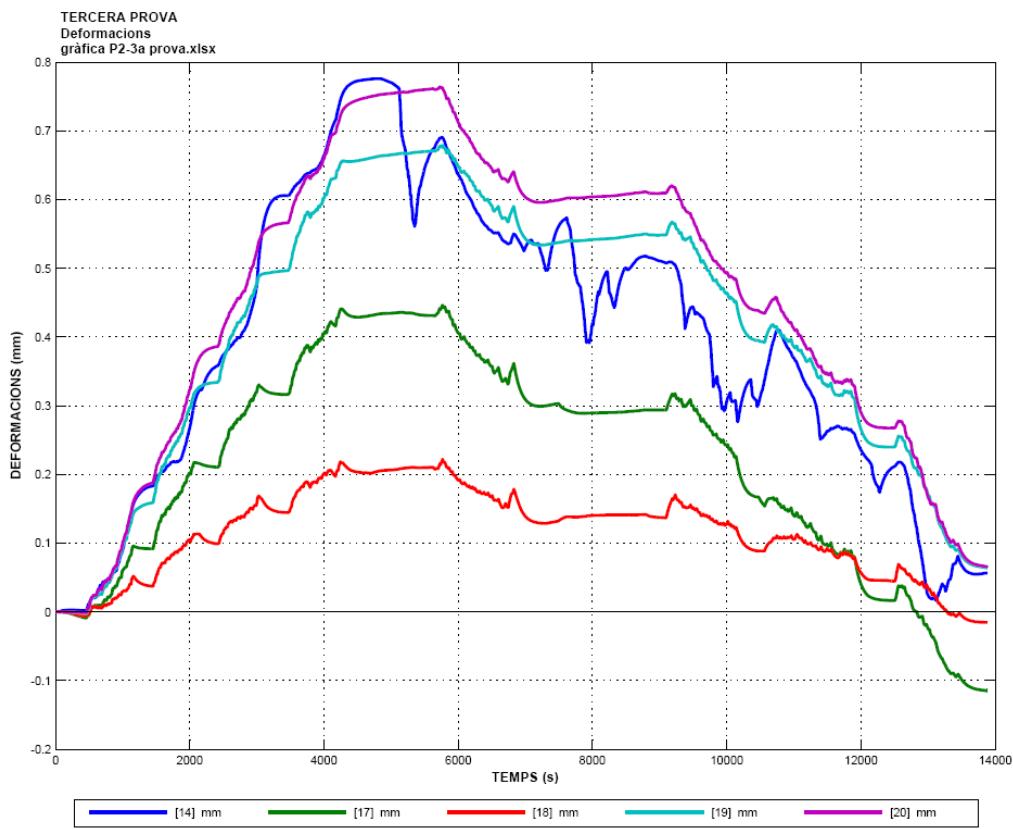


Fig. 136: Deformacions a la volta E2p1_V2, prova de càrrega P2-3a.

5.4.4.2.- Prova dinàmica.

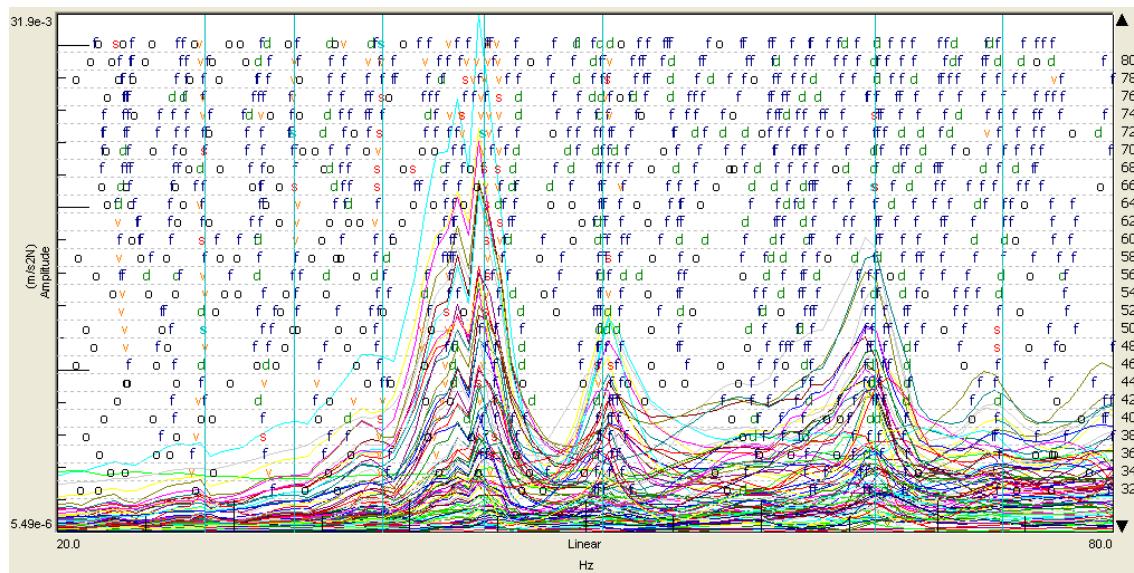


Fig. 137: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 3.

FREQÜÈNCIA VOLTA E2p1_V2 prova 3						
1a freq (Hz)	2a freq (Hz)	3a freq (Hz)	4a freq (Hz)	5a freq (Hz)	6a freq (Hz)	7a freq (Hz)
28,38	33,42	38,44	44,22	50,95	66,47	73,74

5.4.4.3.- Resultats model numèric..

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA PETITA										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
SC_can		18,558 Hz	18,636 Hz	22,767 Hz	30,054 Hz	35,100 Hz	35,353 Hz	38,847 Hz	50,375 Hz	54,875 Hz	64,662 Hz
SC_vor-art		43,485 Hz	51,401 Hz	51,521 Hz	70,936 Hz	74,852 Hz	84,178 Hz	96,256 Hz	97,709 Hz	120,100 Hz	120,650 Hz
SC_vor-fix		45,300 Hz	56,795 Hz	57,120 Hz	77,981 Hz	85,534 Hz	93,263 Hz	108,370 Hz	109,510 Hz	133,800 Hz	134,570 Hz
AC_can		18,286 Hz	18,329 Hz	25,055 Hz	25,296 Hz	35,116 Hz	35,242 Hz	35,834 Hz	46,925 Hz	51,242 Hz	59,878 Hz
AC_vor-art		42,311 Hz	48,515 Hz	48,613 Hz	65,564 Hz	74,285 Hz	83,306 Hz	91,196 Hz	92,247 Hz	99,864 Hz	99,923 Hz
AC_vor-fix		43,213 Hz	51,533 Hz	51,683 Hz	69,182 Hz	78,554 Hz	86,733 Hz	96,213 Hz	97,118 Hz	103,400 Hz	103,610 Hz
AE_can		20,565 Hz	20,573 Hz	22,738 Hz	29,919 Hz	34,758 Hz	35,067 Hz	36,863 Hz	51,982 Hz	55,046 Hz	65,559 Hz
AE_vor-art		39,930 Hz	54,539 Hz	54,546 Hz	85,508 Hz	91,744 Hz	96,411 Hz	107,060 Hz	107,240 Hz	127,030 Hz	127,320 Hz
AE_vor-fix		40,311 Hz	56,136 Hz	56,171 Hz	87,137 Hz	93,815 Hz	98,191 Hz	109,930 Hz	110,180 Hz	129,180 Hz	129,480 Hz

Fig. 138: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta petita.

5.4.5.- Cinquena correlació.

Identificador prova estàtica.	: P3 - P4
Identificador prova dinàmica.	: Bp-1_V2
Identificador model de càlcul.	: Volta mitjana_AE

En aquesta correlació tenim la prova de càrrega estàtica P3 i P4, la prova dinàmica Bp-1_V2 i el model de càlcul Volta mitjana_AE. Totes aquestes proves i models estan realitzats utilitzant de base la volta en planta soterrani pròxima als antics banys i amb totes les capes que componen la volta (a més de la volta, les costelles i solera d'encadellats, fins i tot les peces vidriades de decoració sota la volta).

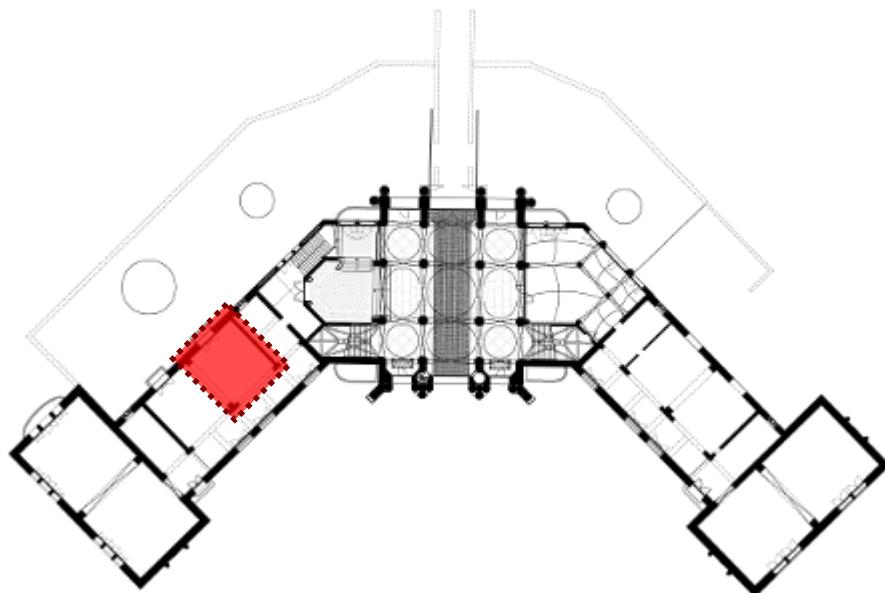


Fig. 139: Situació de la volta Bp-1_V2. Sostre Planta Soterrani.

5.4.5.1.- Prova estàtica.

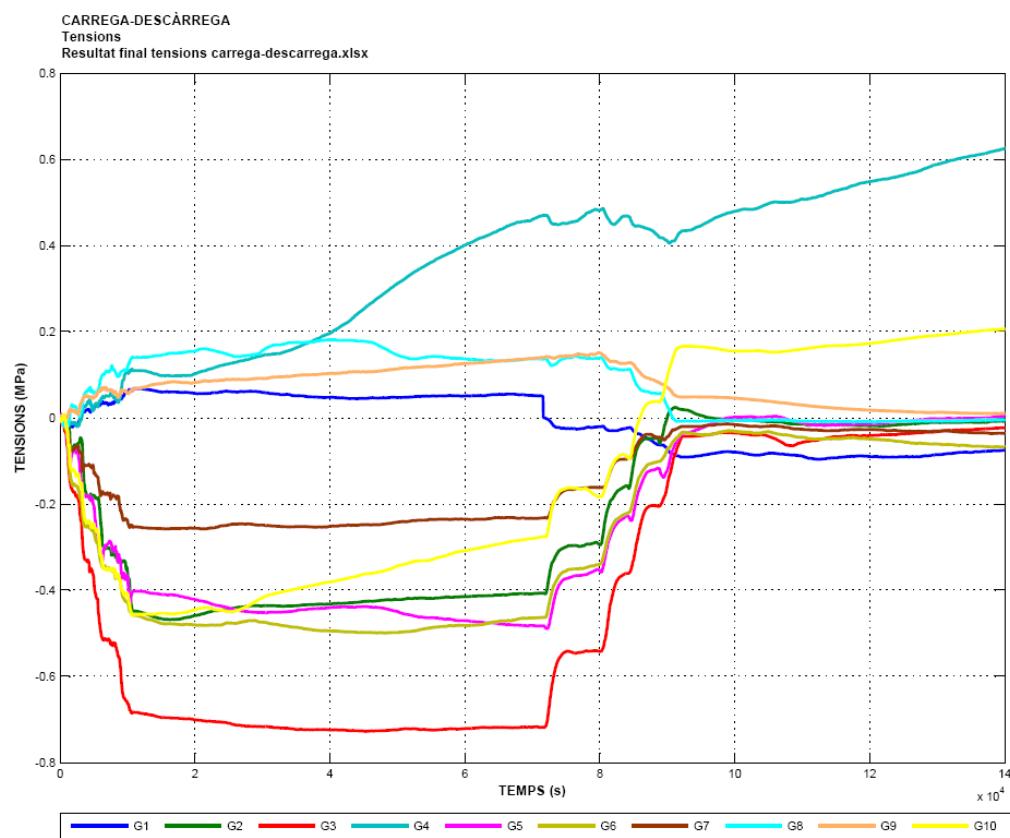


Fig. 140: Tensions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega combinada P3-1a i P4-1a.

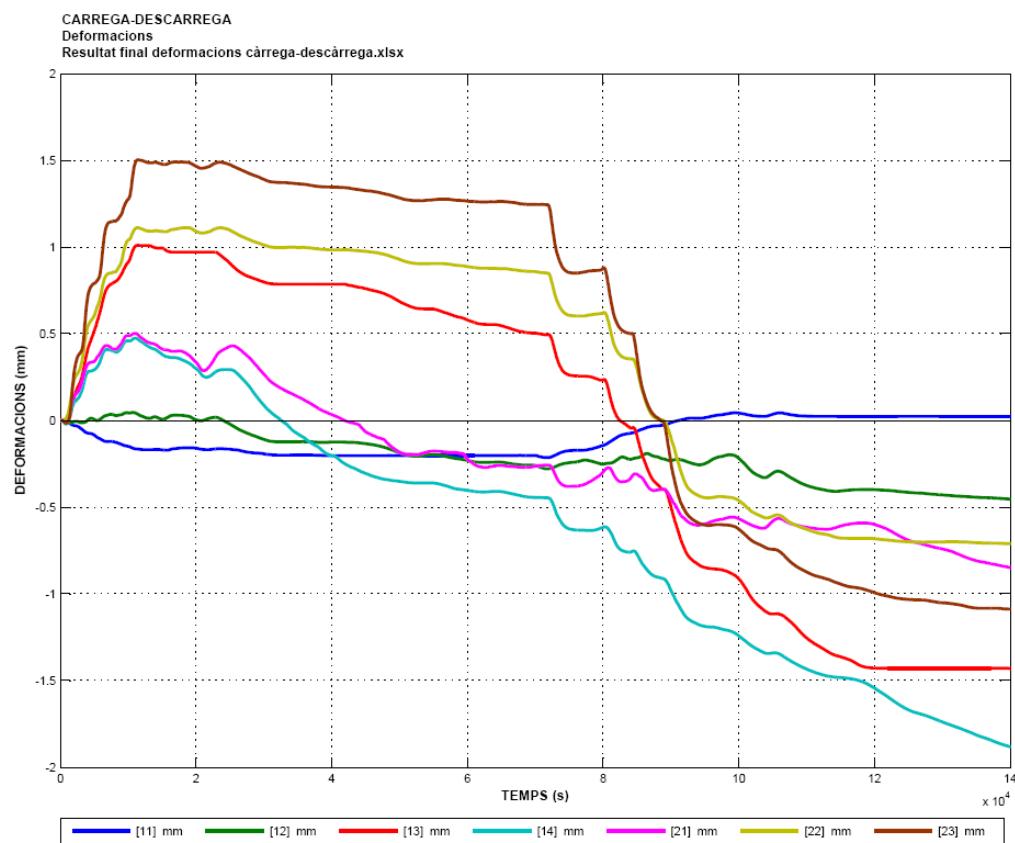


Fig. 141: Deformacions a la volta Bp-1_V2, prova de càrrega combinada P3-1a i P4-1a.

5.4.5.2.- Prova dinàmica.

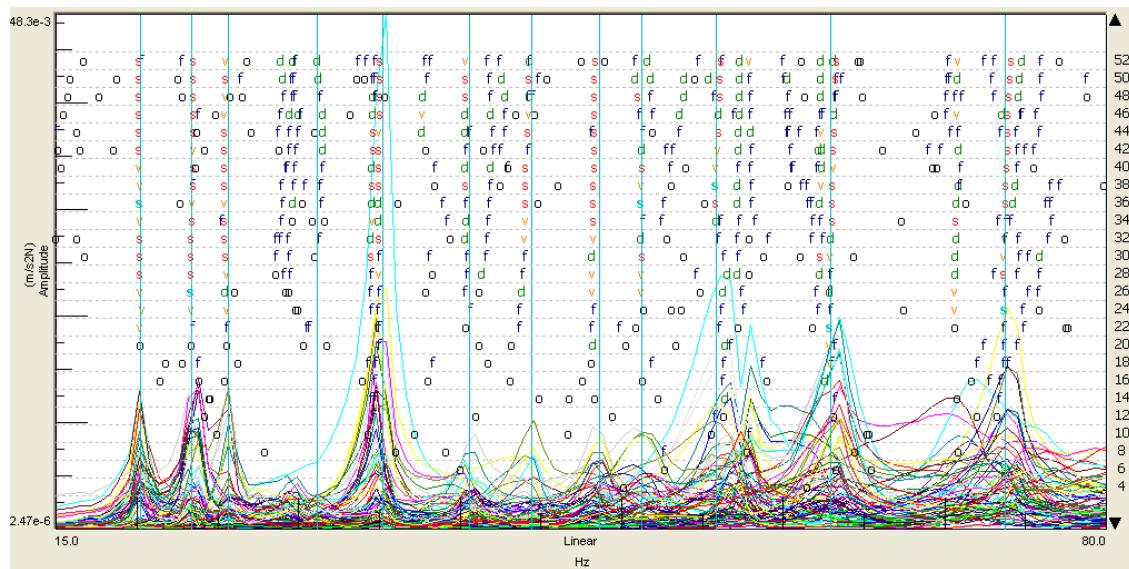


Fig. 142: Gràfica d'estabilització de la volta Bp-1_V2.

FREQÜÈNCIA VOLTA Bp-1_V2

1a freq (Hz)	2a freq (Hz)	3a freq (Hz)	4a freq (Hz)	5a freq (Hz)	6a freq (Hz)	7a freq (Hz)	8a freq (Hz)	9a freq (Hz)	10a freq (Hz)
20,20	23,36	25,63	31,11	35,20	40,55	44,43	48,61	51,25	55,87

5.4.5.3.- Resultats model numèric.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA MITJANA									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
SC_can	3,715 Hz	3,831 Hz	4,305 Hz	6,155 Hz	6,629 Hz	7,697 Hz	8,547 Hz	11,784 Hz	14,387 Hz	15,644 Hz
SC_vor-art	13,965 Hz	14,678 Hz	15,525 Hz	18,899 Hz	21,916 Hz	23,057 Hz	26,031 Hz	26,885 Hz	31,654 Hz	32,515 Hz
SC_vor-fix	14,254 Hz	15,775 Hz	16,235 Hz	19,953 Hz	24,108 Hz	24,419 Hz	28,274 Hz	28,510 Hz	34,516 Hz	36,144 Hz
AC_can	4,363 Hz	4,422 Hz	5,525 Hz	6,187 Hz	8,159 Hz	8,535 Hz	9,119 Hz	12,646 Hz	14,483 Hz	15,723 Hz
AC_vor-art	14,672 Hz	14,750 Hz	15,174 Hz	18,855 Hz	22,707 Hz	24,091 Hz	27,334 Hz	27,811 Hz	33,532 Hz	36,321 Hz
AC_vor-fix	14,781 Hz	15,719 Hz	16,023 Hz	19,842 Hz	23,803 Hz	25,192 Hz	28,509 Hz	28,982 Hz	34,946 Hz	37,528 Hz
AE_can	6,223 Hz	6,269 Hz	6,418 Hz	9,512 Hz	9,901 Hz	10,884 Hz	11,720 Hz	17,528 Hz	18,365 Hz	20,774 Hz
AE_vor-art	14,184 Hz	18,692 Hz	18,714 Hz	30,278 Hz	31,223 Hz	32,524 Hz	40,490 Hz	41,558 Hz	44,610 Hz	46,744 Hz
AE_vor-fix	14,230 Hz	19,089 Hz	19,114 Hz	30,582 Hz	31,578 Hz	32,926 Hz	41,305 Hz	42,120 Hz	45,069 Hz	47,400 Hz

Fig. 143: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta mitjana.

6.- DESENVOLUPAMENT DE L'APARTAT C

6.1.- Relació entre les proves dinàmiques i els models de càlcul.

Un cop calibrat el sistema, precedim a comparar les voltes on només s'han fet assaigs dinàmics. En primera instància es presenten els resultats individuals. En aquells casos en els que els elements es repeteixen, s'agrupen els resultats i es fa un estudi comparatiu.

6.1.1.- Primera família: voltes petites

Família : **Voltes petites.**
Nomenclatura : **L1p-1_V1**

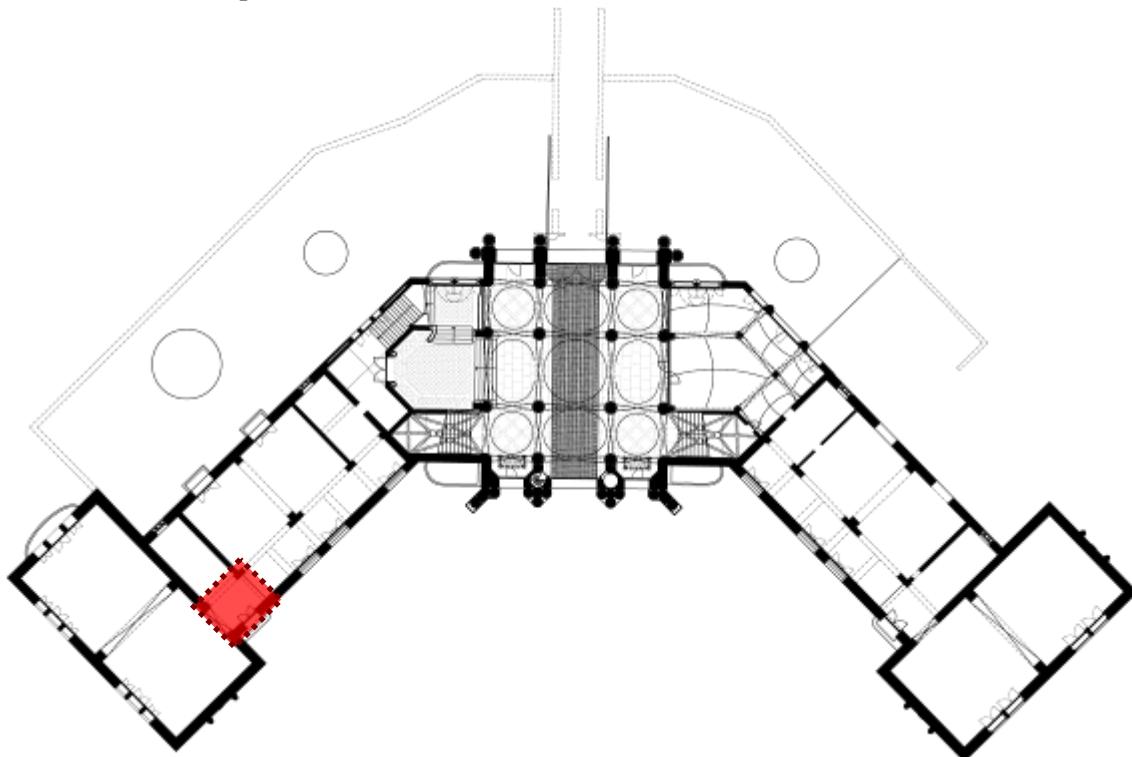


Fig. 144: Situació de la volta L1p-1_V1.

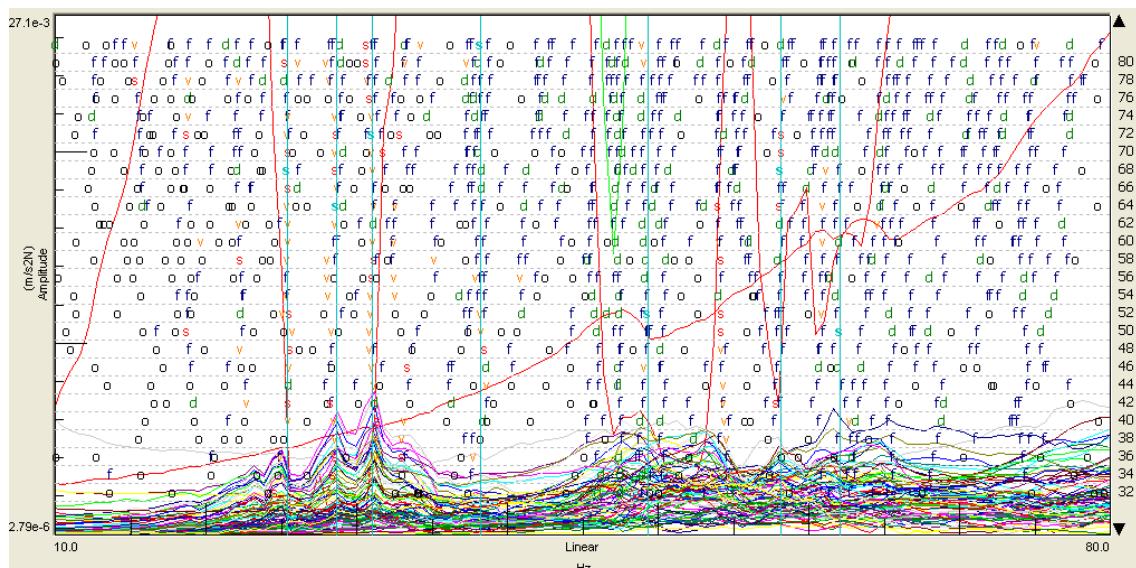


Fig. 145: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_V2

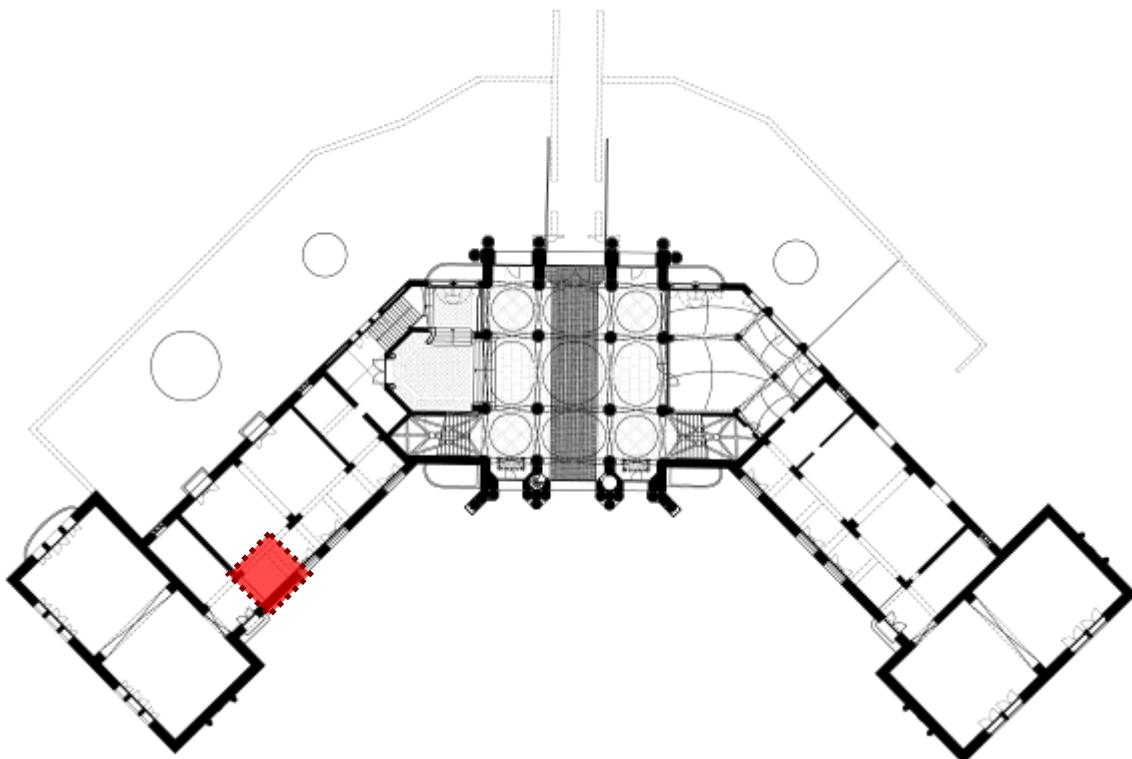


Fig. 146: Situació de la volta L1p-1_V2.

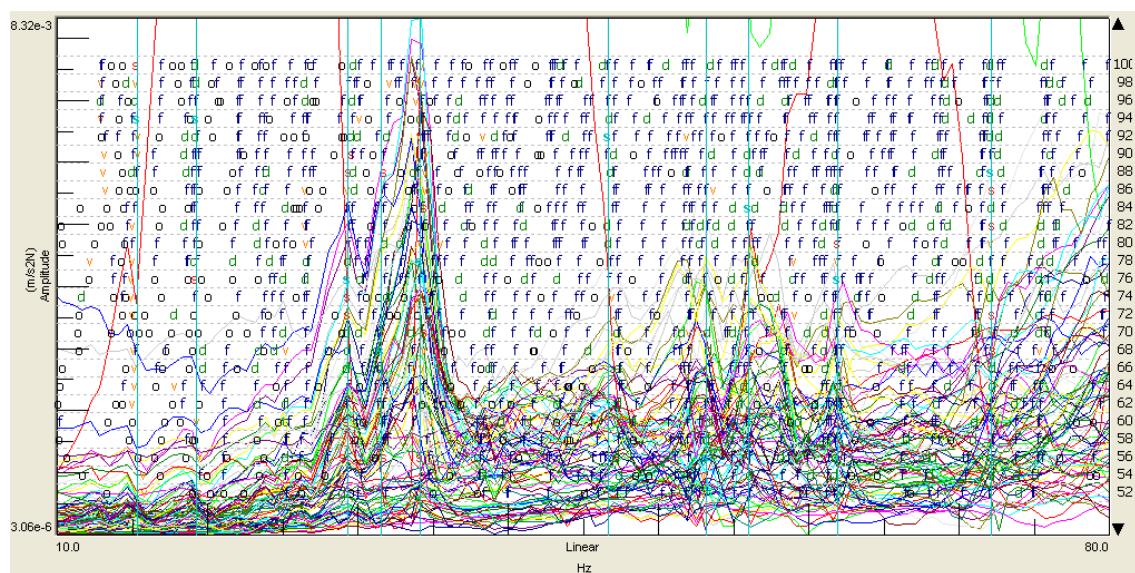


Fig. 147: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_V3

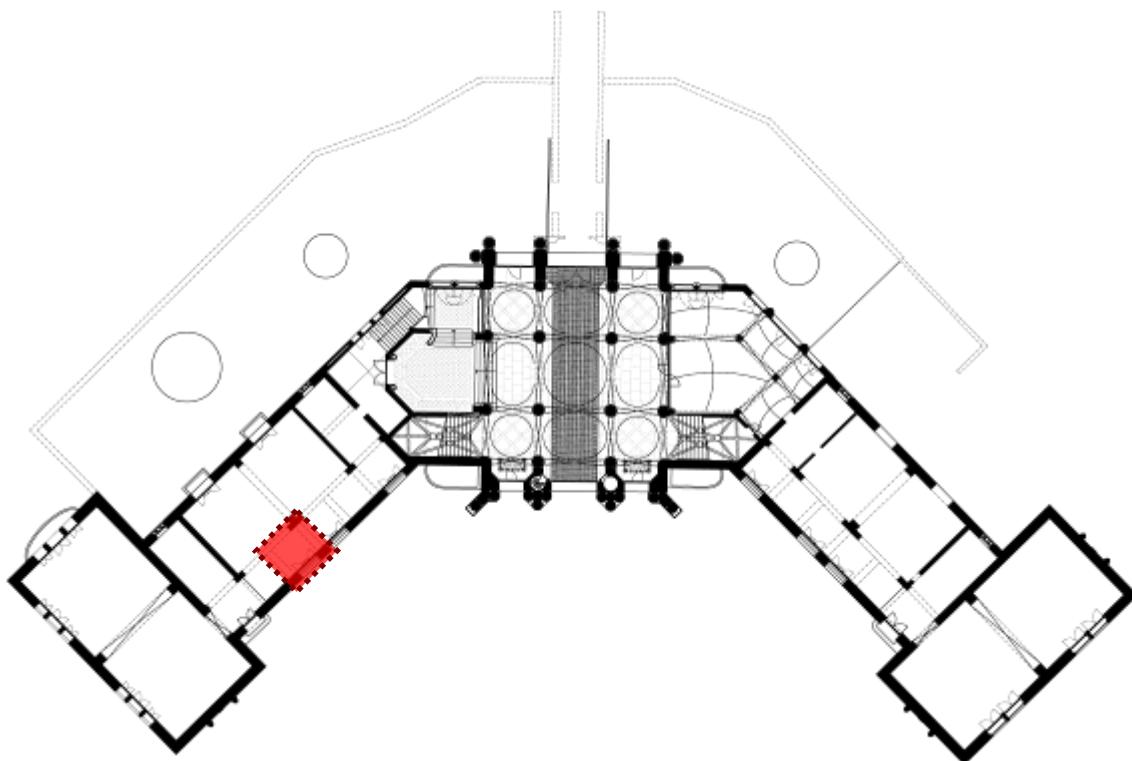


Fig. 148: Situació de la volta L1p-1_V3.

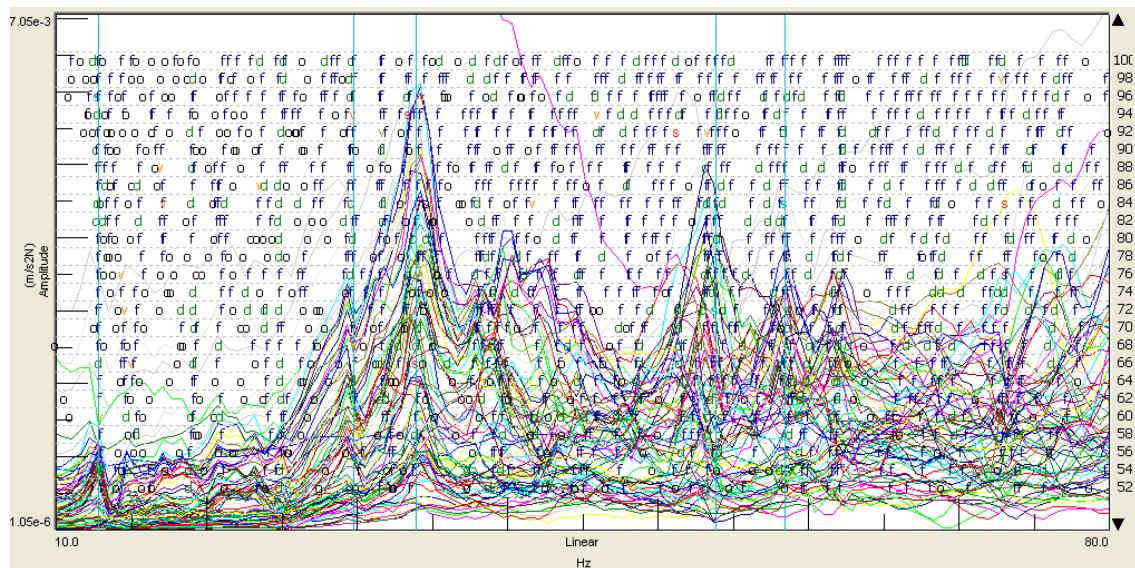


Fig. 149: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_V4

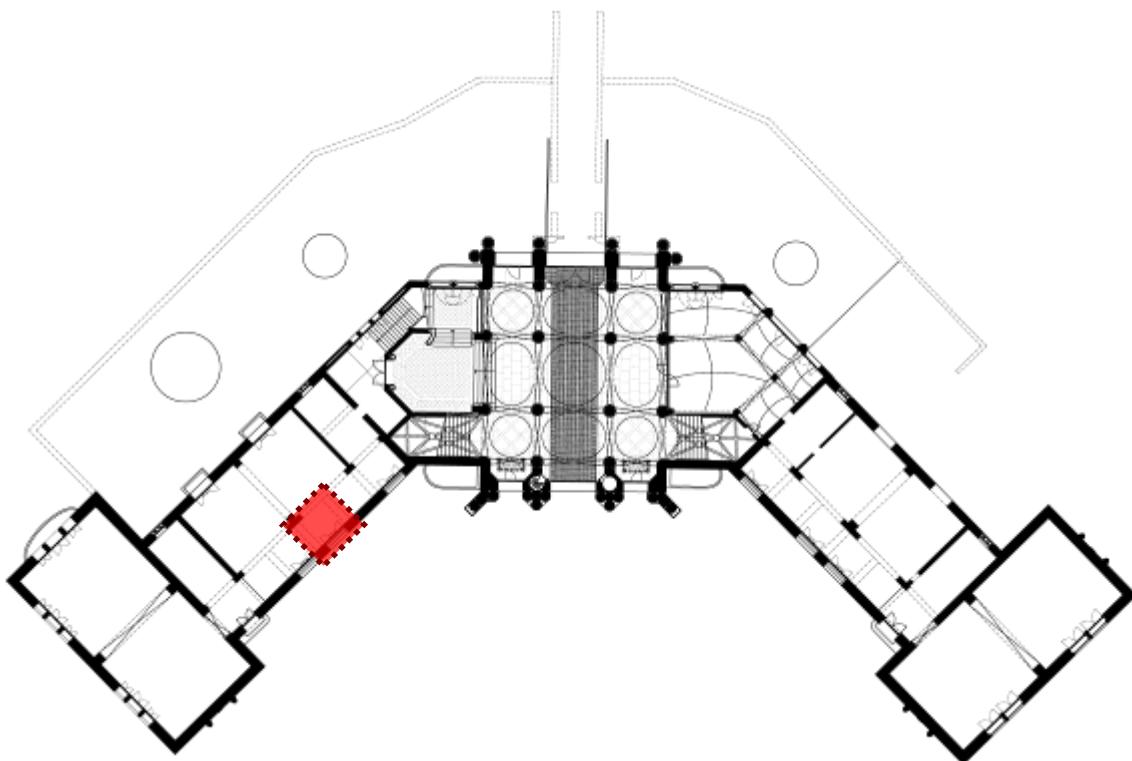


Fig. 150: Situació de la volta L1p-1_V4.

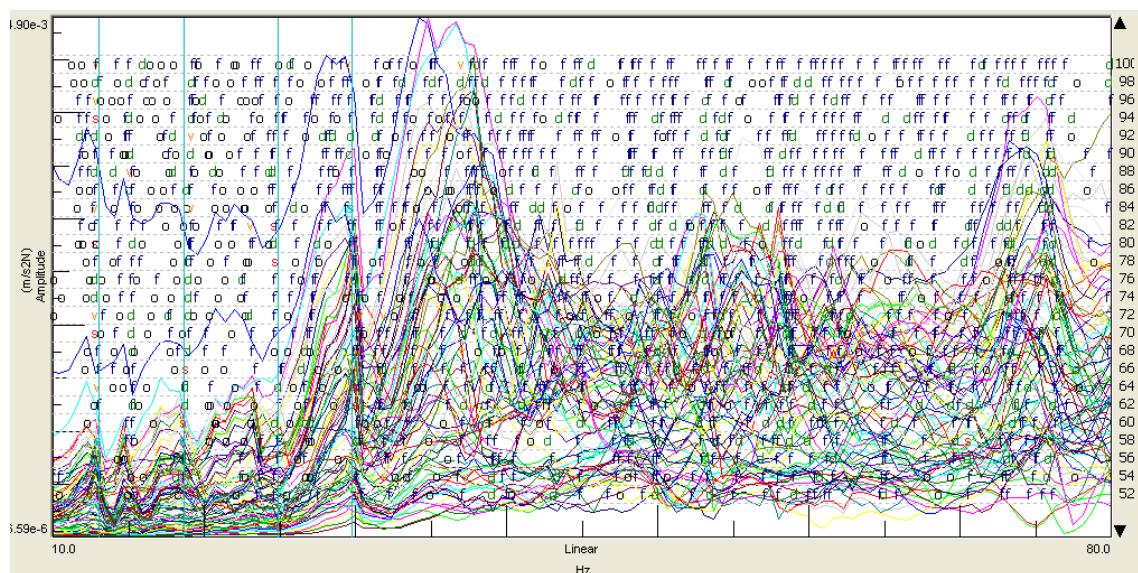


Fig. 151: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_V5

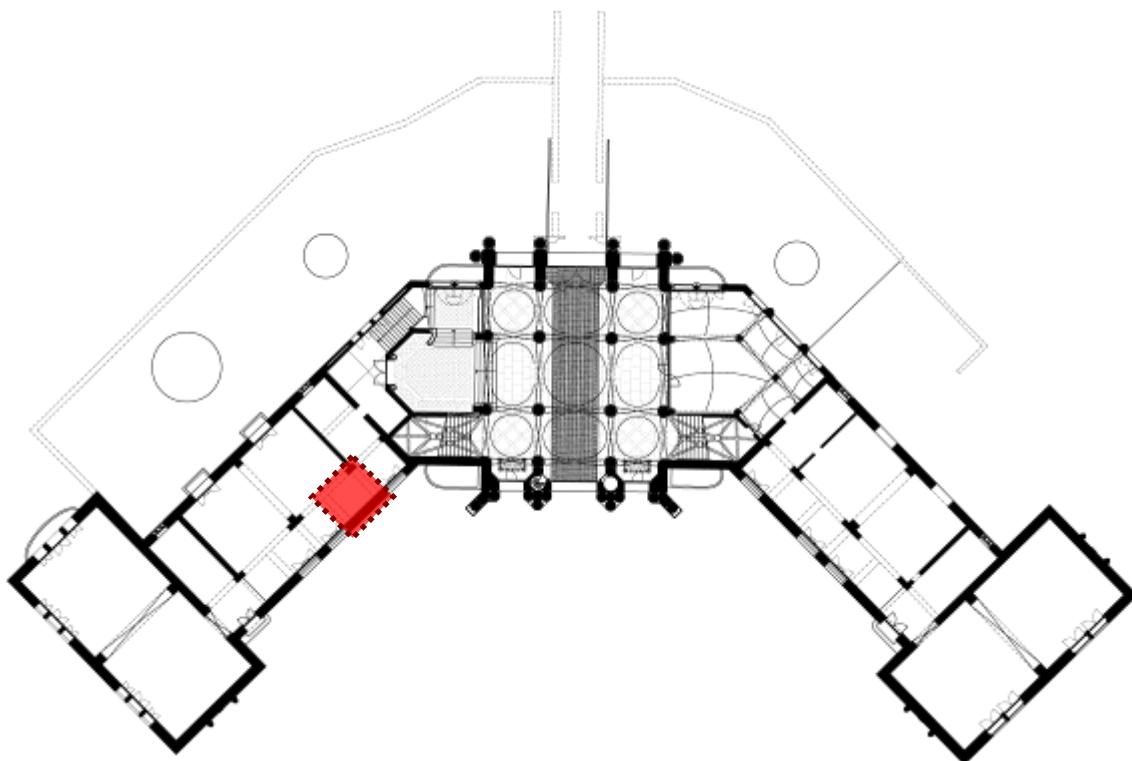


Fig. 152: Situació de la volta L1p-1_V5.

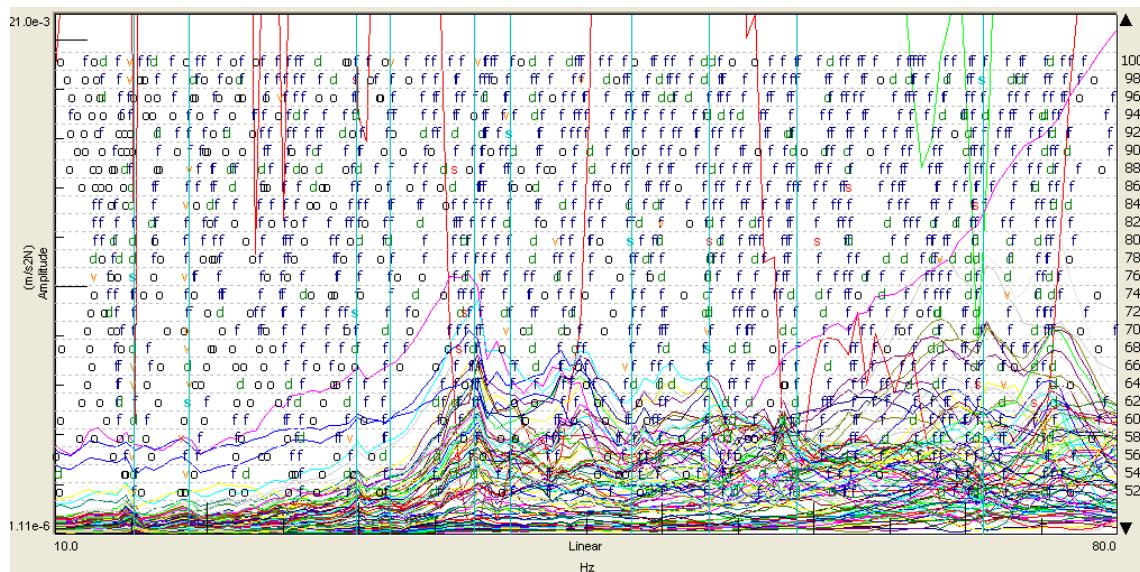


Fig. 153: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_V6

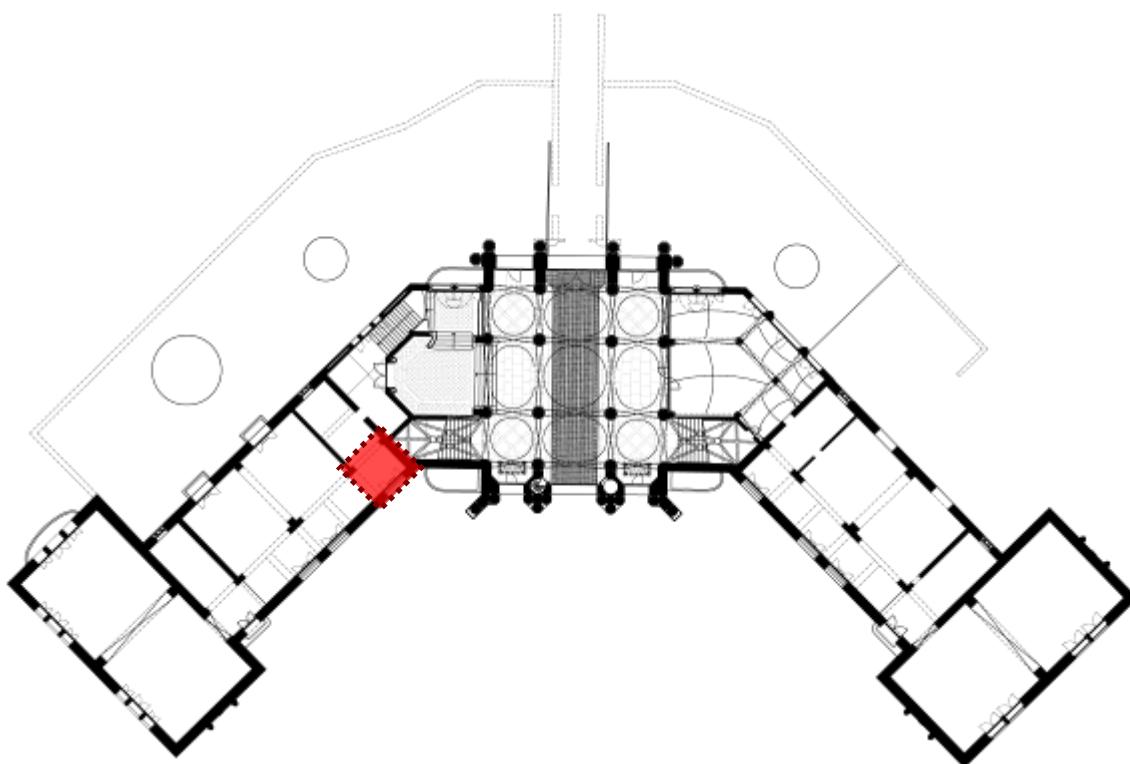


Fig. 154: Situació de la volta L1p-1_V6.

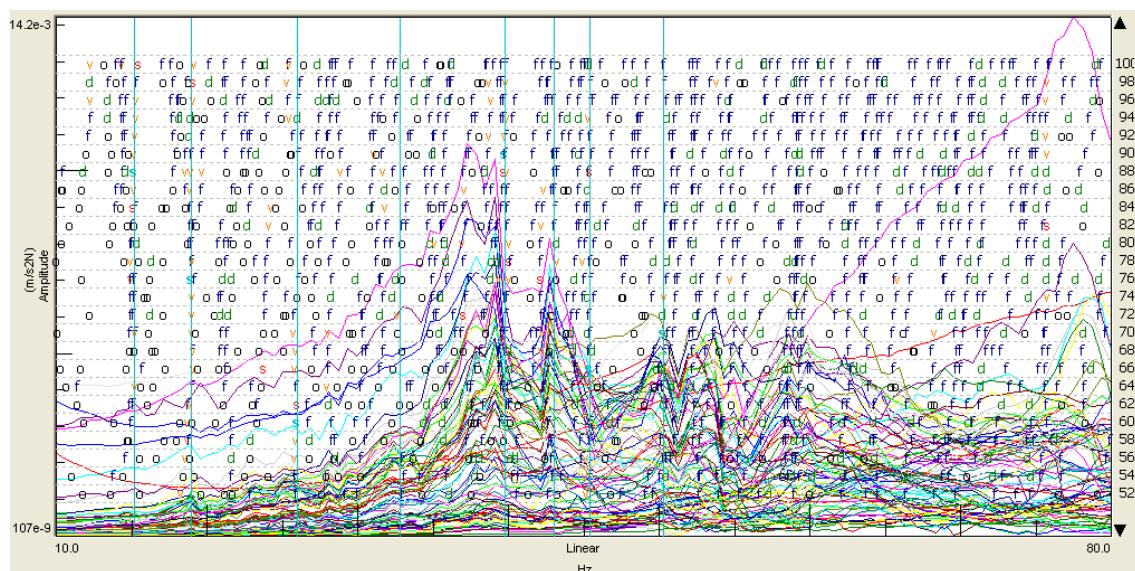


Fig. 155: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_V6.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p-1_ENTREPLANTA

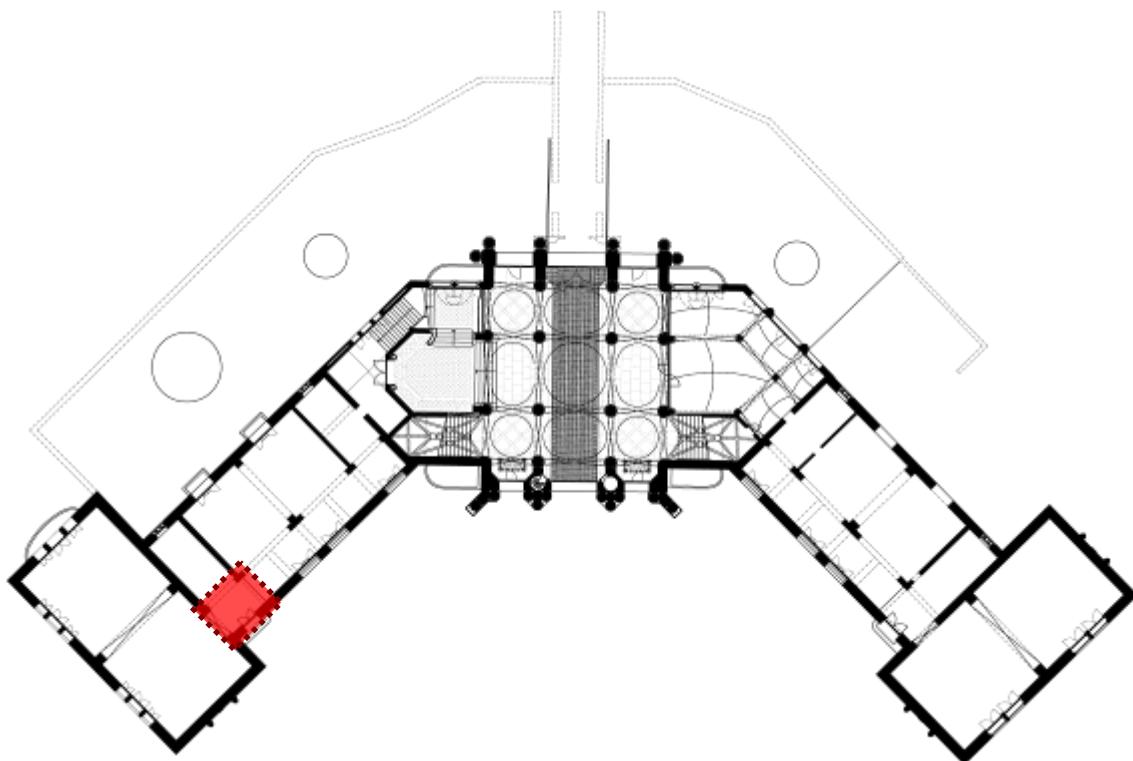


Fig. 156: Situació de la volta L1p-1_ENTREPLANTA.

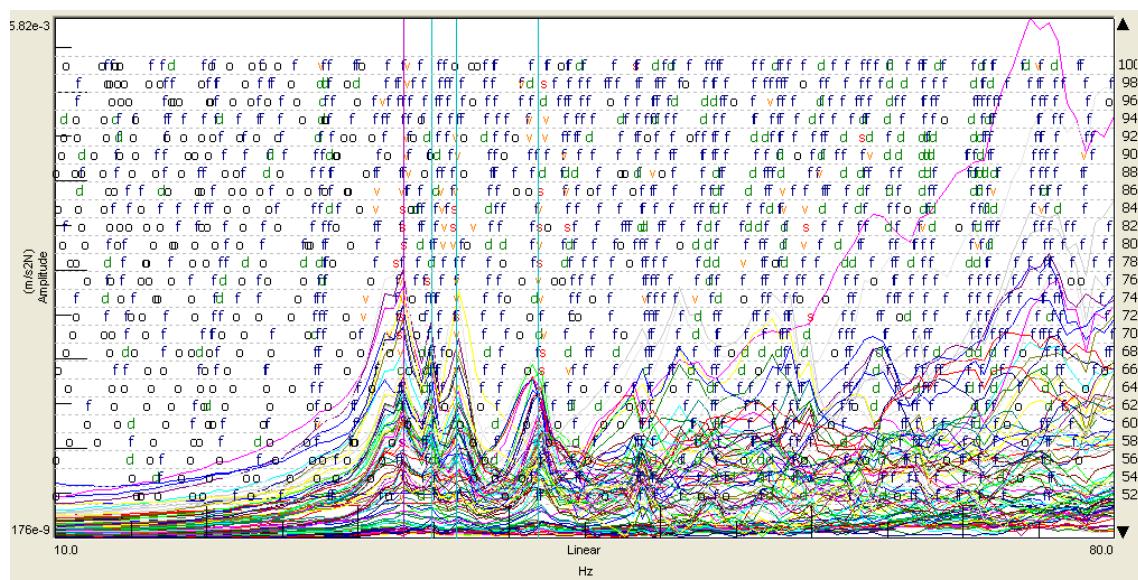


Fig. 157: Gràfica d'estabilització de la volta L1p-1_ENTREPLANTA.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_V1

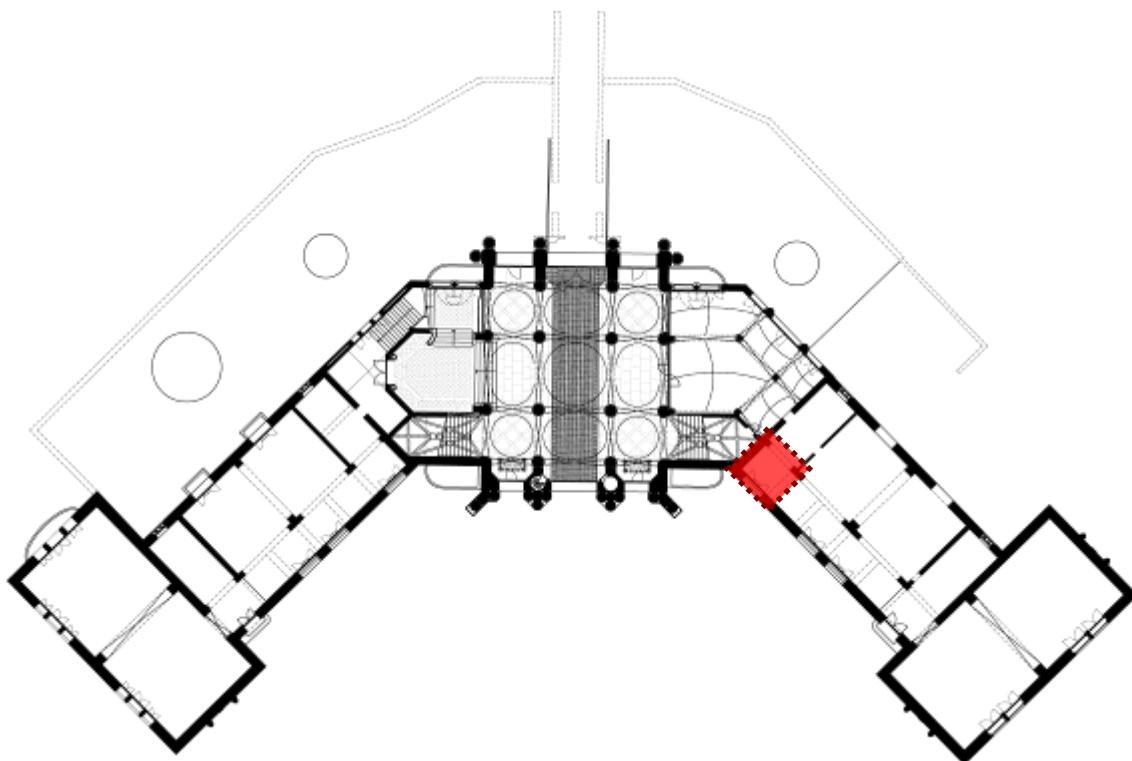


Fig. 158: Situació de la volta L2p-1_V1.

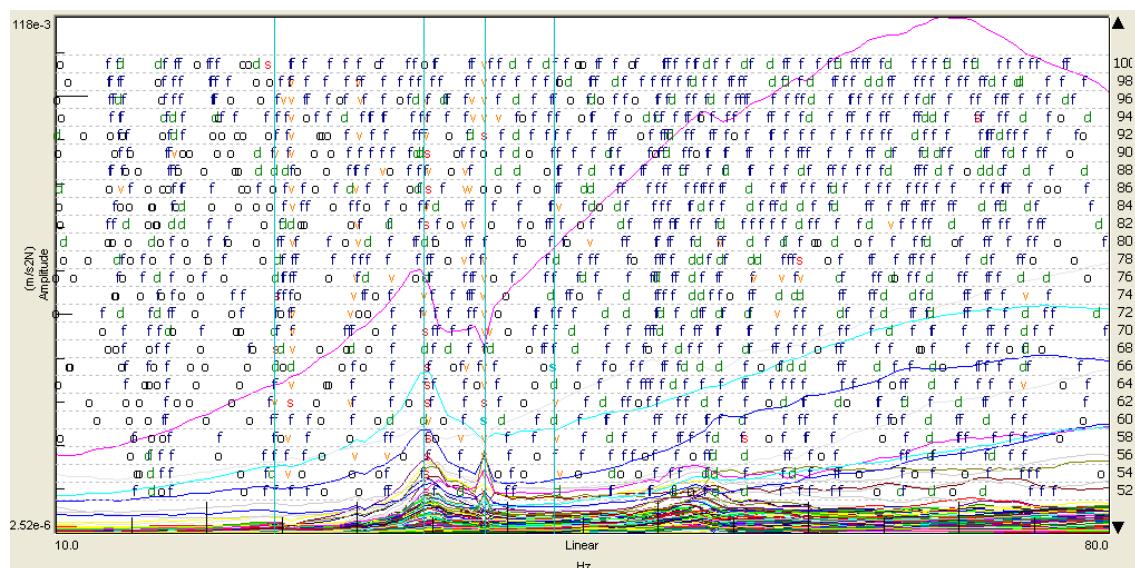


Fig. 159: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_V2

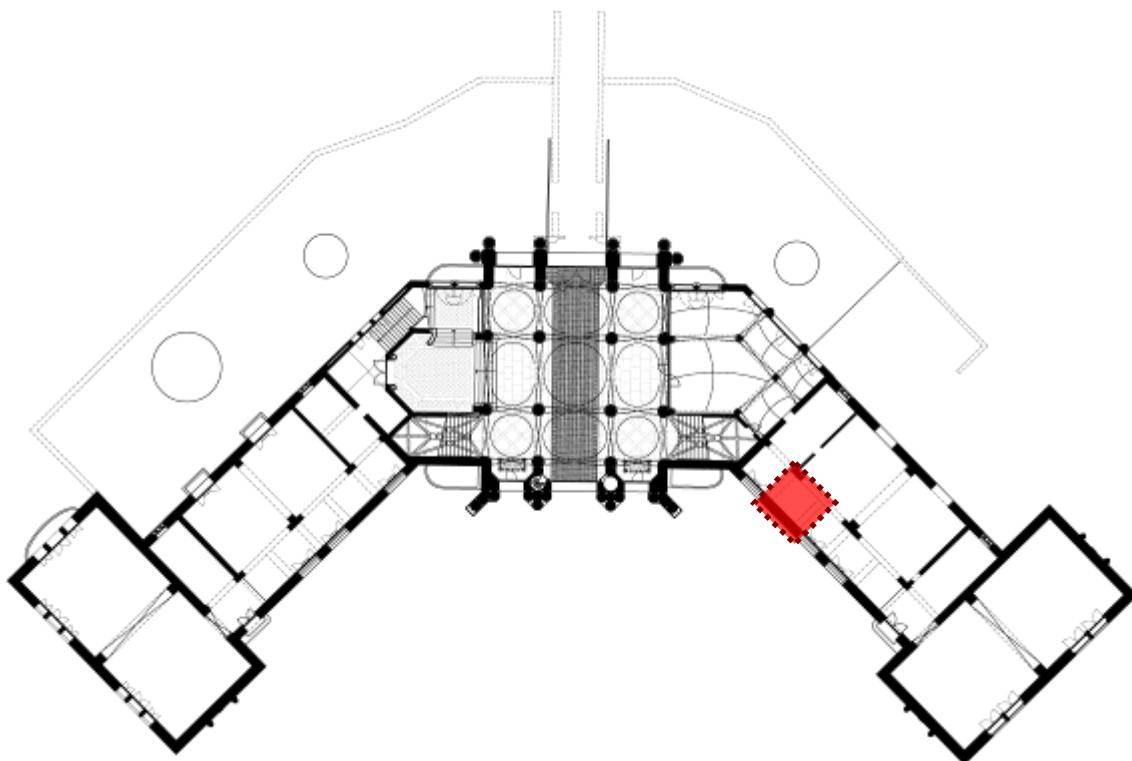


Fig. 160: Situació de la volta L2p-1_V2.

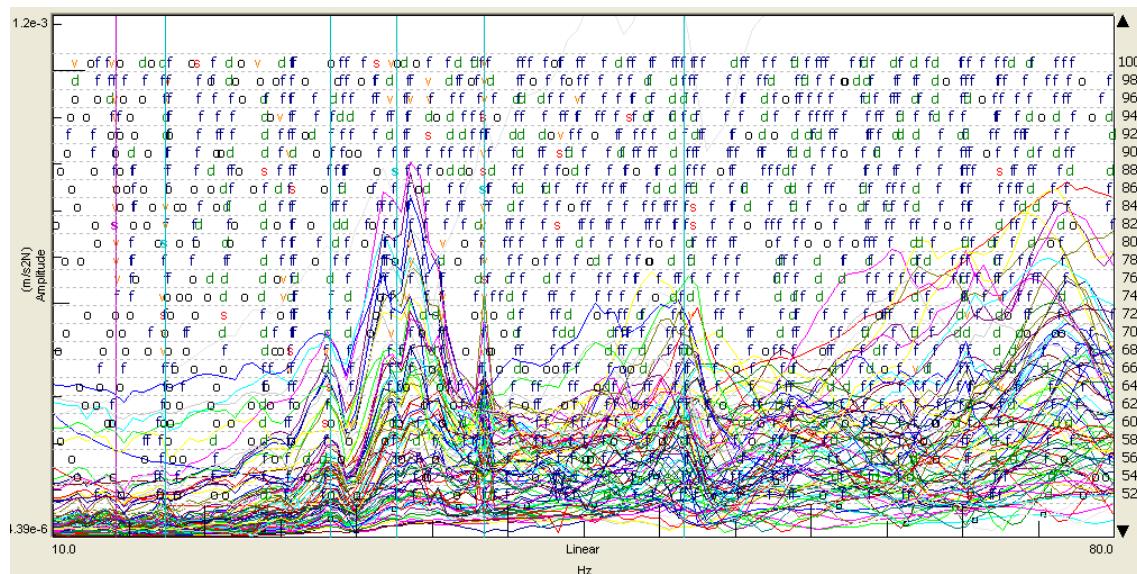


Fig. 161: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_V3

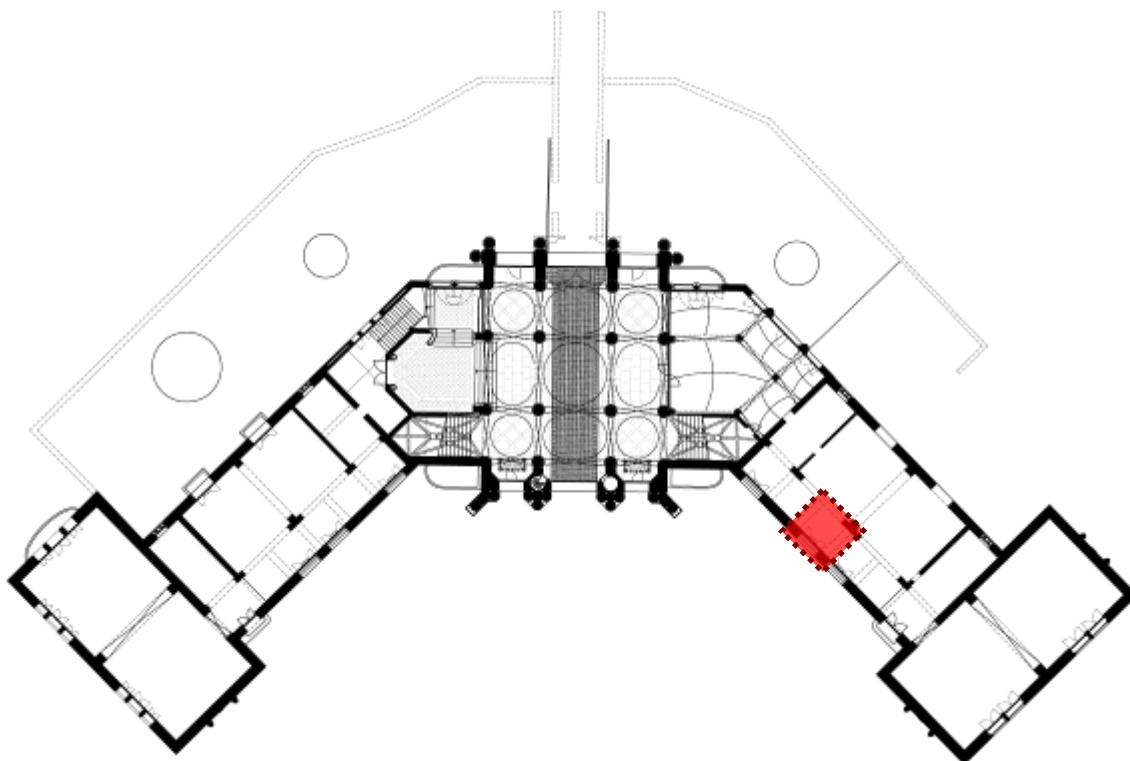


Fig. 162: Situació de la volta L2p-1_V3.

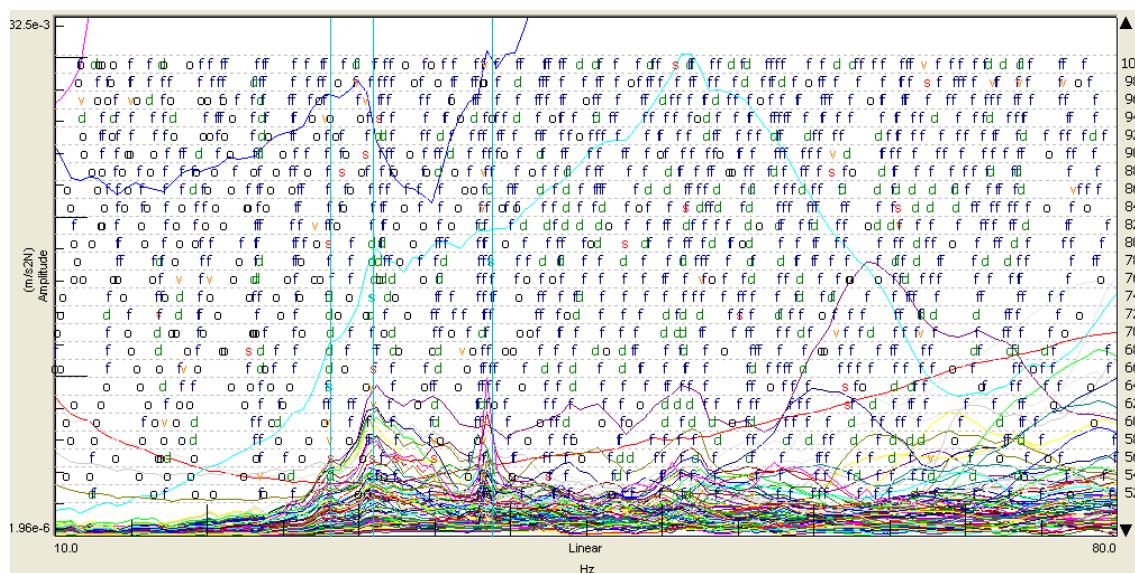


Fig. 163: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_V4

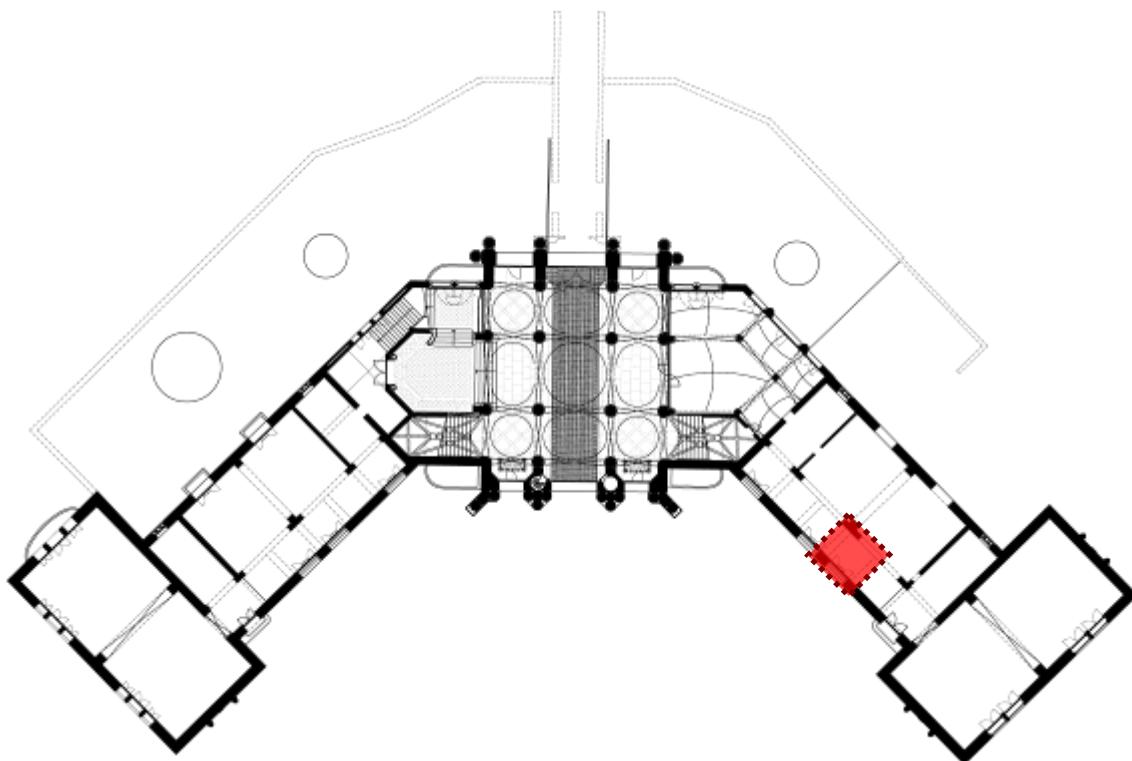


Fig. 164: Situació de la volta L2p-1_V4.

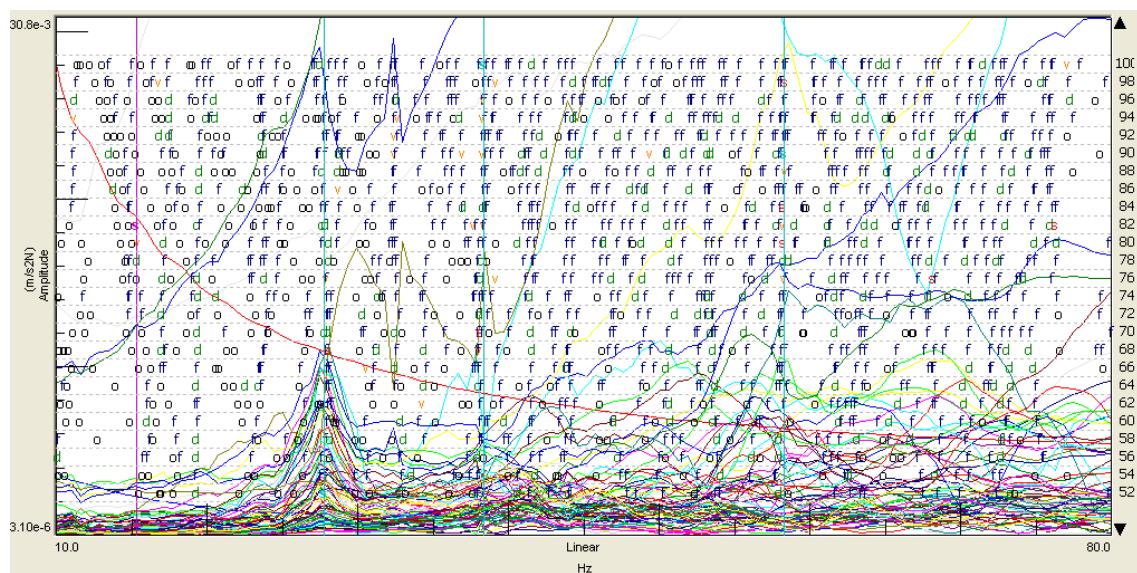


Fig. 165: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_V5

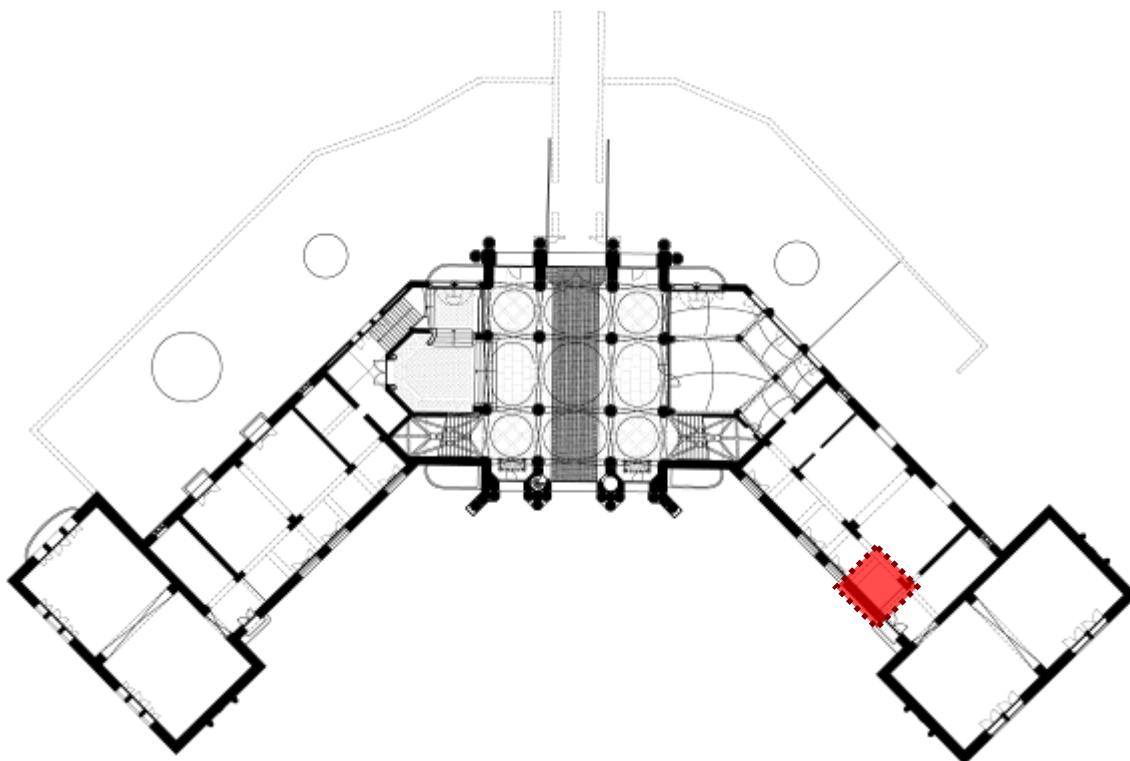


Fig. 166: Situació de la volta L2p-1_V5.

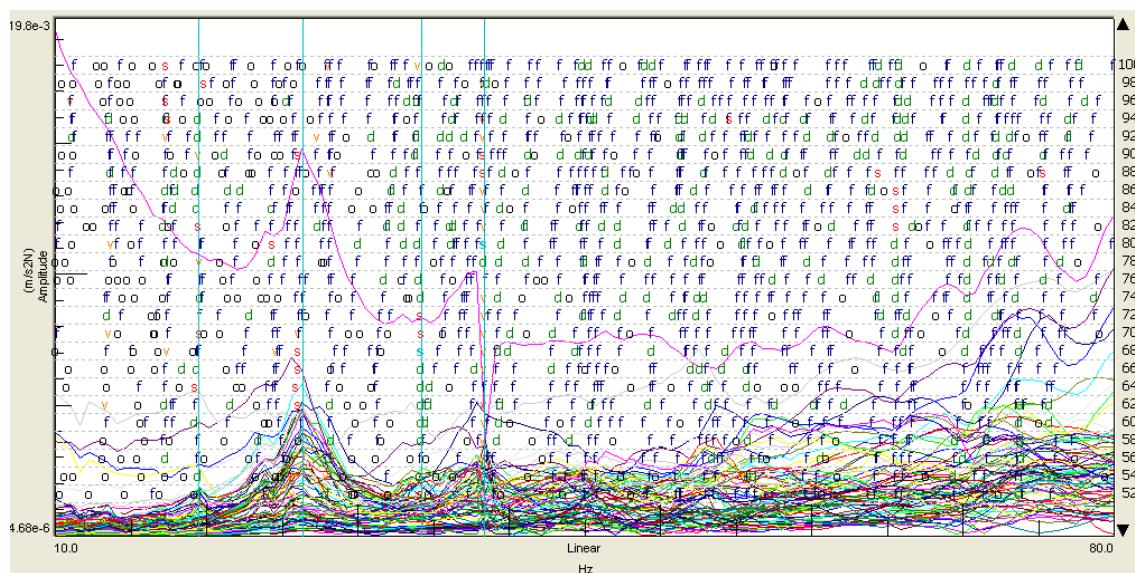


Fig. 167: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura: L2p-1_V6

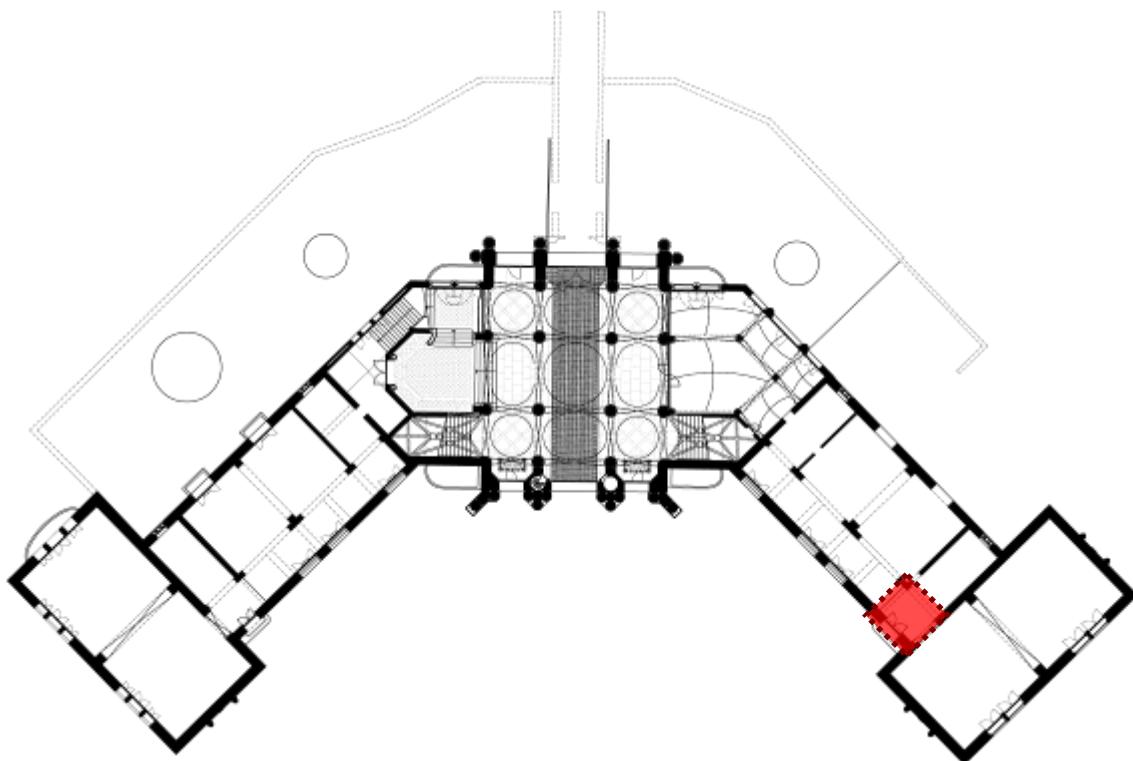


Fig. 168: Situació de la volta L2p-1_V6.

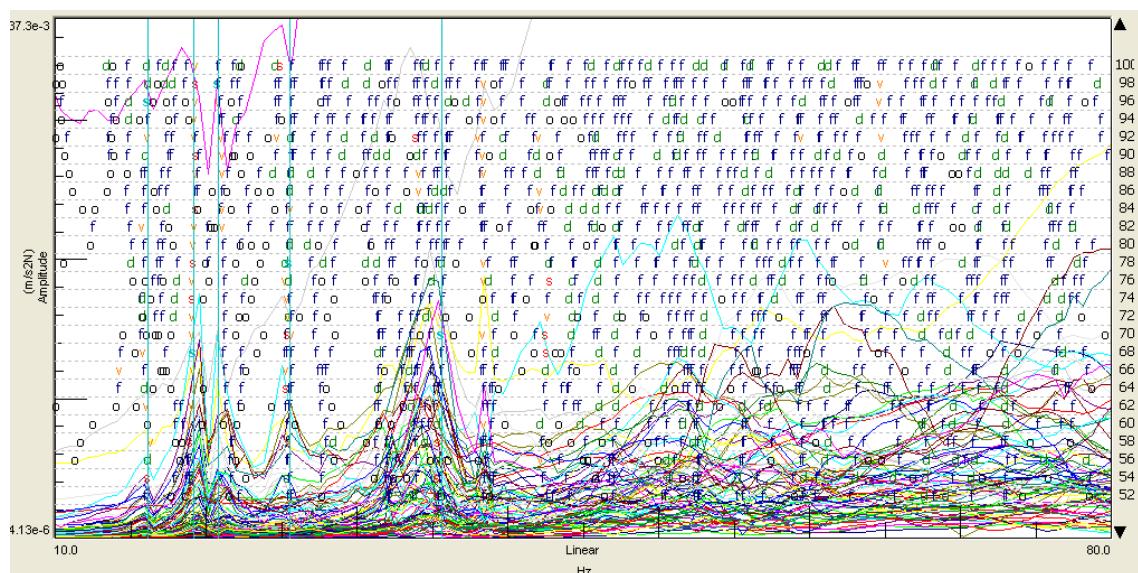


Fig. 169: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_V6.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p-1_ENTREPLANTA

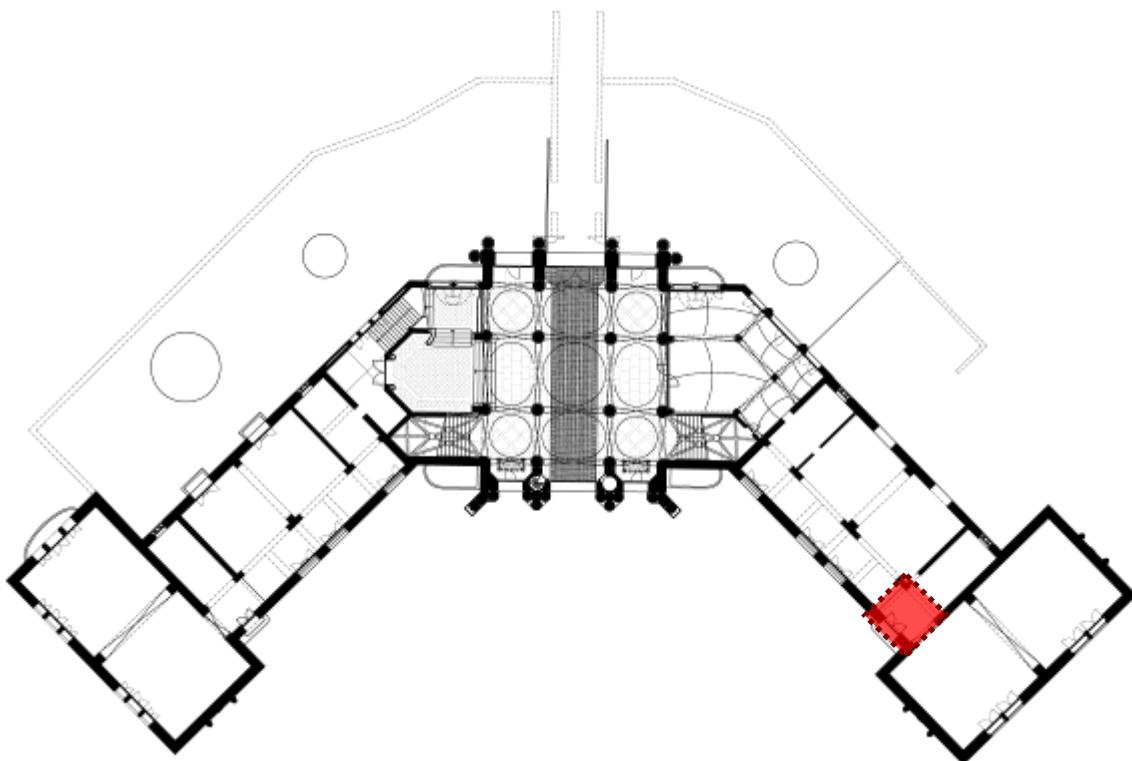


Fig. 170: Situació de la volta L2p-1_ENTREPLANTA.

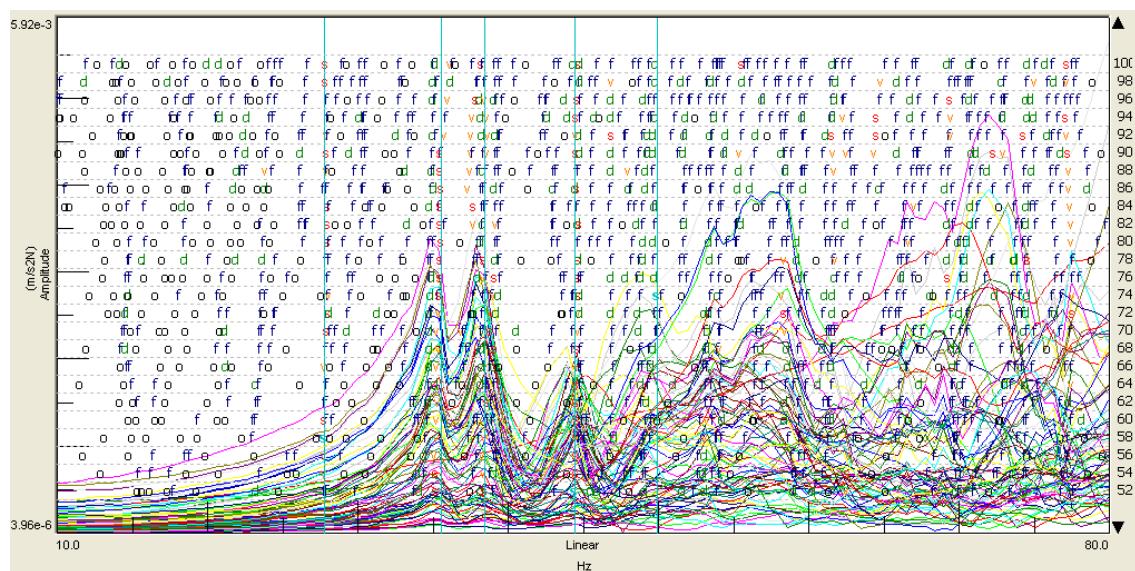


Fig. 171: Gràfica d'estabilització de la volta L2p-1_ENTREPLANTA.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V1

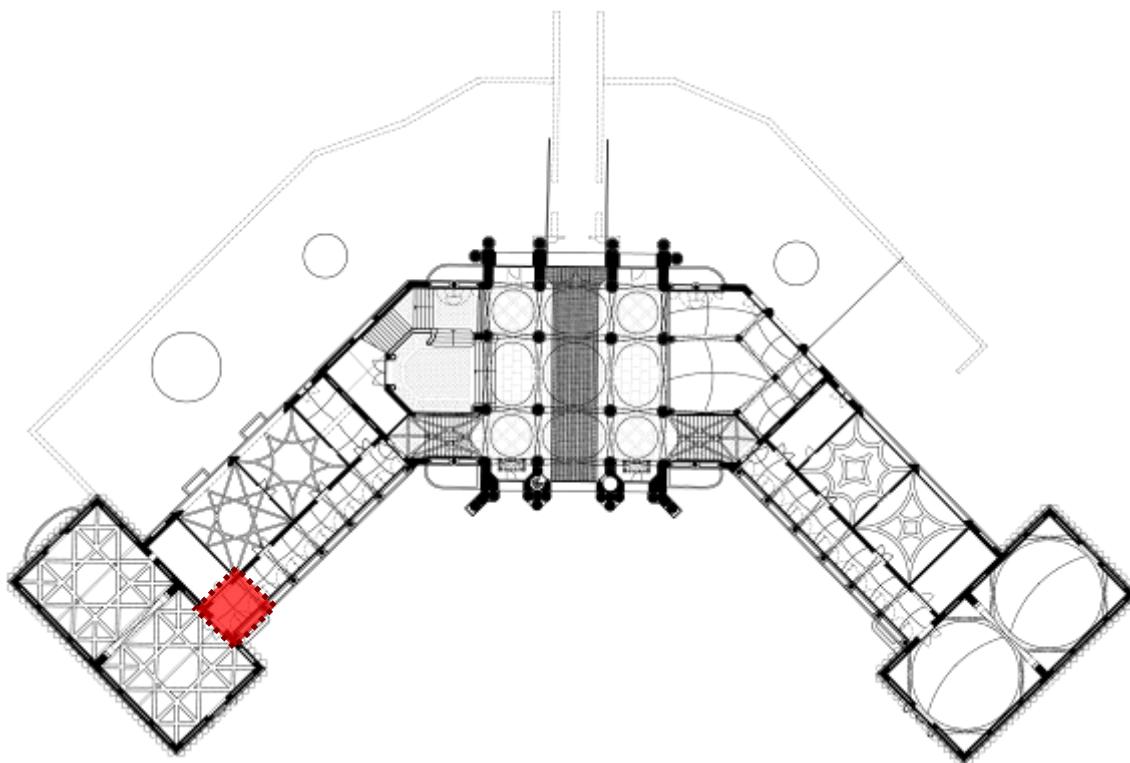


Fig. 172: Situació de la volta L1p1_V1.

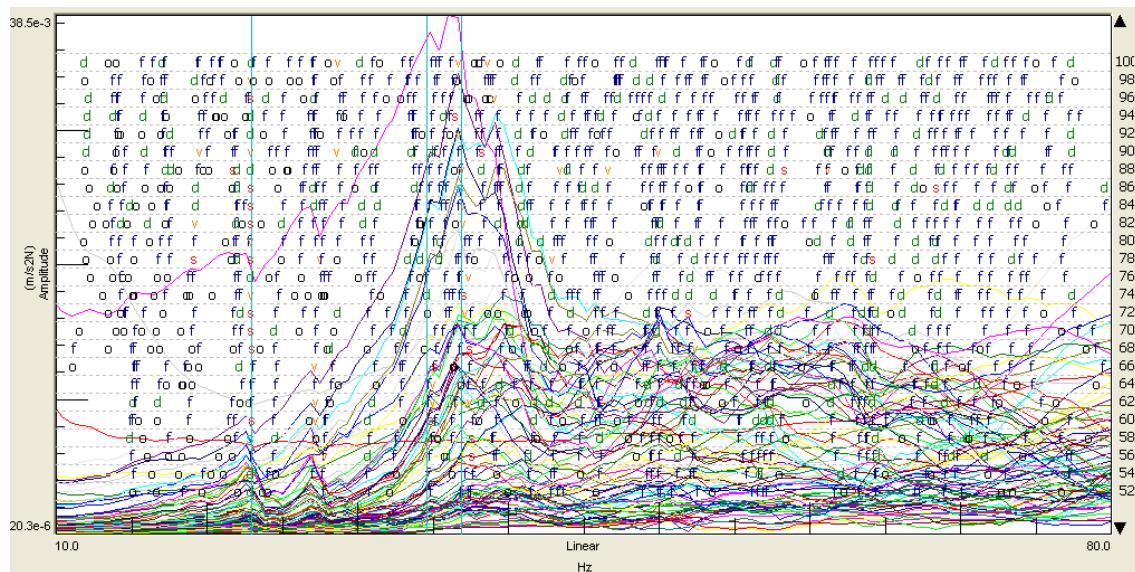


Fig. 173: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V2

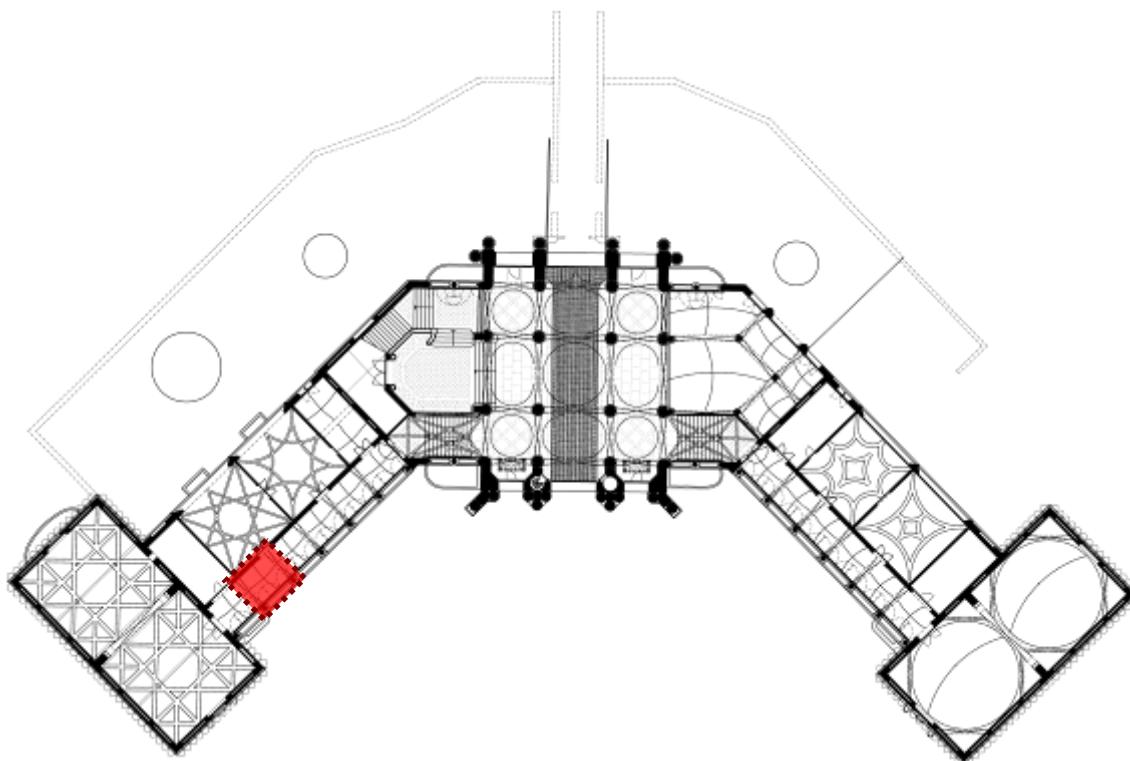


Fig. 174: Situació de la volta L1p1_V2.

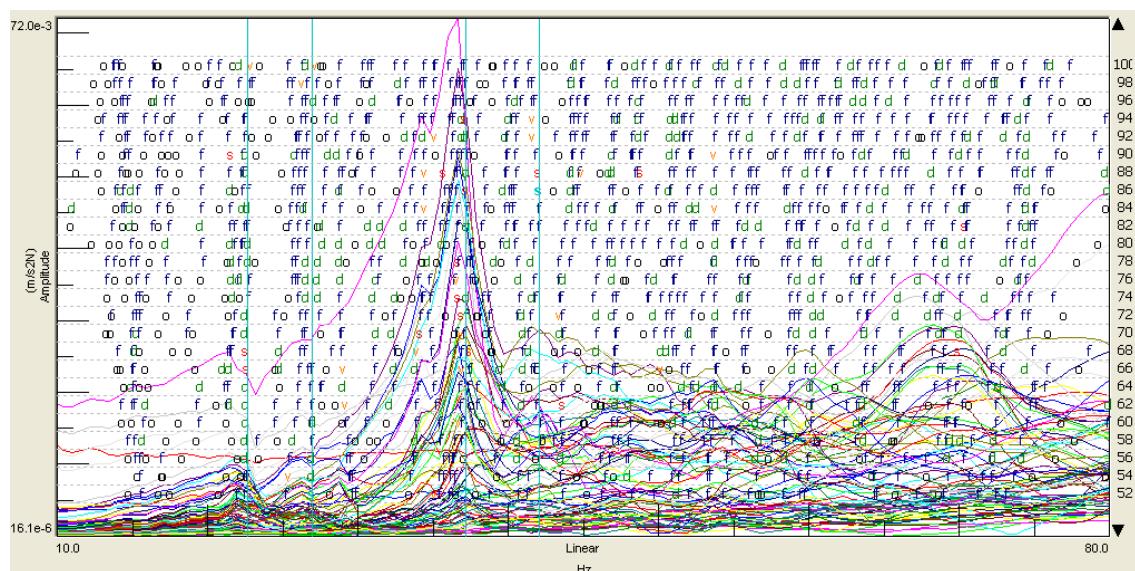


Fig. 175: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V3

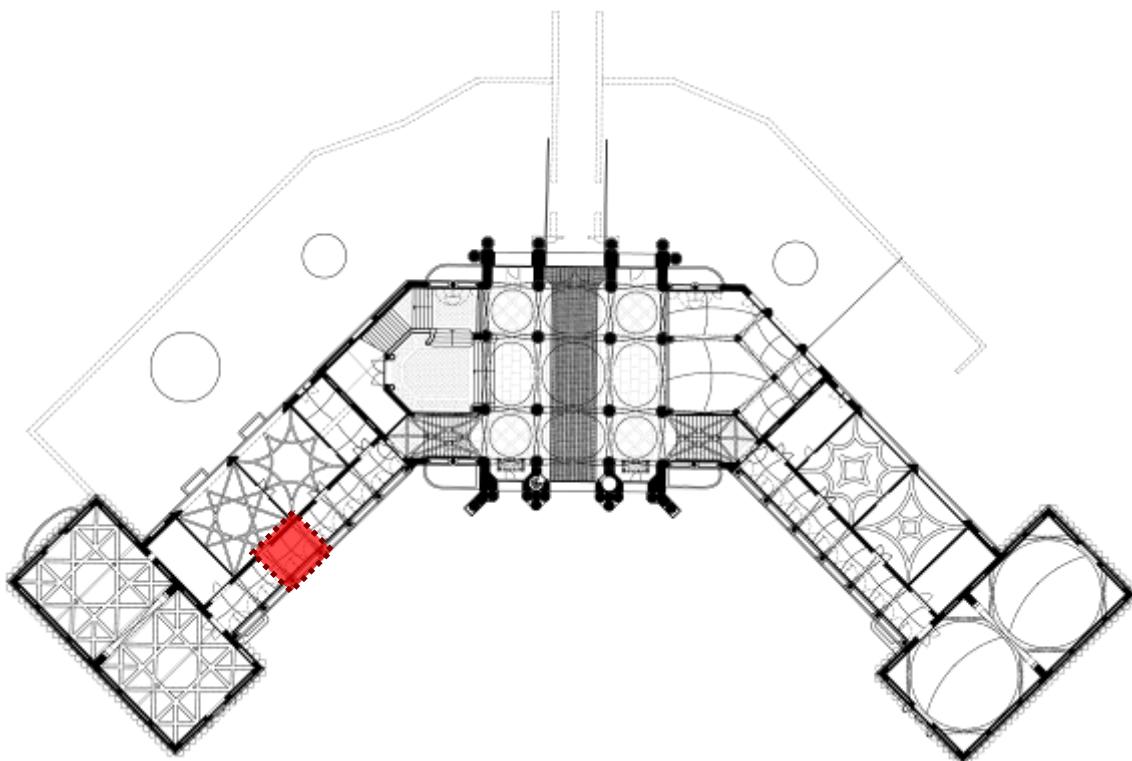


Fig. 176: Situació de la volta L1p1_V3.

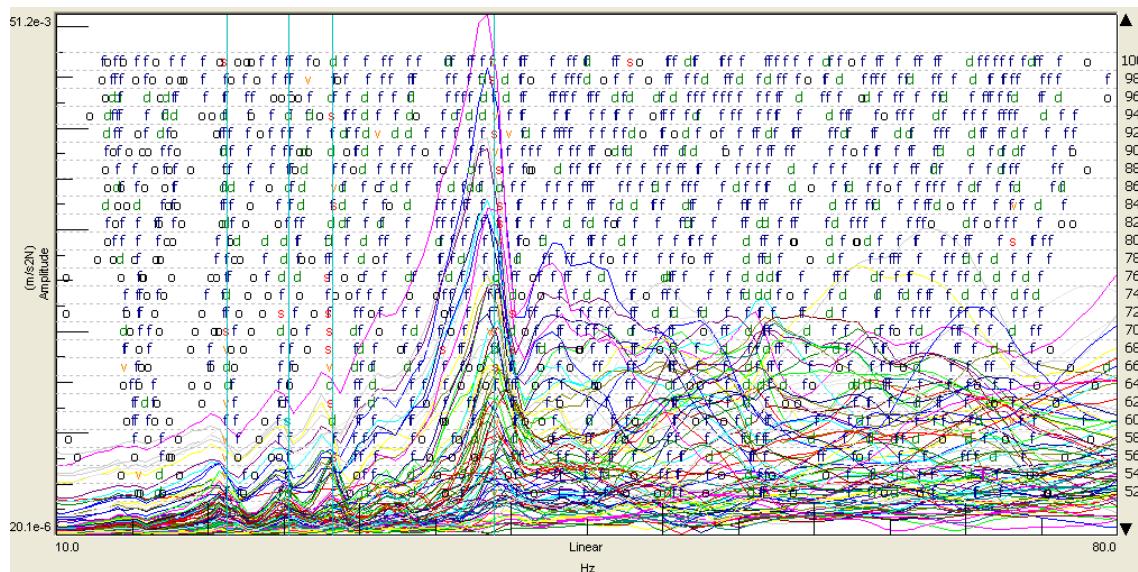


Fig. 177: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V4

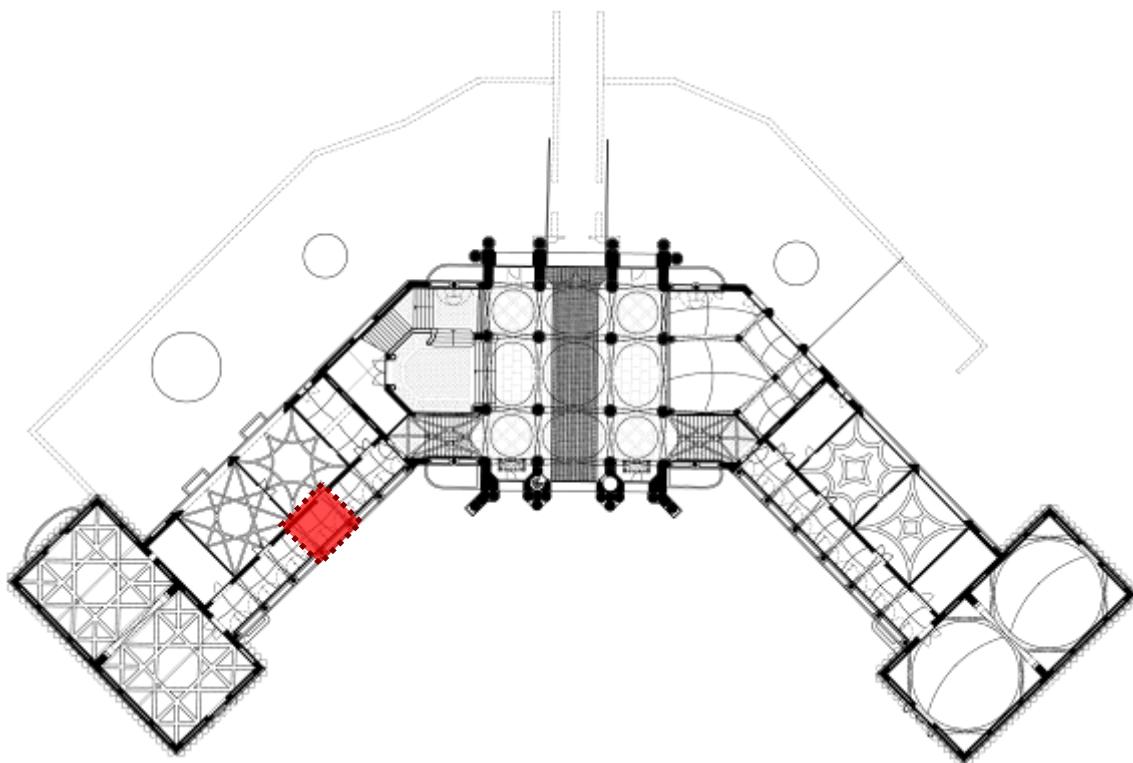


Fig. 178: Situació de la volta L1p1_V4.

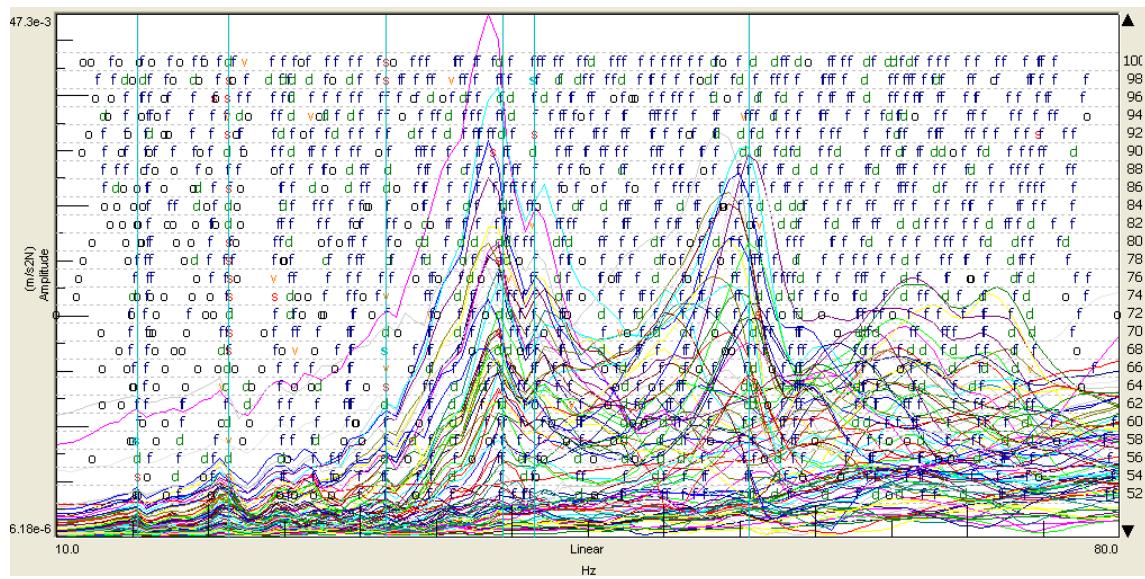


Fig. 179: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V5

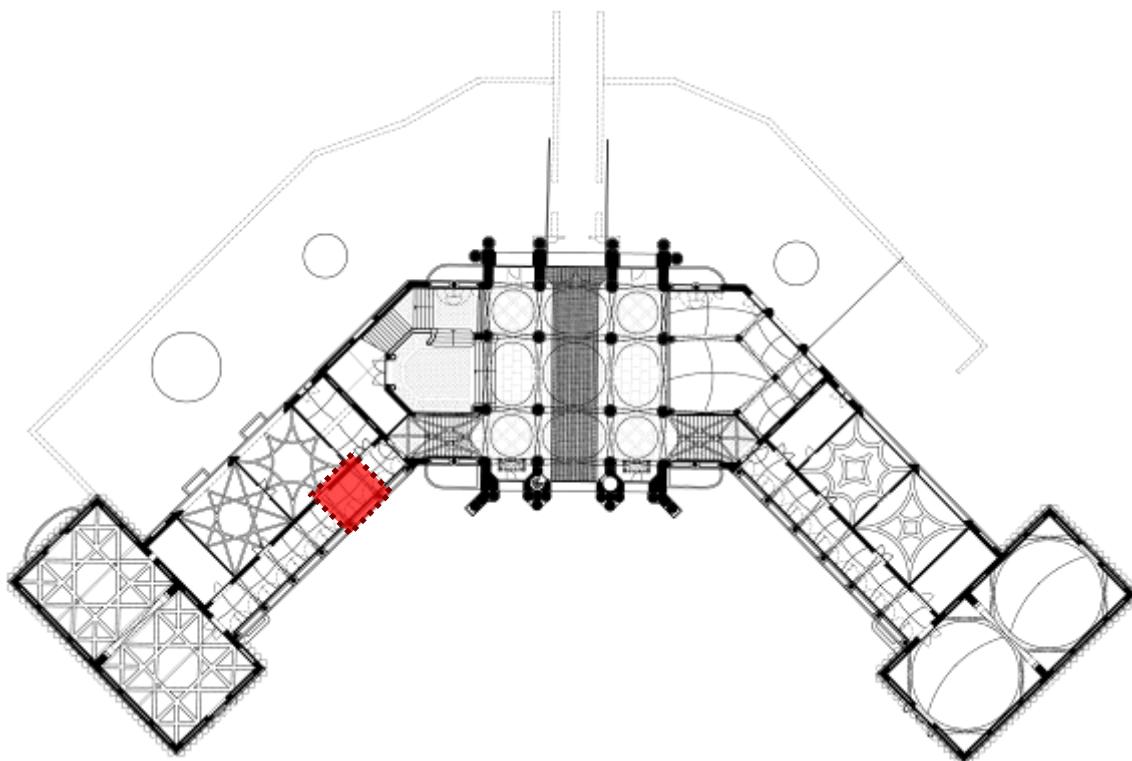


Fig. 180: Situació de la volta L1p1_V5.

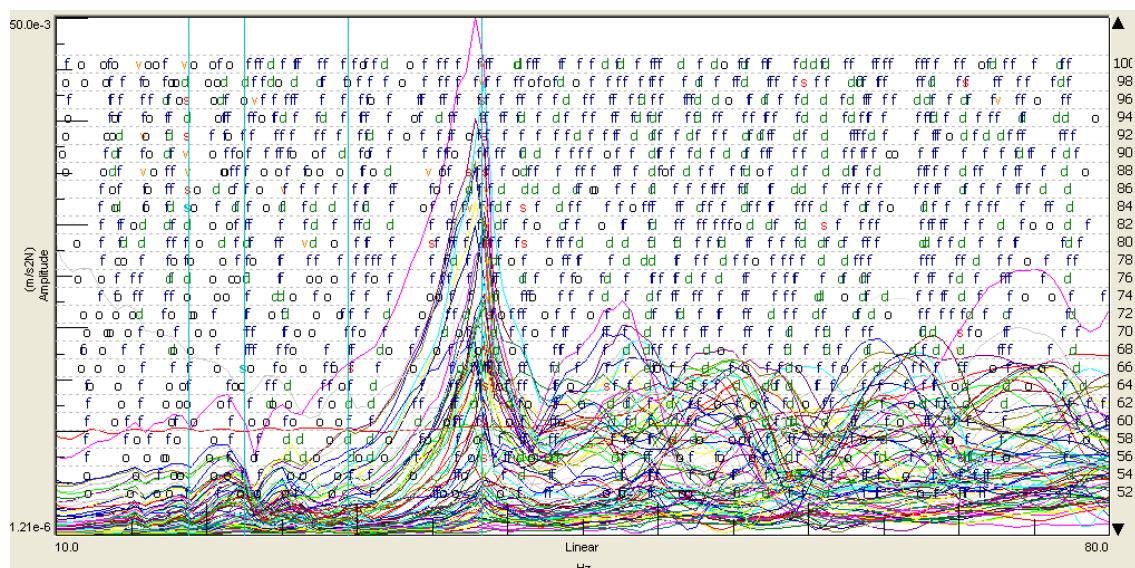


Fig. 181: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p1_V6

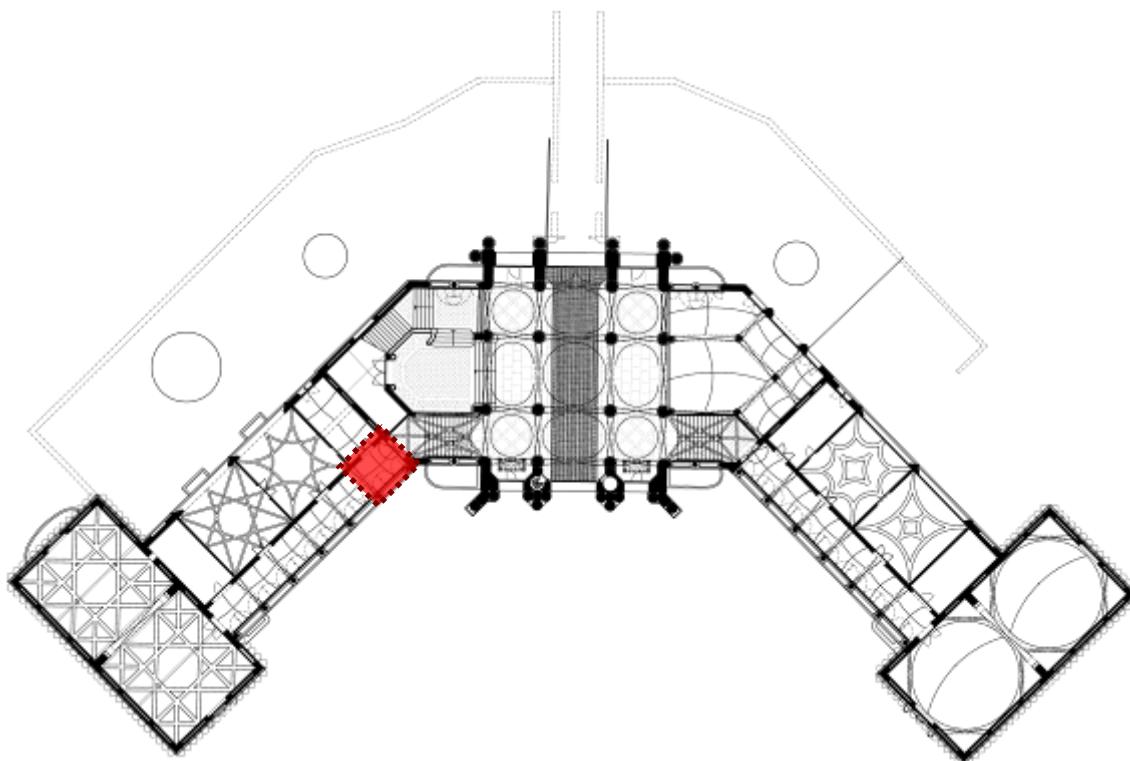


Fig. 182: Situació de la volta L1p1_V6.

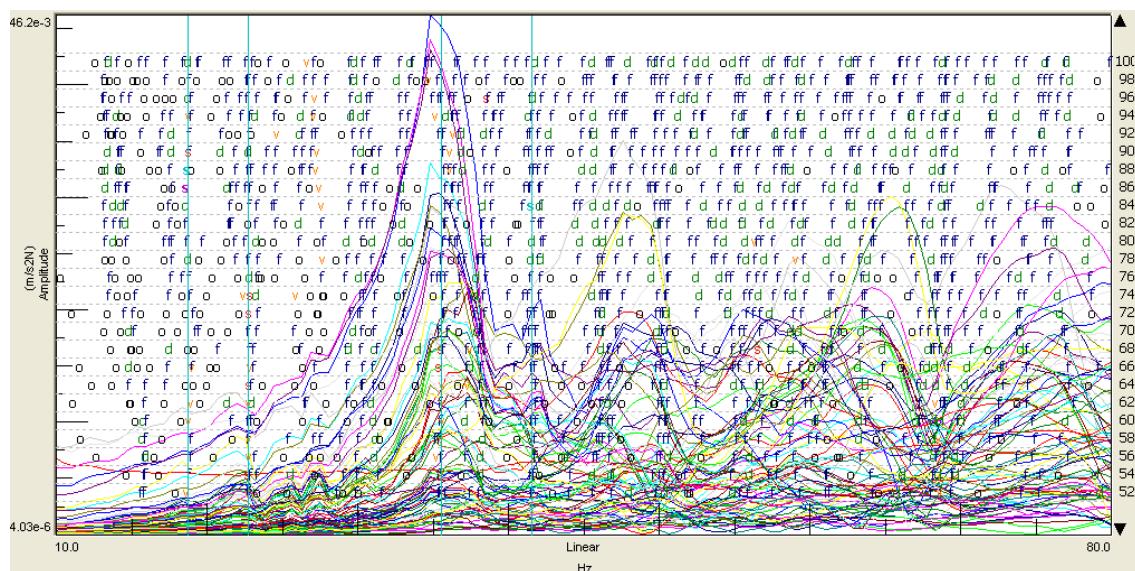


Fig. 183: Gràfica d'estabilització de la volta L1p1_V6.

Família : **Voltes petites.**
Nomenclatura : **L2p1_V1**

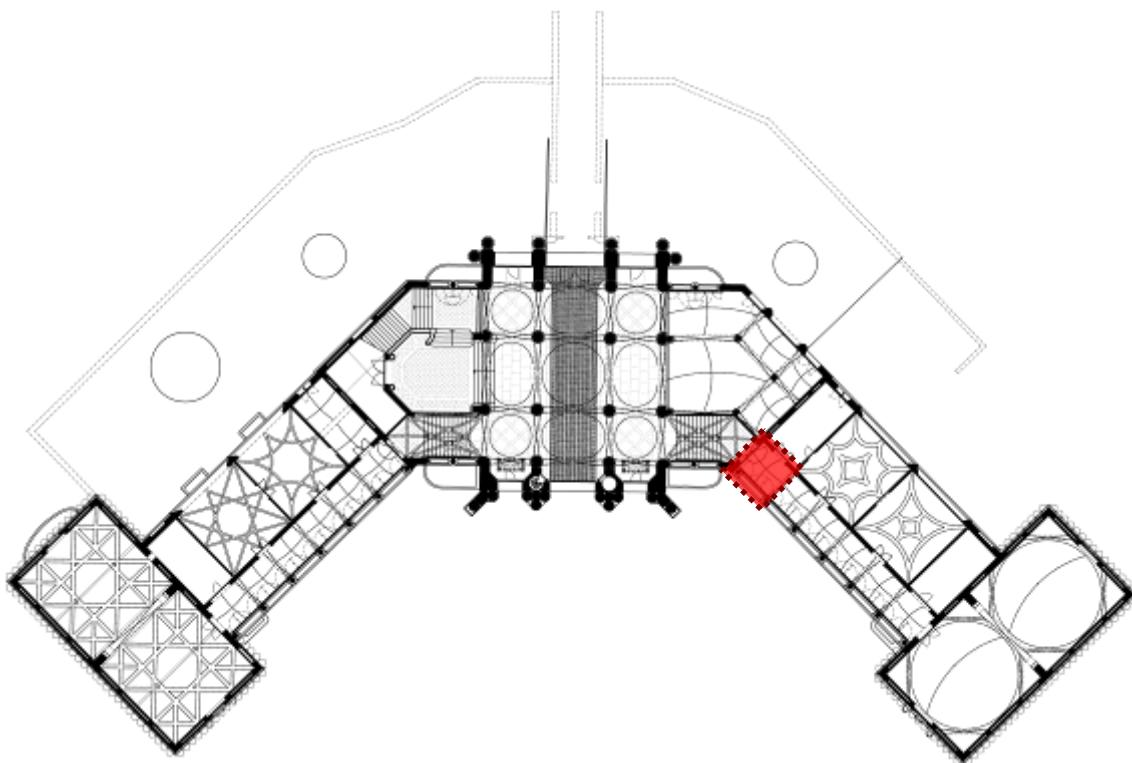


Fig. 184: Situació de la volta L2p1_V1.

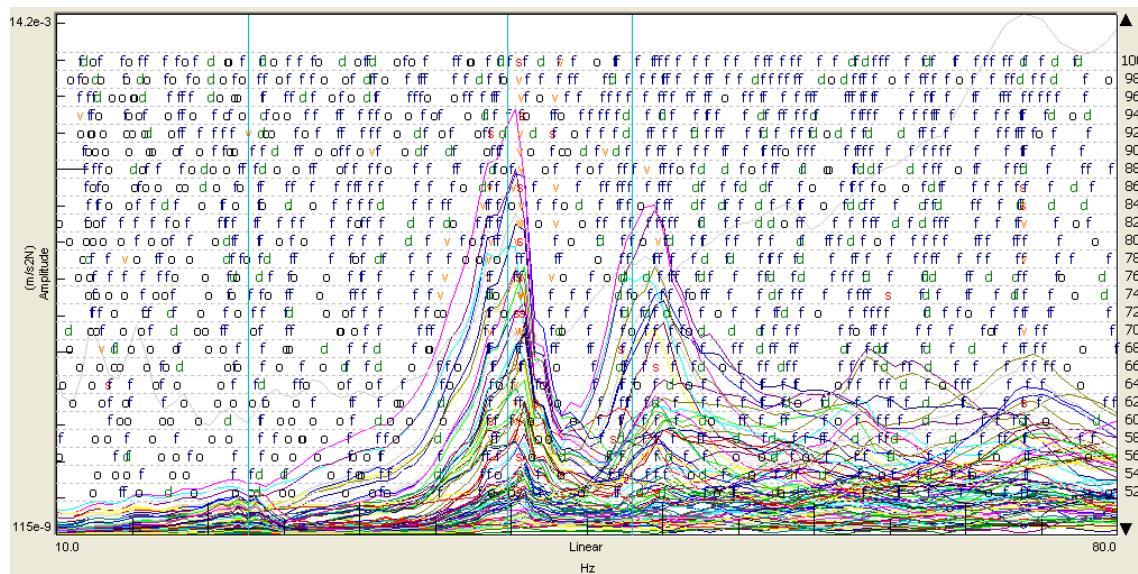


Fig. 185: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p1_V2

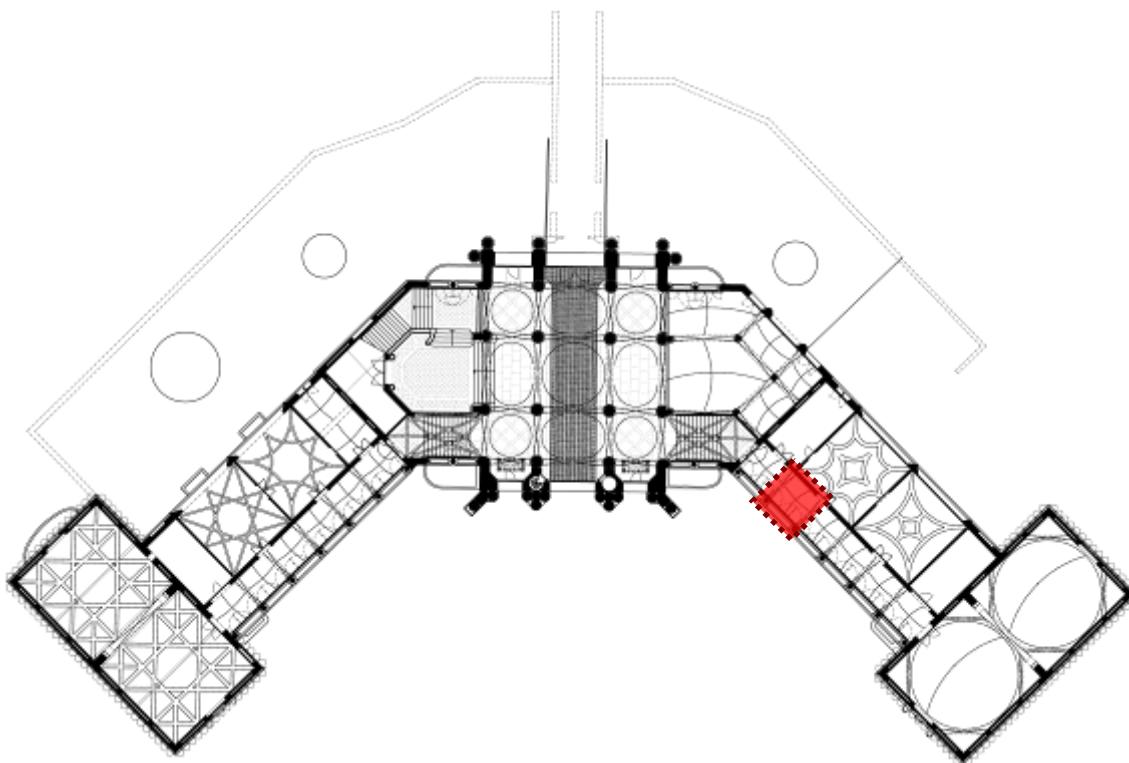


Fig. 186: Situació de la volta L2p1_V2.

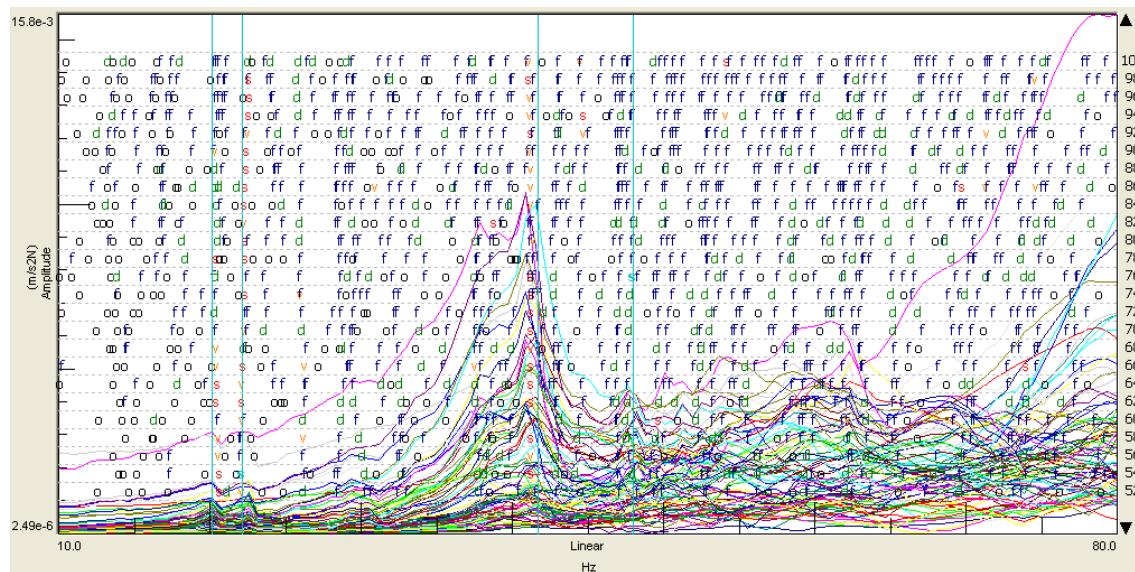


Fig. 187: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p1_V3

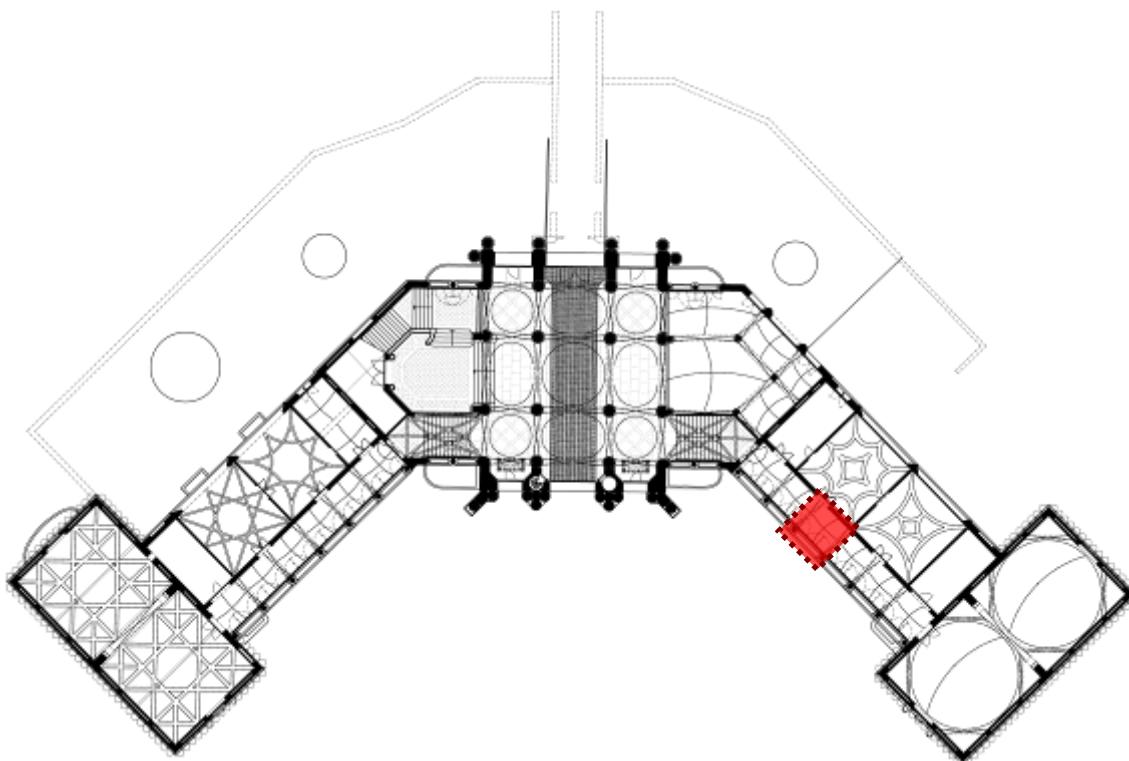


Fig. 188: Situació de la volta L2p1_V3.

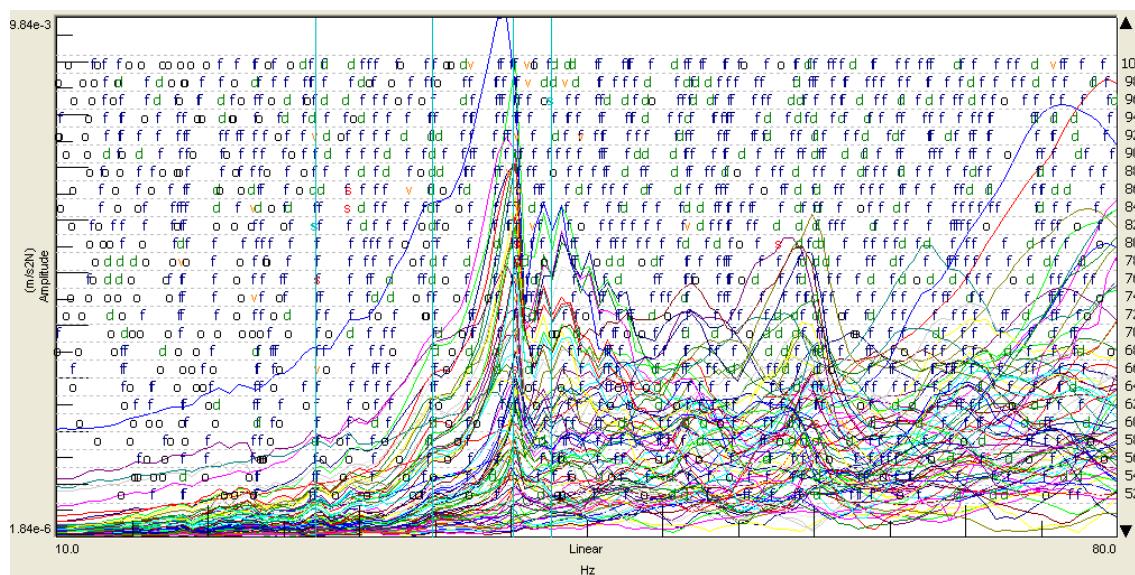


Fig. 189: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p1_V4

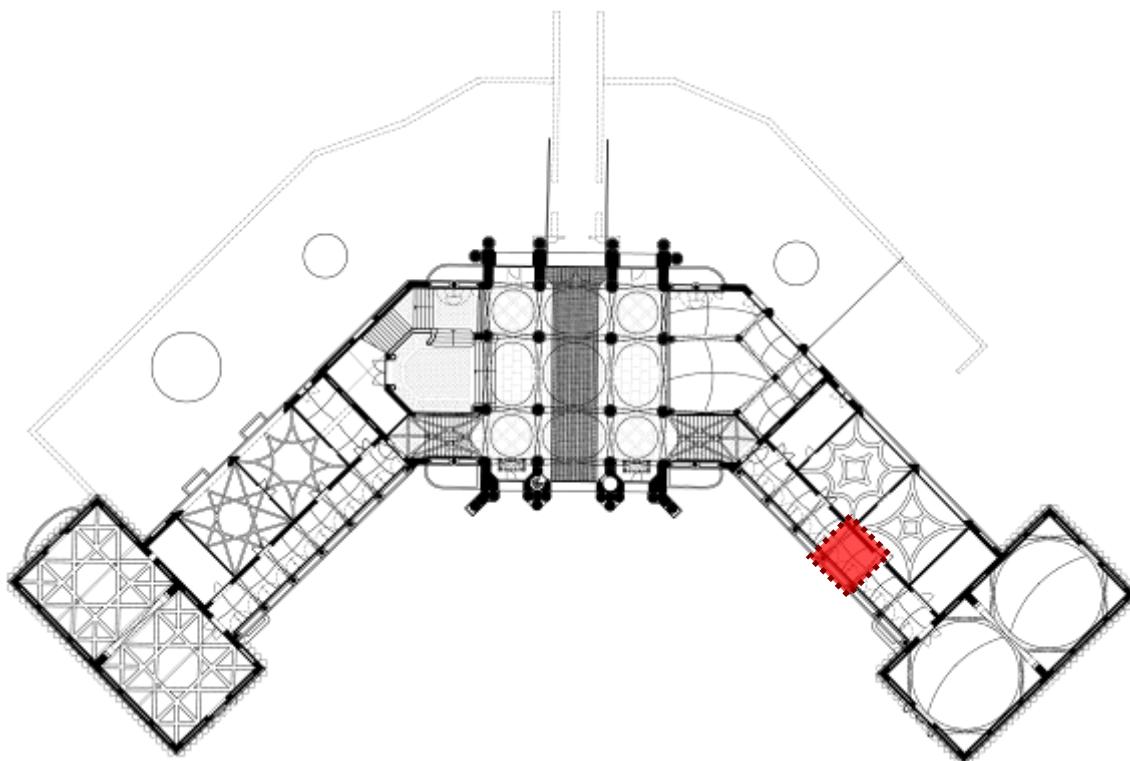


Fig. 190: Situació de la volta L2p1_V4.

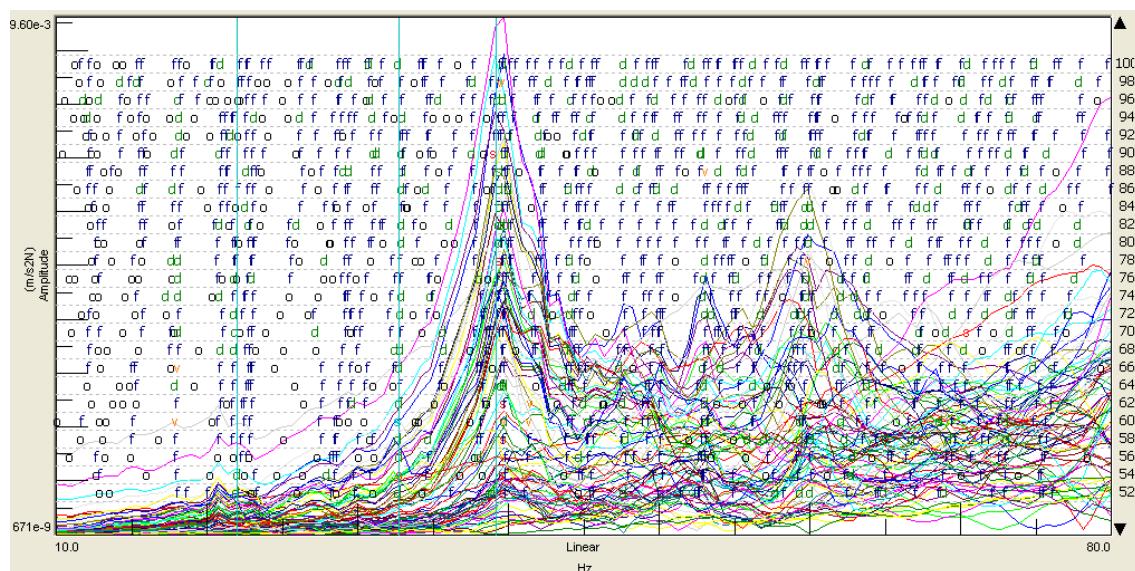


Fig. 191: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p1_V5

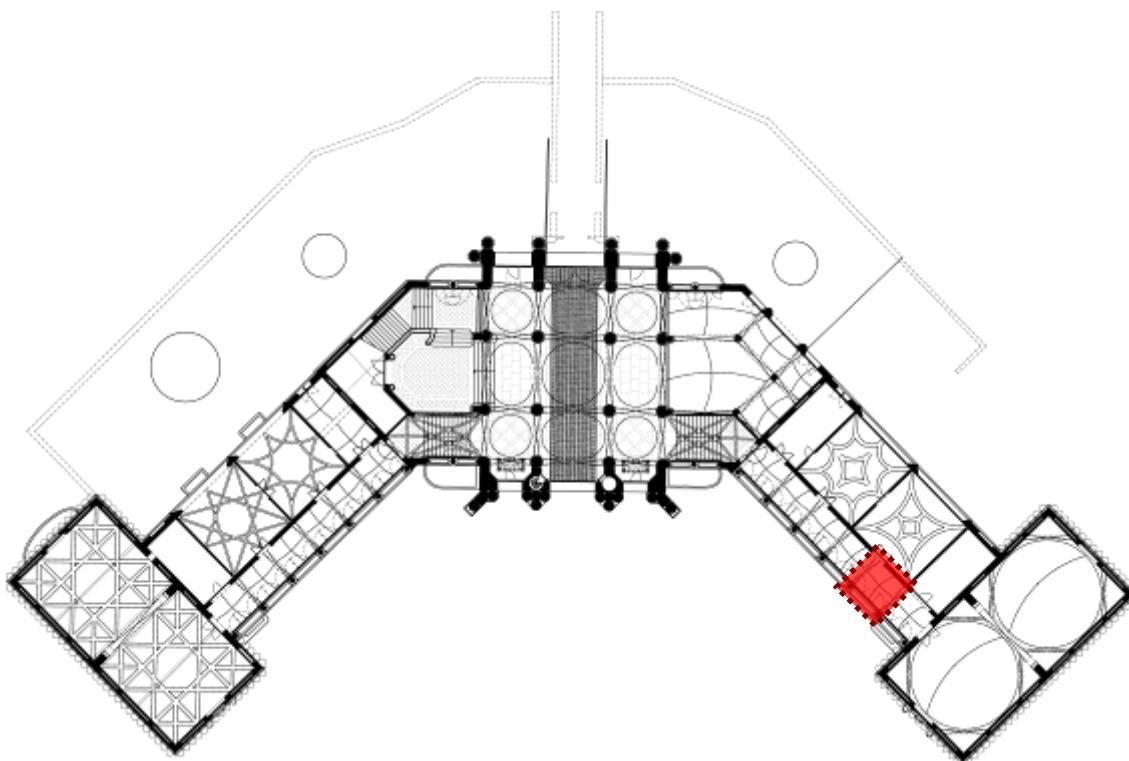


Fig. 192: Situació de la volta L2p1_V5.

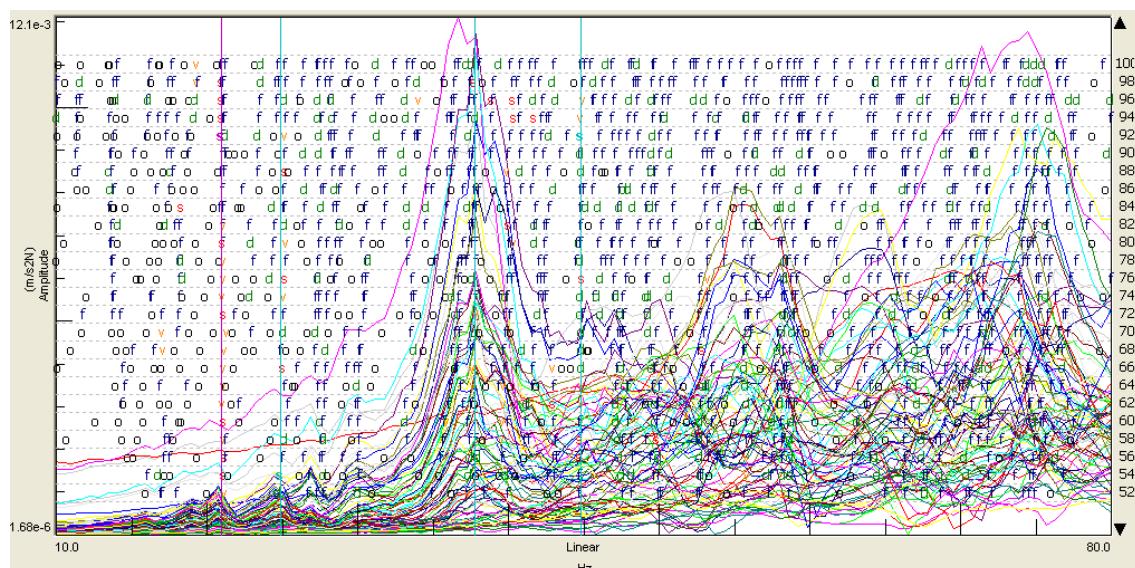


Fig. 193: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p1_V6

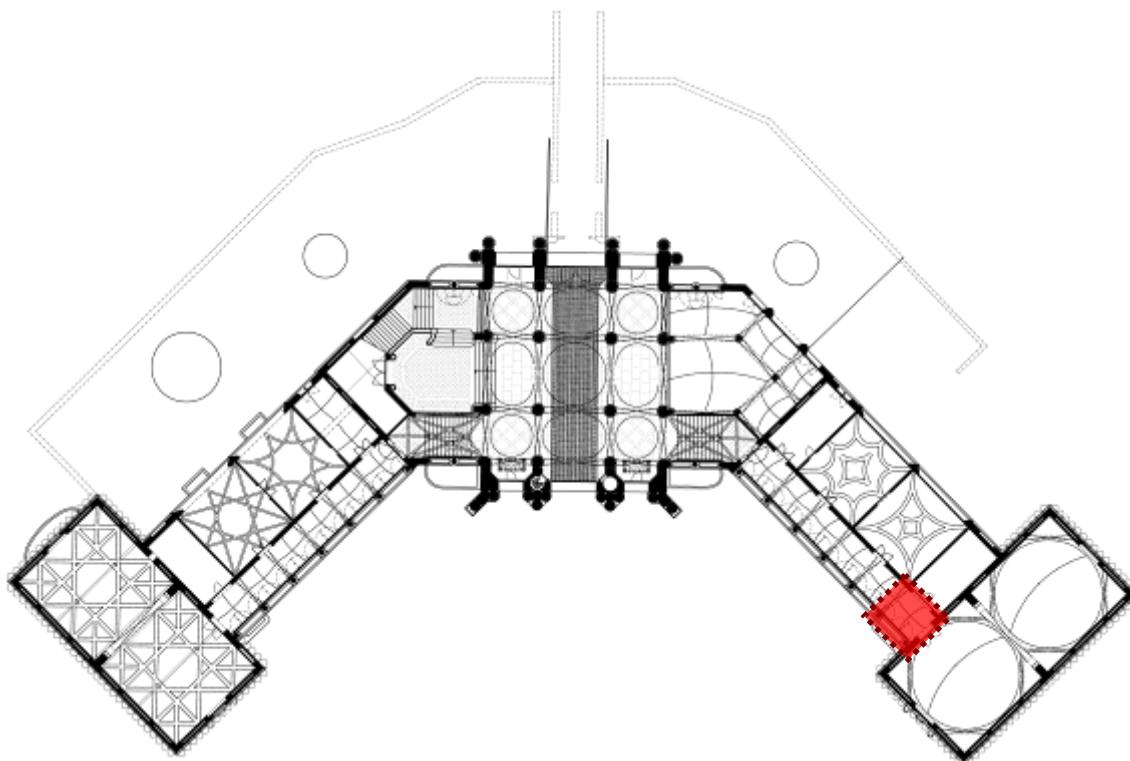


Fig. 194: Situació de la volta L2p1_V6.

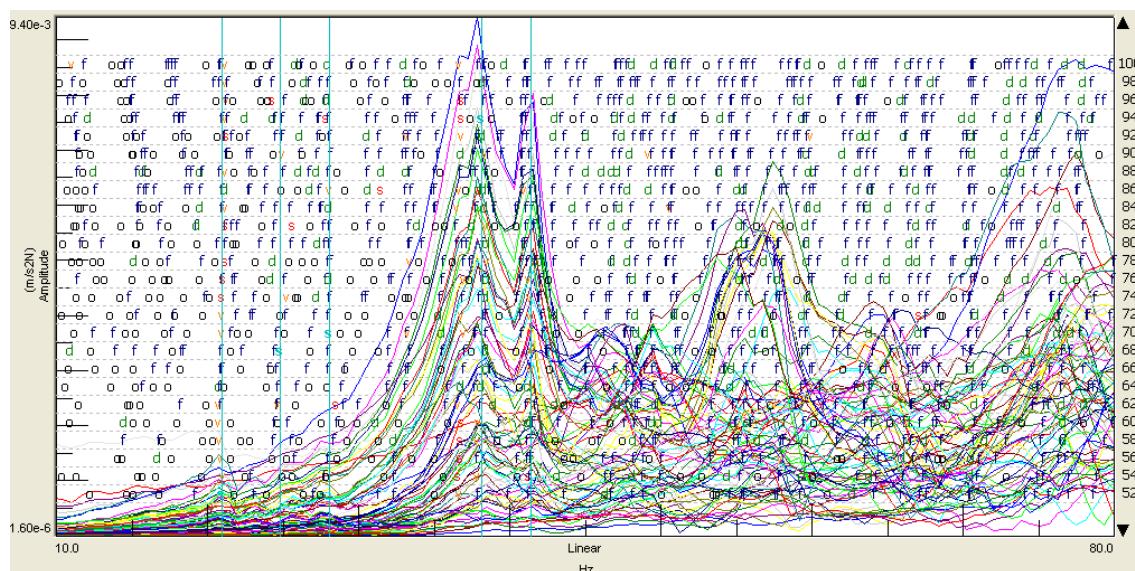


Fig. 195: Gràfica d'estabilització de la volta L2p1_V6.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V1

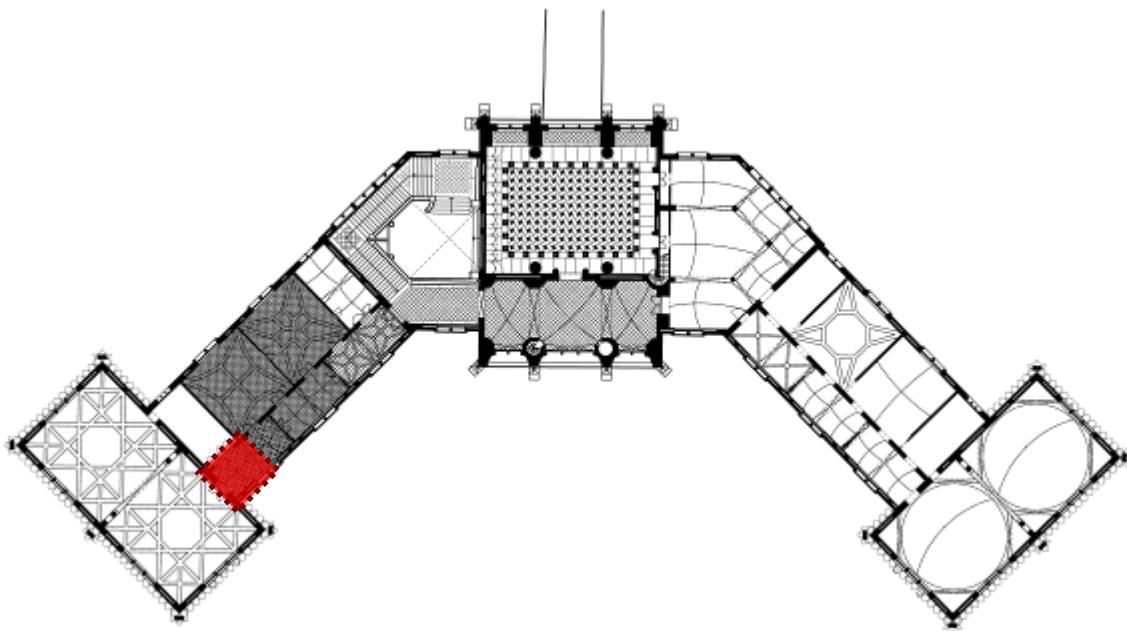


Fig. 196: Situació de la volta L1p2_V1.

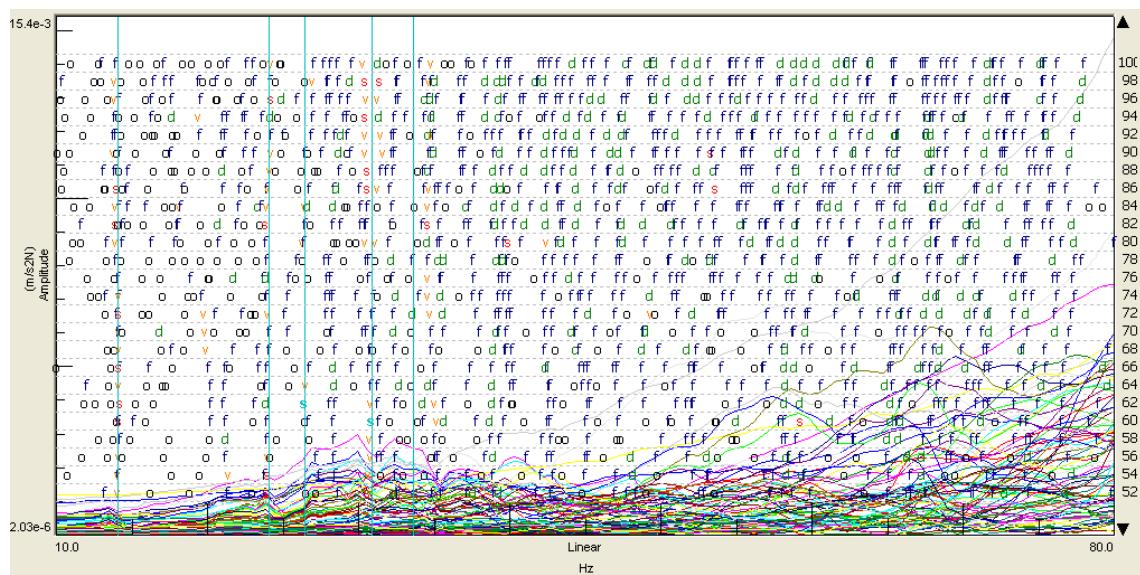


Fig. 197: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V2

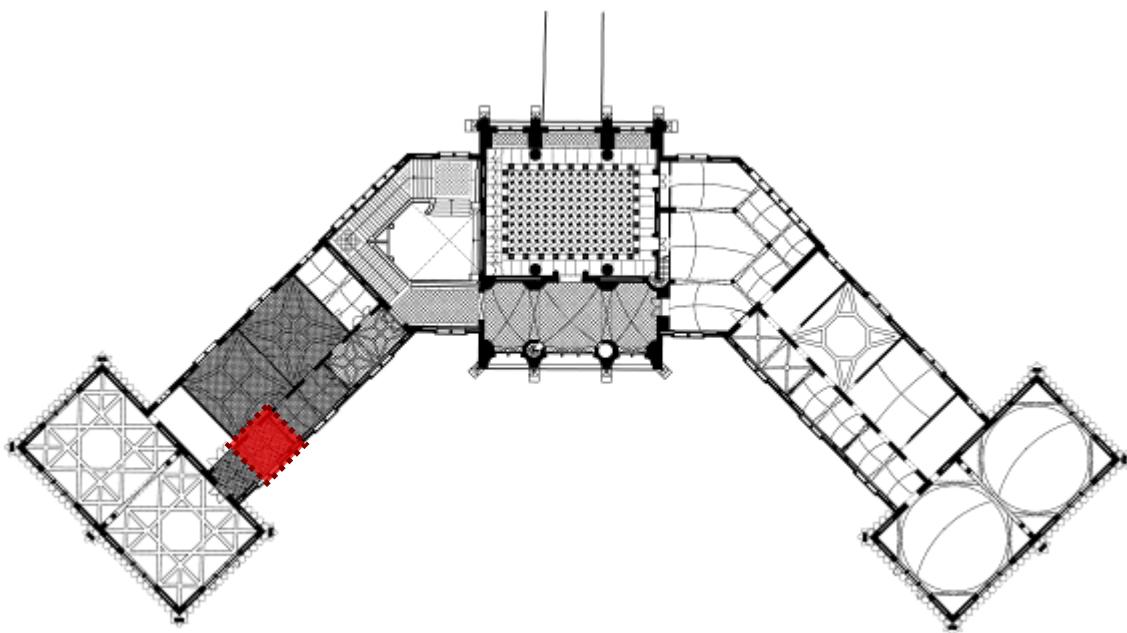


Fig. 198: Situació de la volta L1p2_V2.

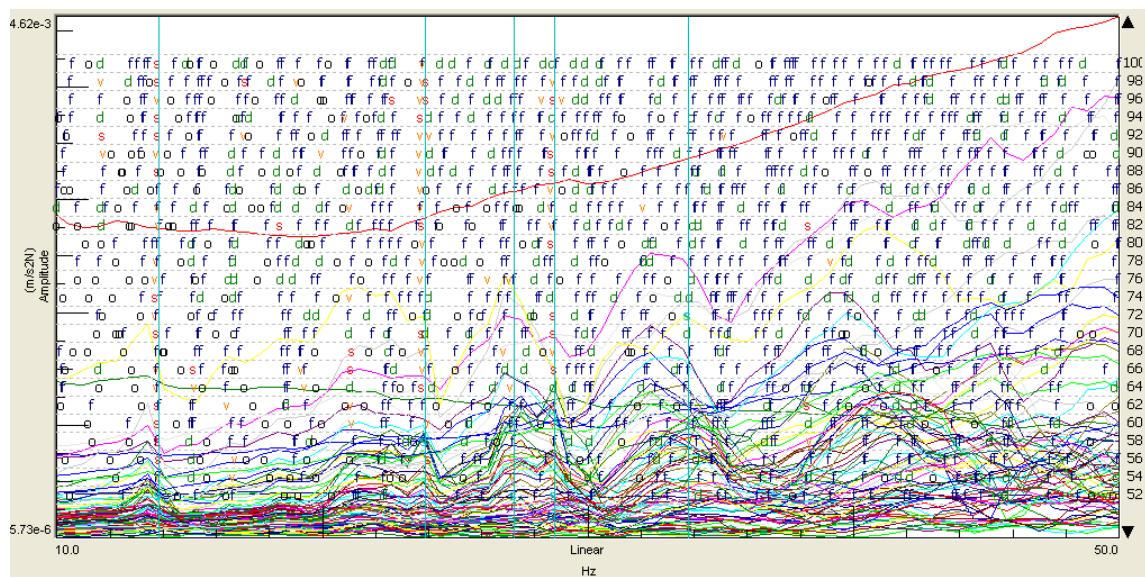


Fig. 199: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V3

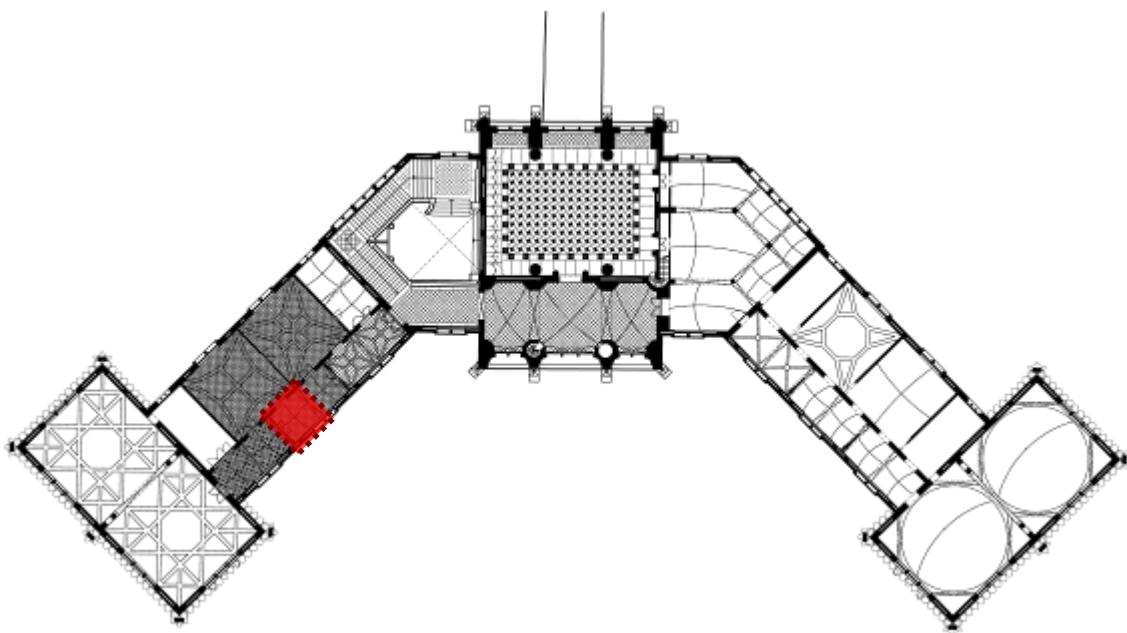


Fig. 200: Situació de la volta L1p2_V3.

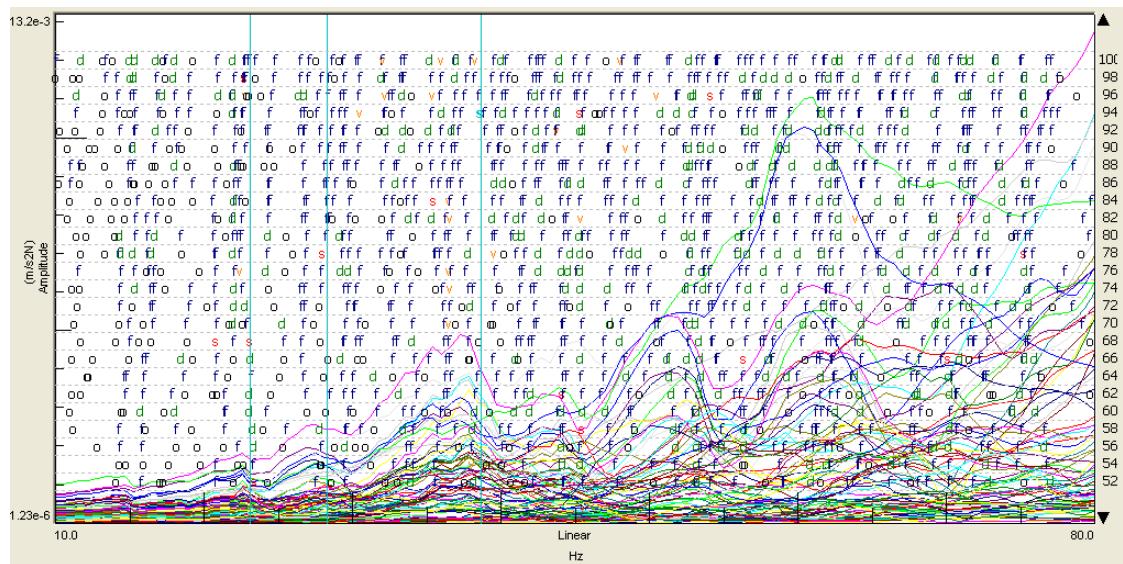


Fig. 201: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V4

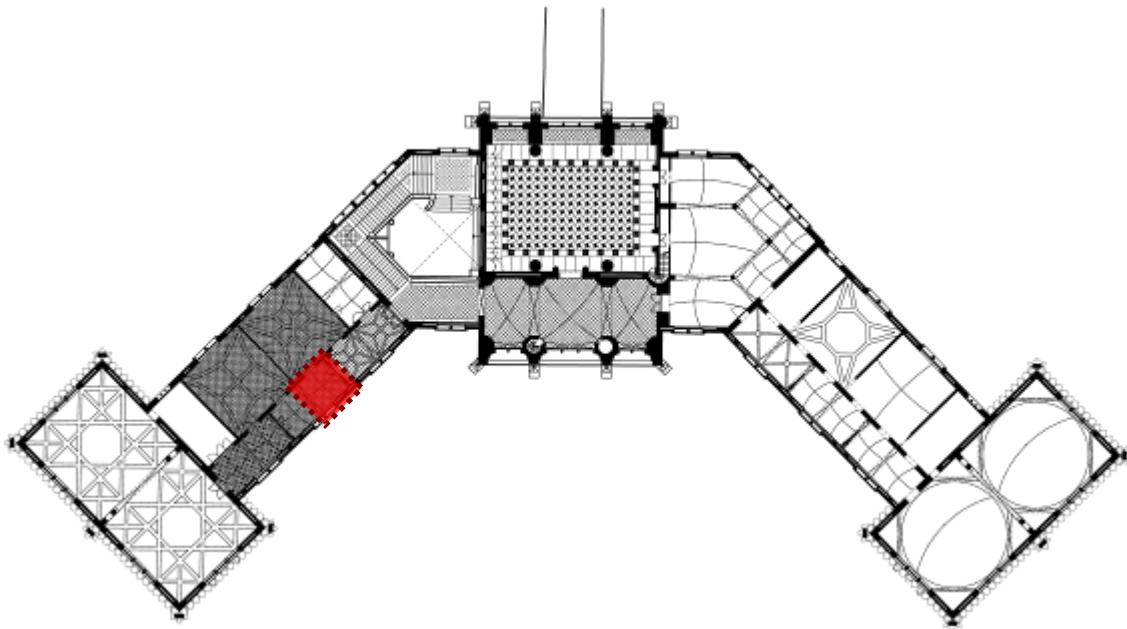


Fig. 202: Situació de la volta L1p2_V4.

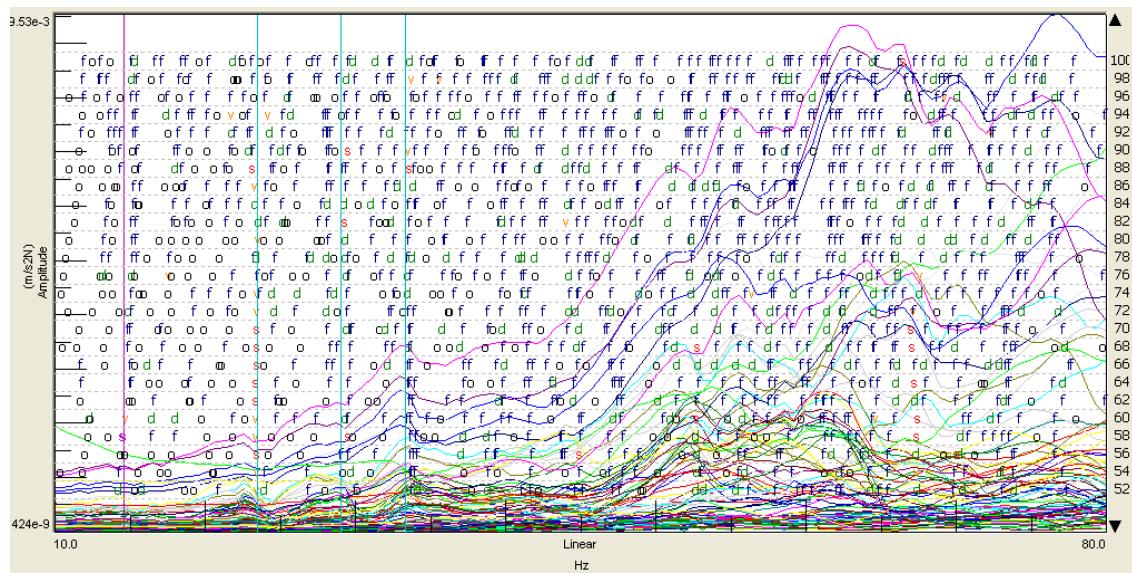


Fig. 203: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V5

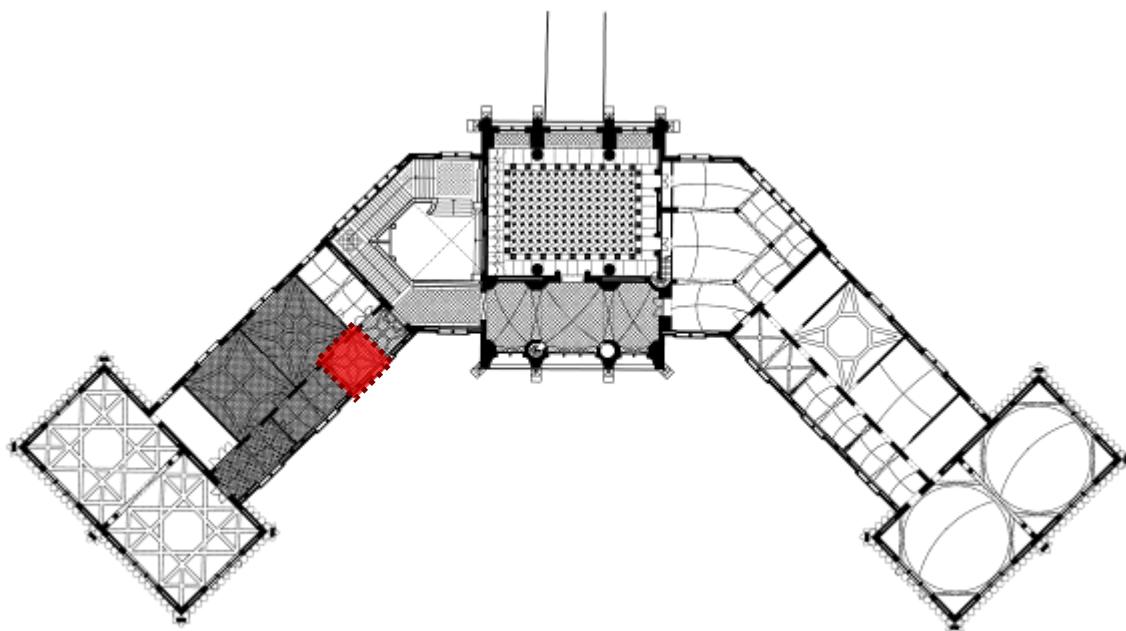


Fig. 204: Situació de la volta L1p2_V5.

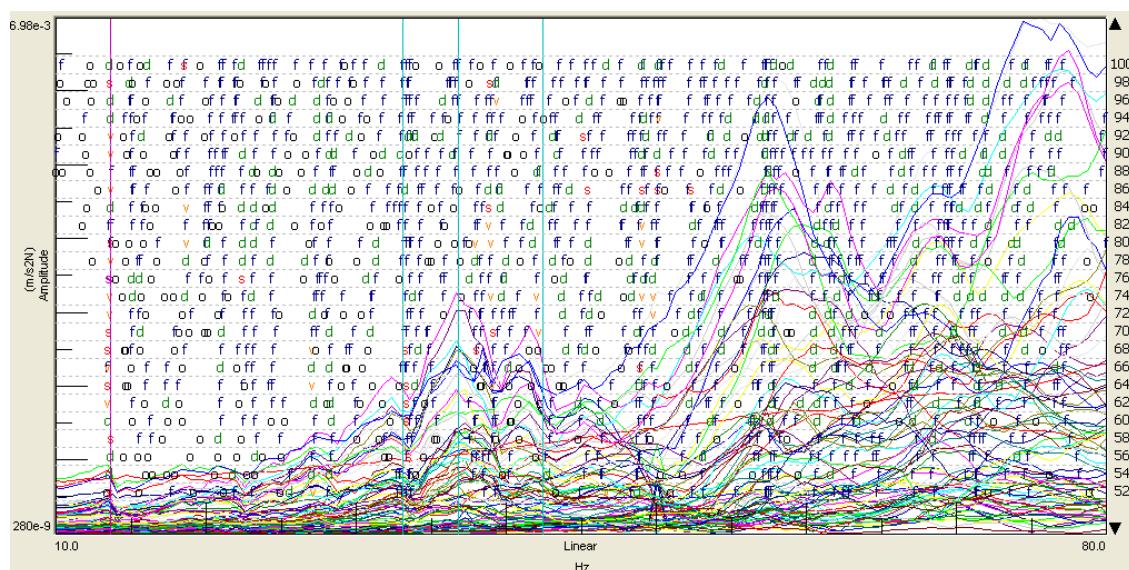


Fig. 205: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V6

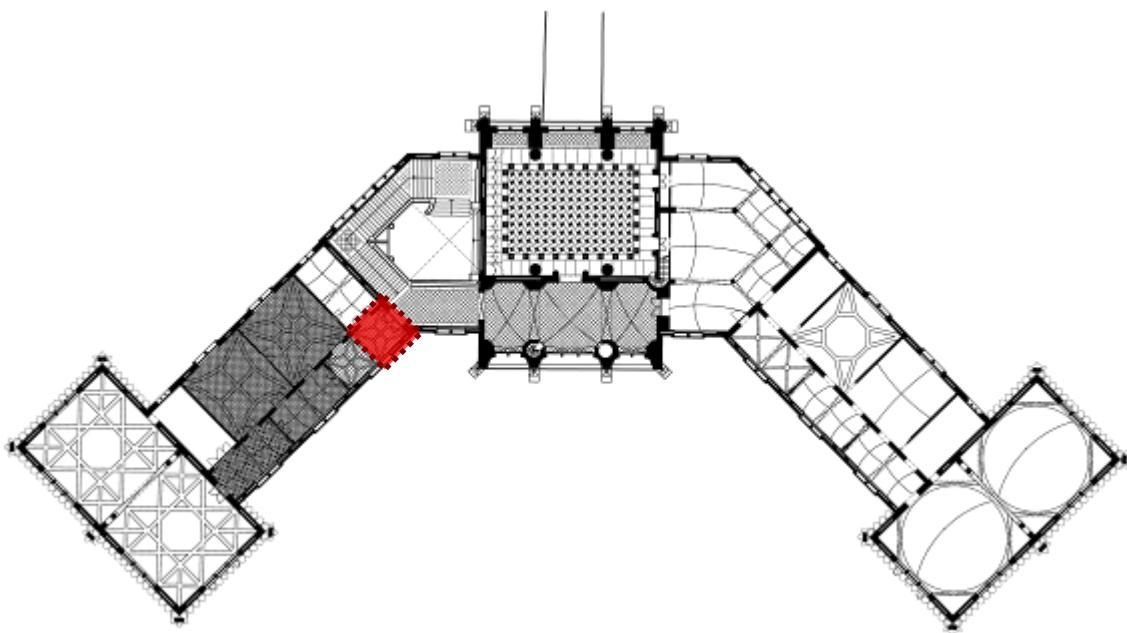


Fig. 206: Situació de la volta L1p2_V6.

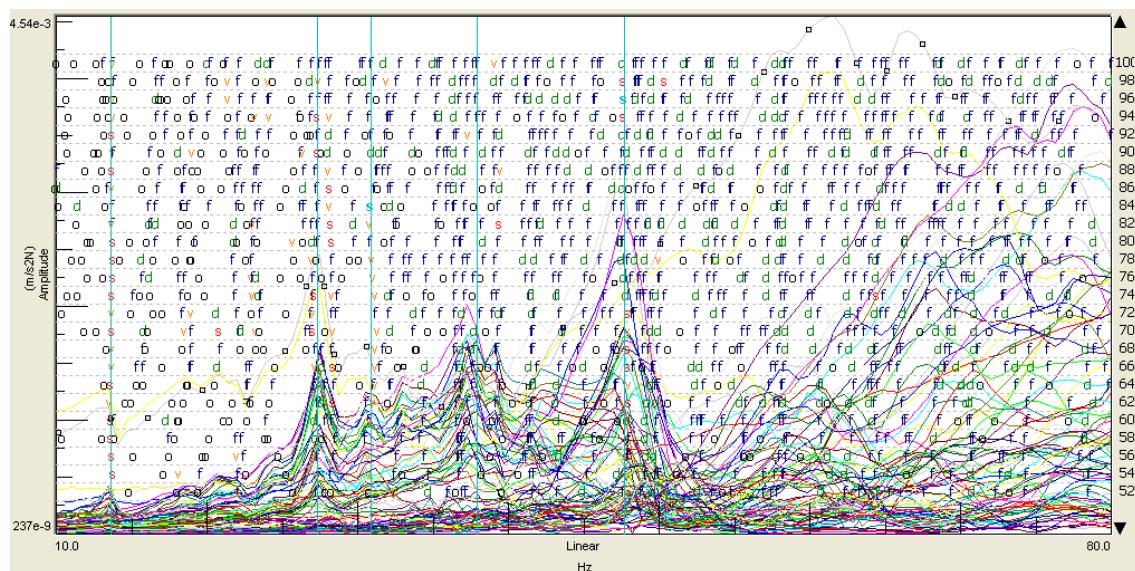


Fig. 207: Gràfica d'estabilització de la volta L1p2_V6.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V1

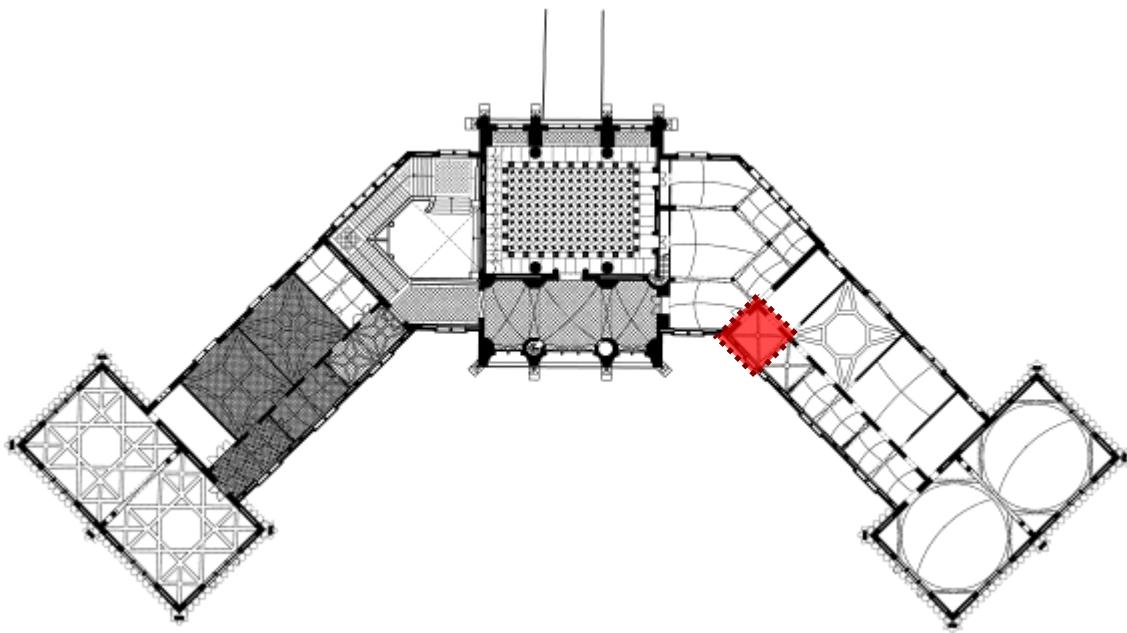


Fig. 208: Situació de la volta L2p2_V1.

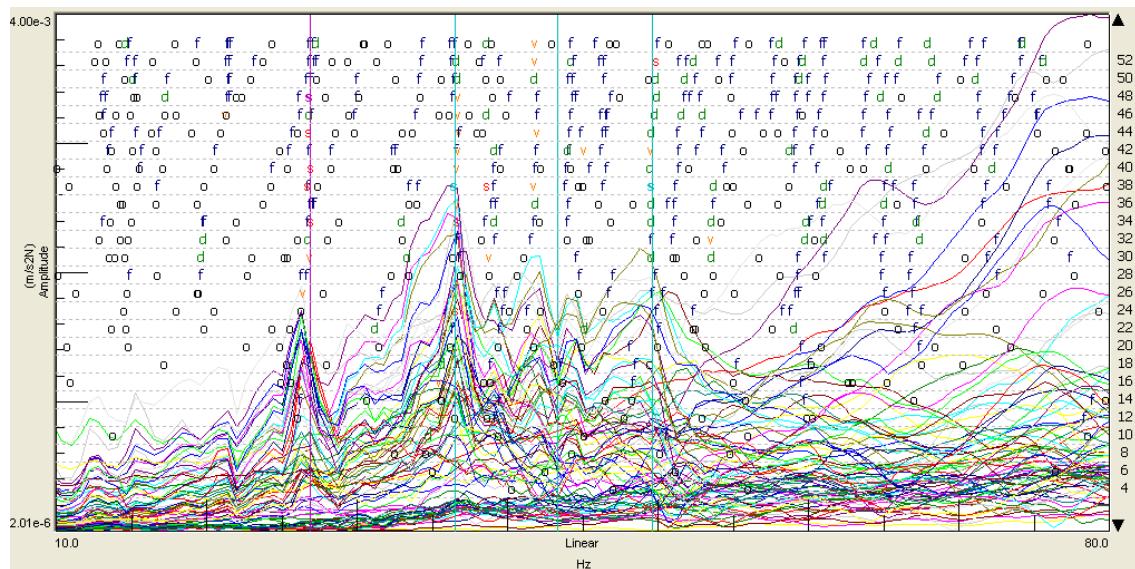


Fig. 209: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V2

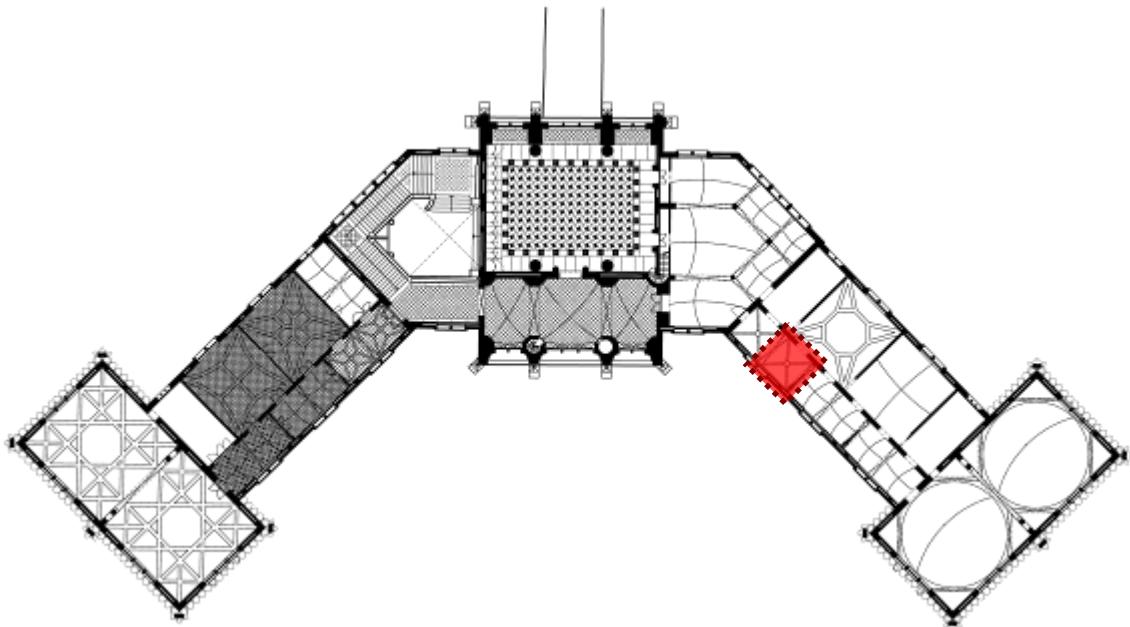


Fig. 210: Situació de la volta L2p2_V2.

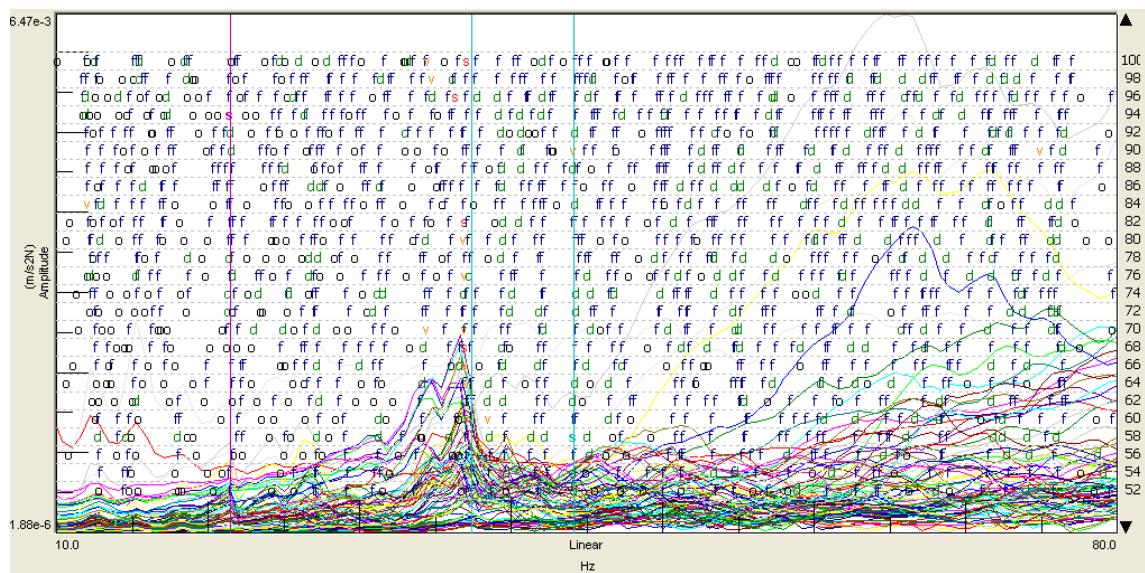


Fig. 211: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V3

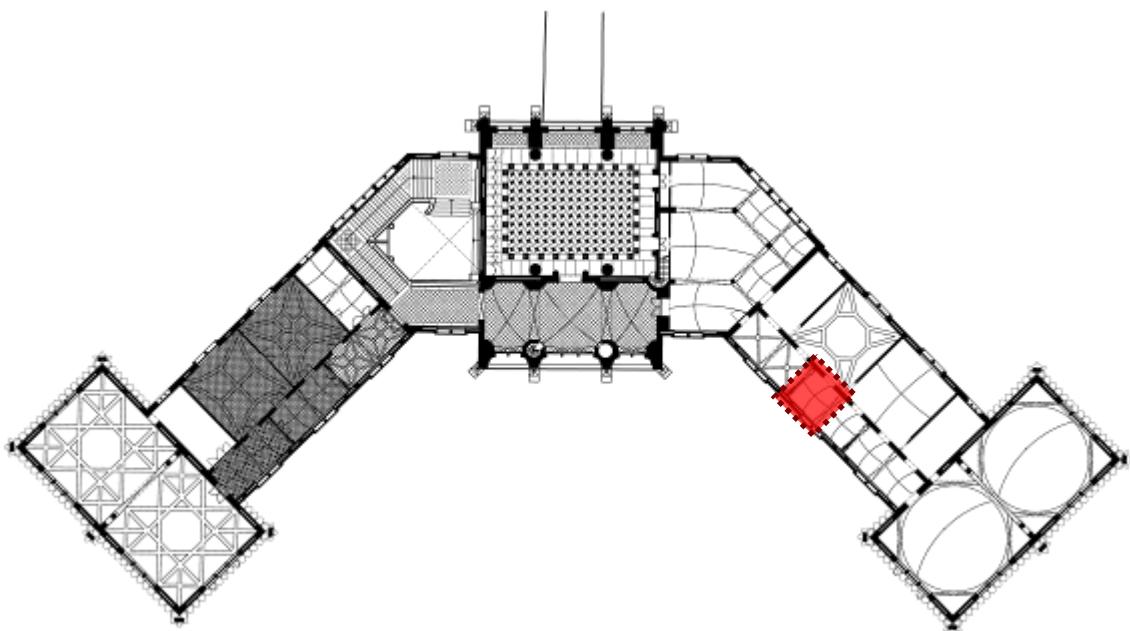


Fig. 212: Situació de la volta L2p2_V3.

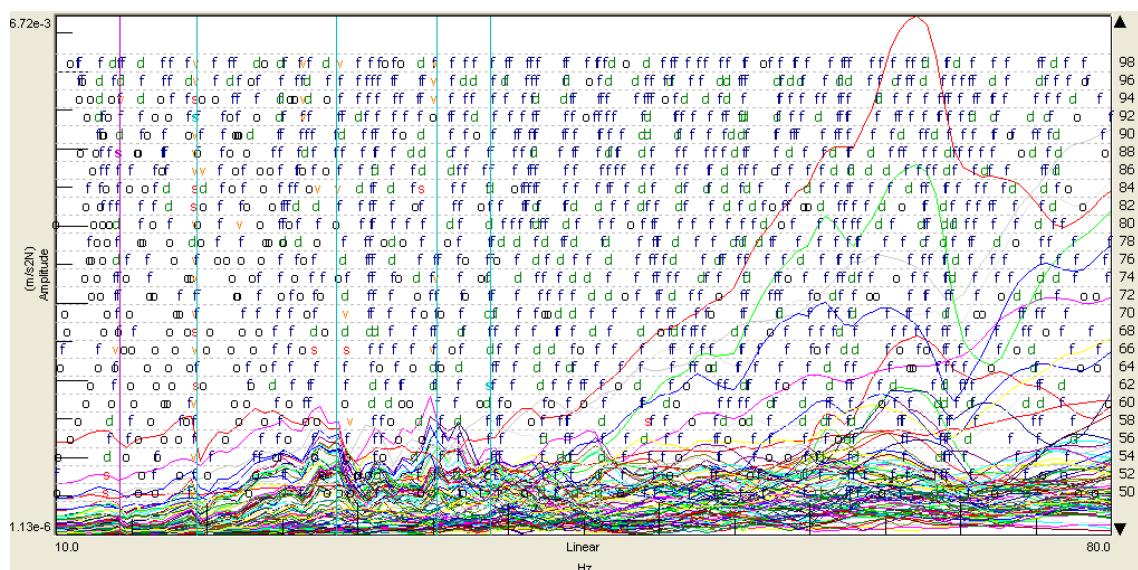


Fig. 213: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V3.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V4

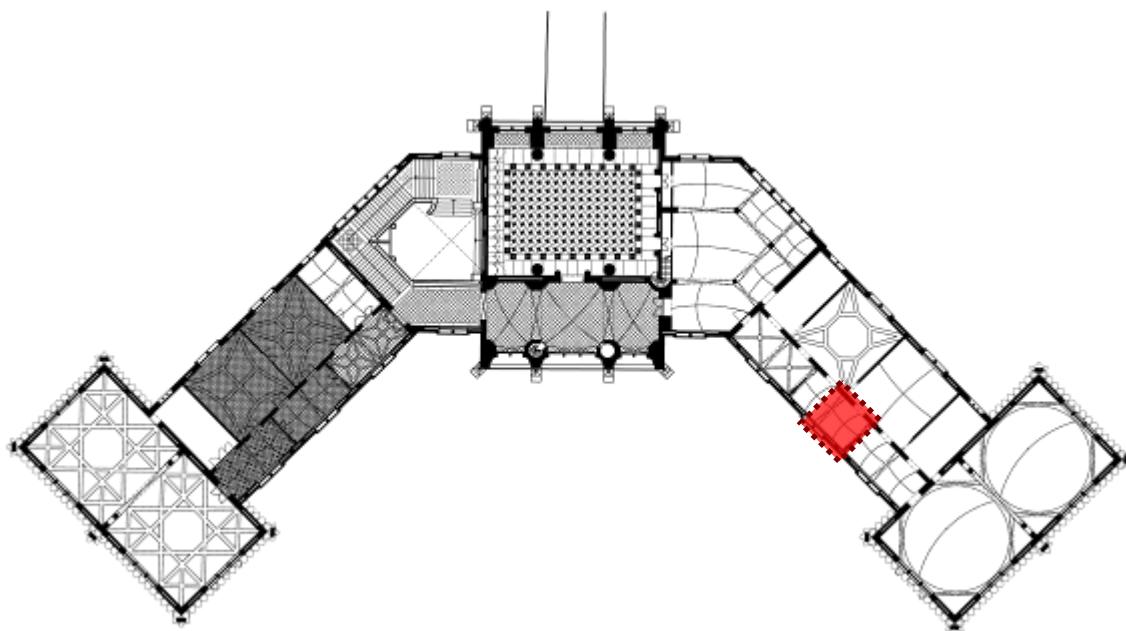


Fig. 214: Situació de la volta L2p2_V4.

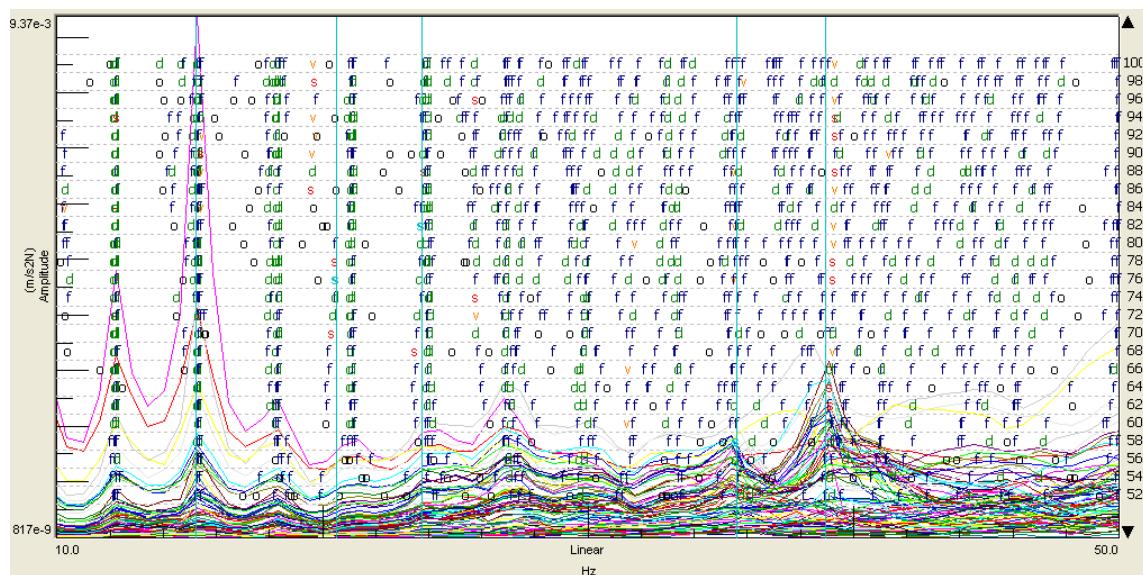


Fig. 215: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V4.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V5

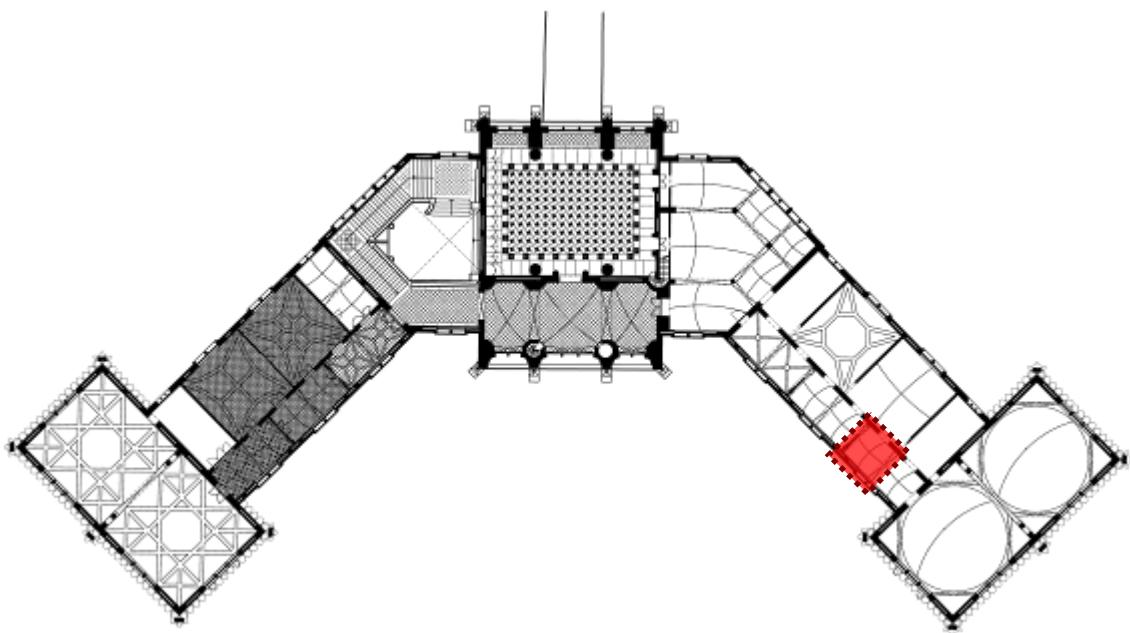


Fig. 216: Situació de la volta L2p2_V5.

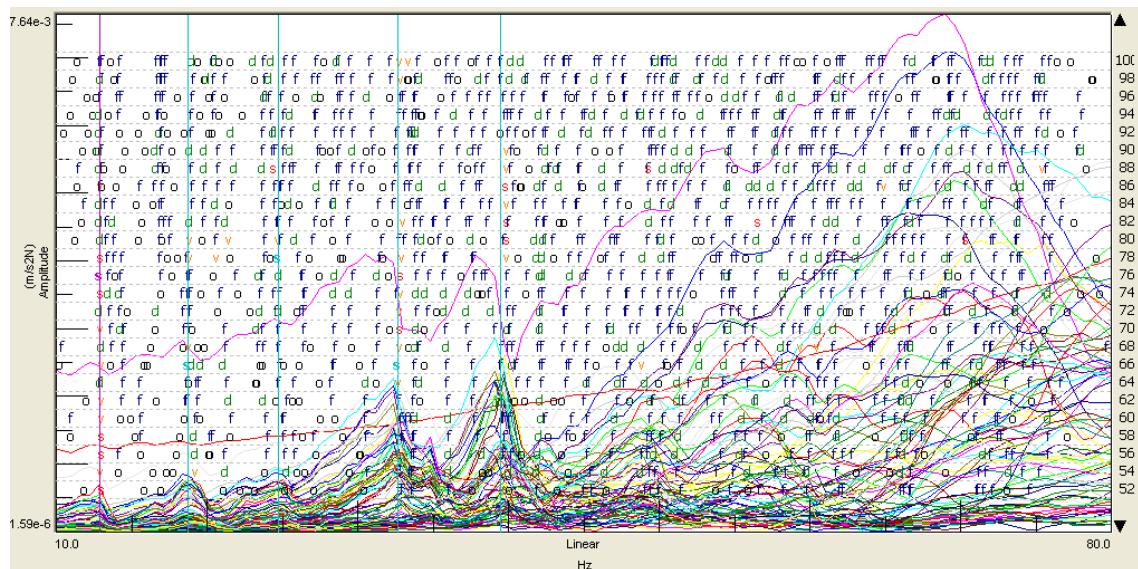


Fig. 217: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V5.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L2p2_V6

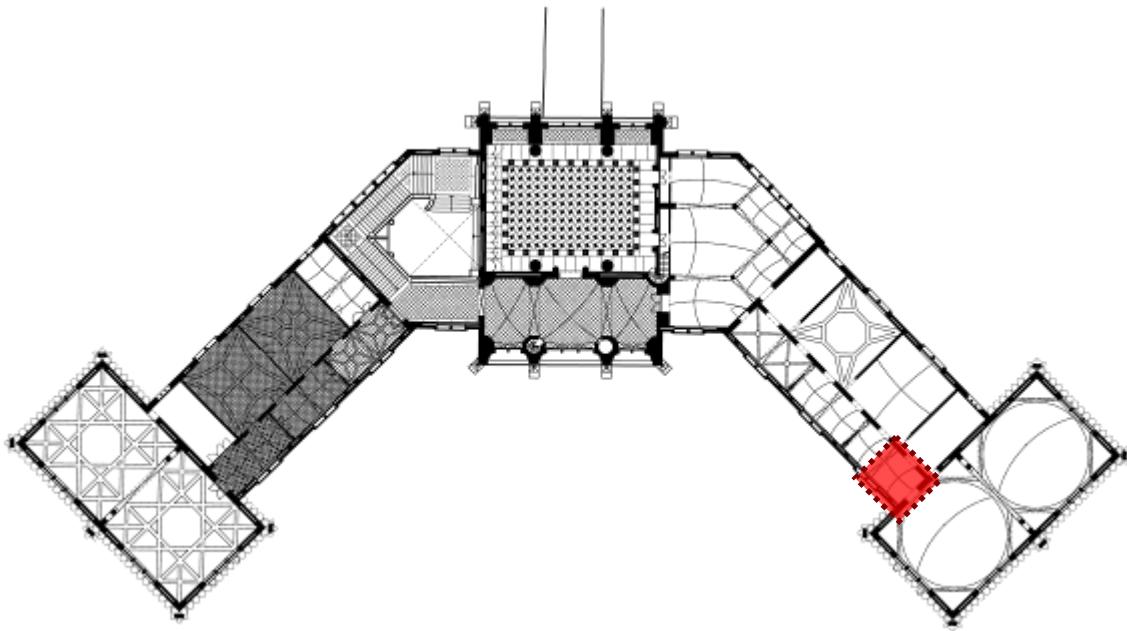


Fig. 218: Situació de la volta L2p2_V6.

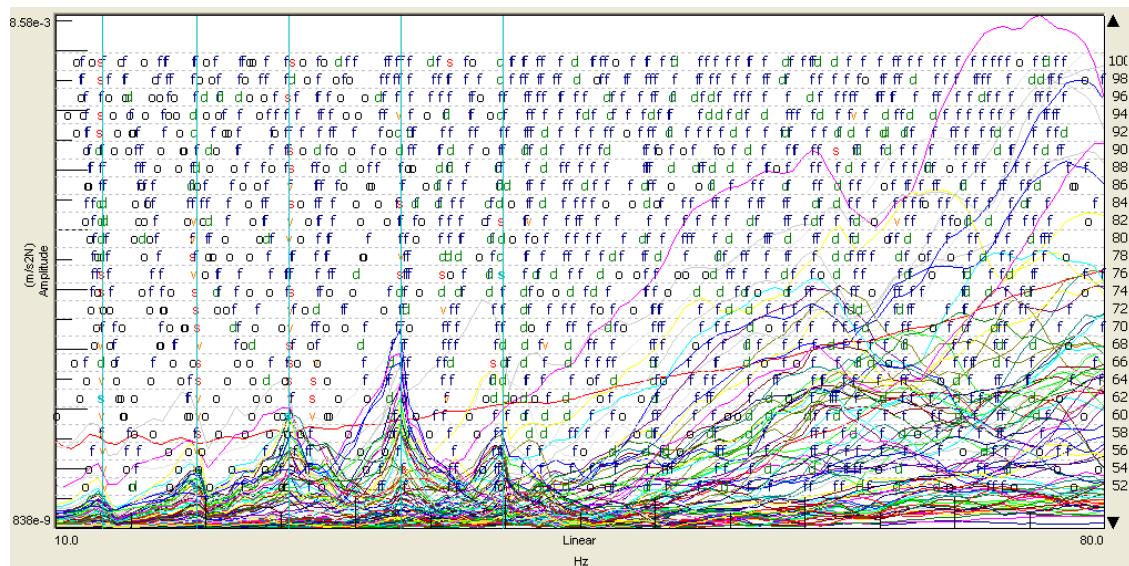


Fig. 219: Gràfica d'estabilització de la volta L2p2_V6.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : E2p1_V1

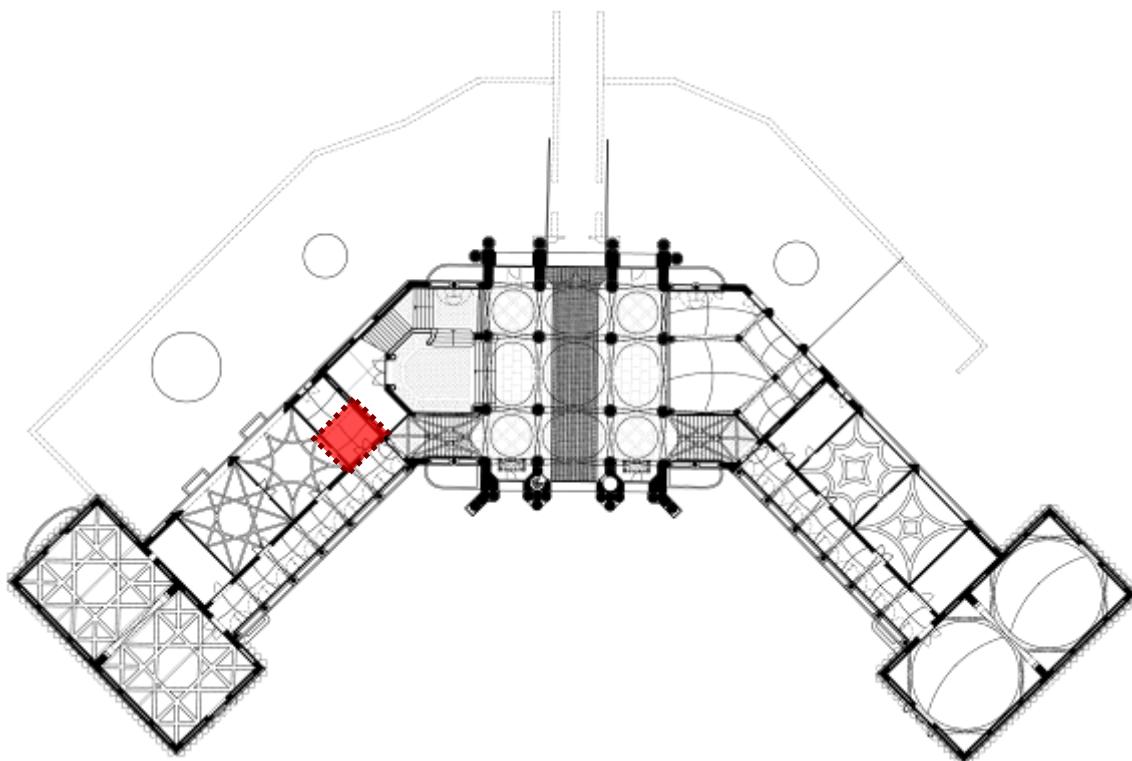


Fig. 220: Situació de la volta E2p1_V1.

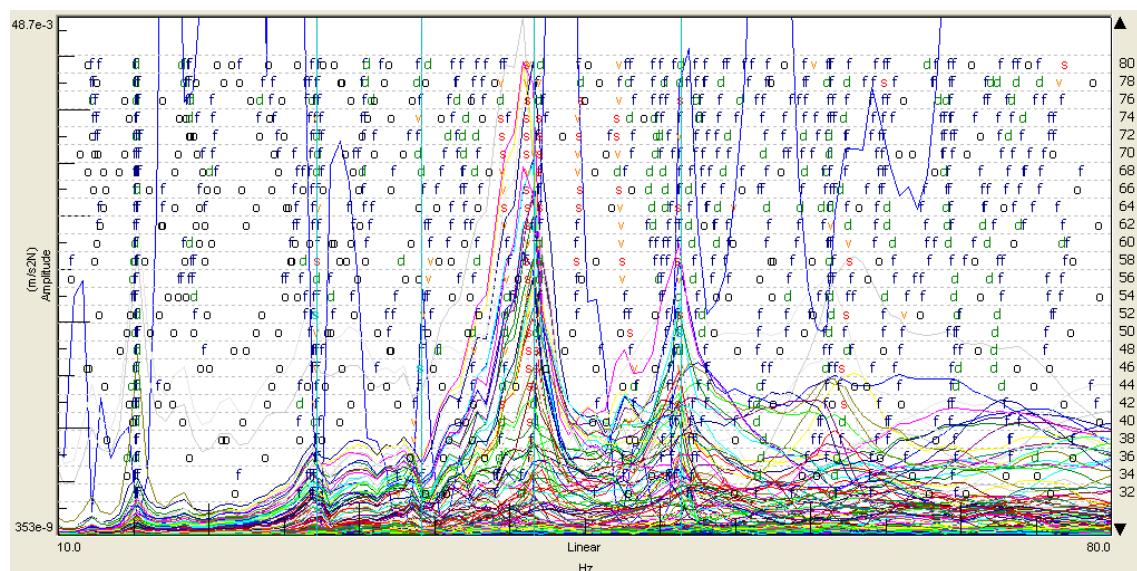


Fig. 221: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : E2p1_V2 prova 1

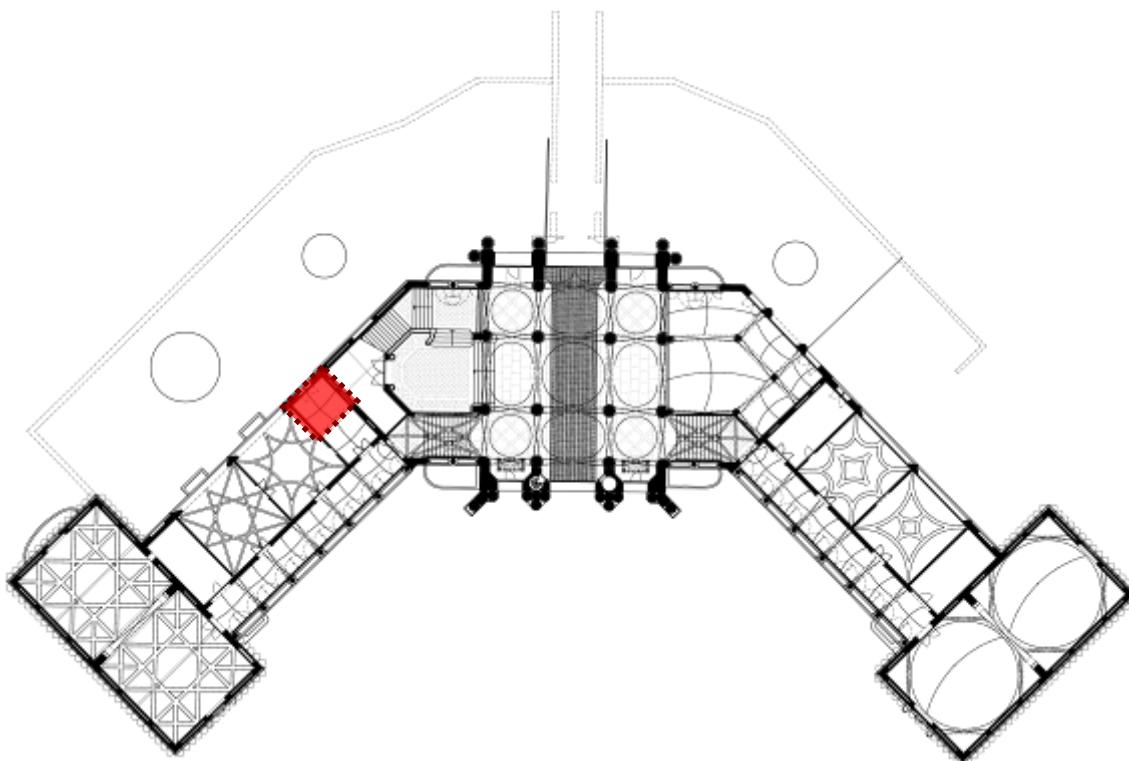


Fig. 222: Situació de la volta E2p1_V2 prova 1.

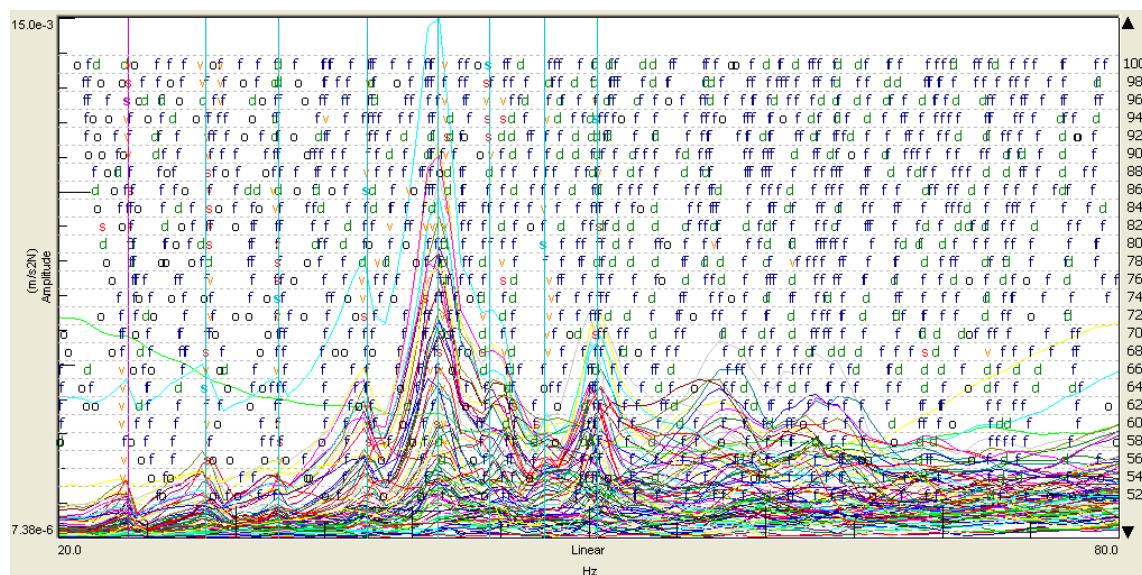


Fig. 223: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 1.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : E2p1_V2 prova 2

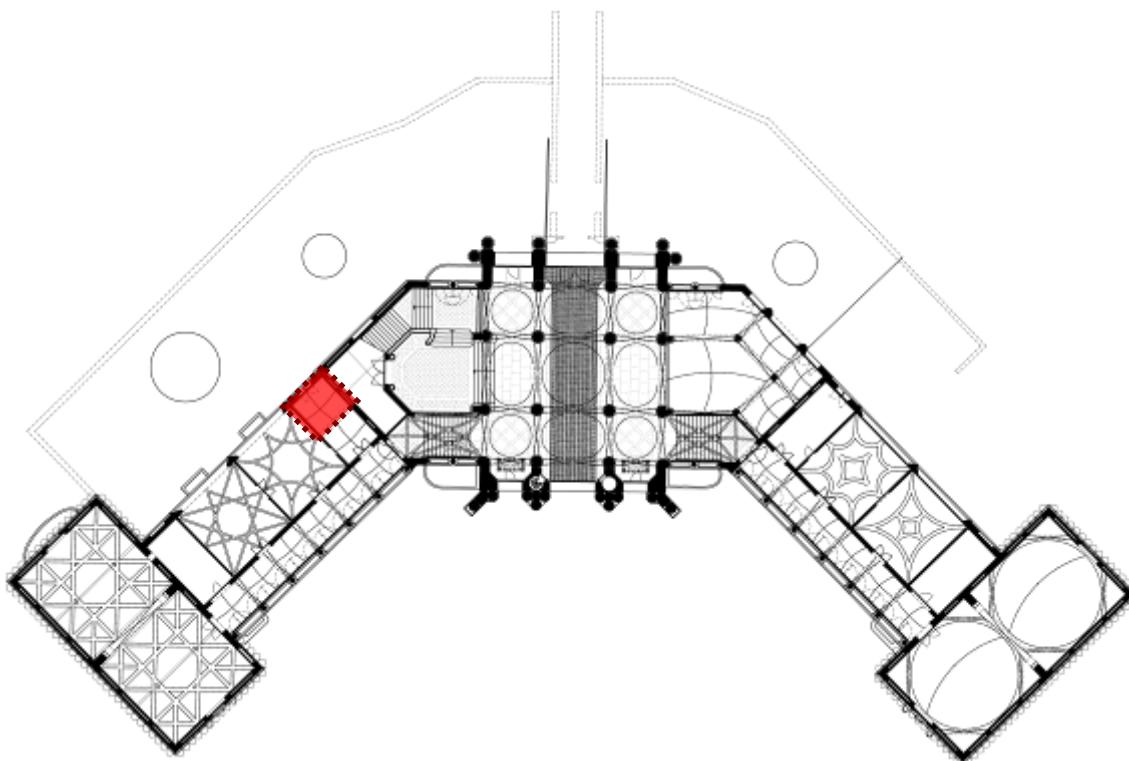


Fig. 224: Situació de la volta E2p1_V2 prova 2.

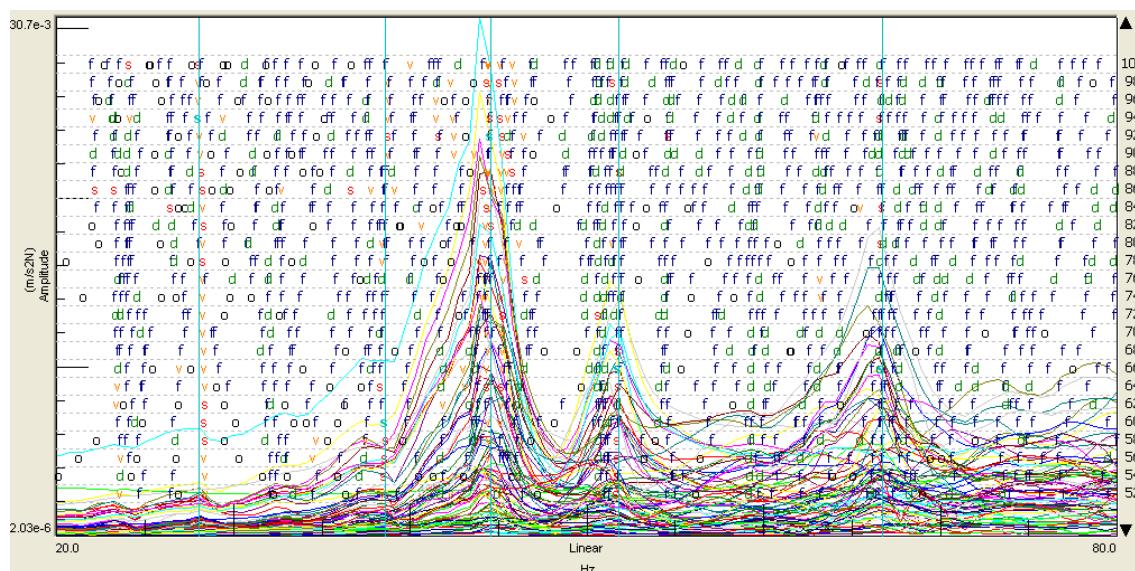


Fig. 225: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 2.

Família : Voltes petites.
 Nomenclatura : L1p2_V4

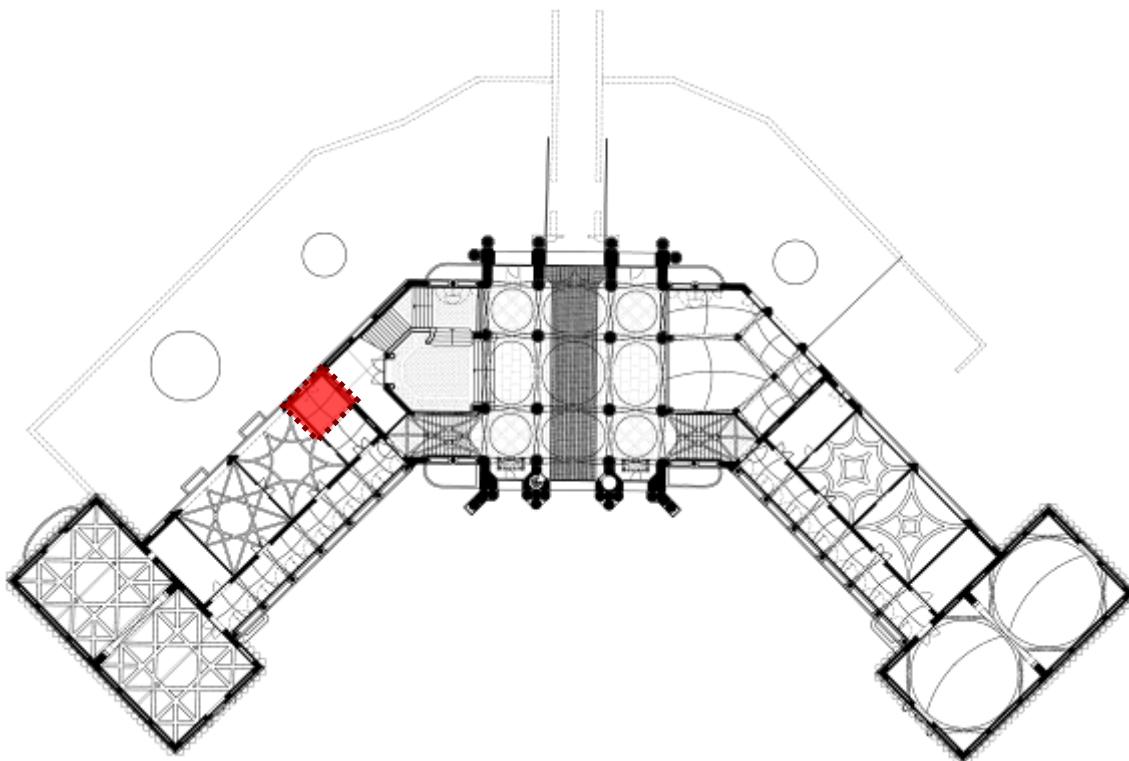


Fig. 226: Situació de la volta E2p1_V2 prova 3.

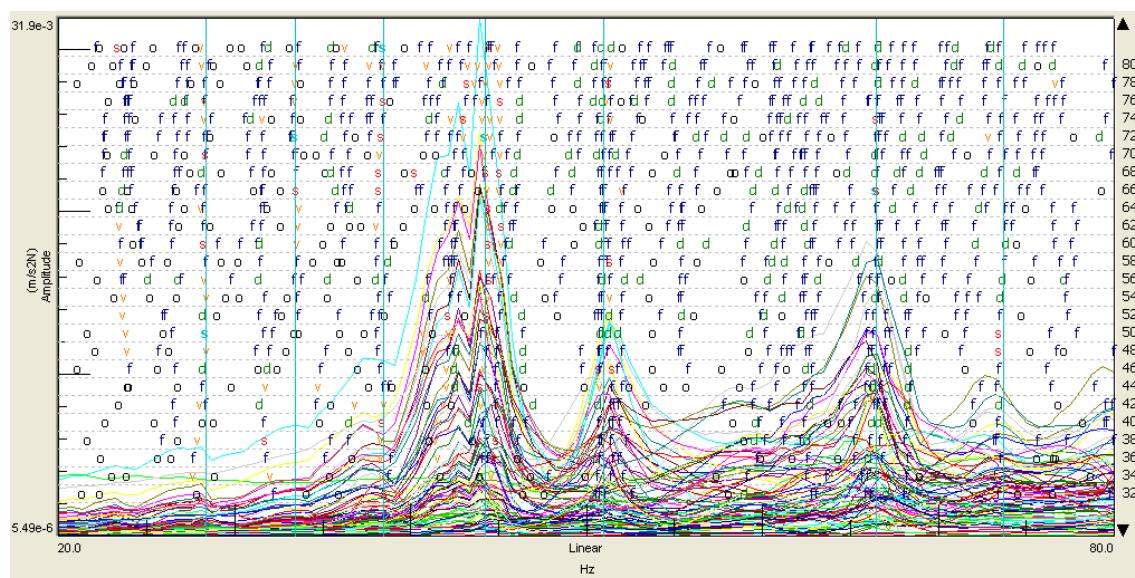


Fig. 227: Gràfica d'estabilització de la volta E2p1_V2 prova 3.

6.1.1.1.- Resum dels resultats.

A la següent taula (fig.179) es presenta el resum de les freqüències naturals corresponents a cadascuna de les voltes de la família analitzada. A la següent taula es presenten les corresponents al model numèric (fig.180).

identificació volta voltes petites	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
E2p1_V2 prova 1	23,908 Hz	28,317 Hz	32,437 Hz	37,453 Hz	41,414 Hz	44,353 Hz	47,490 Hz	50,461 Hz
E2p1_V2 prova 2	28,064 Hz	38,577 Hz	44,558 Hz	51,774 Hz	66,752 Hz			
E2p1_V2 prova 3	28,383 Hz	33,421 Hz	38,438 Hz	44,225 Hz	50,946 Hz	66,467 Hz	73,738 Hz	
E2p1_V1	27,196 Hz	34,102 Hz	41,582 Hz	51,405 Hz				
L1p1_V1	25,400 Hz	28,639 Hz	31,027 Hz	38,205 Hz				
L1p1_V2	15,249 Hz	19,475 Hz	29,297 Hz	31,564 Hz	34,150 Hz	46,623 Hz	56,023 Hz	61,885 Hz
L1p1_V3	12,772 Hz	29,732 Hz	33,881 Hz	53,873 Hz	58,454 Hz			
L1p1_V4	13,014 Hz	18,657 Hz	24,900 Hz	29,756 Hz				
L1p1_V5	15,165 Hz	18,763 Hz	29,842 Hz	32,070 Hz	37,638 Hz			
L1p1_V6	15,186 Hz	18,966 Hz	26,014 Hz	32,777 Hz	39,744 Hz	43,047 Hz	45,381 Hz	50,317 Hz
L1p1_ENTREPLANTA	33,024 Hz	34,836 Hz	36,472 Hz	41,897 Hz				
L2p1_V1	24,465 Hz	34,458 Hz	38,482 Hz	43,097 Hz				
L2p1_V2	14,141 Hz	17,381 Hz	28,243 Hz	32,683 Hz	38,454 Hz	51,619 Hz		
L2p1_V3	28,128 Hz	30,967 Hz	38,808 Hz					
L2p1_V4	15,295 Hz	27,775 Hz	38,349 Hz	58,315 Hz				
L2p1_V5	19,431 Hz	26,380 Hz	34,204 Hz	38,364 Hz				
L2p1_V6	16,138 Hz	19,145 Hz	20,800 Hz	25,552 Hz	35,588 Hz			
L2p1_ENTREPLANTA	27,780 Hz	35,568 Hz	38,455 Hz	44,457 Hz	49,878 Hz			
L1p1_V1	22,926 Hz	34,559 Hz	36,899 Hz					
L1p1_V2	22,632 Hz	26,967 Hz	37,200 Hz	42,090 Hz				
L1p1_V3	21,249 Hz	25,301 Hz	28,229 Hz	38,881 Hz				
L1p1_V4	15,296 Hz	21,337 Hz	31,696 Hz	39,359 Hz	41,448 Hz	55,616 Hz		
L1p1_V5	18,822 Hz	22,525 Hz	29,397 Hz	38,258 Hz				
L1p1_V6	18,745 Hz	22,723 Hz	35,547 Hz	41,530 Hz				
L2p1_V1	22,665 Hz	39,792 Hz	47,968 Hz					
L2p1_V2	20,149 Hz	22,105 Hz	41,654 Hz	47,951 Hz				
L2p1_V3	27,059 Hz	34,768 Hz	40,158 Hz	42,651 Hz				
L2p1_V4	21,998 Hz	32,752 Hz	39,179 Hz					
L2p1_V5	20,950 Hz	24,838 Hz	37,778 Hz	44,783 Hz				
L2p1_V6	20,913 Hz	24,788 Hz	28,050 Hz	38,133 Hz	41,421 Hz			
L1p2_V1	14,031 Hz	24,077 Hz	26,428 Hz	30,897 Hz	33,616 Hz			
L1p2_V2	13,839 Hz	23,885 Hz	27,227 Hz	28,753 Hz	33,777 Hz			
L1p2_V3	23,059 Hz	28,254 Hz	38,657 Hz					
L1p2_V4	14,582 Hz	23,455 Hz	29,015 Hz	33,328 Hz				
L1p2_V5	13,629 Hz	33,077 Hz	36,823 Hz	42,425 Hz				
L1p2_V6	13,602 Hz	27,275 Hz	30,884 Hz	37,912 Hz	47,699 Hz			
L2p2_V1	26,879 Hz	36,529 Hz	43,312 Hz	49,605 Hz				
L2p2_V2	21,476 Hz	37,380 Hz	44,100 Hz					
L2p2_V3	14,225 Hz	19,289 Hz	28,536 Hz	35,255 Hz	38,811 Hz			
L2p2_V4	15,235 Hz	20,537 Hz	23,735 Hz	35,593 Hz	38,934 Hz			
L2p2_V5	12,890 Hz	18,718 Hz	24,702 Hz	32,649 Hz	39,480 Hz			
L2p2_V6	13,053 Hz	19,380 Hz	25,554 Hz	33,031 Hz	39,870 Hz			

Fig. 228: Taula de freqüències extretes del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA PETITA									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
SC_can	18,558 Hz	18,636 Hz	22,767 Hz	30,054 Hz	35,100 Hz	35,353 Hz	38,847 Hz	50,375 Hz	54,875 Hz	64,662 Hz
SC_vor-art	43,485 Hz	51,401 Hz	51,521 Hz	70,936 Hz	74,852 Hz	84,178 Hz	96,256 Hz	97,709 Hz	120,100 Hz	120,650 Hz
SC_vor-fix	45,300 Hz	56,795 Hz	57,120 Hz	77,981 Hz	85,534 Hz	93,263 Hz	108,370 Hz	109,510 Hz	133,800 Hz	134,570 Hz
AC_can	18,286 Hz	18,329 Hz	25,055 Hz	25,296 Hz	35,116 Hz	35,242 Hz	35,834 Hz	46,925 Hz	51,242 Hz	59,878 Hz
AC_vor-art	42,311 Hz	48,515 Hz	48,613 Hz	65,564 Hz	74,285 Hz	83,306 Hz	91,196 Hz	92,247 Hz	99,864 Hz	99,923 Hz
AC_vor-fix	43,213 Hz	51,533 Hz	51,683 Hz	69,182 Hz	78,554 Hz	86,733 Hz	96,213 Hz	97,118 Hz	103,400 Hz	103,610 Hz
AE_can	20,565 Hz	20,573 Hz	22,738 Hz	29,919 Hz	34,758 Hz	35,067 Hz	36,863 Hz	51,982 Hz	55,046 Hz	65,559 Hz
AE_vor-art	39,930 Hz	54,539 Hz	54,546 Hz	85,508 Hz	91,744 Hz	96,411 Hz	107,060 Hz	107,240 Hz	127,030 Hz	127,320 Hz
AE_vor-fix	40,311 Hz	56,136 Hz	56,171 Hz	87,137 Hz	93,815 Hz	98,191 Hz	109,930 Hz	110,180 Hz	129,180 Hz	129,480 Hz

Fig. 229: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta petita.

6.1.1.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes petites.

La correlació entre les freqüències naturals dels models numèrics i experimentals corresponents a les voltes petites, ens dona com a resultat, coincidències al voltant de les freqüències de 28, 38 i 51 Hz.

Els assaigs dinàmics es varen fer sobre la volta completa. Per tant la col·lecció que s'ajusta a aquests valors és la identificada com a AE-can. Això ens indica que la connexió entre la volta i les parets perimetral s és dèbil en el sentit de que s'allunya notablement d'una situació d'encastament o recolzament perimetral.

Al analitzar les voltes, s'observa una freqüència amb amplitud dominant, que és present a la pràctica totalitat de les voltes de les 3 plantes. Aquesta freqüència està al voltant dels 38 Hz.

La reiteració d'aquest valor – els altres dos apareixen de forma atenuada i en algun cas arriben passar desapercebuts – ens permet assegurar que els resultats obtinguts en les proves estàtiques, són en general extrapolables al conjunt de les voltes que anomenem petites.

El fet de que algunes de les freqüències quedin atenuades o desapareguin, no es pot considerar un fenomen estrany; depenen de l'execució de l'assaig , alguna freqüència pot quedar no excitada, sense que aquest fet suposi invalidar la mesura efectuada.

6.1.2.- Segona família: voltes mitjanes.

Família : **Voltes mitjanes.**
 Nomenclatura : **Bp-1_V1**

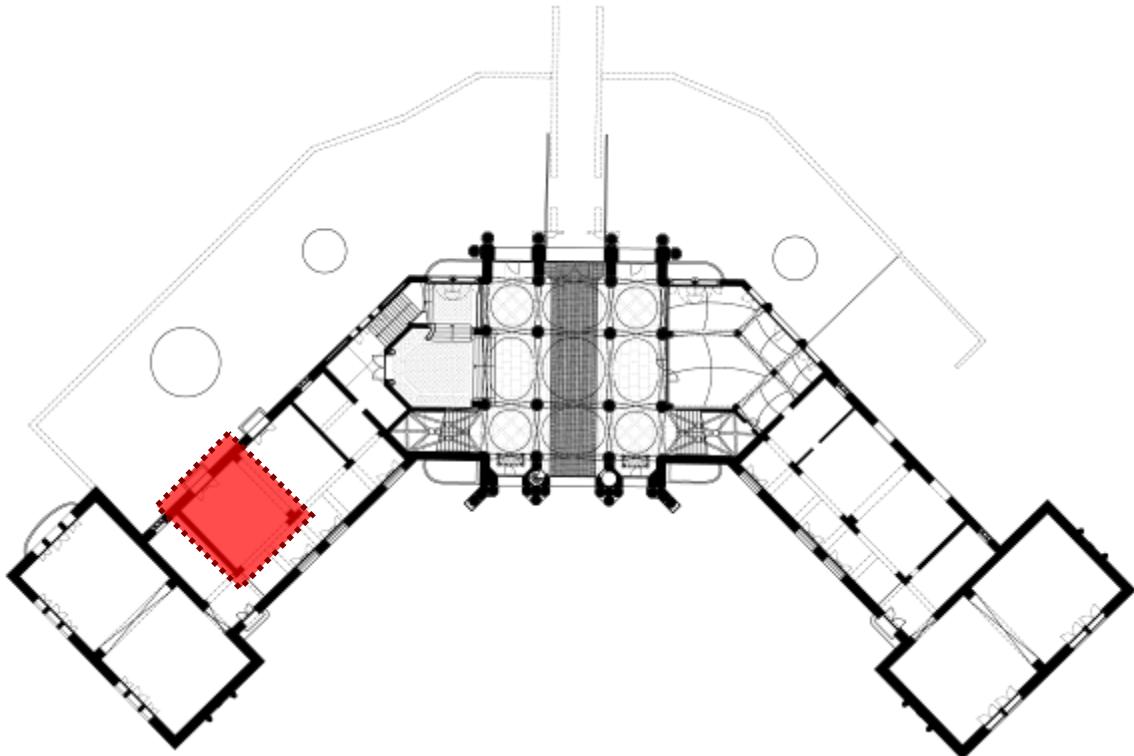


Fig. 230: Situació de la volta Bp-1_V1.

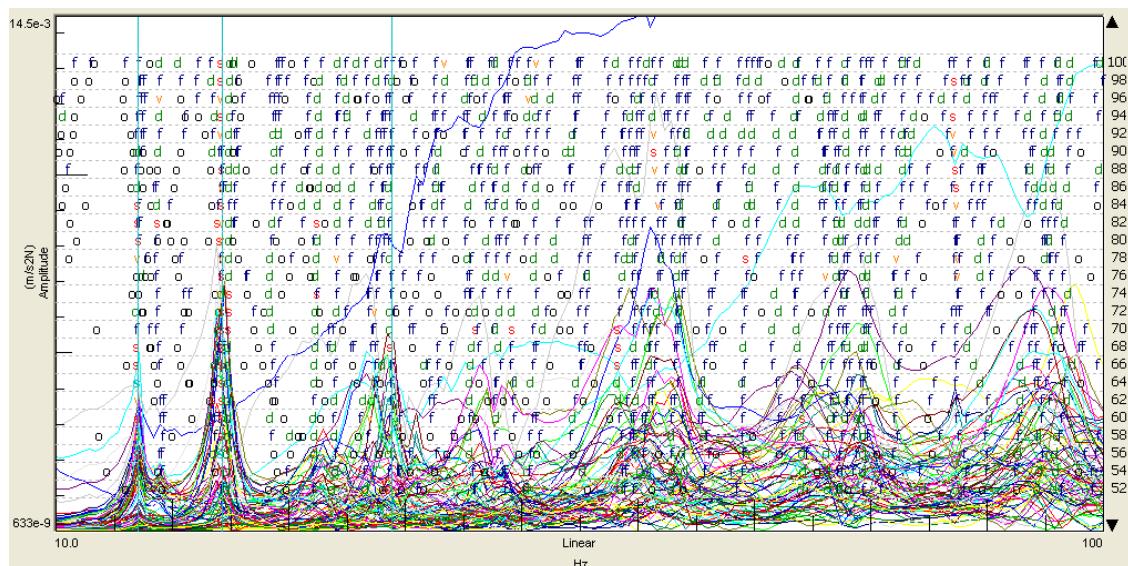


Fig. 231: Gràfica d'estabilització de la volta Bp-1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Bp-1_V2

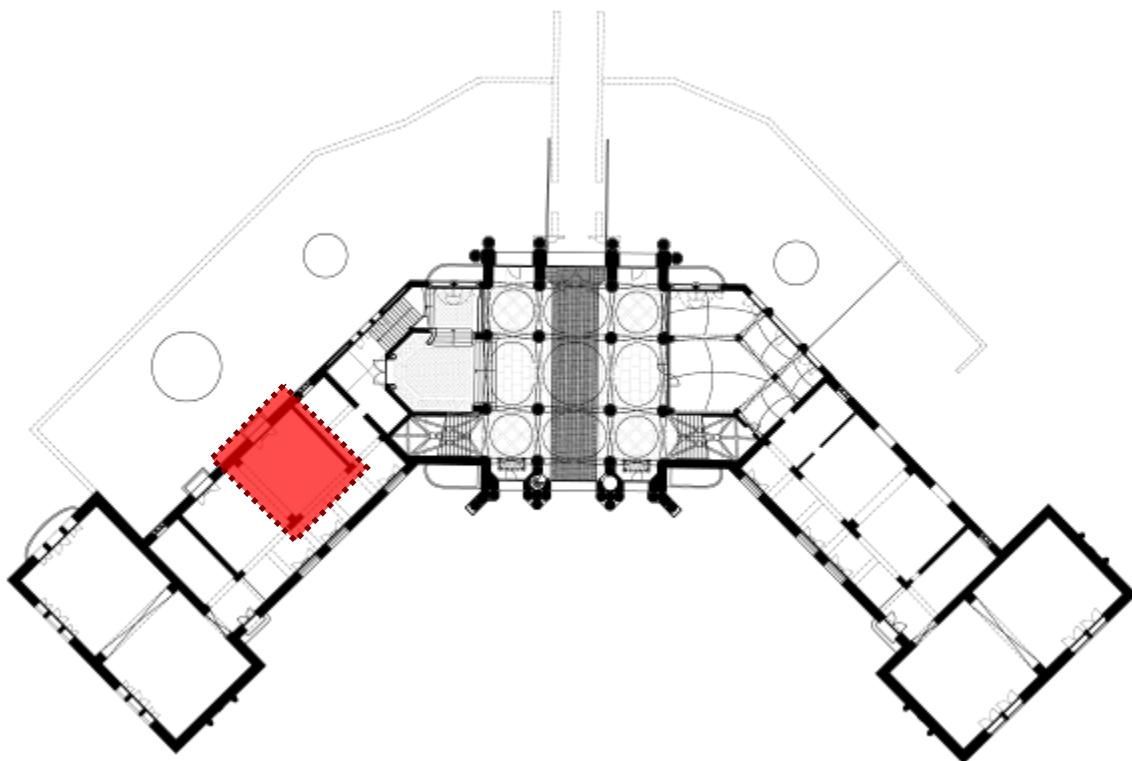


Fig. 232: Situació de la volta Bp-1_V2.

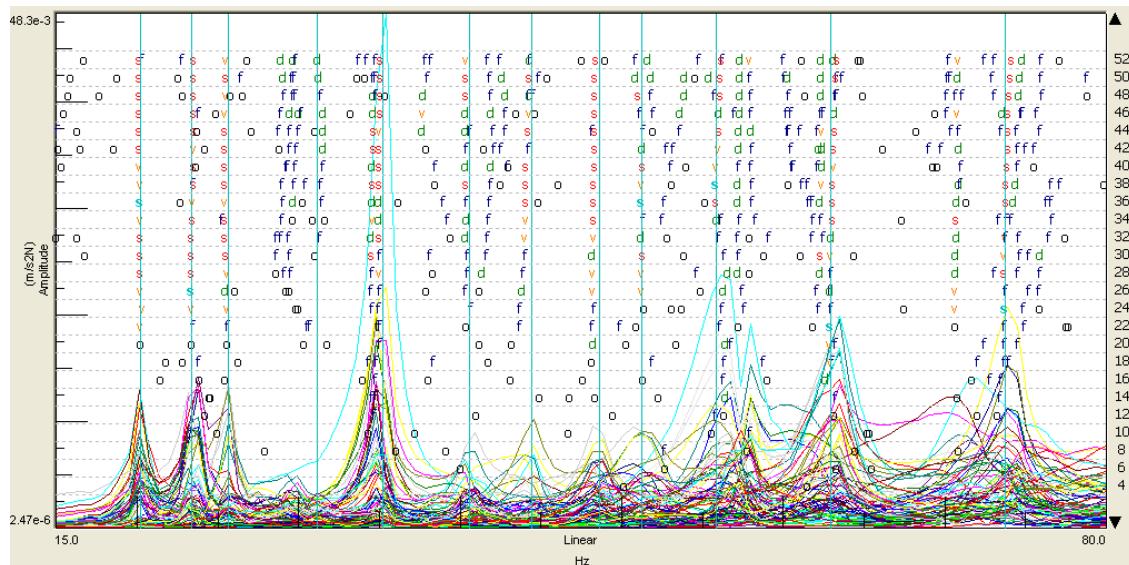


Fig. 233: Gràfica d'estabilització de la volta Bp-1_V2.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Fp-1_V1

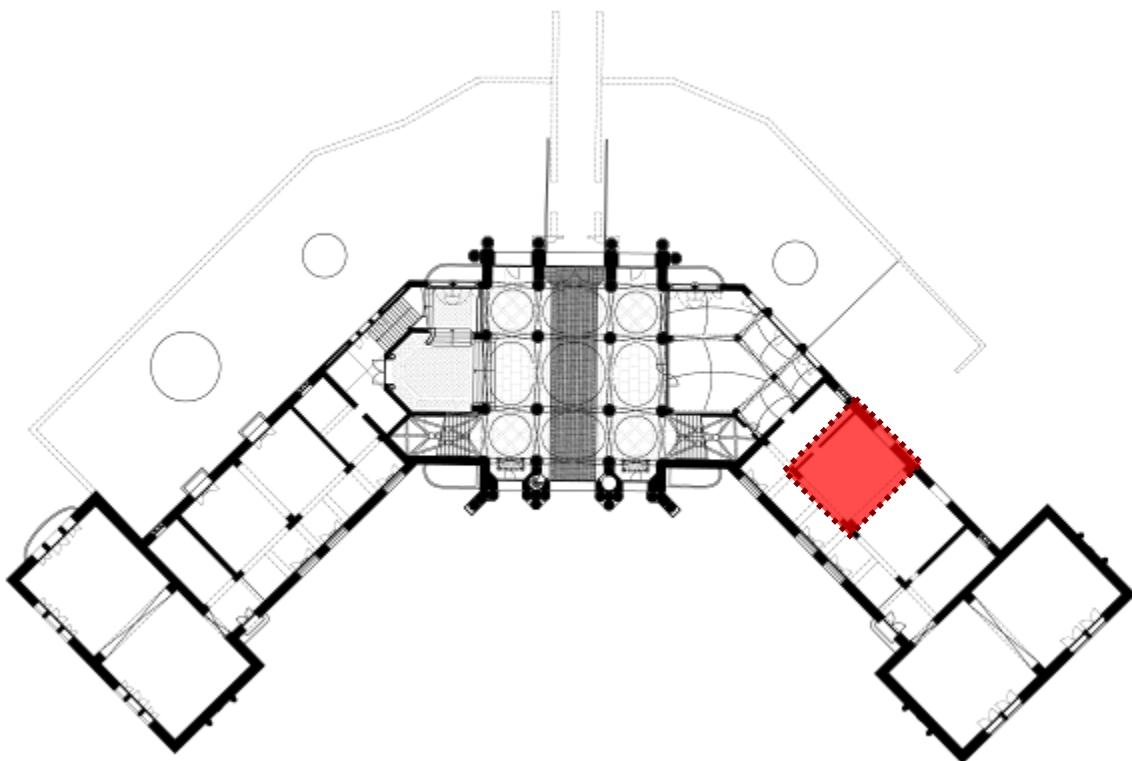


Fig. 234: Situació de la volta Fp-1_V1.

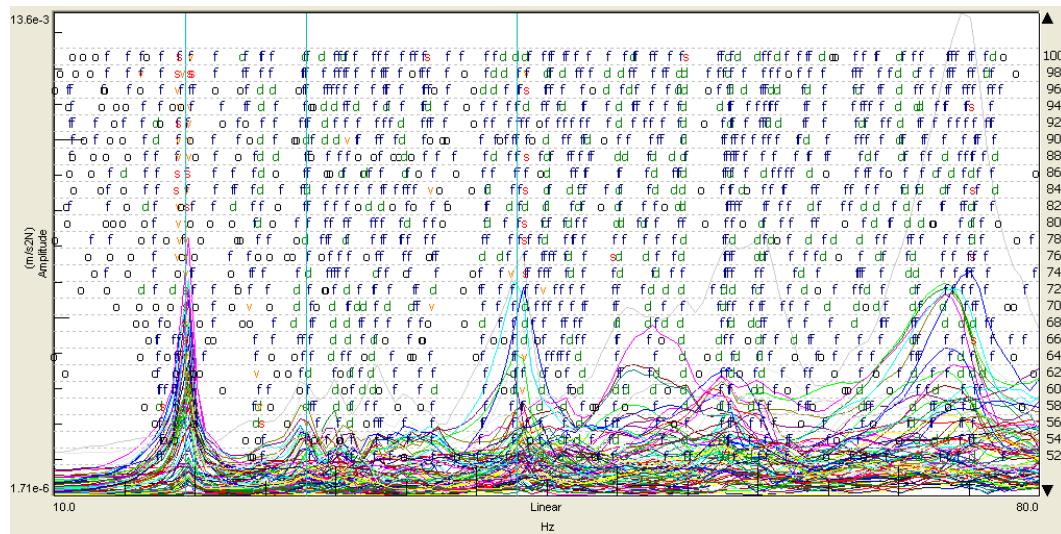


Fig. 235: Gràfica d'estabilització de la volta Fp-1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Fp-1_V2

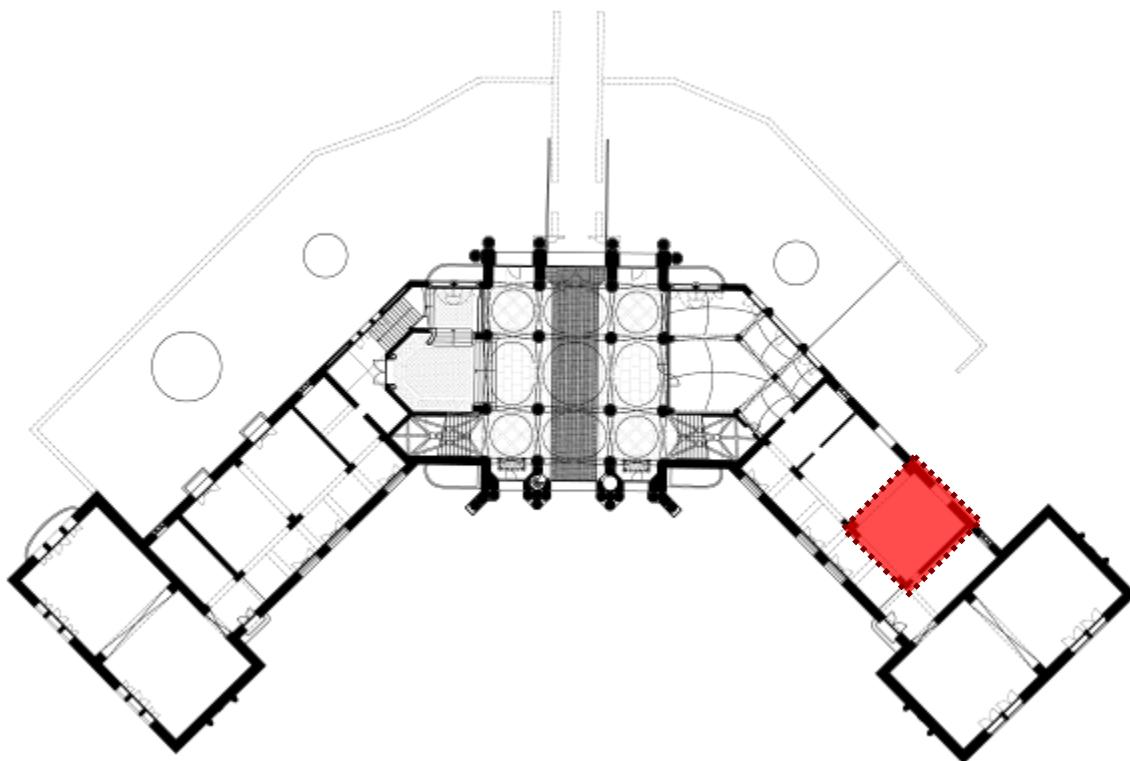


Fig. 236: Situació de la volta Fp-1_V2.

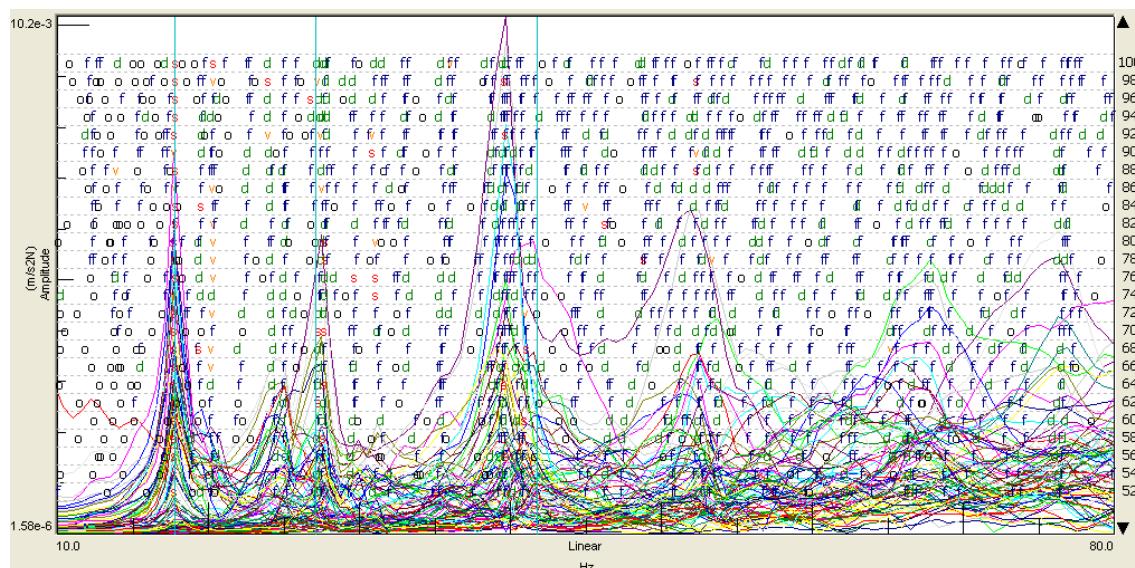


Fig. 237: Gràfica d'estabilització de la volta Fp-1_V2.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Bp1_V1

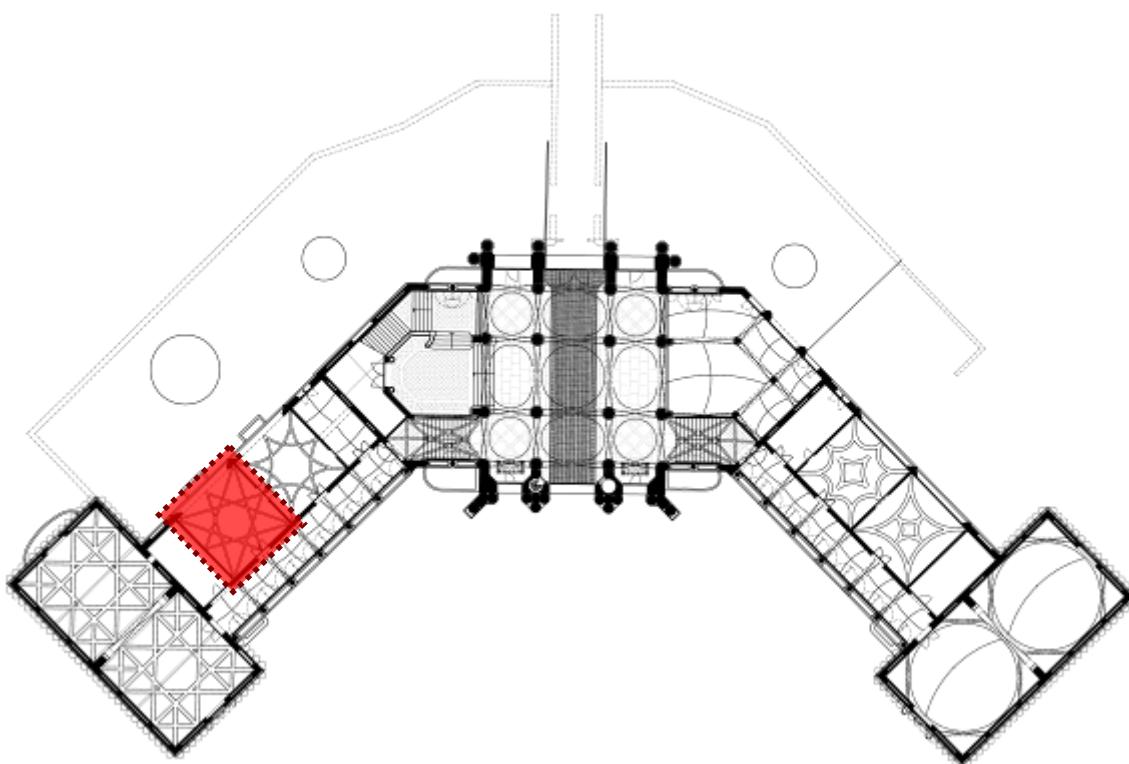


Fig. 238: Situació de la volta Bp1_V1.

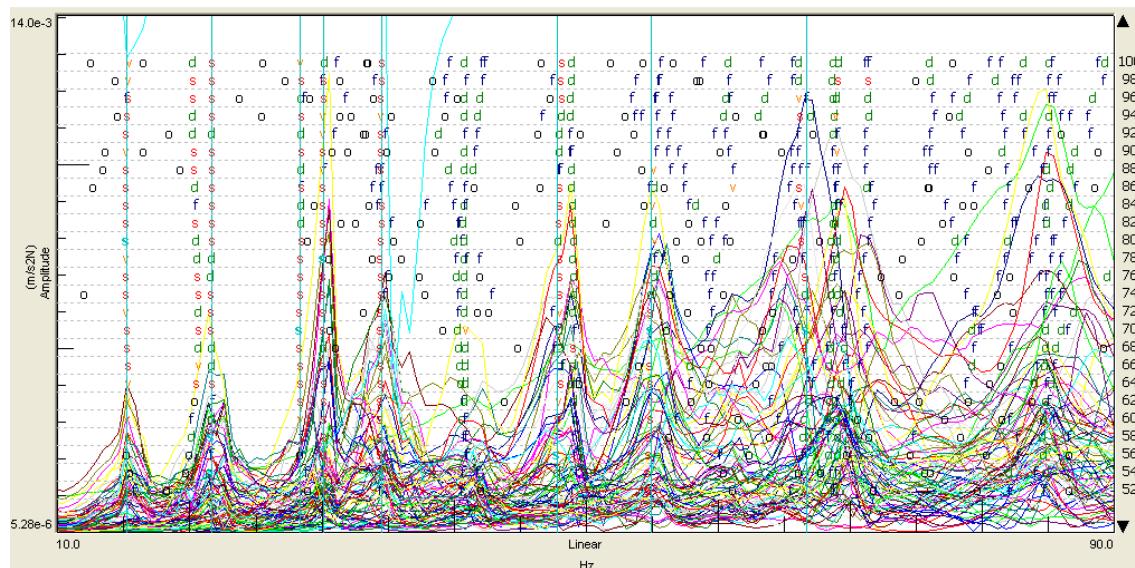


Fig. 239: Gràfica d'estabilització de la volta Bp1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Cp1_V1

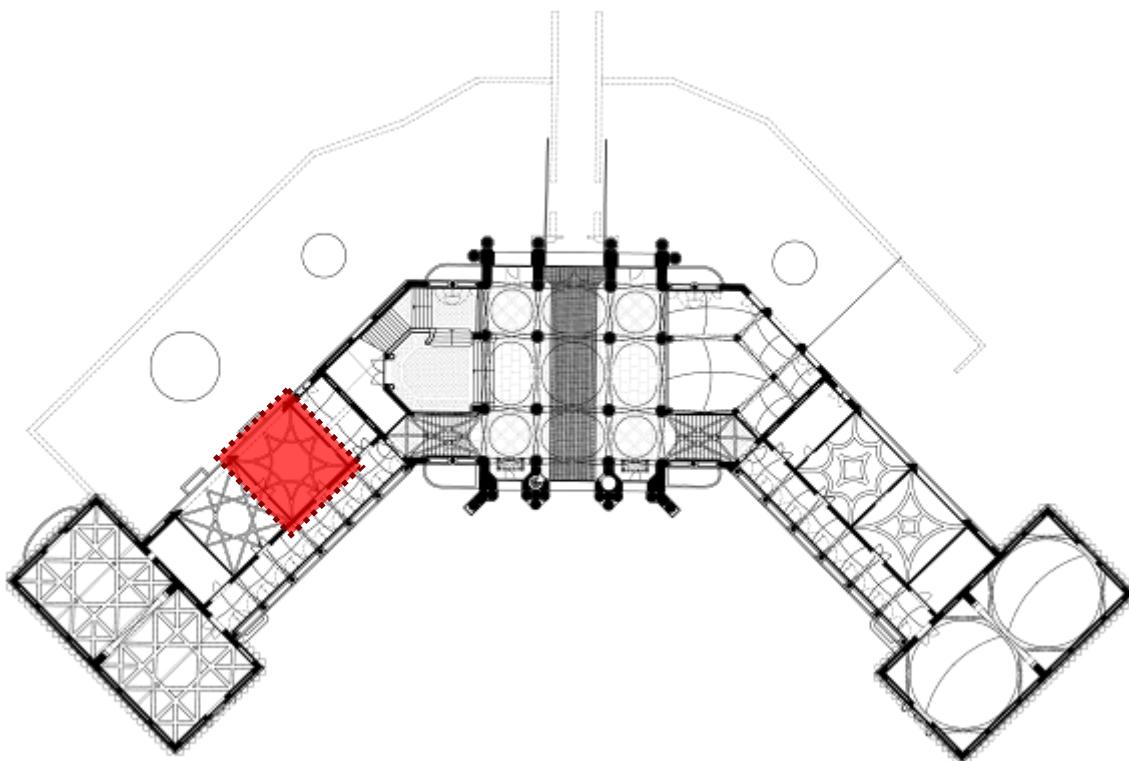


Fig. 240: Situació de la volta Cp1_V1.

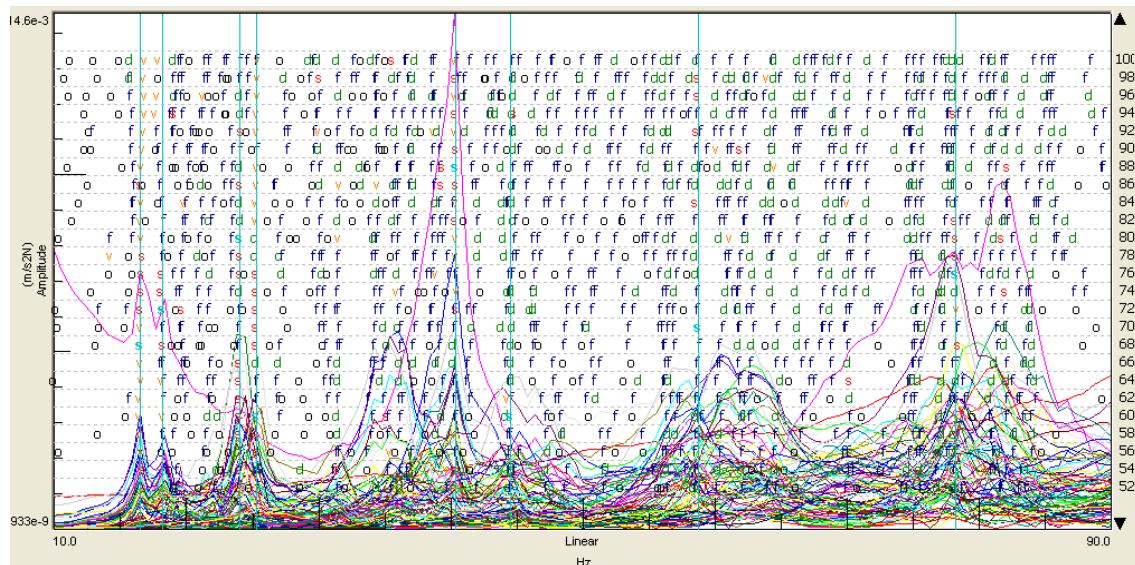


Fig. 241: Gràfica d'estabilització de la volta Cp1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Fp1_V1

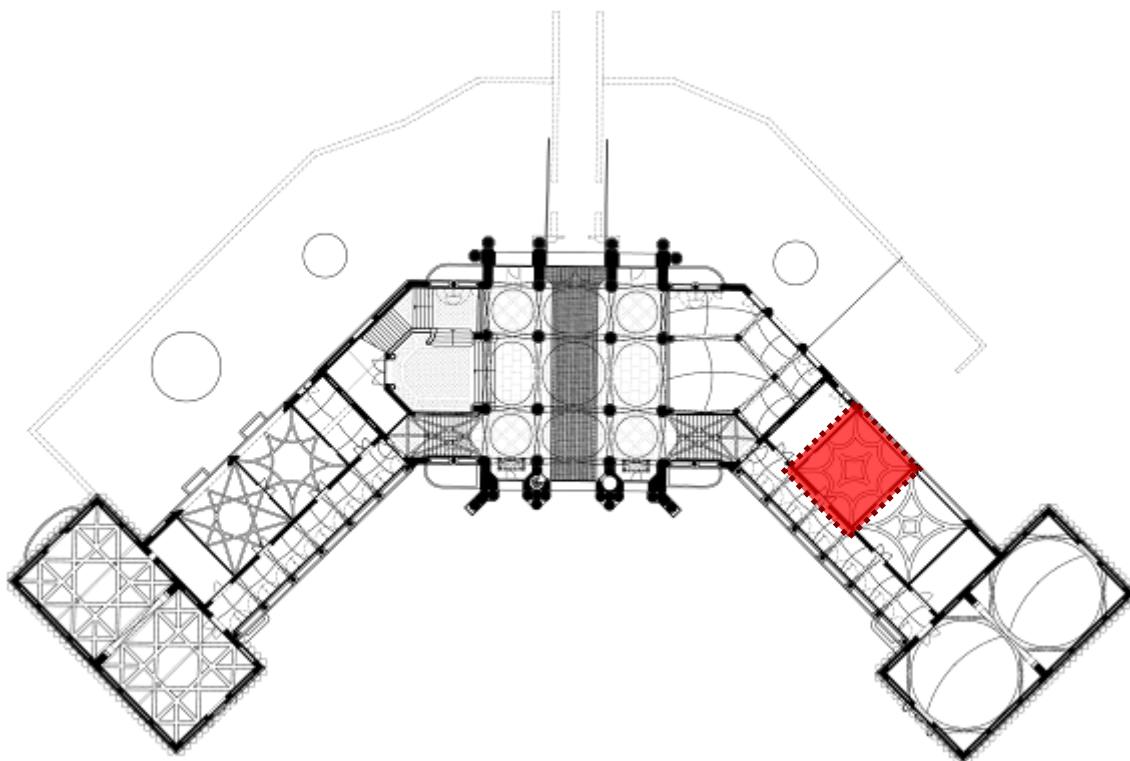


Fig. 242: Situació de la volta Fp1_V1.

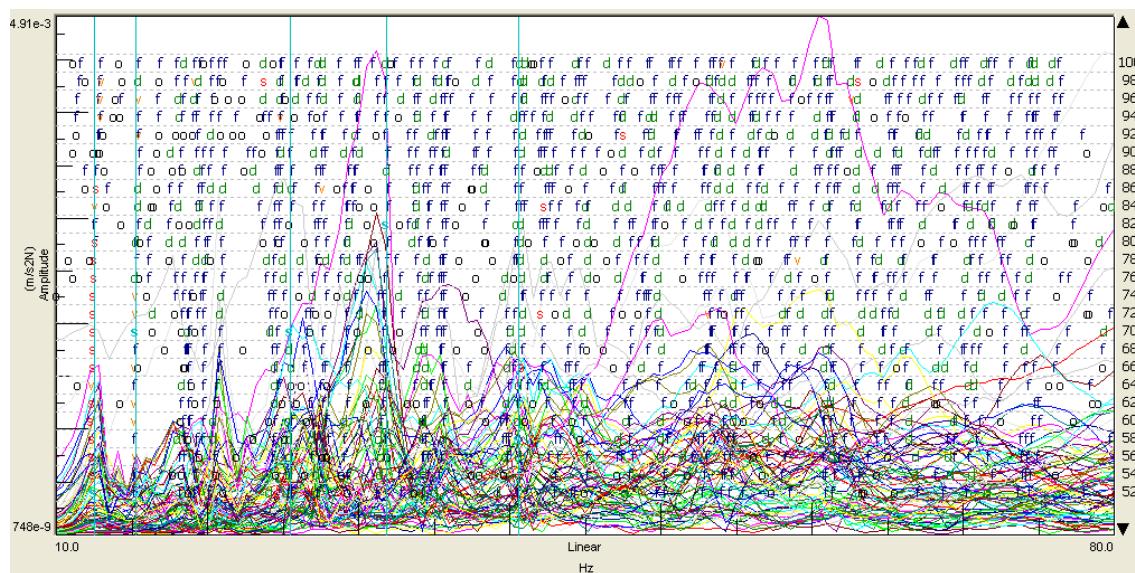


Fig. 243: Gràfica d'estabilització de la volta Fp1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Gp1_V1

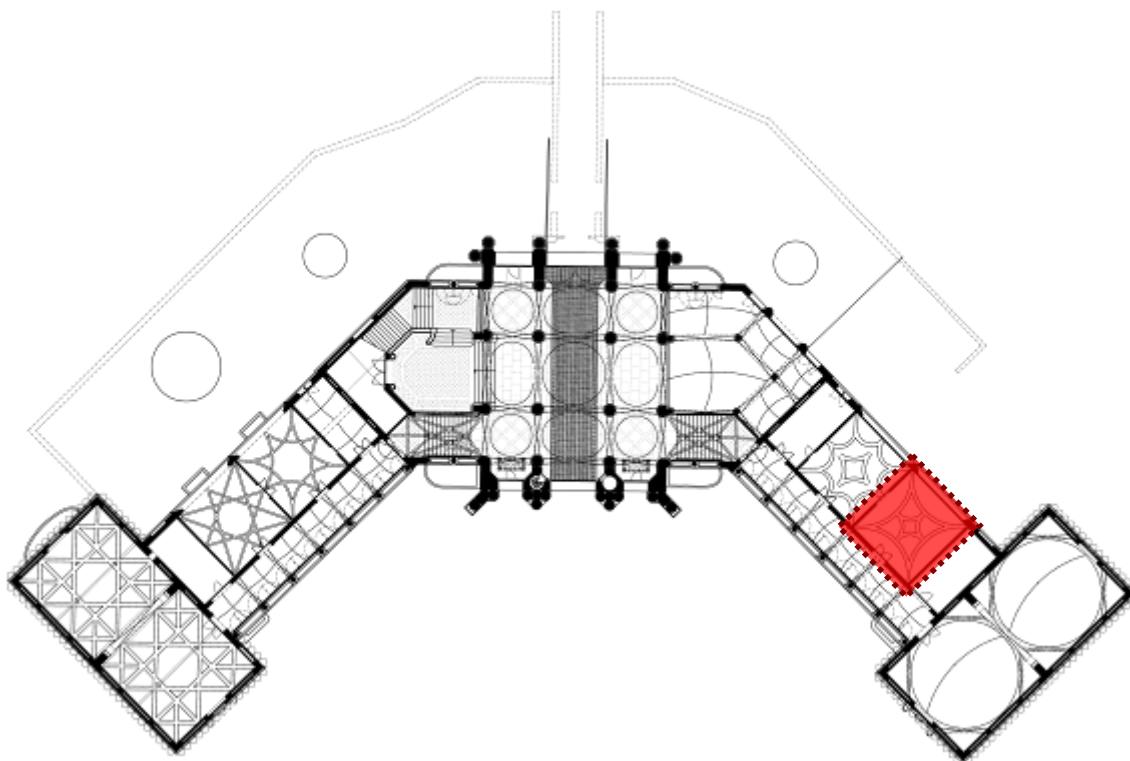


Fig. 244: Situació de la volta Gp1_V1.

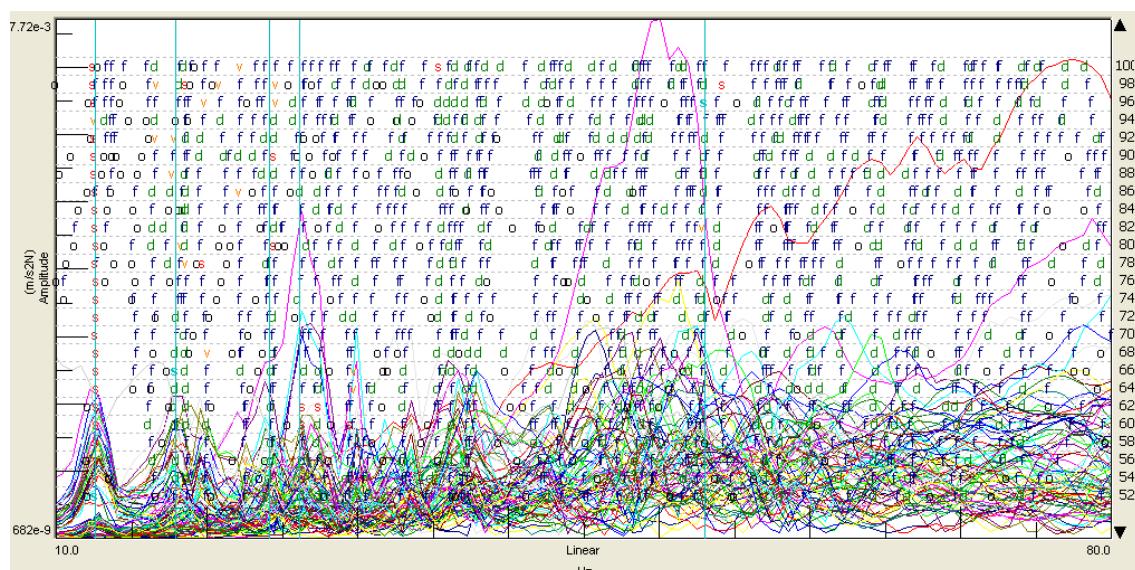


Fig. 245: Gràfica d'estabilització de la volta Gp1_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Bp2_V1

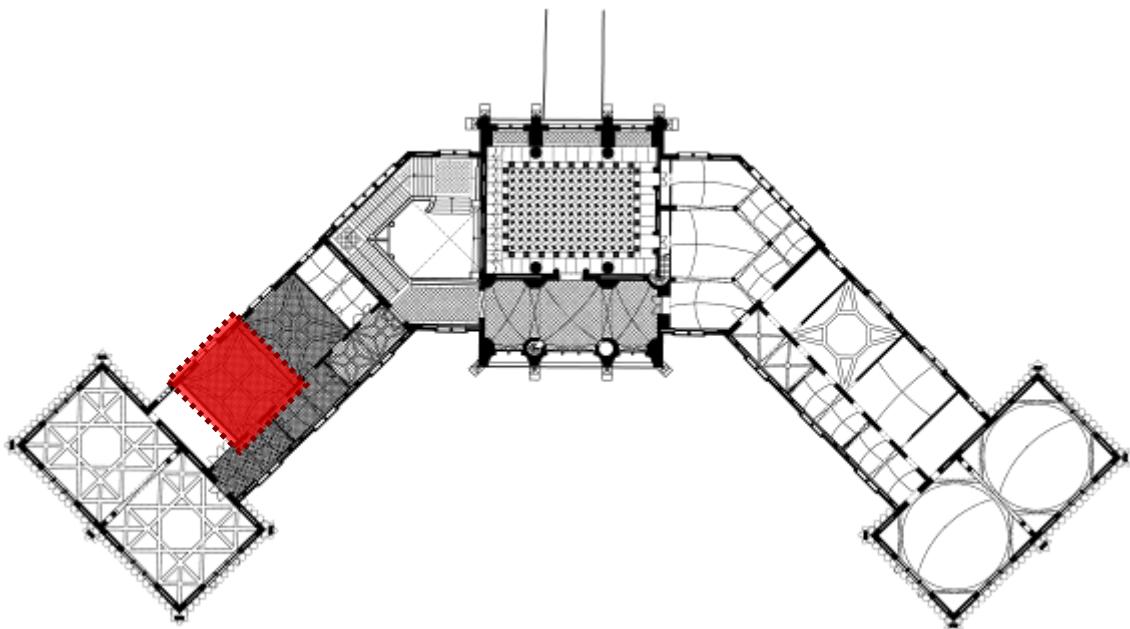


Fig. 246: Situació de la volta Bp2_V1.

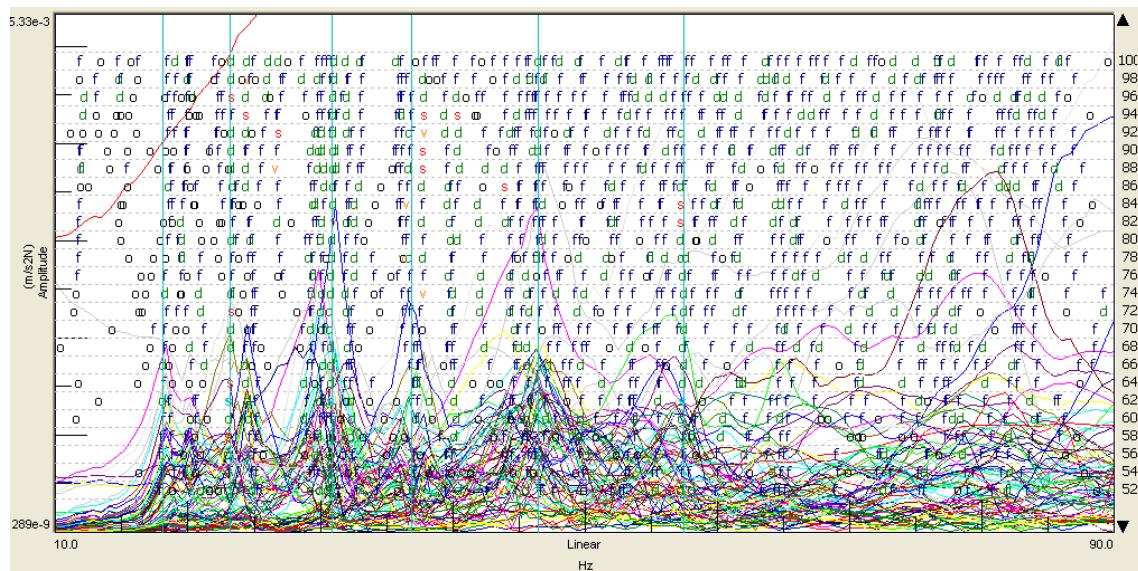


Fig. 247: Gràfica d'estabilització de la volta Bp2_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Cp2_V1

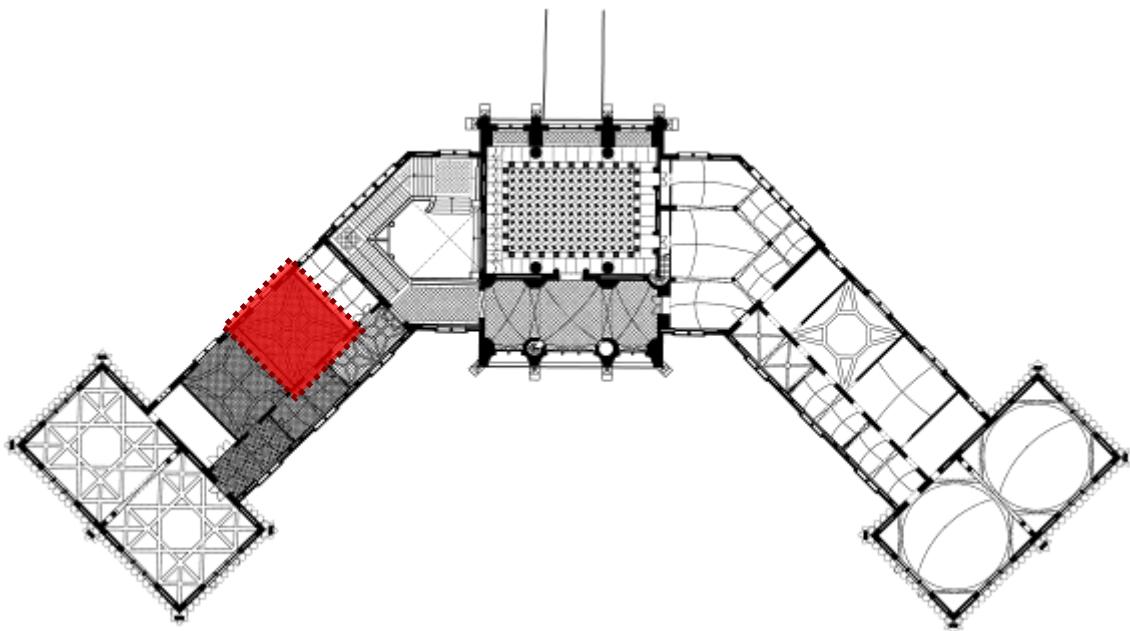


Fig. 248: Situació de la volta Cp2_V1.

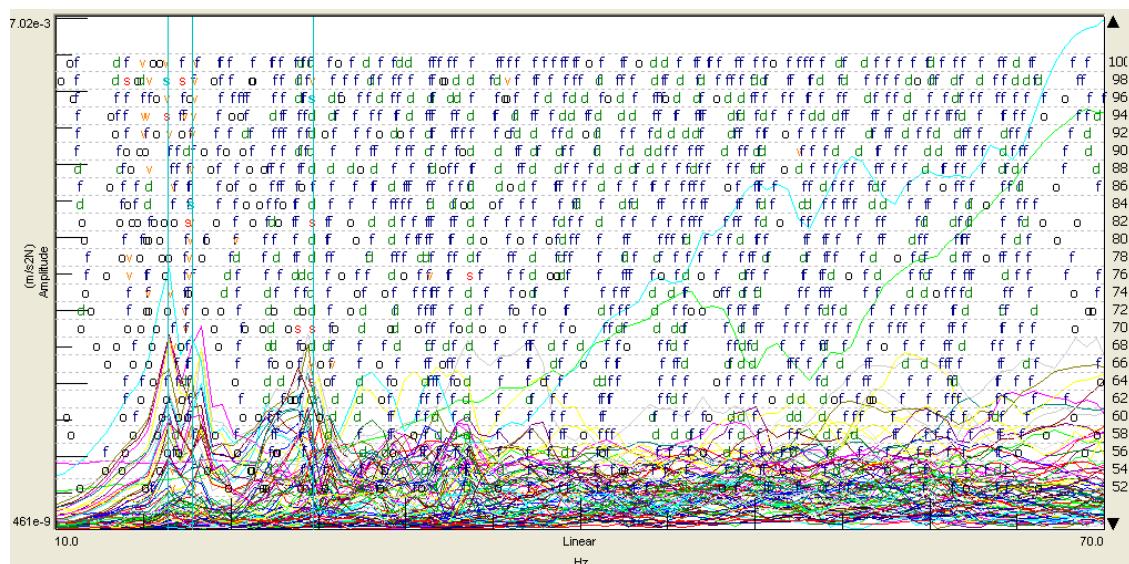


Fig. 249: Gràfica d'estabilització de la volta Cp2_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Fp2_V1

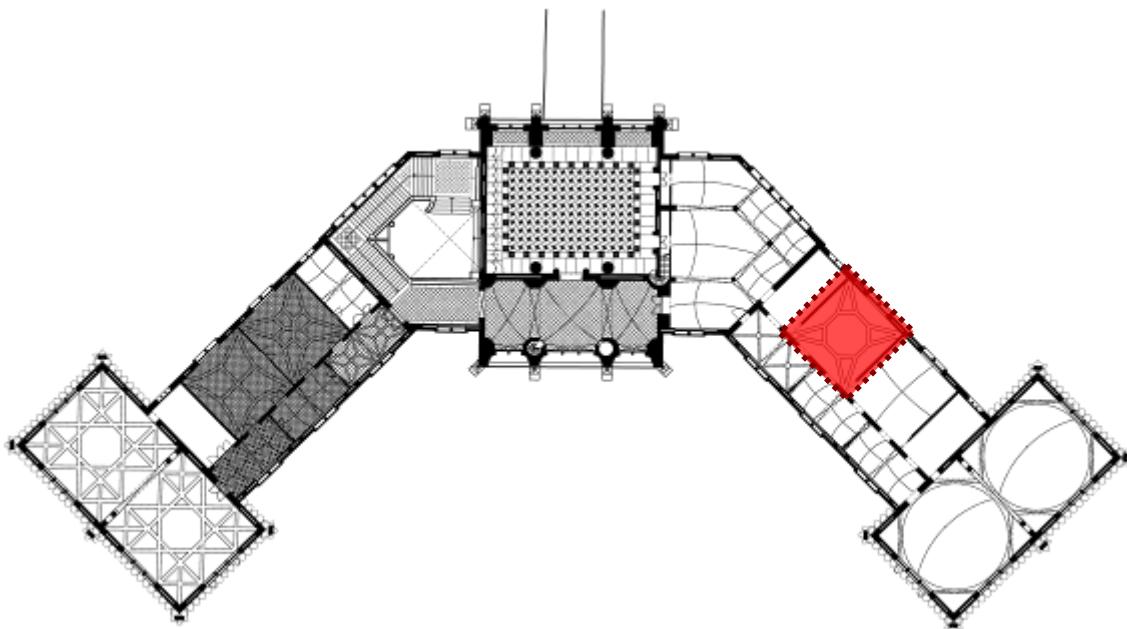


Fig. 250: Situació de la volta Fp2_V1.

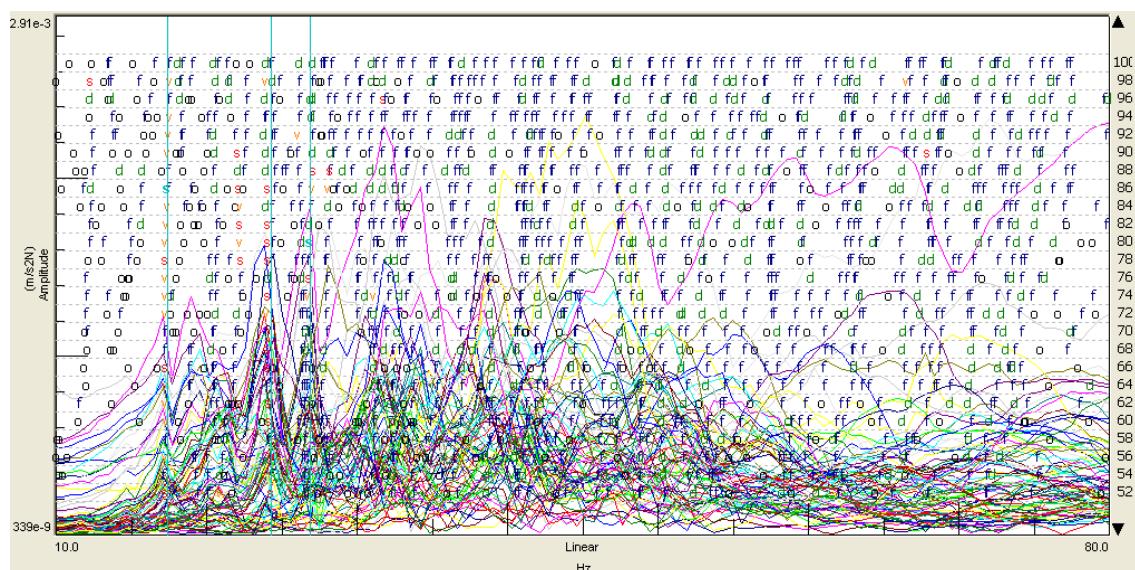


Fig. 251: Gràfica d'estabilització de la volta Fp2_V1.

Família : Voltes mitjanes.
 Nomenclatura : Gp2_V1

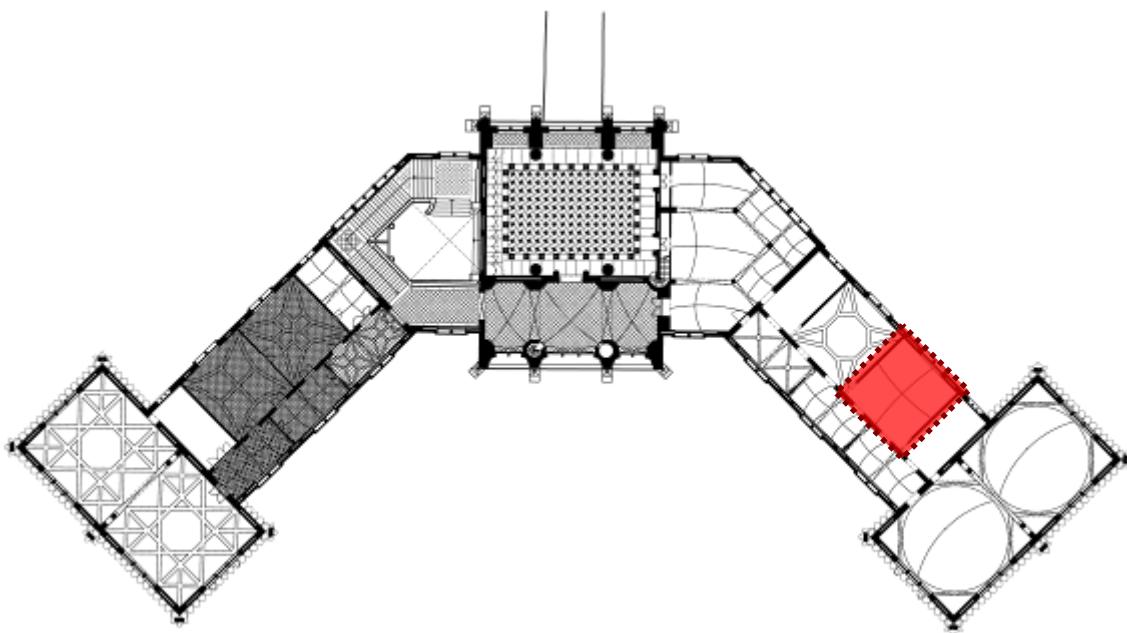


Fig. 252: Situació de la volta Gp2_V1.

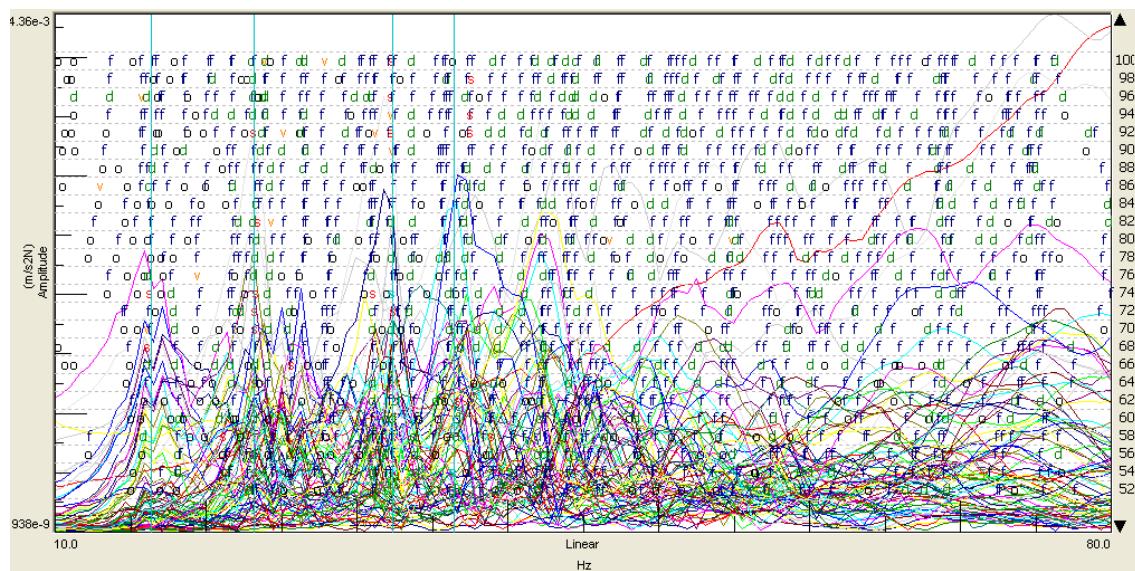


Fig. 253: Gràfica d'estabilització de la volta Gp2_V1.

6.1.2.1.- Resum de resultats.

A la següent taula (fig.254) es presenta el resum de les freqüències naturals corresponents a cadascuna de les voltes de la família analitzada. A la següent taula es presenten les corresponents al model numèric (fig.255).

identificació volta voltes mitjanes	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Bp-1_V1	16.998 Hz	24.238 Hz	38.802 Hz					
Bp-1_V2	20.195 Hz	23.358 Hz	25.627 Hz	31.110 Hz	35.205 Hz	40.551 Hz	44.432 Hz	48.612 Hz
Fp-1_V1	19.332 Hz	27.935 Hz	42.868 Hz					
Fp-1_V2	17.725 Hz	27.085 Hz	41.743 Hz					
Bp1_V1	15.227 Hz	21.653 Hz	28.350 Hz	30.122 Hz	34.491 Hz	47.845 Hz	54.975 Hz	66.680 Hz
Cp1_V1	16.495 Hz	18.155 Hz	24.034 Hz	25.329 Hz	40.388 Hz	44.525 Hz	58.767 Hz	78.211 Hz
Fp1_V1	12.487 Hz	15.207 Hz	25.468 Hz	31.852 Hz	40.552 Hz			
Gp1_V1	12.594 Hz	17.879 Hz	24.118 Hz	28.105 Hz	53.051 Hz			
Bp2_V1	18.063 Hz	23.208 Hz	30.899 Hz	36.879 Hz	46.428 Hz	57.436 Hz		
Cp2_V1	16.411 Hz	17.801 Hz	24.705 Hz					
Fp2_V1	17.383 Hz	24.297 Hz	26.852 Hz					
Gp2_V1	18.337 Hz	23.134 Hz	32.374 Hz	36.428 Hz				

Fig. 254: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA MITJANA									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
SC_can	3,715 Hz	3,831 Hz	4,305 Hz	6,155 Hz	6,629 Hz	7,697 Hz	8,547 Hz	11,784 Hz	14,387 Hz	15,644 Hz
SC_vor-art	13,965 Hz	14,678 Hz	15,525 Hz	18,899 Hz	21,916 Hz	23,057 Hz	26,031 Hz	26,885 Hz	31,654 Hz	32,515 Hz
SC_vor-fix	14,254 Hz	15,775 Hz	16,235 Hz	19,953 Hz	24,108 Hz	24,419 Hz	28,274 Hz	28,510 Hz	34,516 Hz	36,144 Hz
AC_can	4,363 Hz	4,422 Hz	5,525 Hz	6,187 Hz	8,159 Hz	8,535 Hz	9,119 Hz	12,646 Hz	14,483 Hz	15,723 Hz
AC_vor-art	14,672 Hz	14,750 Hz	15,174 Hz	18,855 Hz	22,707 Hz	24,091 Hz	27,334 Hz	27,811 Hz	33,532 Hz	36,321 Hz
AC_vor-fix	14,781 Hz	15,719 Hz	16,023 Hz	19,842 Hz	23,803 Hz	25,192 Hz	28,509 Hz	28,982 Hz	34,946 Hz	37,528 Hz
AE_can	6,223 Hz	6,269 Hz	6,418 Hz	9,512 Hz	9,901 Hz	10,884 Hz	11,720 Hz	17,528 Hz	18,365 Hz	20,774 Hz
AE_vor-art	14,184 Hz	18,692 Hz	18,714 Hz	30,278 Hz	31,223 Hz	32,524 Hz	40,490 Hz	41,558 Hz	44,610 Hz	46,744 Hz
AE_vor-fix	14,230 Hz	19,089 Hz	19,114 Hz	30,582 Hz	31,578 Hz	32,926 Hz	41,305 Hz	42,120 Hz	45,069 Hz	47,400 Hz

Fig. 255: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta mitjana.

6.1.2.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes mitjanes.

La correlació entre les freqüències naturals dels models numèrics i experimentals corresponents a les voltes petites, ens dona com a resultat, coincidències al voltant de les freqüències de 17-18, 23,25 i 31 Hz.

Aquestes freqüències són més baixes, cosa que resulta natural, ja que la rigidesa de l'estructura, al presentar una configuració semblant, però una llum major, disminueix. Al disminuir la rigidesa, disminueixen també les freqüències del sistema.

Els assaigs dinàmics es varen fer sobre la volta un cop retirats els envans de sostremort i l'encadellat superior. Per tant la col·lecció que s'ajusta a aquests valors és la identificada com a SC-vor-art.

Aquest indicador es correspon a una situació de recolzament perimetral de la volta.

Al analitzar les voltes, s'observa tres freqüències que apareixen en la pràctica totalitat de les voltes: 17, un doble pic amb correspondència amb 23 -27 i finalment un tercer pic als voltants dels 40 Hz. Aquesta última freqüència no apareix en el model numèric, ja que les freqüències registrades s'aturen en un valor inferior (es varen calcular les 10 primeres freqüències). Aquest fet només afecta al procediment, però no als resultats.

El pic corresponent a 31 Hz, s'identifica solament en alguna de les voltes.

Únicament a les voltes Fp1-V1 i GP1-V1 obtenim freqüències inicials inferiors - al voltant dels 12 Hz – i una lectura difícil d'efectuar de la resta de les freqüències. En el seu moment es va observar una fissura relativament pronunciada en una de les cantonades d'aquestes voltes. És probable que les lectures obtingudes tinguin a veure, no tant amb la pròpia fissura, sinó en que aquesta pugui modificar les condicions de sustentació.

Pel que fa a la resta de les voltes, la persistència de les freqüències obtingudes, fa possible assimilar el seu comportament al caracteritzat a través de la prova estàtica corresponent.

El fet de que algunes de les freqüències quedin atenuades o desapareguin, no es pot considerar un fenomen estrany; depenen de l'execució de l'assaig , alguna freqüència pot quedar no excitada, sense que aquest fet suposi invalidar l'assaig.

6.1.3.- Tercera família: voltes grans.

Família : Voltes grans.
 Nomenclatura : Ap-1_V1

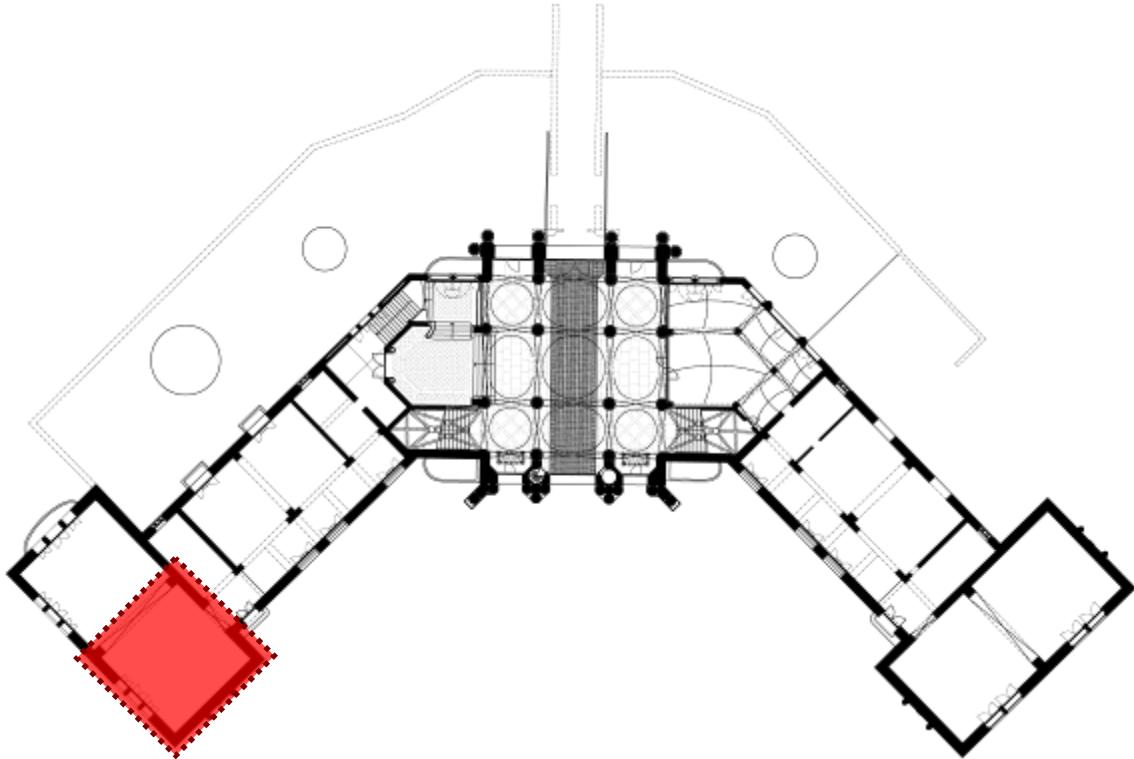


Fig. 256: Situació de la volta Ap-1_V1.

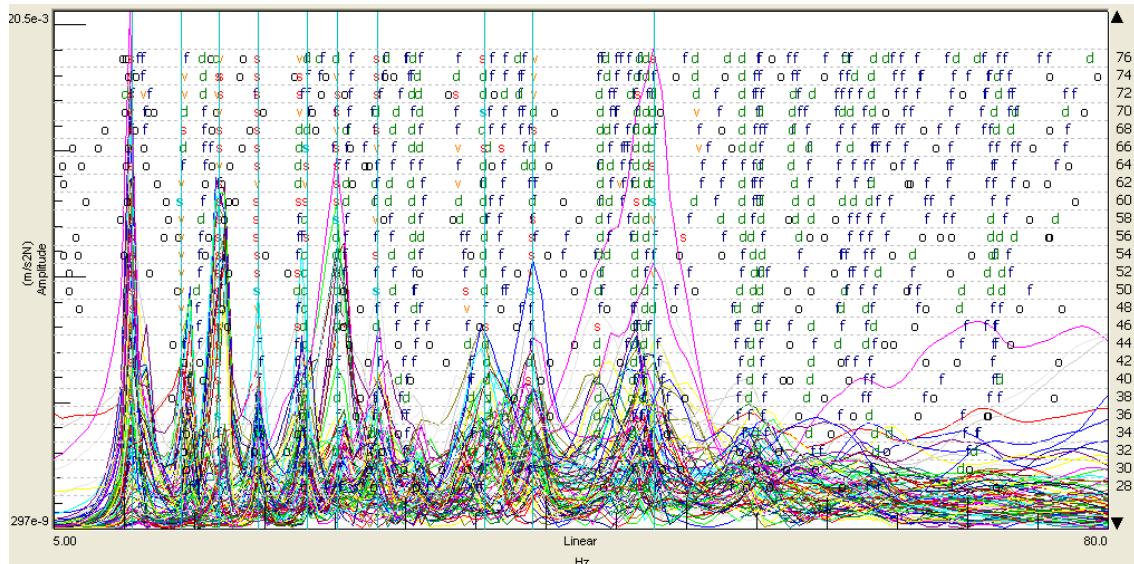


Fig. 257: Gràfica d'estabilització de la volta Ap-1_V1.

Família : Voltes grans.
 Nomenclatura : Ap-1_V2

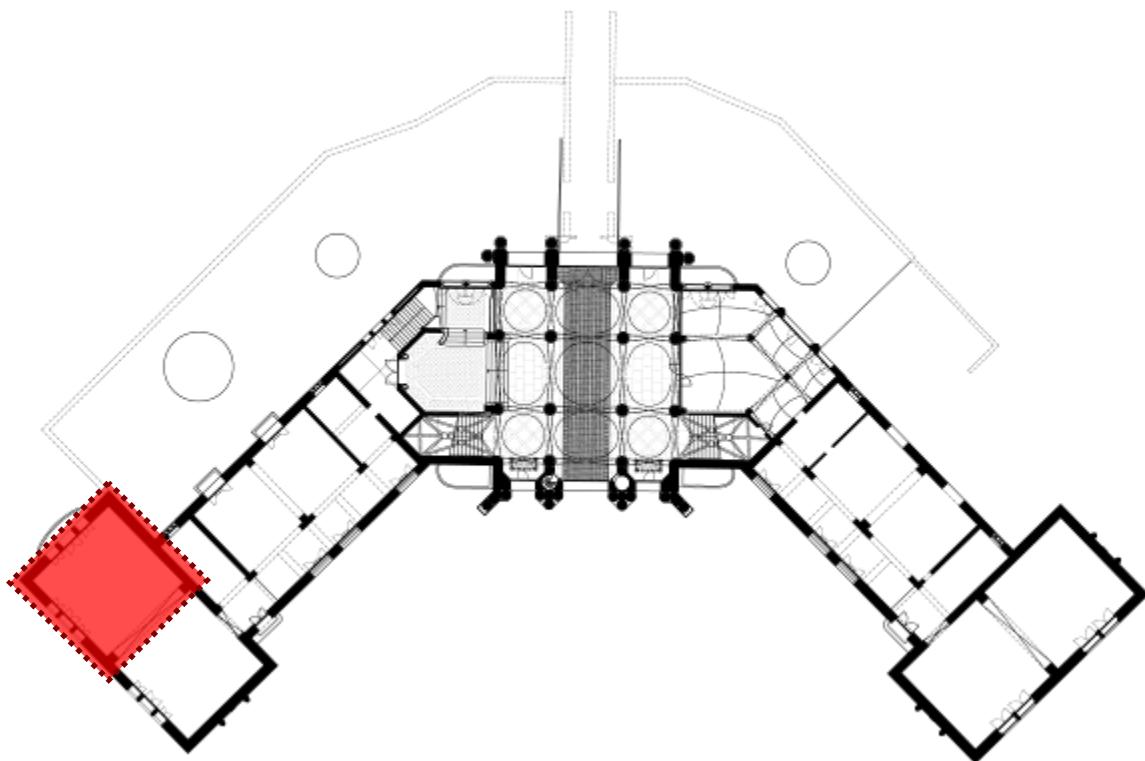


Fig. 258: Situació de la volta Ap-1_V2.

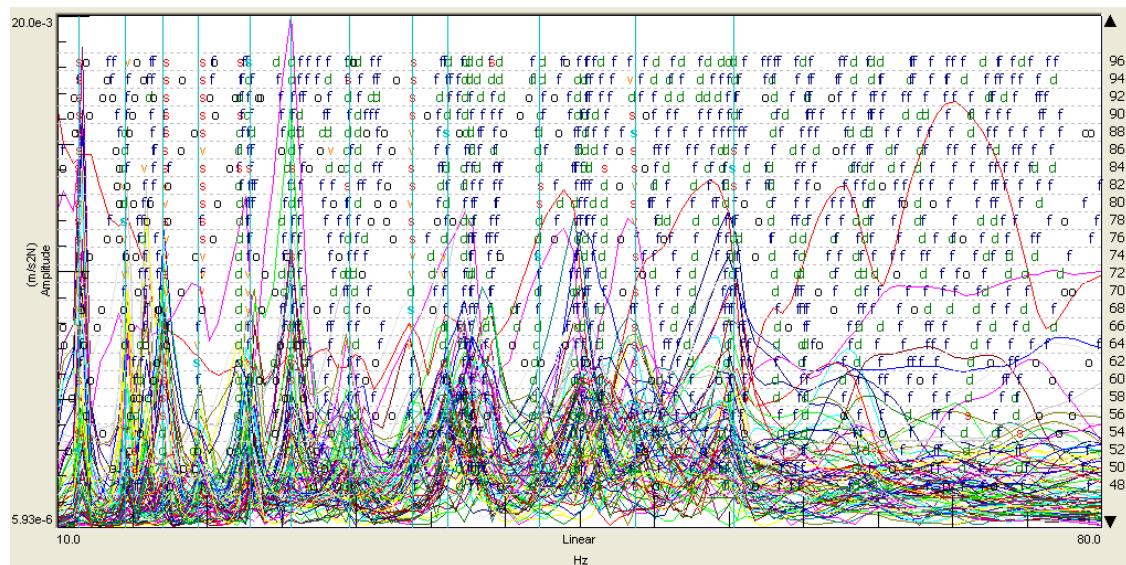


Fig. 259: Gràfica d'estabilització de la volta Ap-1_V2.

Família : Voltes grans.
 Nomenclatura : Hp-1_V1

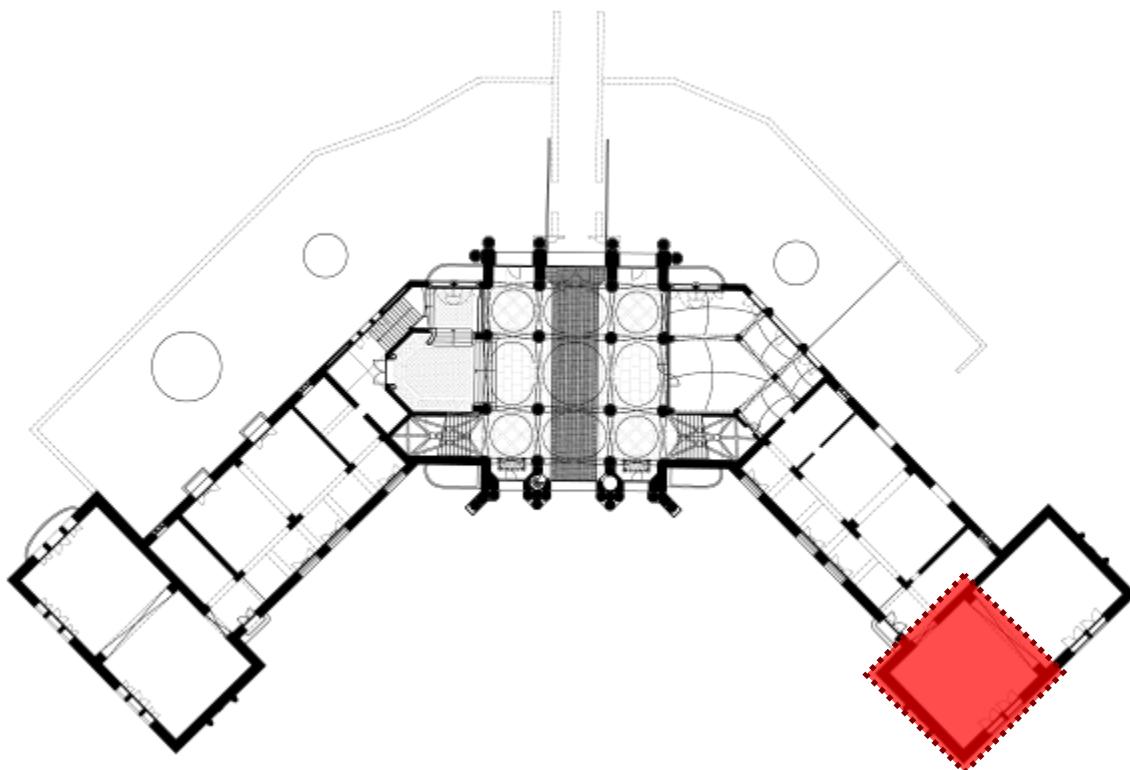


Fig. 260: Situació de la volta Hp-1_V1.

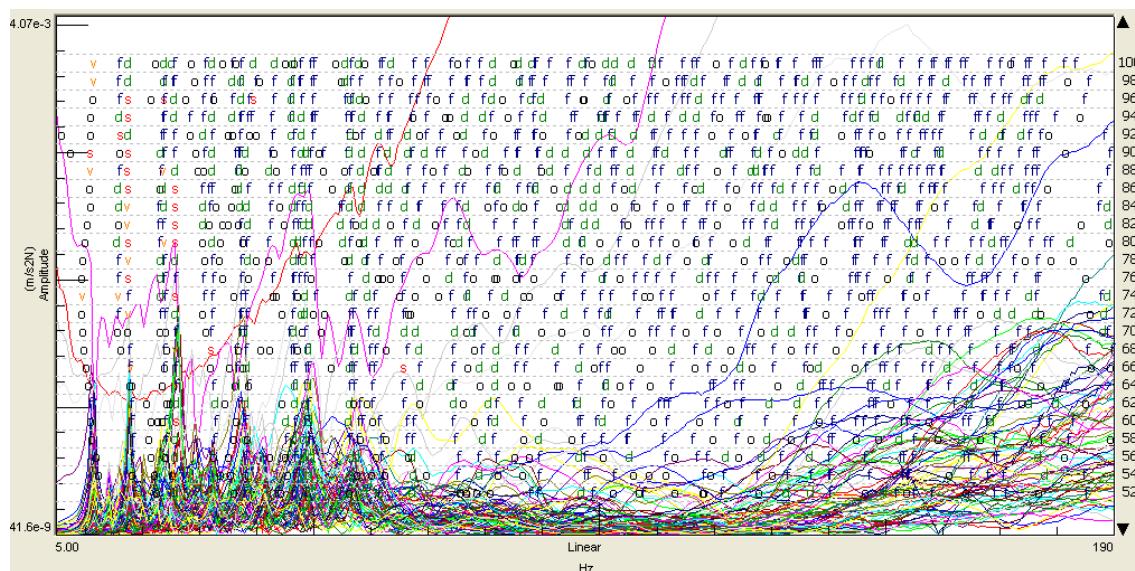


Fig. 261: Gràfica d'estabilització de la volta Hp-1_V1.

Família : Voltes grans.
 Nomenclatura : Hp-1_V2

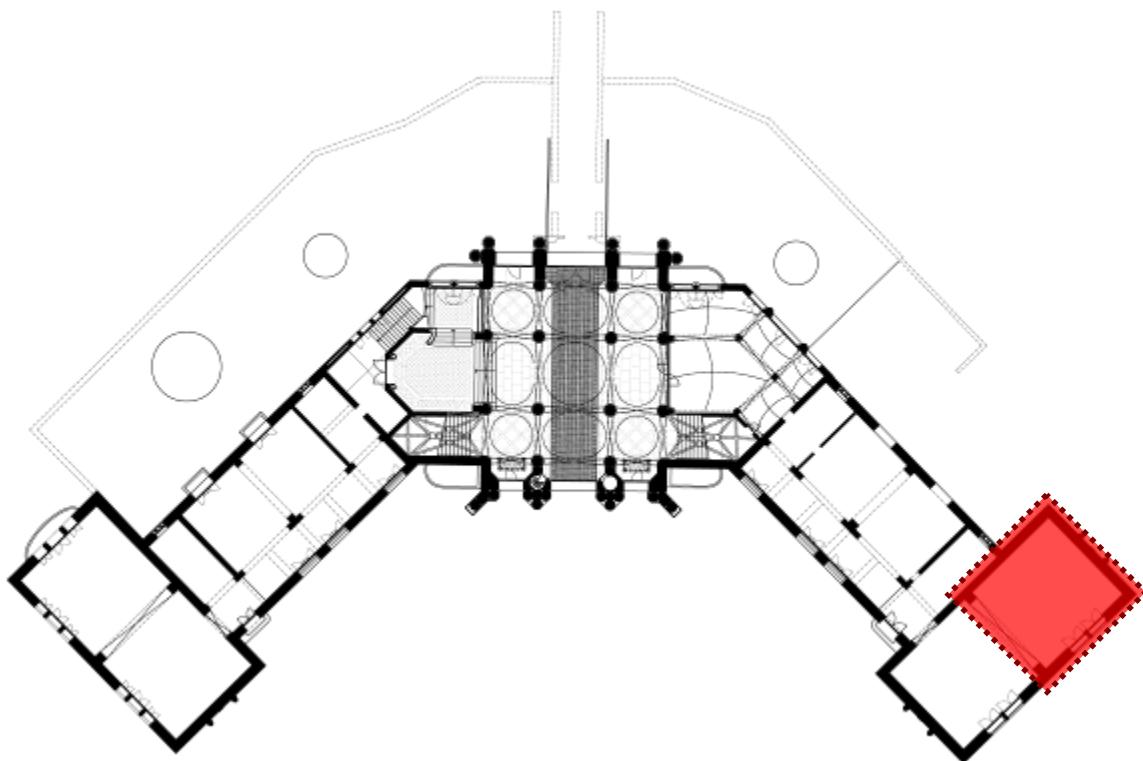


Fig. 262: Situació de la volta Hp-1_V2.

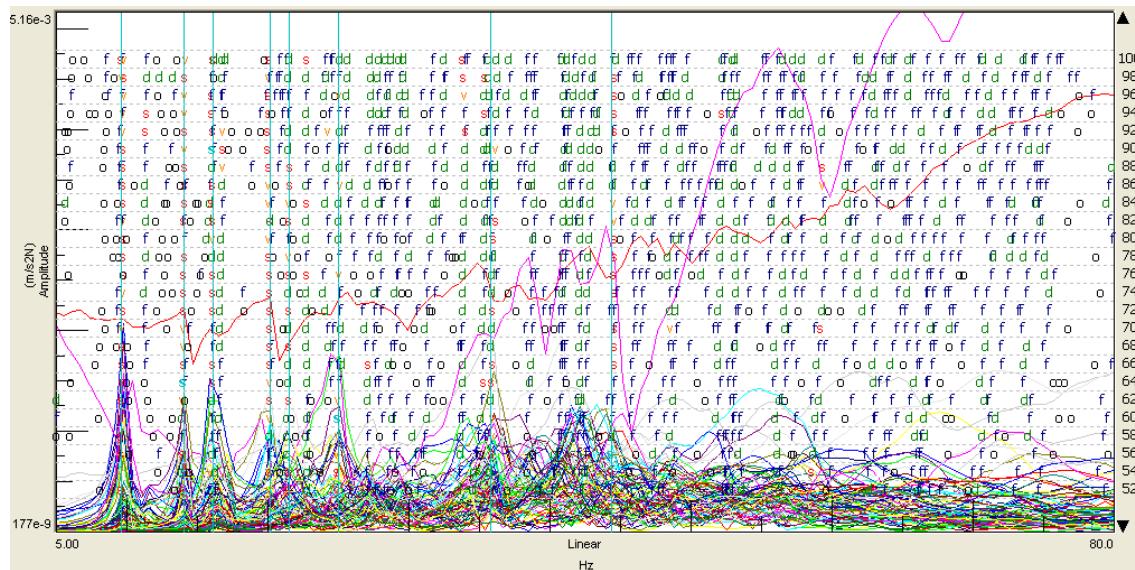


Fig. 263: Gràfica d'estabilització de la volta Hp-1_V2.

6.1.3.1.- Resum de resultats.

A la següent taula (fig.205) es presenta el resum de les freqüències naturals corresponents a cadascuna de les voltes de la família analitzada. A la següent taula es presenten les corresponents al model numèric (fig.206).

Identificació volta voltes grans	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Ap-1_V1	10.558 Hz	14.044 Hz	16.699 Hz	19.494 Hz	23.023 Hz	25.150 Hz	27.972 Hz	35.581 Hz
Ap-1_V2	11.386 Hz	14.514 Hz	16.999 Hz	19.396 Hz	22.846 Hz	25.605 Hz	29.564 Hz	33.768 Hz
Hp-1_V1	11.325 Hz	13.824 Hz	17.625 Hz	26.012 Hz	32.303 Hz	37.685 Hz		
Hp-1_V2	9.602 Hz	13.996 Hz	16.068 Hz	20.143 Hz	21.462 Hz	24.956 Hz	35.747 Hz	44.377 Hz

Fig. 264: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTA GRAN										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
SC_can		4,003 Hz	4,007 Hz	4,375 Hz	6,355 Hz	6,605 Hz	6,647 Hz	6,653 Hz	7,118 Hz	8,890 Hz	10,737 Hz
SC_vor-art		8,660 Hz	8,758 Hz	8,760 Hz	9,835 Hz	11,954 Hz	12,933 Hz	13,845 Hz	13,849 Hz	17,537 Hz	17,551 Hz
SC_vor-fix		8,946 Hz	9,442 Hz	9,445 Hz	10,868 Hz	13,080 Hz	14,603 Hz	15,615 Hz	15,631 Hz	19,624 Hz	19,630 Hz
AC_can		3,977 Hz	3,981 Hz	5,087 Hz	5,446 Hz	6,077 Hz	6,691 Hz	6,695 Hz	6,809 Hz	9,125 Hz	10,582 Hz
AC_vor-art		8,693 Hz	8,693 Hz	8,941 Hz	10,167 Hz	12,823 Hz	13,551 Hz	15,222 Hz	15,223 Hz	19,233 Hz	20,504 Hz
AC_vor-fix		9,131 Hz	9,429 Hz	9,430 Hz	11,109 Hz	13,616 Hz	14,464 Hz	16,215 Hz	16,219 Hz	20,288 Hz	21,331 Hz
AE_can		4,738 Hz	5,680 Hz	5,685 Hz	6,831 Hz	10,085 Hz	10,087 Hz	10,734 Hz	11,403 Hz	11,887 Hz	14,048 Hz
AE_vor-art		8,325 Hz	10,845 Hz	10,845 Hz	17,606 Hz	17,709 Hz	18,554 Hz	24,975 Hz	24,975 Hz	27,152 Hz	27,152 Hz
AE_vor-fix		8,367 Hz	11,103 Hz	11,104 Hz	17,833 Hz	17,934 Hz	18,831 Hz	25,324 Hz	25,326 Hz	27,470 Hz	27,471 Hz

Fig. 265: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta gran.

6.1.3.2.- Conclusions parcials relatives a les voltes grans.

Aquesta col·lecció no té prova de càrrega associada, i es desconeix amb la suficient precisió la geometria dels envans interiors. Per tant aquestes conclusions –com la resta de les que trobarem a continuació – tenen un caràcter marcadament qualitatiu. El que es farà es comparar l'homogeneïtat dels resultats i a partir de les observacions efectuades, identificar situacions singulars.

Es detecta en aquest cas, una clara situació de recolzament continu en el perímetre. Tal com es pot veure en els models numèrics, la discussió de si la volta és assimilable a un encastrement o a una articula-les-hi és completament innòcua, ja que aquest fet no té conseqüències en el resultat final.

En aquest cas, les freqüències coincidents es troben als voltants dels 11 i els 17 Hz.

S'ha simulat en el model així validat, una càrrega de 3.00 KN/m². El resultat a nivell de deformació i de tensions, ha estat el següent:

6.1.4.- Quarta família: voltes restants.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Ap1_V1

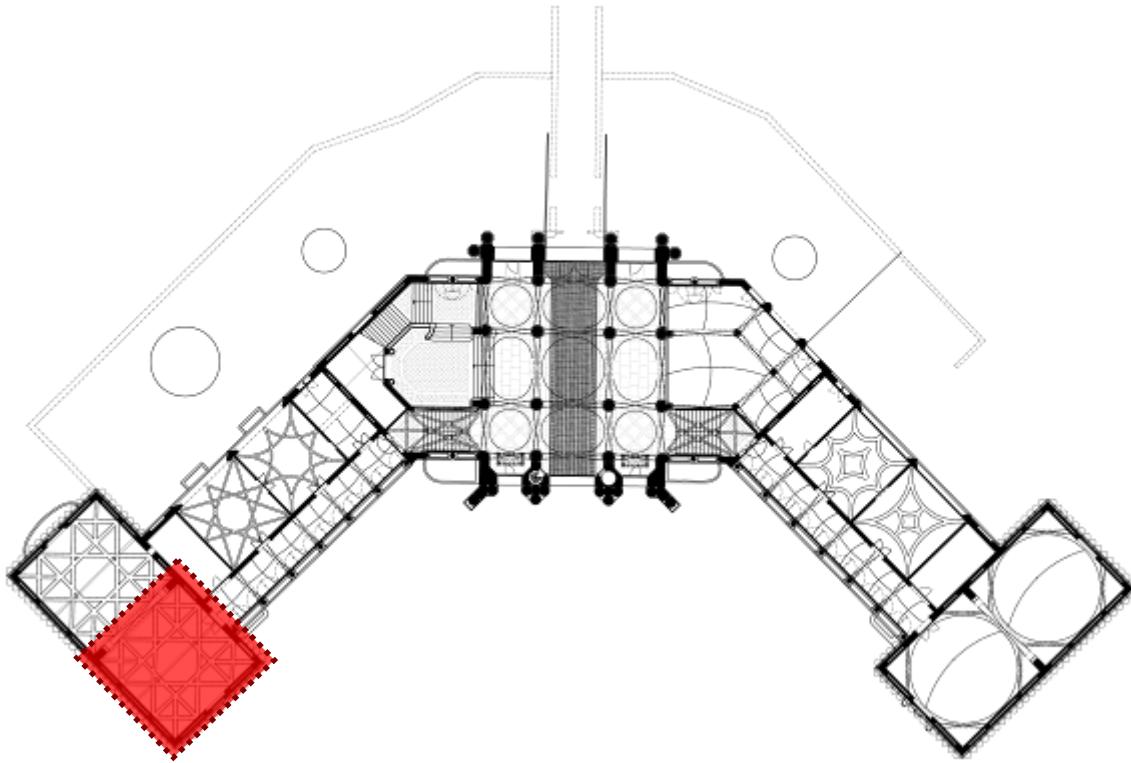


Fig. 266: Situació de la volta Ap1_V1.

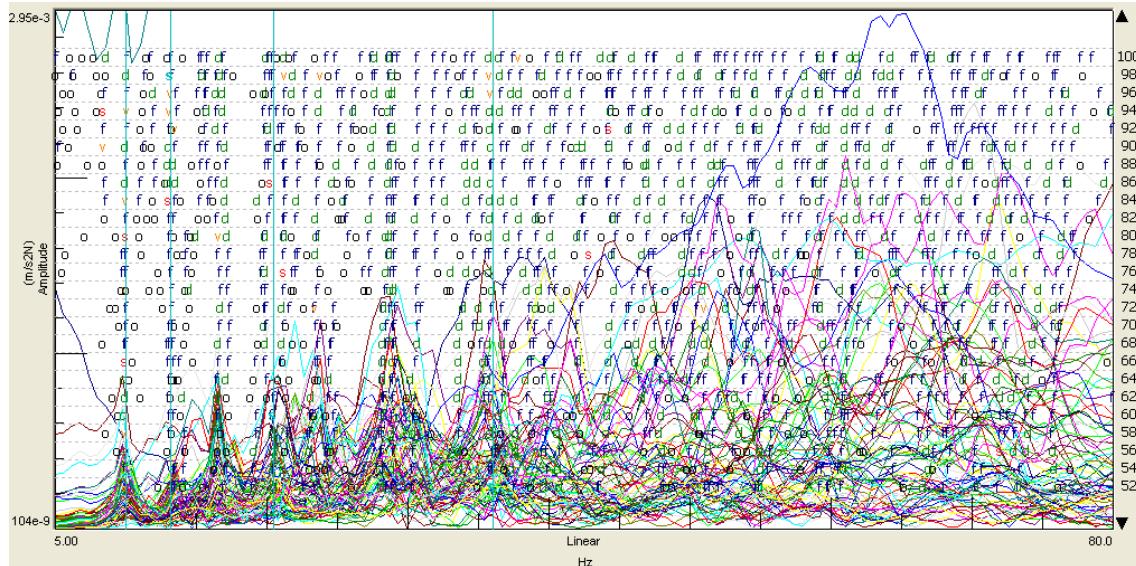


Fig. 267: Gràfica d'estabilització de la volta Ap1_V1.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Ap1_V2

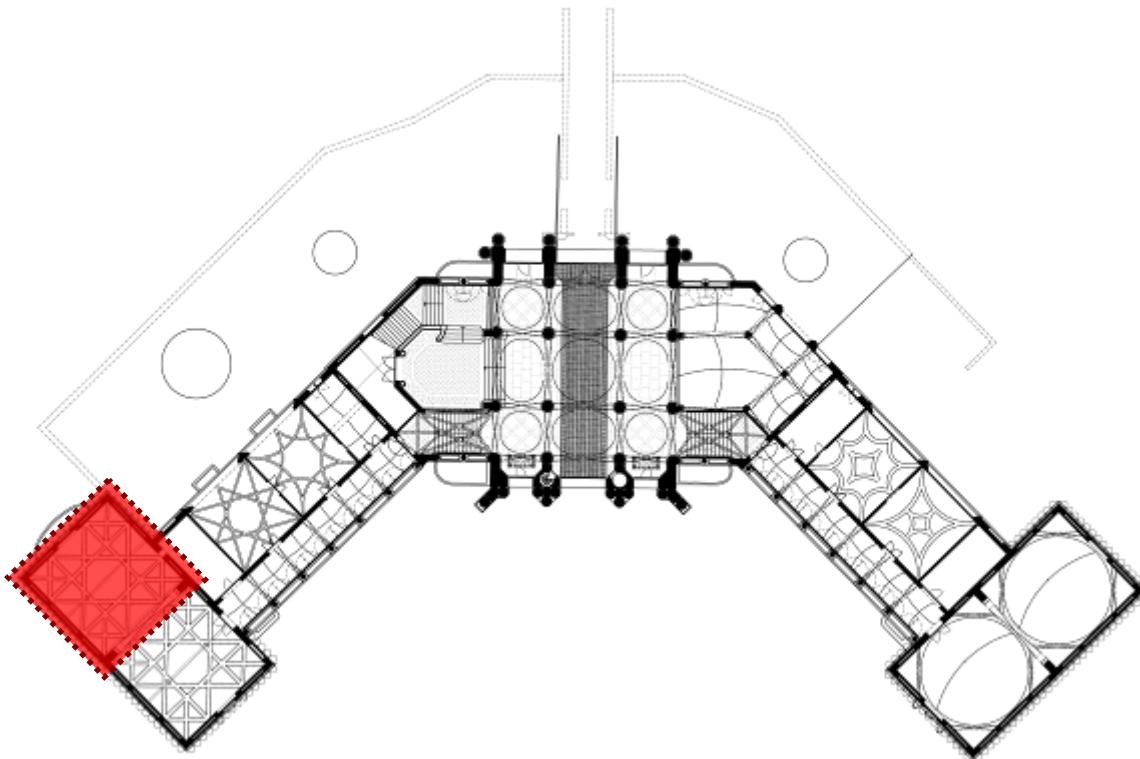


Fig. 268: Situació de la volta Ap1_V2.

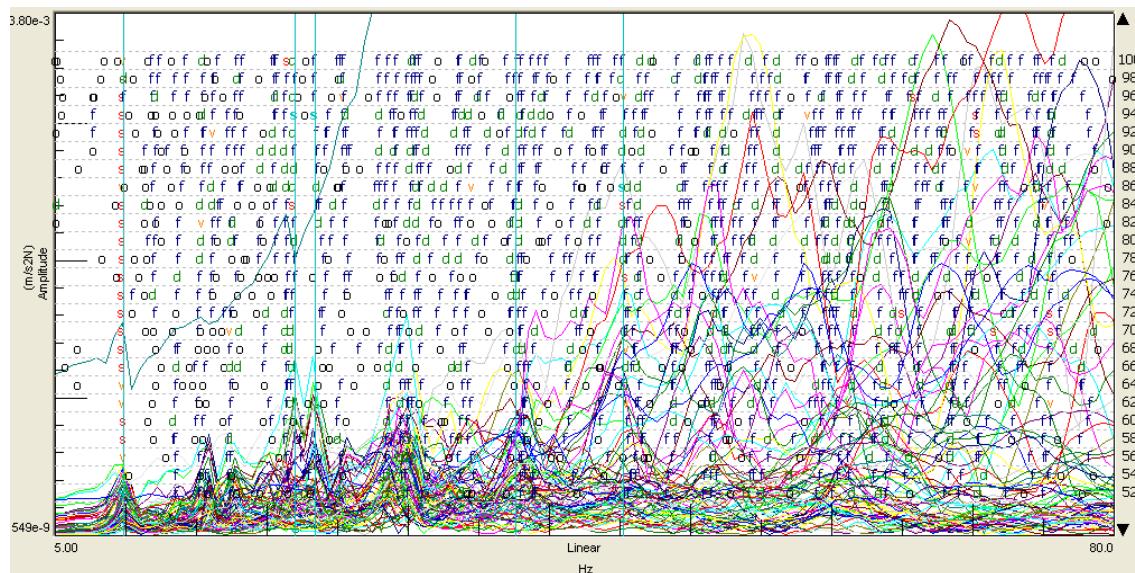


Fig. 269: Gràfica d'estabilització de la volta Ap1_V2.

Identificació volta A - planta primera	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Ap1_V1	9.985 Hz	13.116 Hz	20.446 Hz	35.990 Hz				
Ap1_V2	9.787 Hz	21.933 Hz	23.391 Hz	37.611 Hz	45.205 Hz			

Fig. 270: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

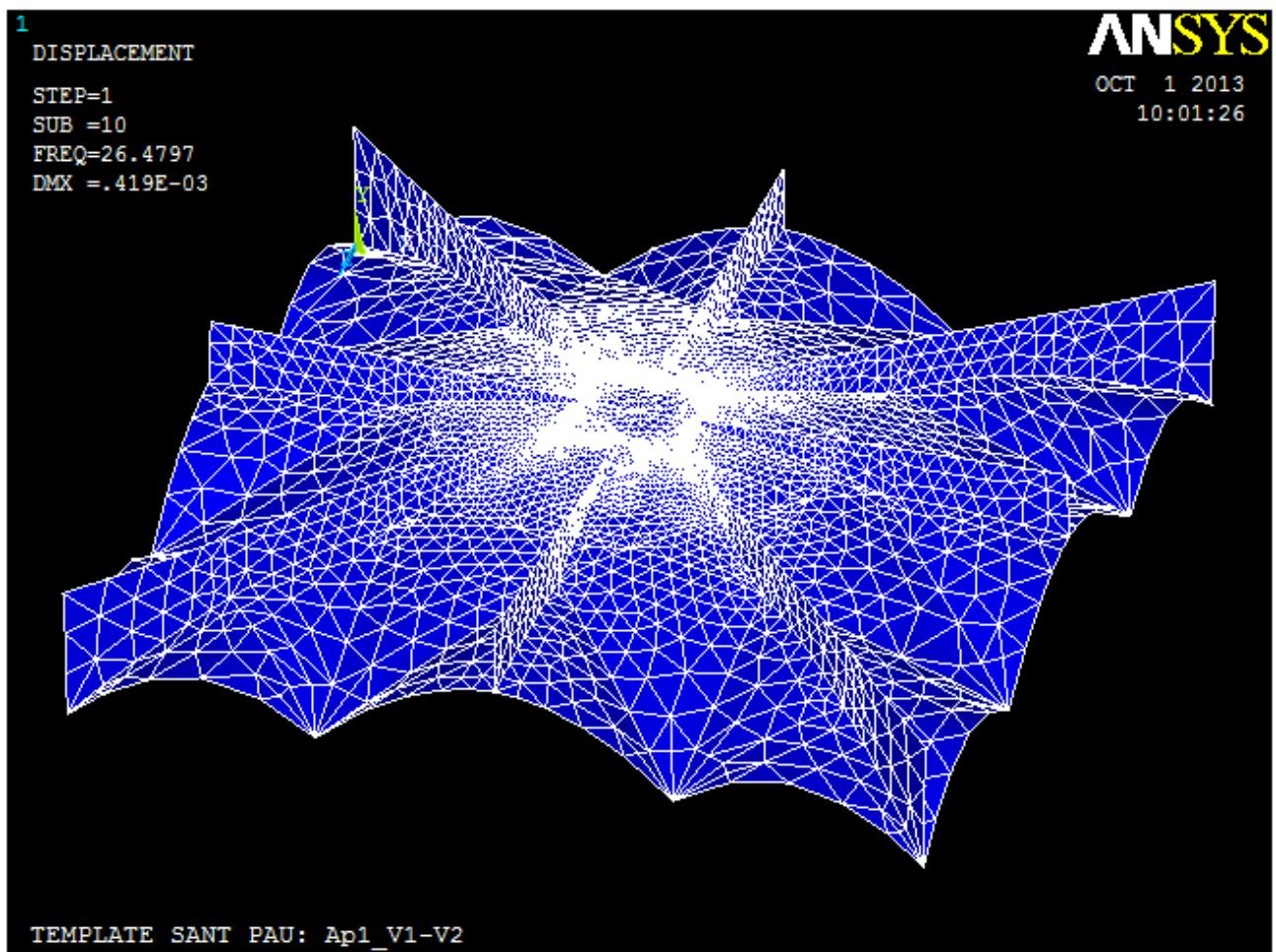


Fig. 271: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Ap1_V1-V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Ap1									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	2.544 Hz	3.635 Hz	3.671 Hz	4.966 Hz	6.476 Hz	7.039 Hz	7.108 Hz	8.619 Hz	9.034 Hz	10.146 Hz

Fig. 272: Taula de freqüències extrems del programa ANSYS de la volta Ap1_V1-V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Hp1_V1

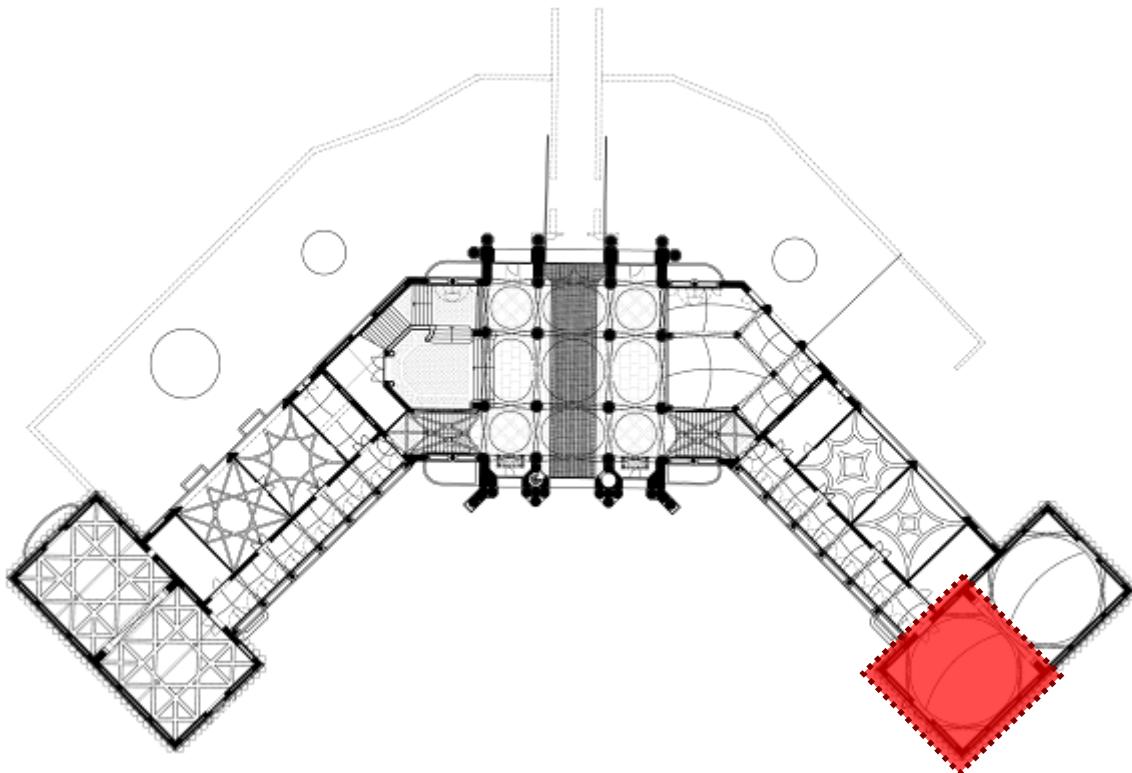


Fig. 273: Situació de la volta Hp1_V1.

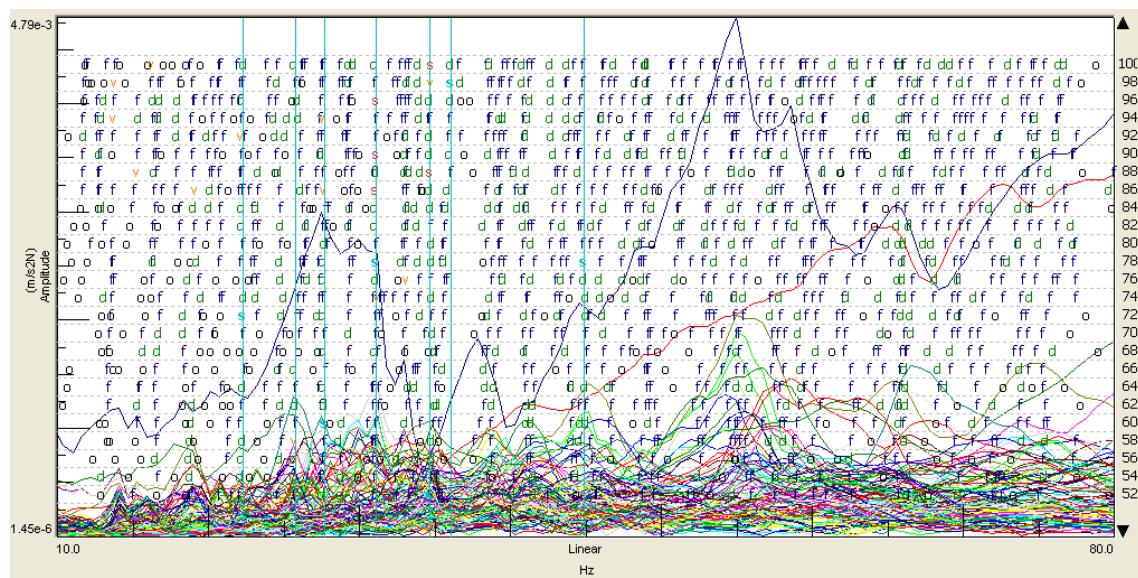


Fig. 274: Gràfica d'estabilització de la volta Hp1_V1.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Hp1_V2

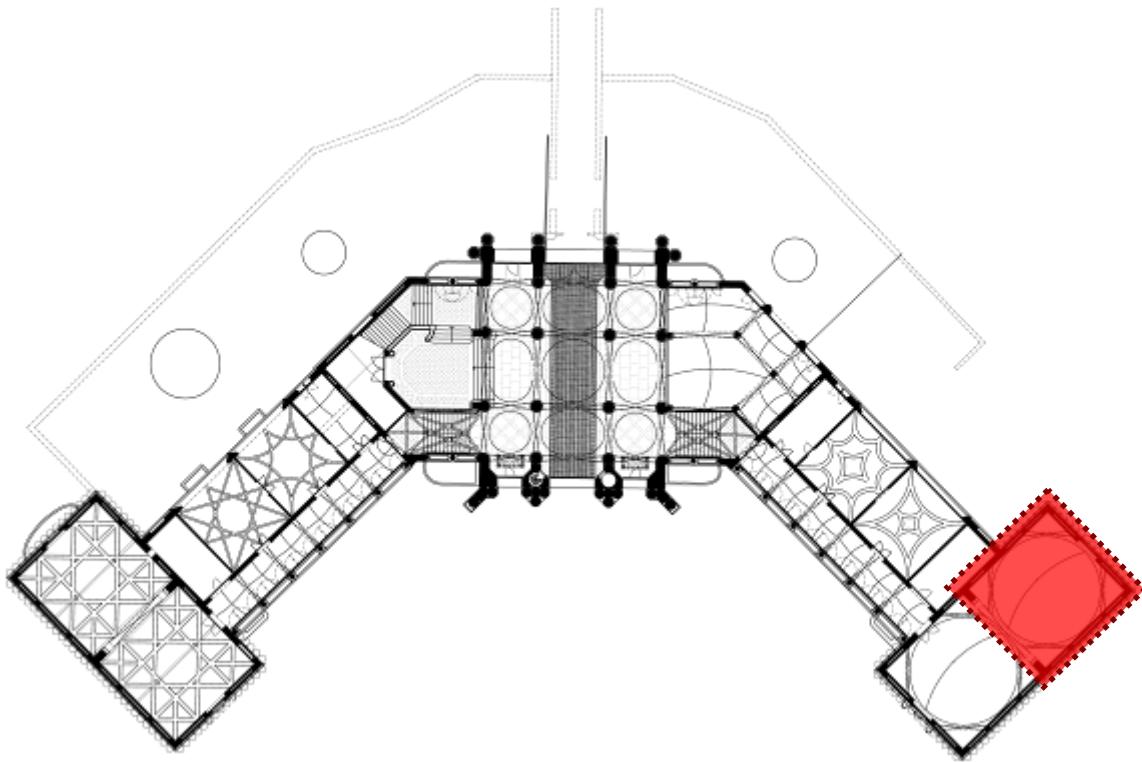


Fig. 275: Situació de la volta Hp1_V2.

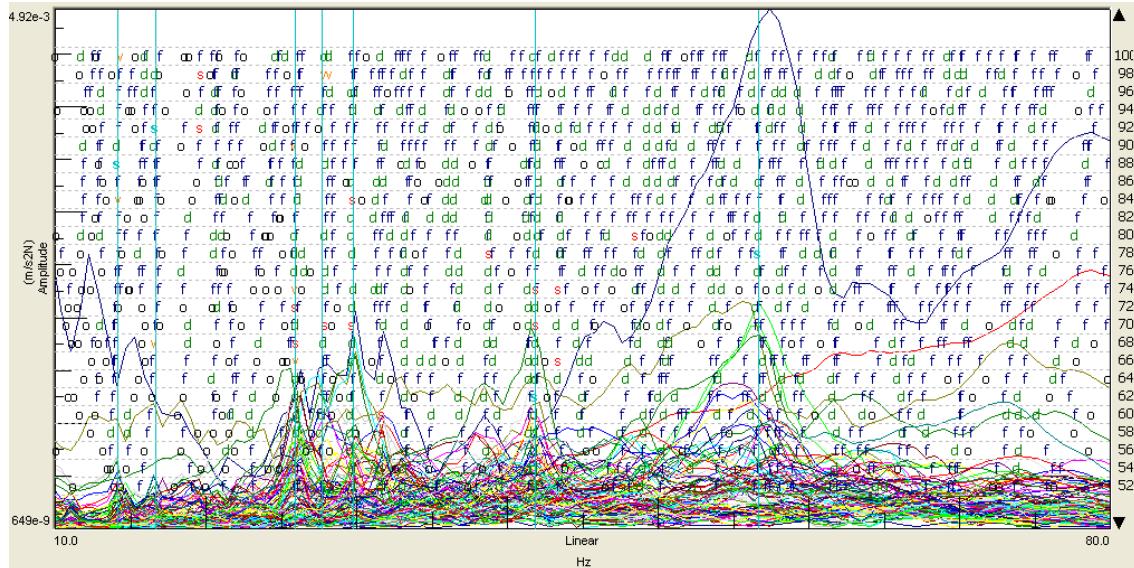


Fig. 276: Gràfica d'estabilització de la volta Hp1_V2.

Identificació volta H - planta primera	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Hp1_V1	22.307 Hz	25.782 Hz	27.659 Hz	31.121 Hz	34.673 Hz	36.026 Hz	44.877 Hz	
Hp1_V2	14.148 Hz	16.641 Hz	25.907 Hz	27.653 Hz	29.789 Hz	41.851 Hz	56.663 Hz	

Fig. 277: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

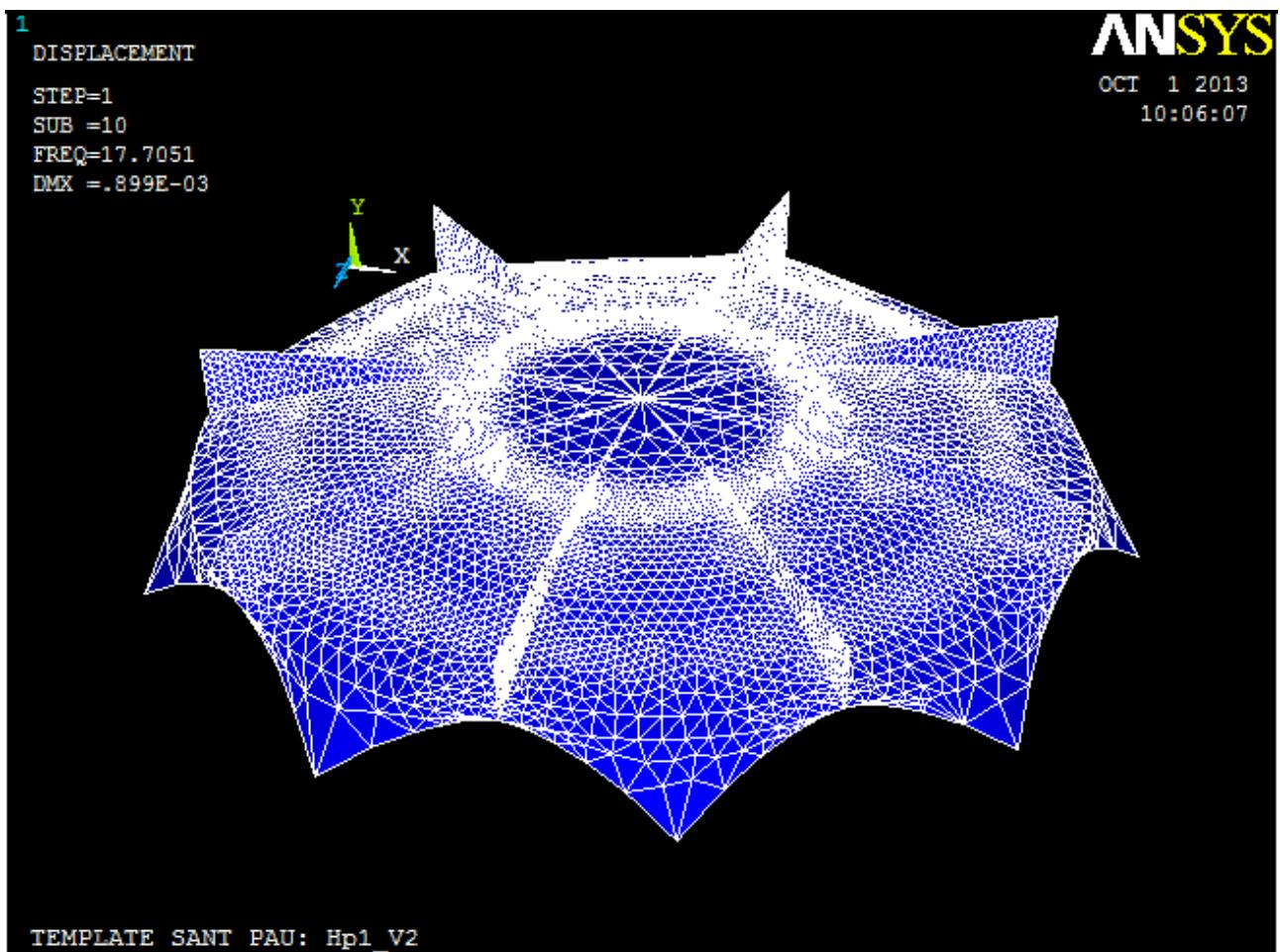


Fig. 278: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Hp1_V1-V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Hp1									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	8.444 Hz	9.517 Hz	9.619 Hz	12.021 Hz	12.310 Hz	13.884 Hz	14.016 Hz	16.990 Hz	17.621 Hz	17.708 Hz

Fig. 279: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Hp1_V1-V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V1

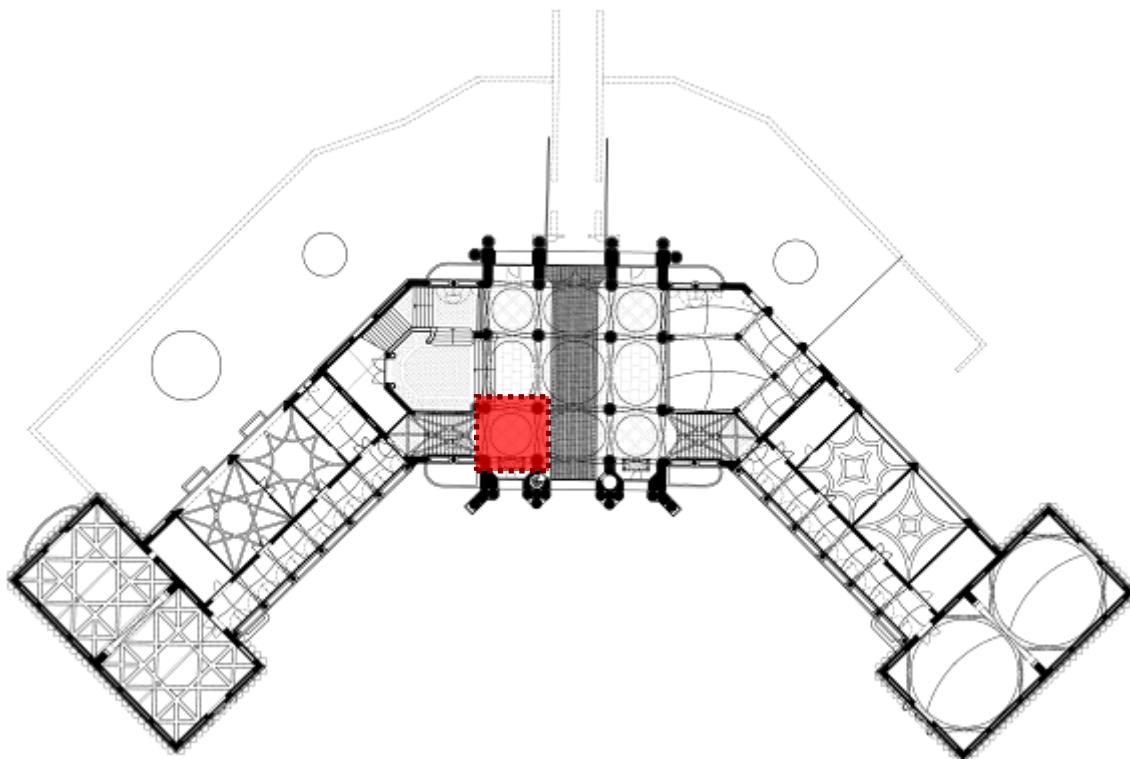


Fig. 280: Situació de la volta Dp0_V1.

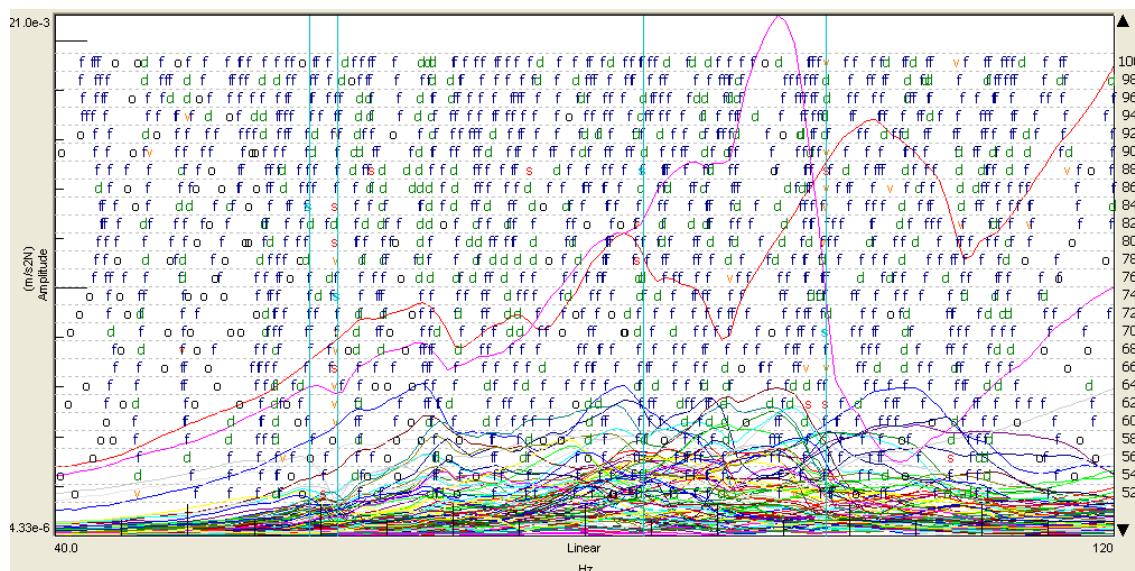


Fig. 281: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V1.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V7

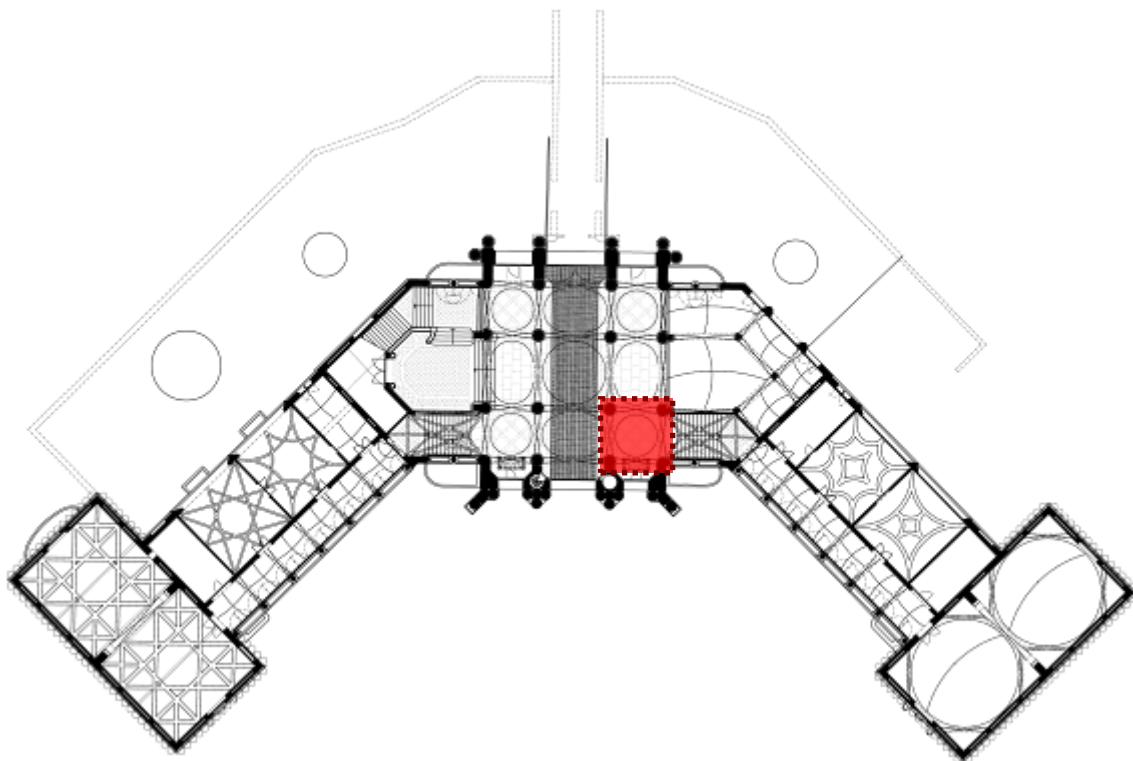


Fig. 282: Situació de la volta Dp0_V7.

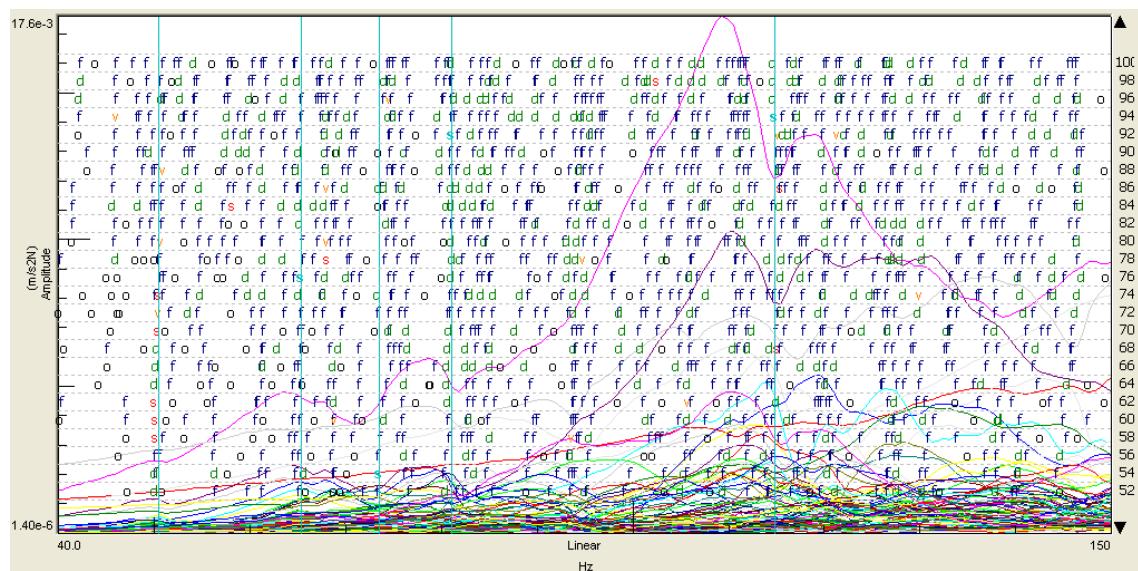


Fig. 283: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V7.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V9

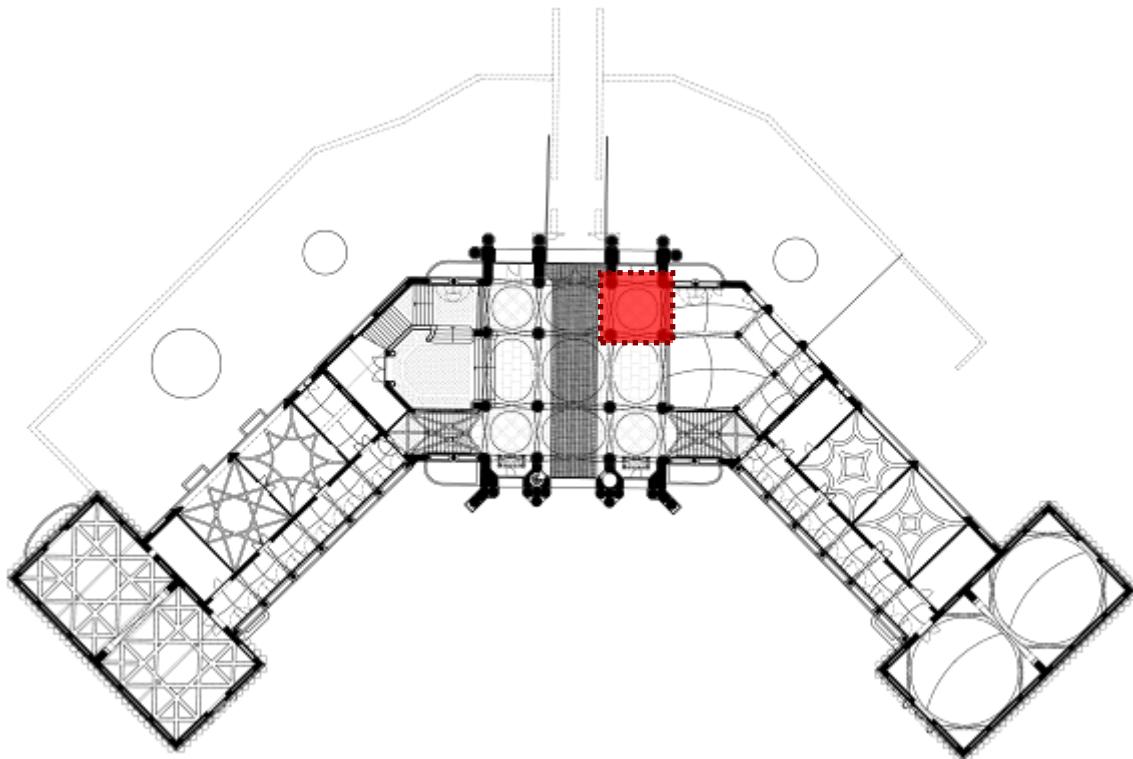


Fig. 284: Situació de la volta Dp0_V9.

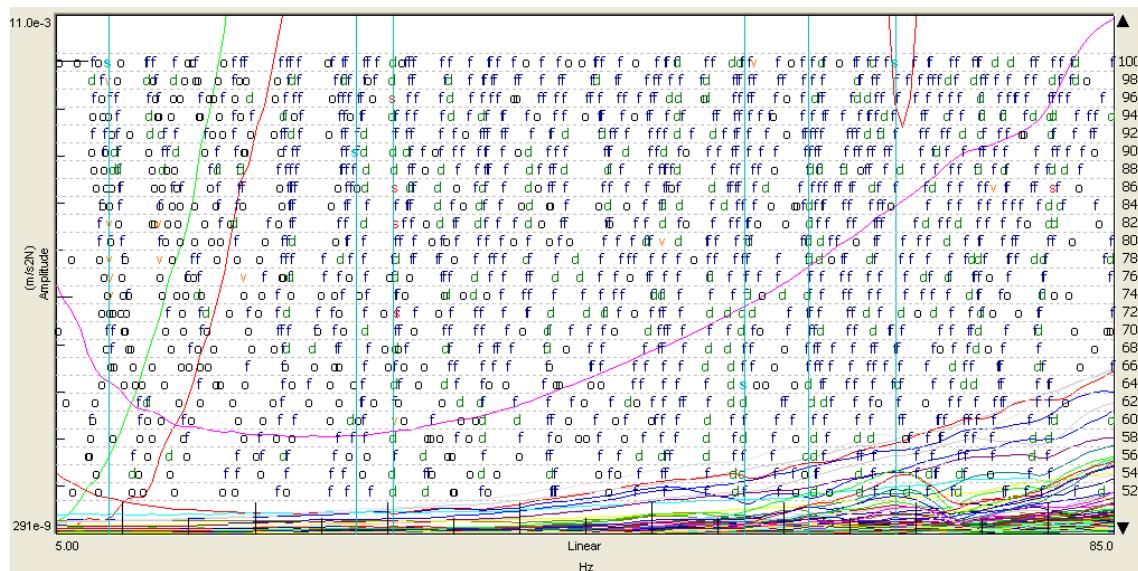


Fig. 285: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V9.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V1	59.231 Hz	61.342 Hz	84.410 Hz	98.236 Hz				
Dp0_V7	50.447 Hz	65.392 Hz	73.537 Hz	81.067 Hz	114.820 Hz			
Dp0_V9	8.922 Hz	27.637 Hz	30.436 Hz	57.048 Hz	61.861 Hz	68.483 Hz		

Fig. 286: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

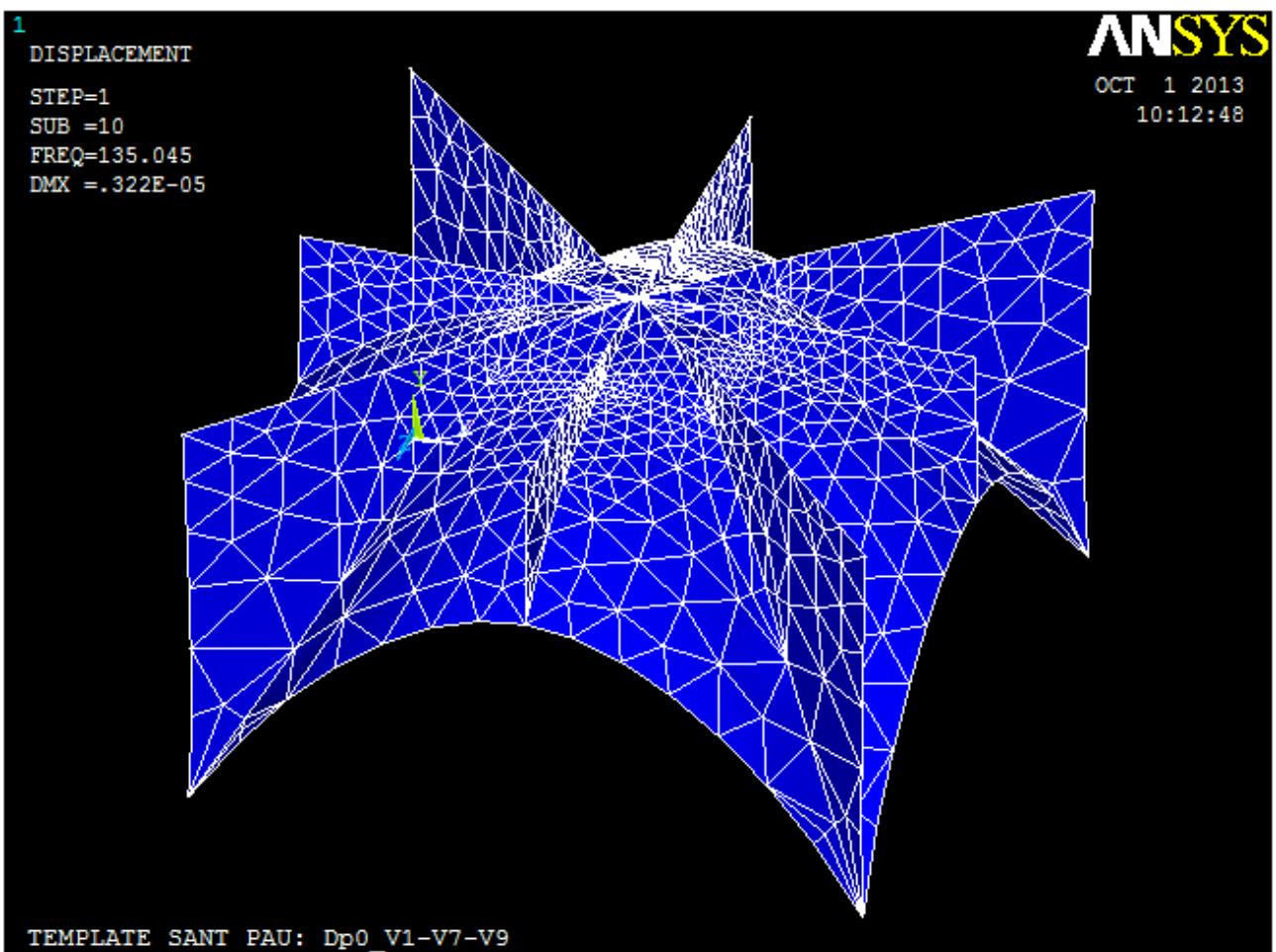


Fig. 287: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V1-V7-V9.

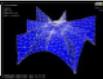
CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V1-V7-V9										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
AC_can		19.910 Hz	20.641 Hz	20.710 Hz	27.023 Hz	31.816 Hz	31.926 Hz	47.367 Hz	48.107 Hz	50.382 Hz	51.719 Hz

Fig. 288: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V1-V7-V9.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V2

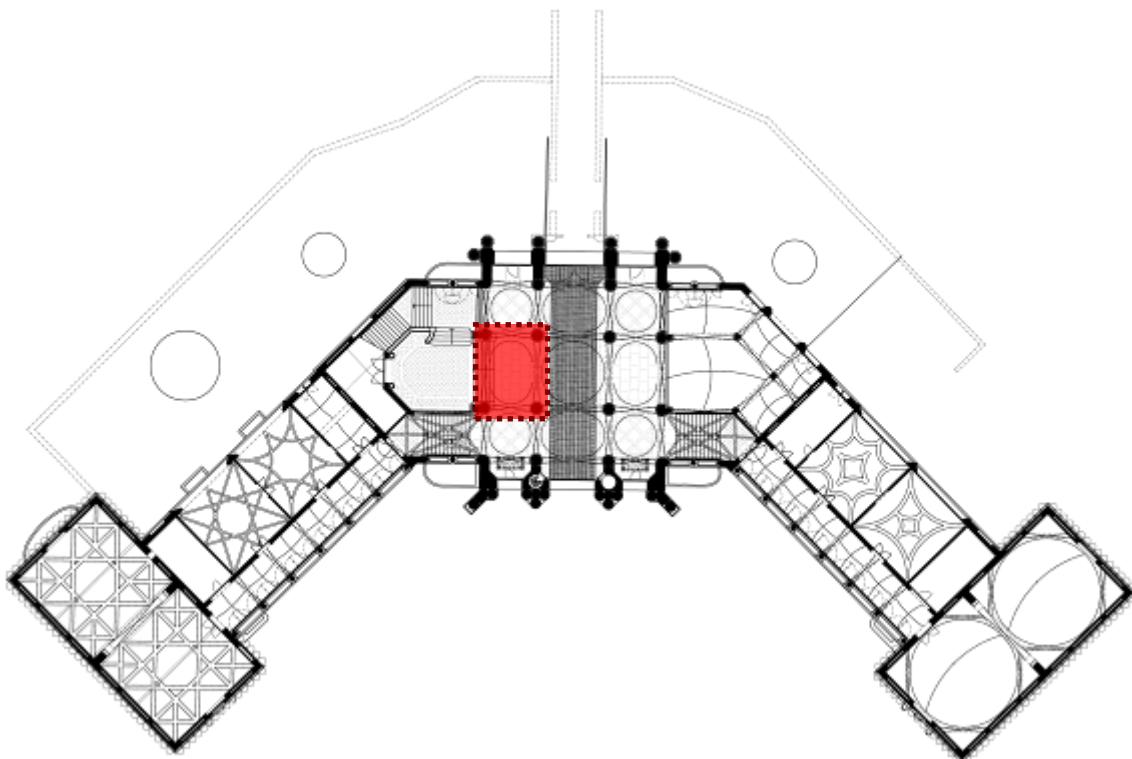


Fig. 289: Situació de la volta Dp0_V2.

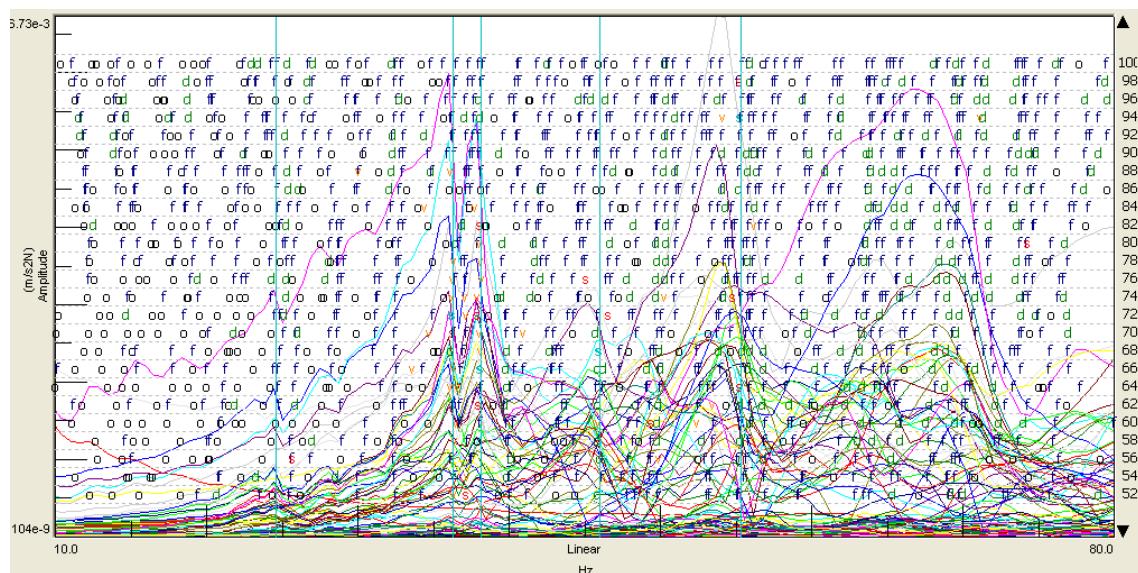


Fig. 290: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V2.

identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V2	24.593 Hz	36.253 Hz	38.127 Hz	45.973 Hz	55.295 Hz			

Fig. 291: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

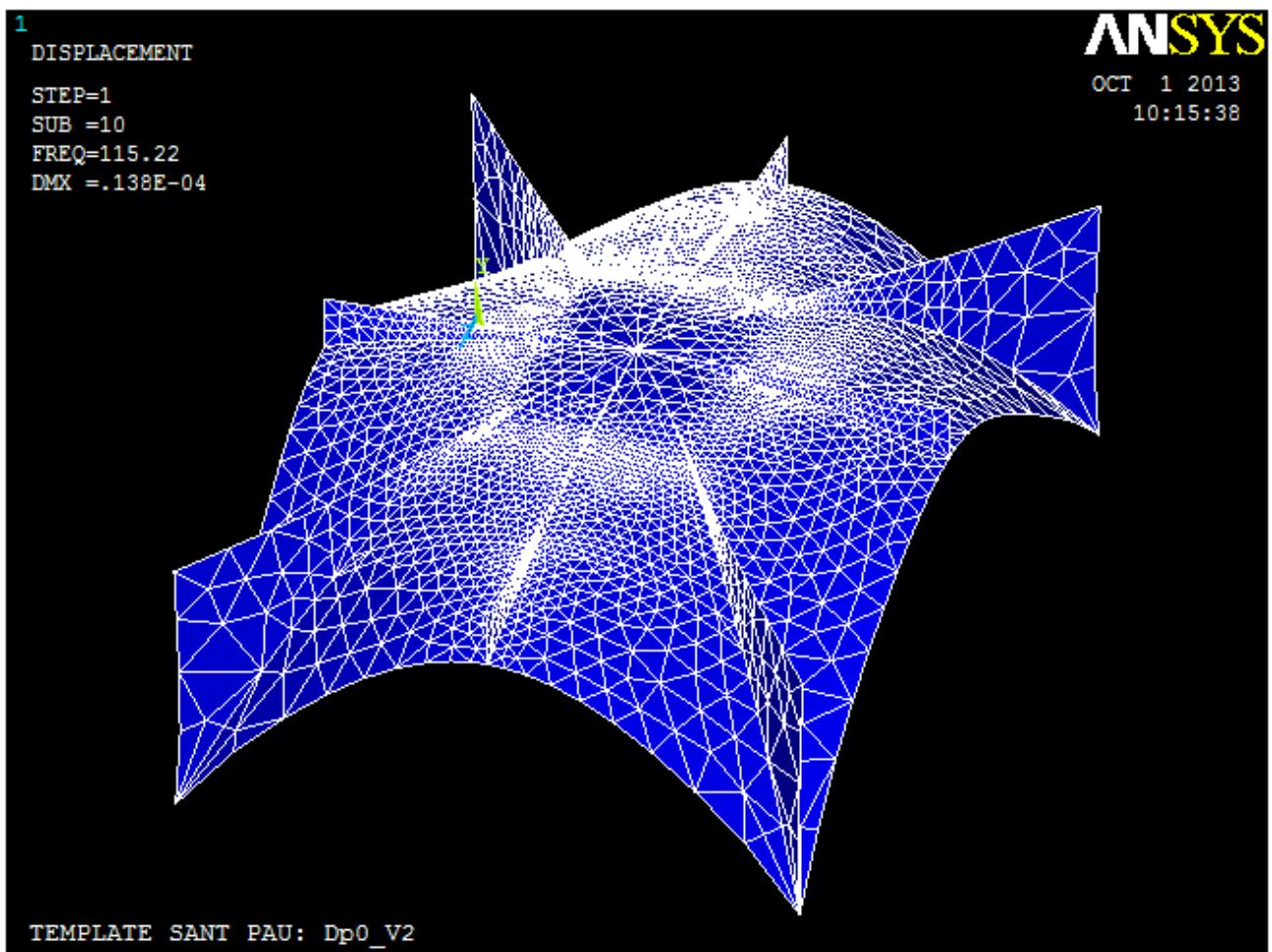


Fig. 292: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V2									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	14.427 Hz	15.783 Hz	19.681 Hz	26.286 Hz	32.412 Hz	36.344 Hz	39.528 Hz	40.078 Hz	43.640 Hz	44.128 Hz

Fig. 293: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V3

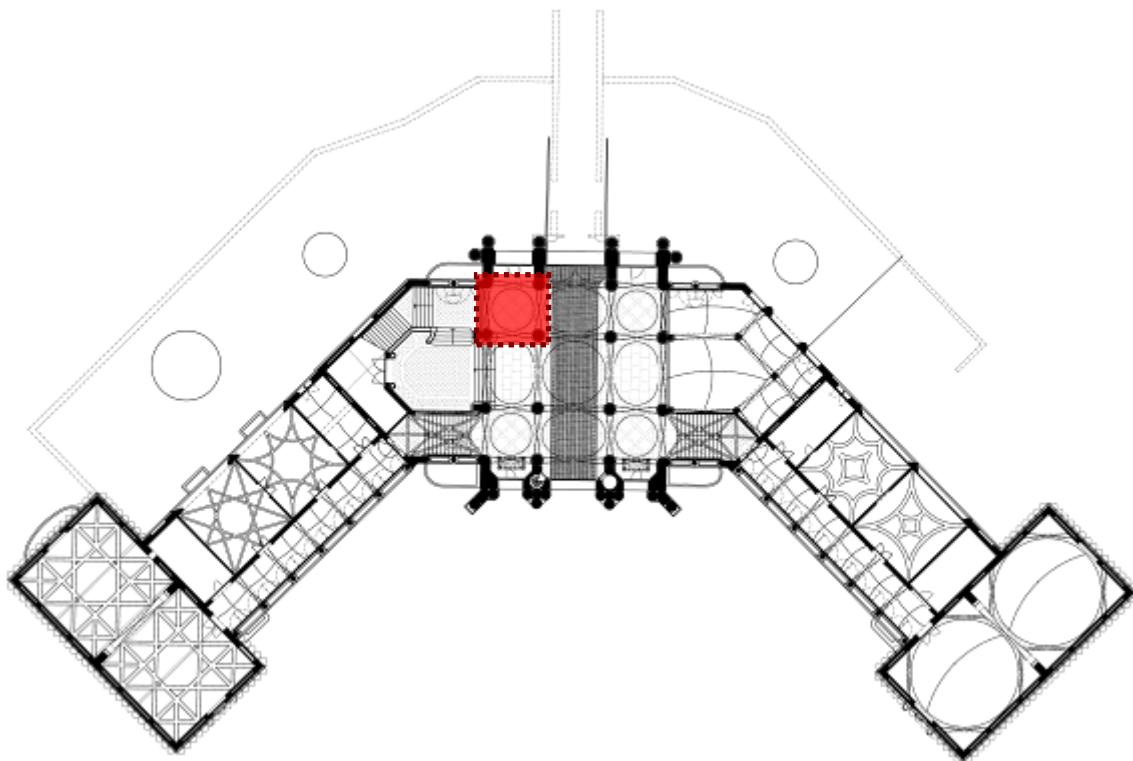


Fig. 294: Situació de la volta Dp0_V3.

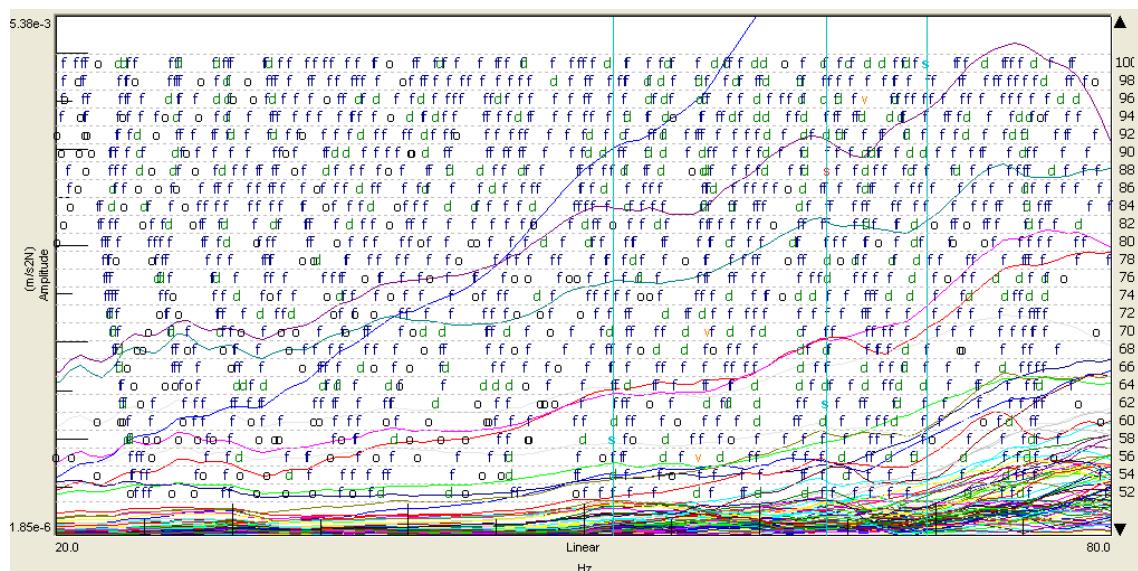


Fig. 295: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V3.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència Hz	2a Freqüència Hz	3a Freqüència Hz	4a Freqüència Hz	5a Freqüència Hz	6a Freqüència Hz	7a Freqüència Hz	8a Freqüència Hz
Dp0_V3	51.680	63.790	69.496					

Fig. 296: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

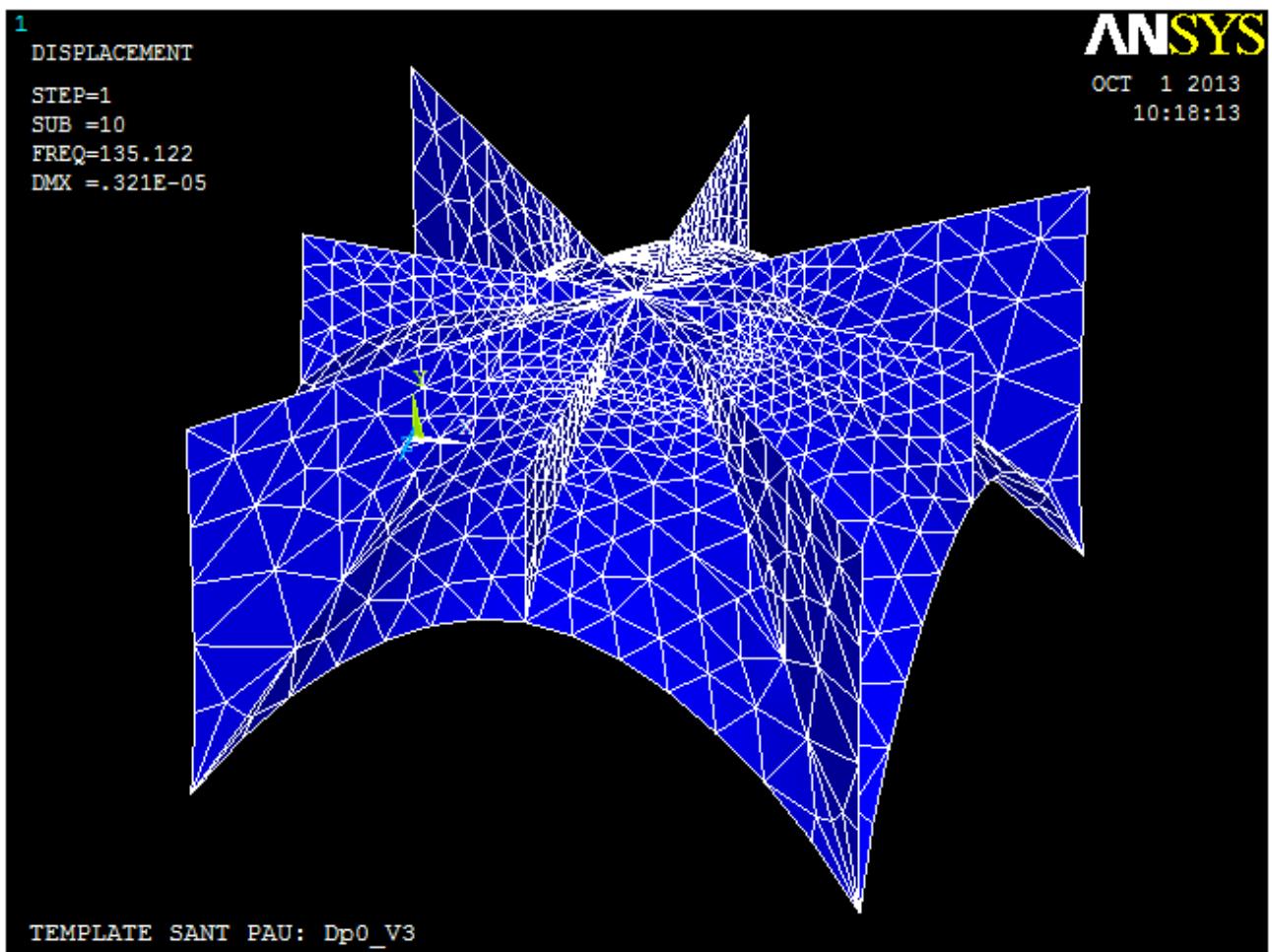


Fig. 297: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V3.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V3									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	19.753 Hz	20.635 Hz	20.645 Hz	26.672 Hz	31.658 Hz	31.687 Hz	47.035 Hz	47.883 Hz	50.371 Hz	51.748 Hz

Fig. 298: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V3.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V4

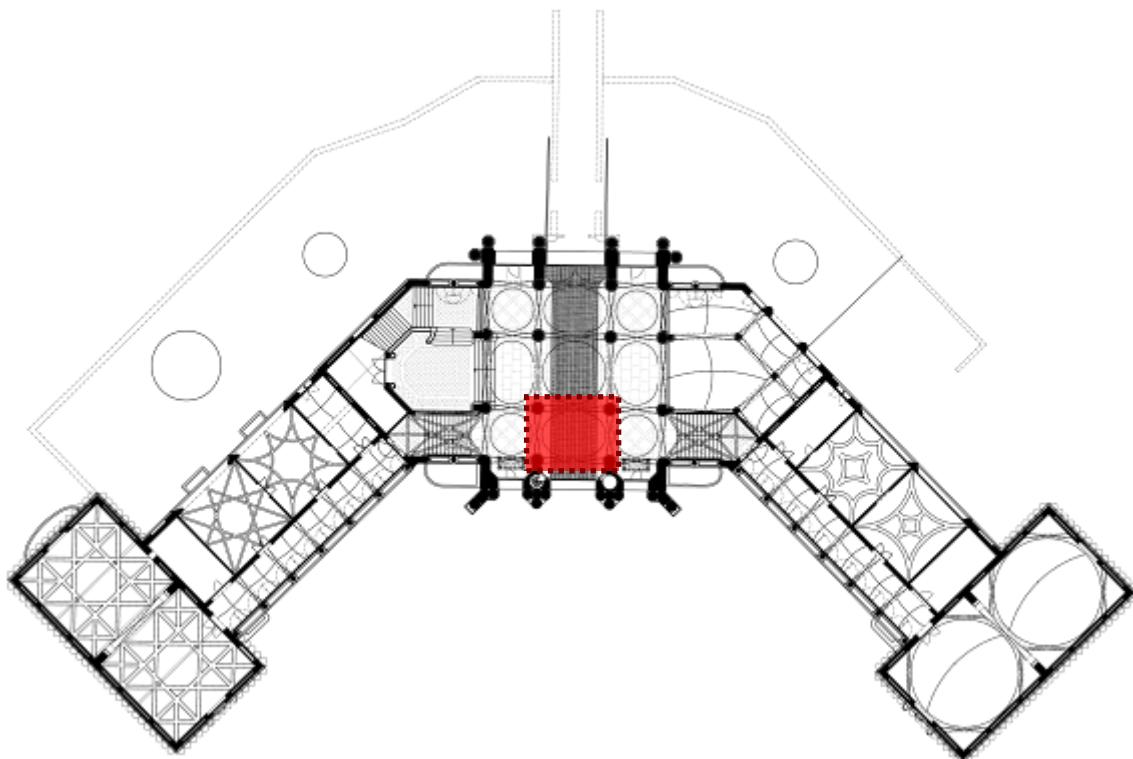


Fig. 299: Situació de la volta Dp0_V4.

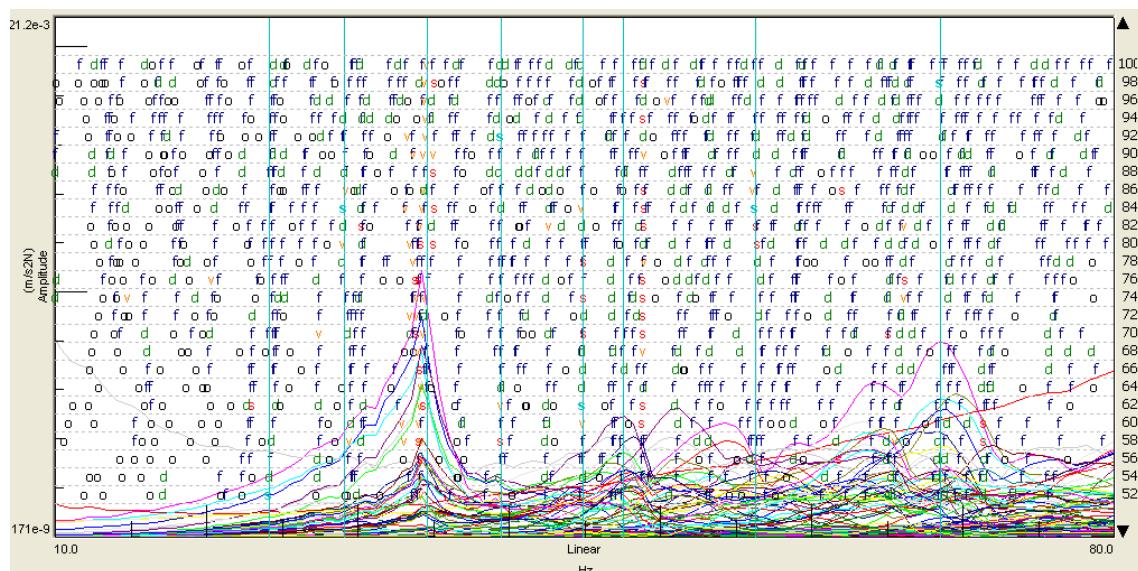


Fig. 300: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V4.

Identificació volta	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V4	24.143 Hz	29.066 Hz	34.595 Hz	39.429 Hz	44.907 Hz	47.545 Hz	56.289 Hz	68.506 Hz

Fig. 301: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

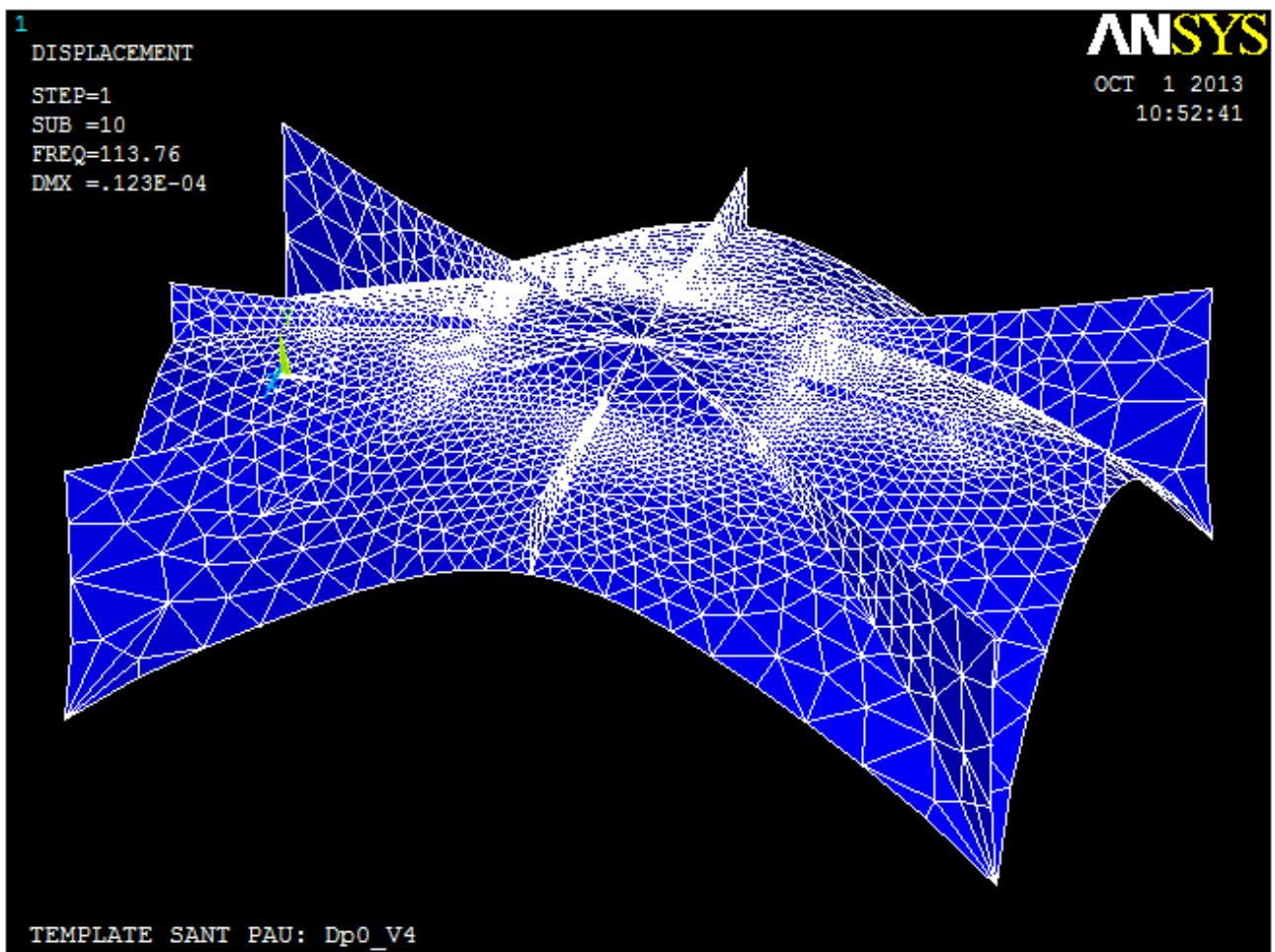


Fig. 302: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V4.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V4									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	14.955 Hz	15.911 Hz	19.285 Hz	27.406 Hz	32.766 Hz	34.907 Hz	37.646 Hz	38.218 Hz	43.072 Hz	43.596 Hz

Fig. 303: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V4.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V5

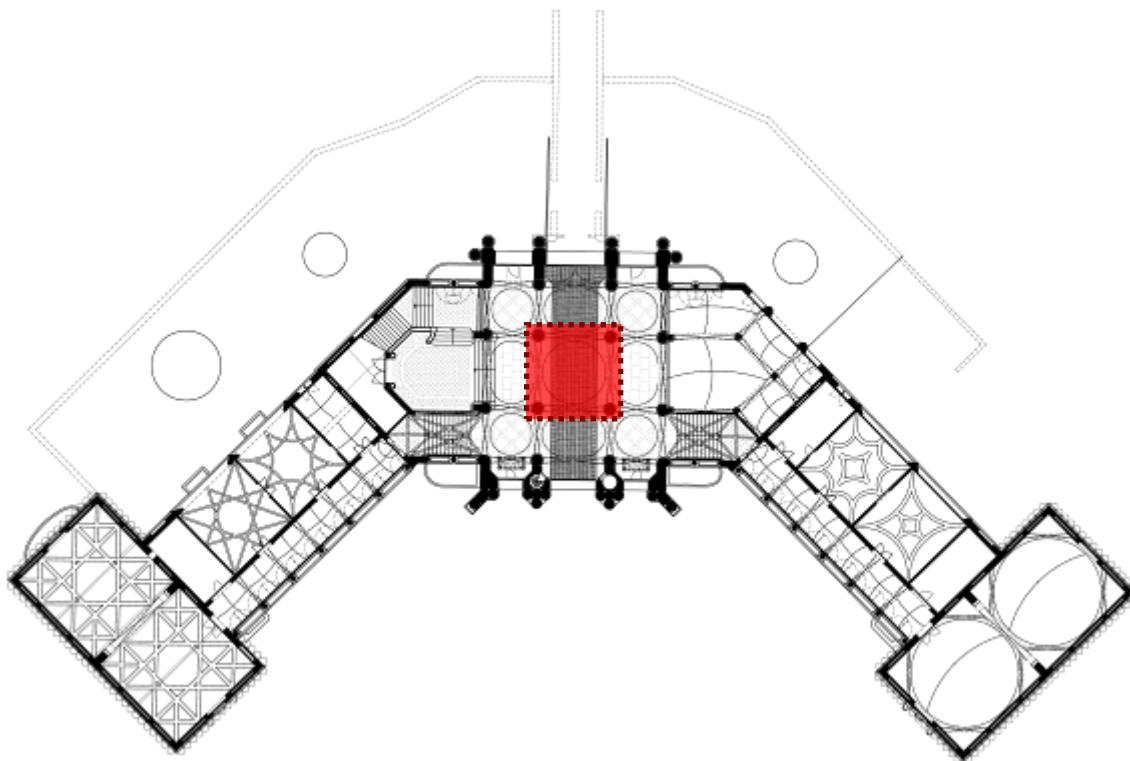


Fig. 304: Situació de la volta Dp0_V5.

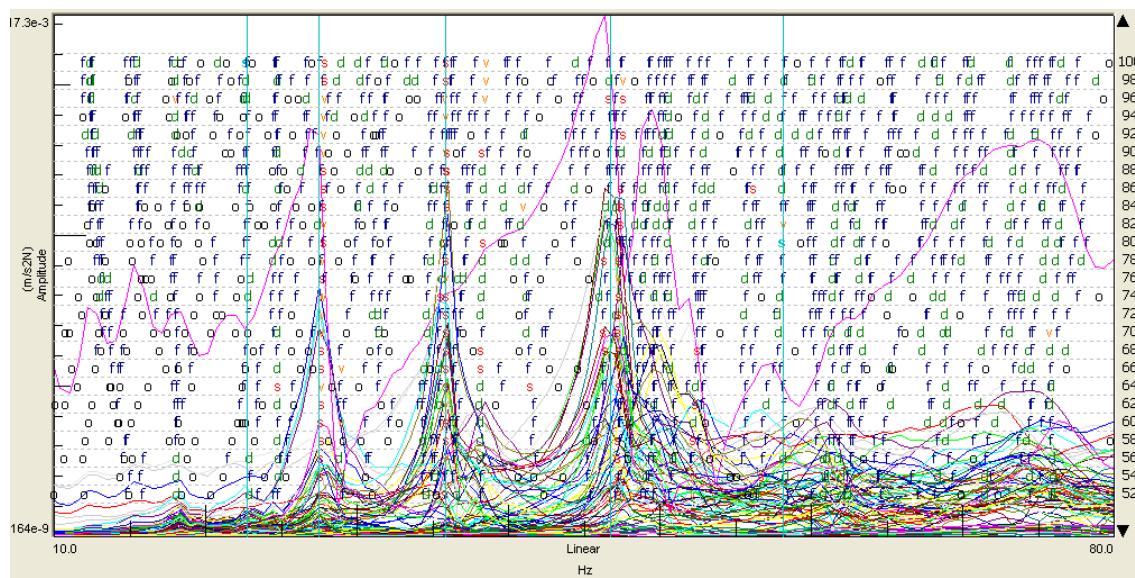


Fig. 305: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V5.

identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V5	22.692 Hz	27.493 Hz	35.801 Hz	46.737 Hz	58.139 Hz			

Fig. 306: Taula de freqüències extrems del programa TestLab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

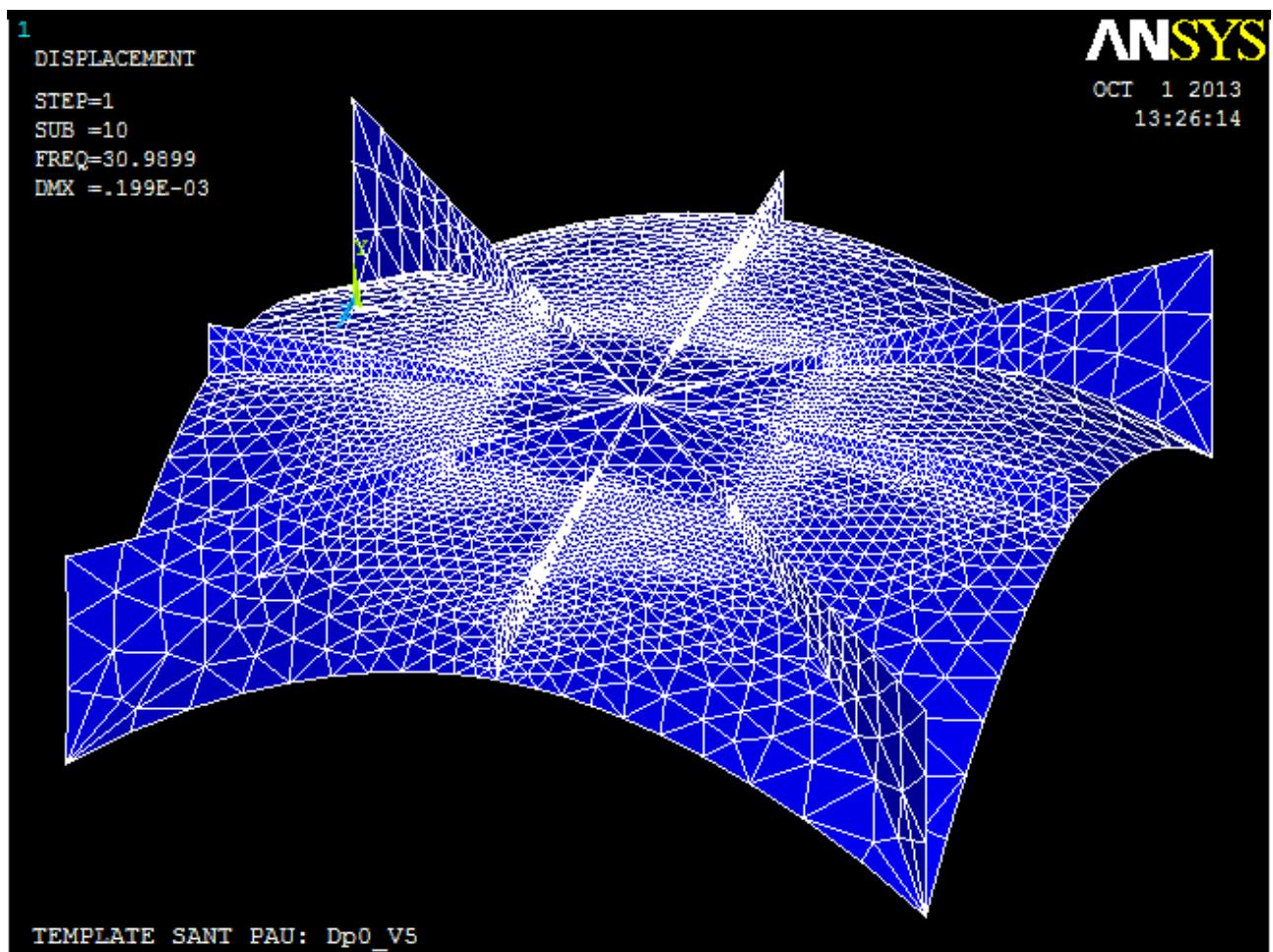


Fig. 307: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V5.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Dp0_V5									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	11.155 Hz	11.221 Hz	14.352 Hz	18.387 Hz	23.139 Hz	24.757 Hz	25.386 Hz	30.585 Hz	30.798 Hz	30.990 Hz

Fig. 308: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V5.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V6

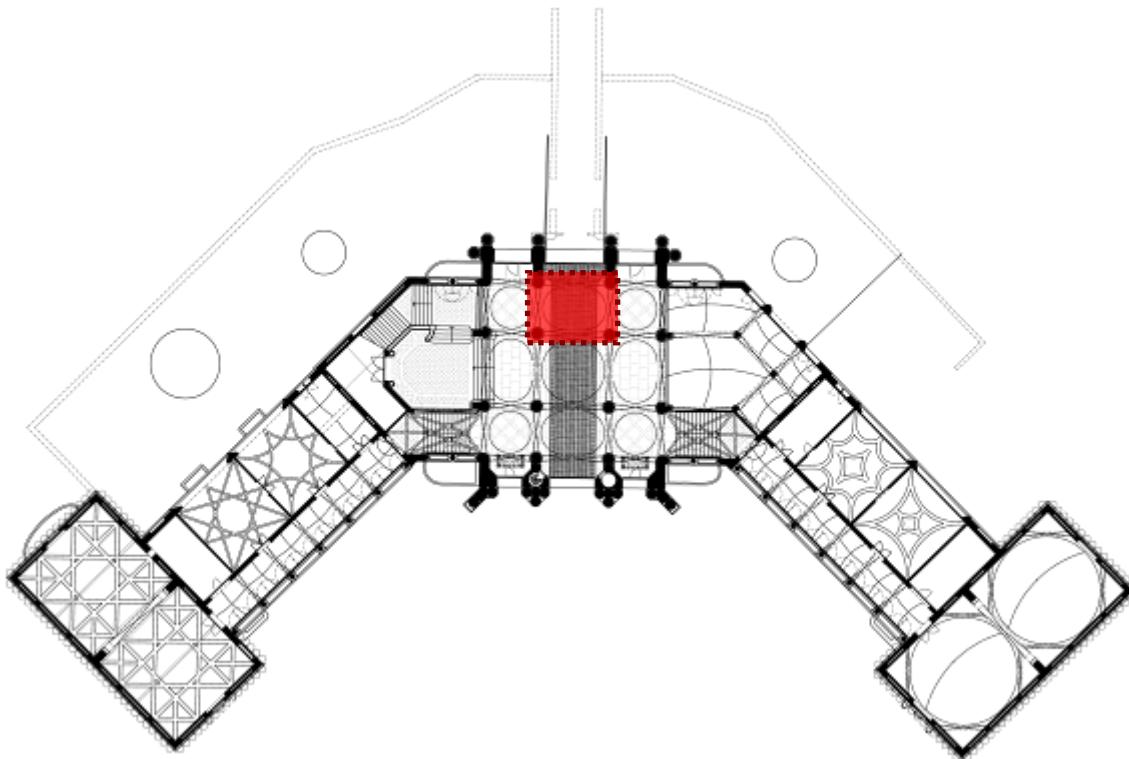


Fig. 309: Situació de la volta Dp0_V6.

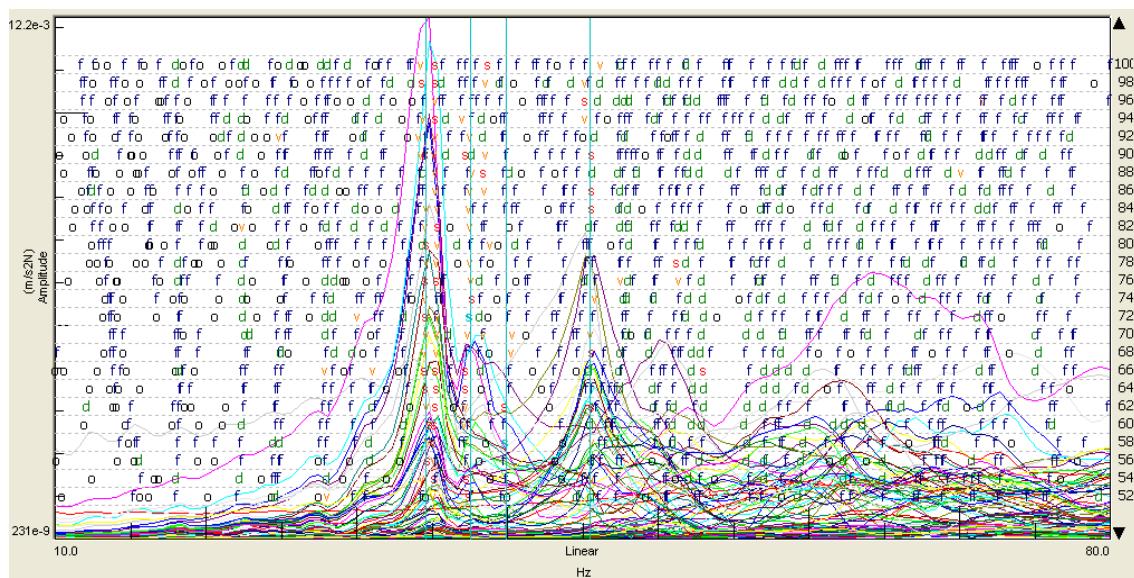


Fig. 310: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V6.

identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V6	34.579 Hz	37.503 Hz	39.877 Hz	45.454 Hz				

Fig. 311: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

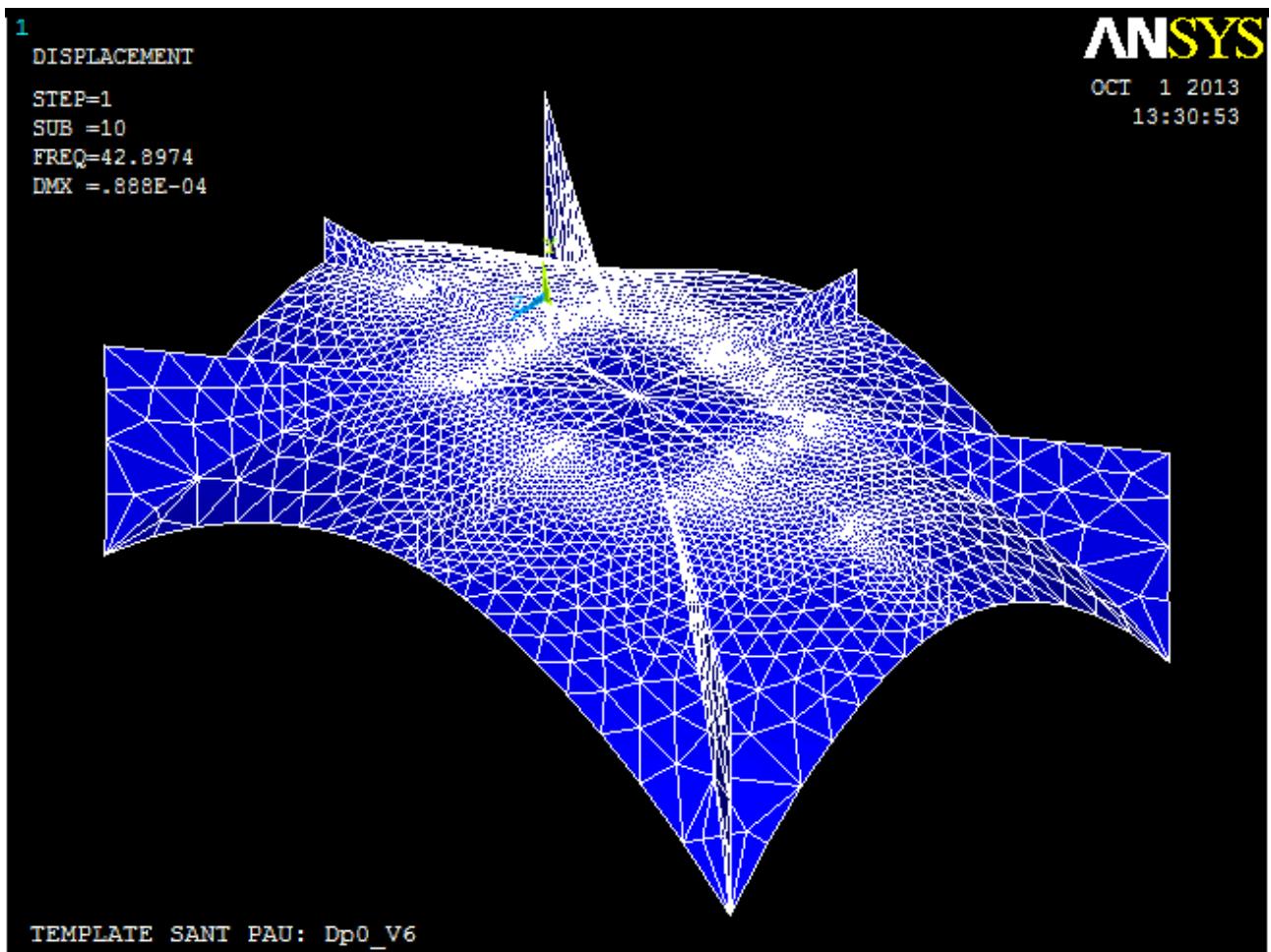


Fig. 312: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V6.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Dp0_V6									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	14.913 Hz	15.773 Hz	19.523 Hz	26.679 Hz	31.650 Hz	35.915 Hz	38.999 Hz	39.625 Hz	42.417 Hz	42.897 Hz

Fig. 313: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V6.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V8

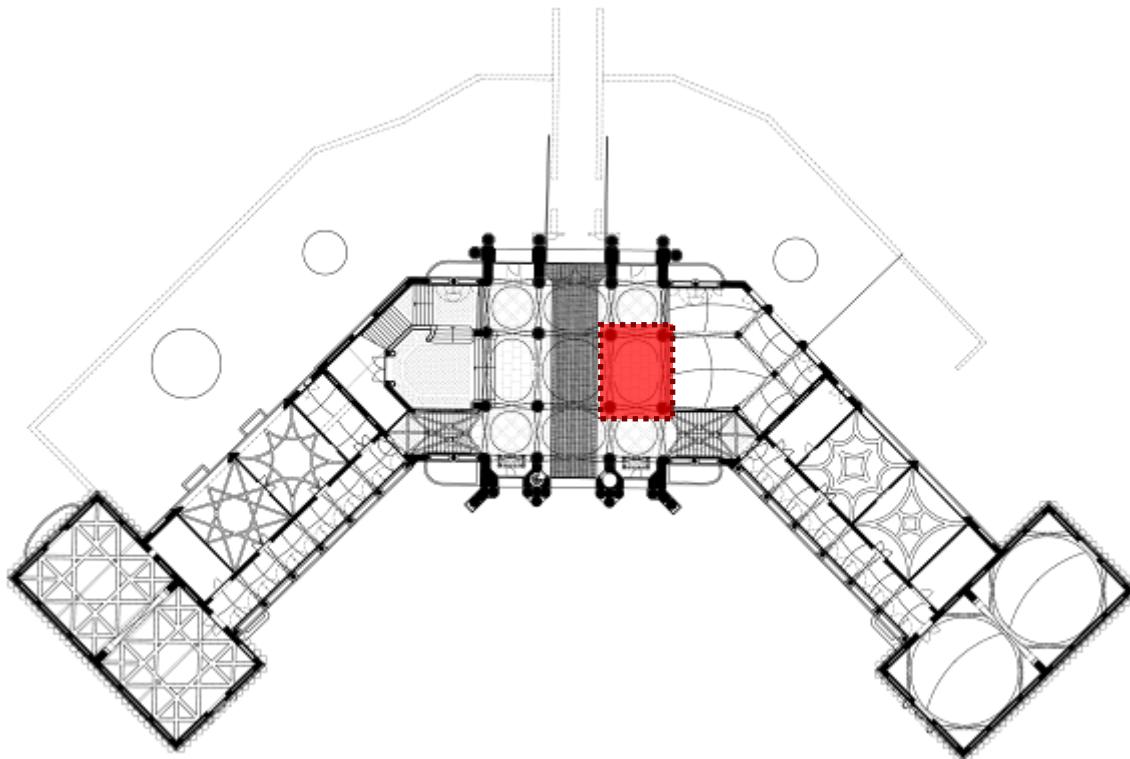


Fig. 314: Situació de la volta Dp0_V8.

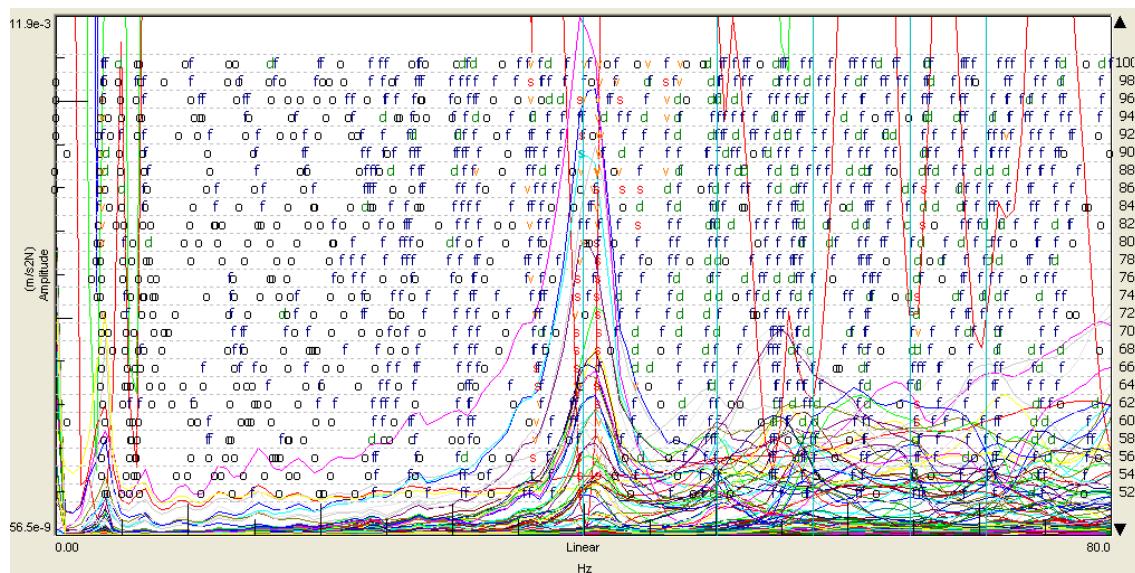


Fig. 315: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V8.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V8	39.921 Hz	50.130 Hz	57.389 Hz	64.751 Hz	70.541 Hz			

Fig. 316: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

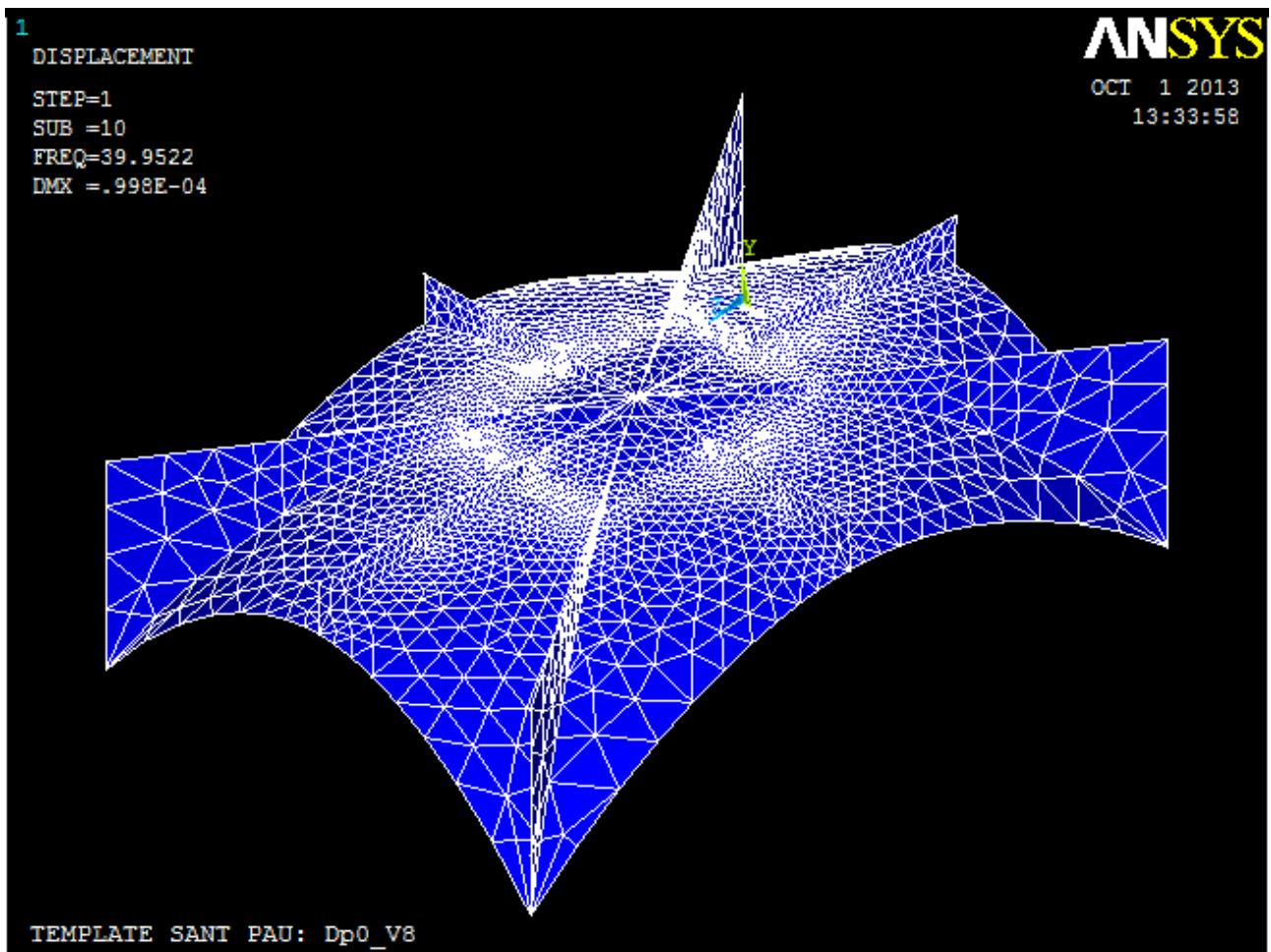


Fig. 317: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V8.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Dp0_V8									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	14.085 Hz	15.338 Hz	18.163 Hz	25.077 Hz	29.683 Hz	32.740 Hz	35.588 Hz	36.040 Hz	39.723 Hz	39.952 Hz

Fig. 318: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V8.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V10

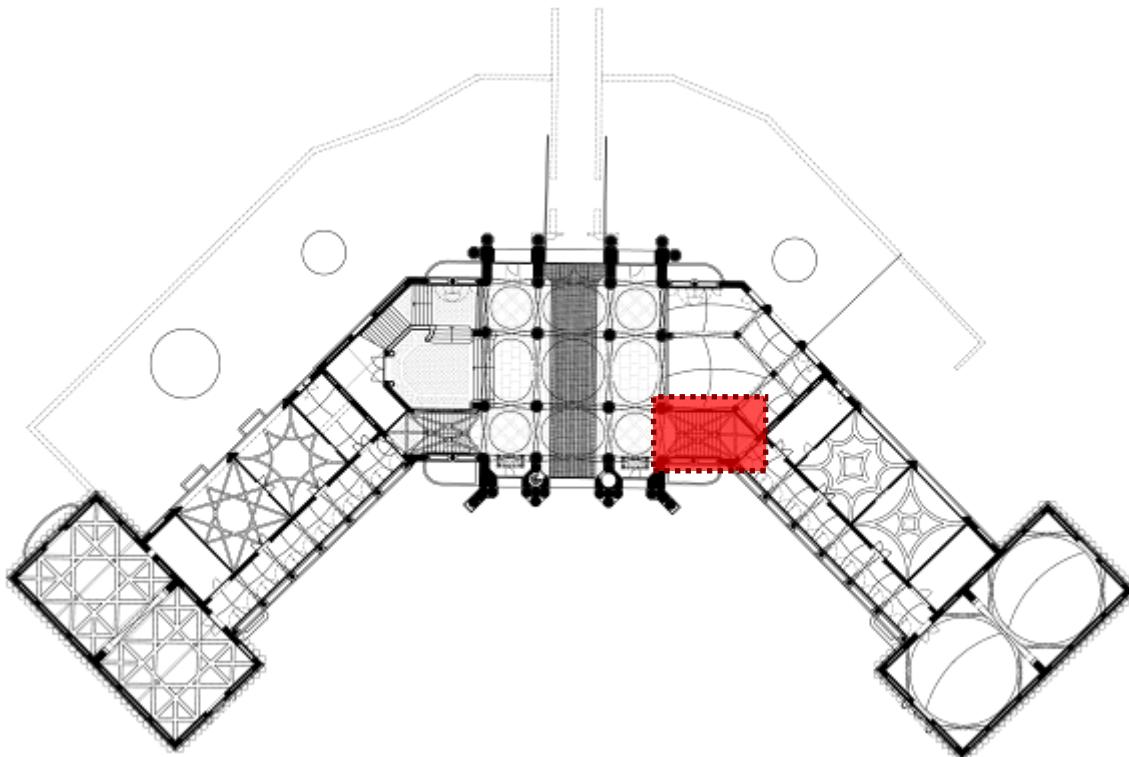


Fig. 319: Situació de la volta Dp0_V10.

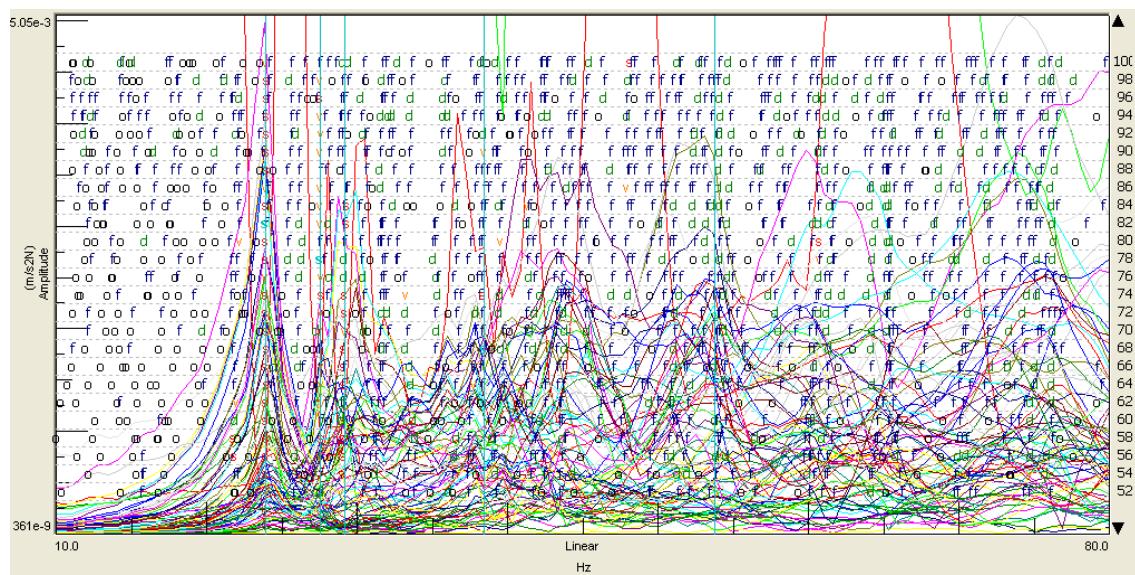


Fig. 320: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V10.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V12

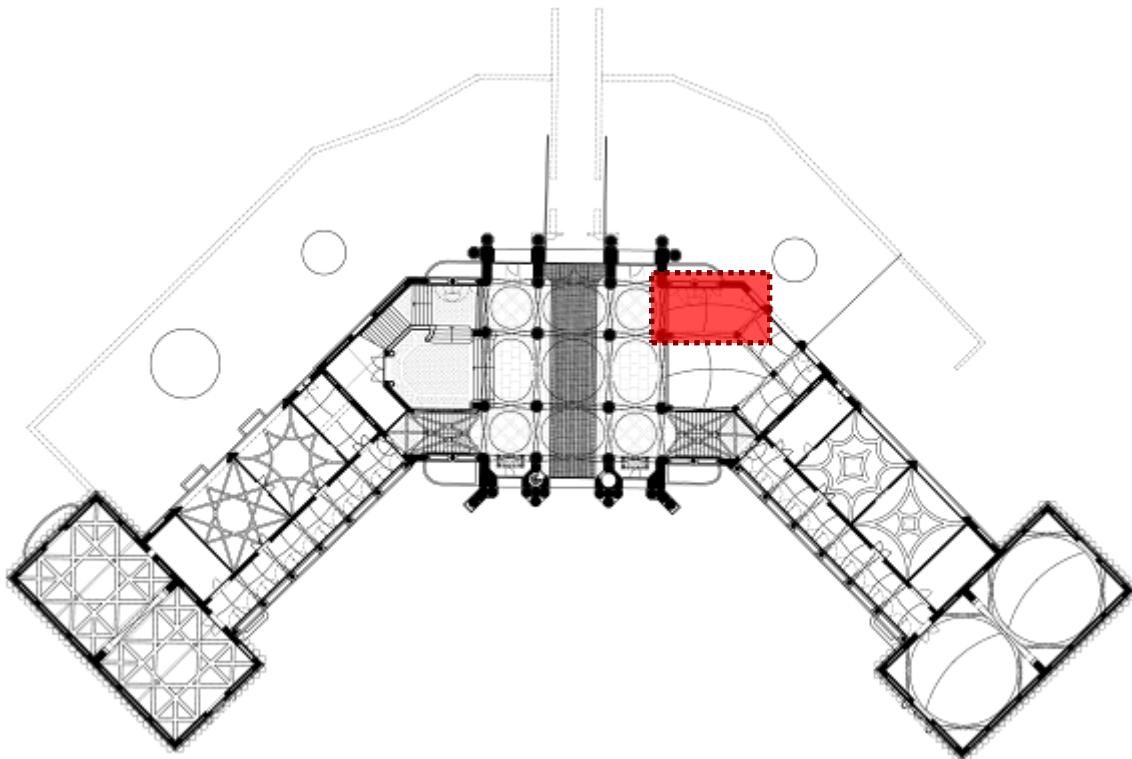


Fig. 321: Situació de la volta Dp0_V12.

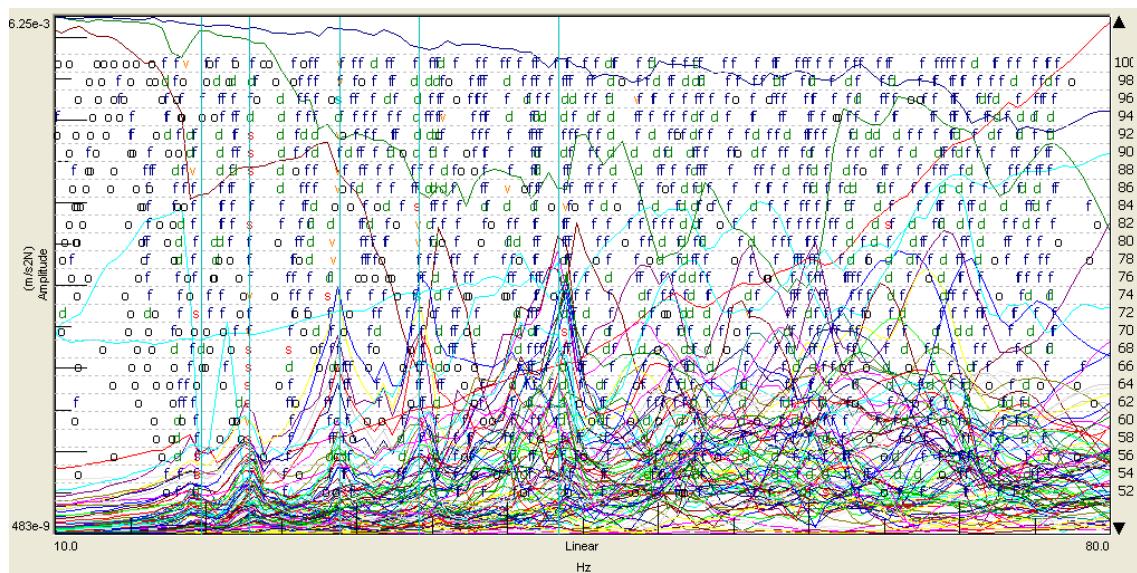


Fig. 322: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V12.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V10	23.873 Hz	27.563 Hz	29.143 Hz	38.395 Hz	53.768 Hz			
Dp0_V12	19.714 Hz	22.872 Hz	28.844 Hz	34.145 Hz	43.390 Hz			

Fig. 323: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

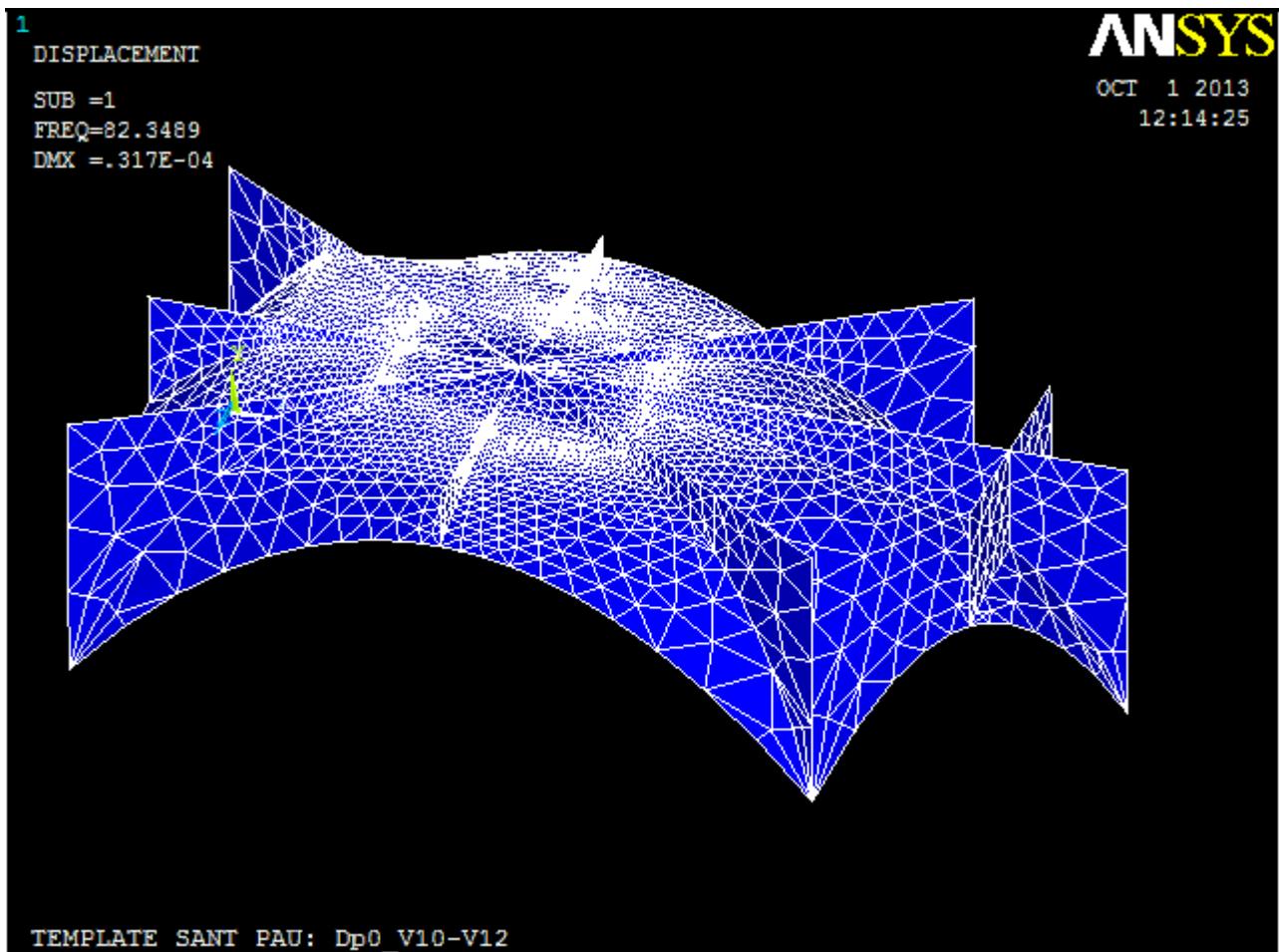


Fig. 324: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V10-V12.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V10-V12									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	10.198 Hz	11.898 Hz	14.119 Hz	17.547 Hz	20.725 Hz	24.516 Hz	25.407 Hz	27.585 Hz	29.435 Hz	31.538 Hz

Fig. 325: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V10-V12.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V11

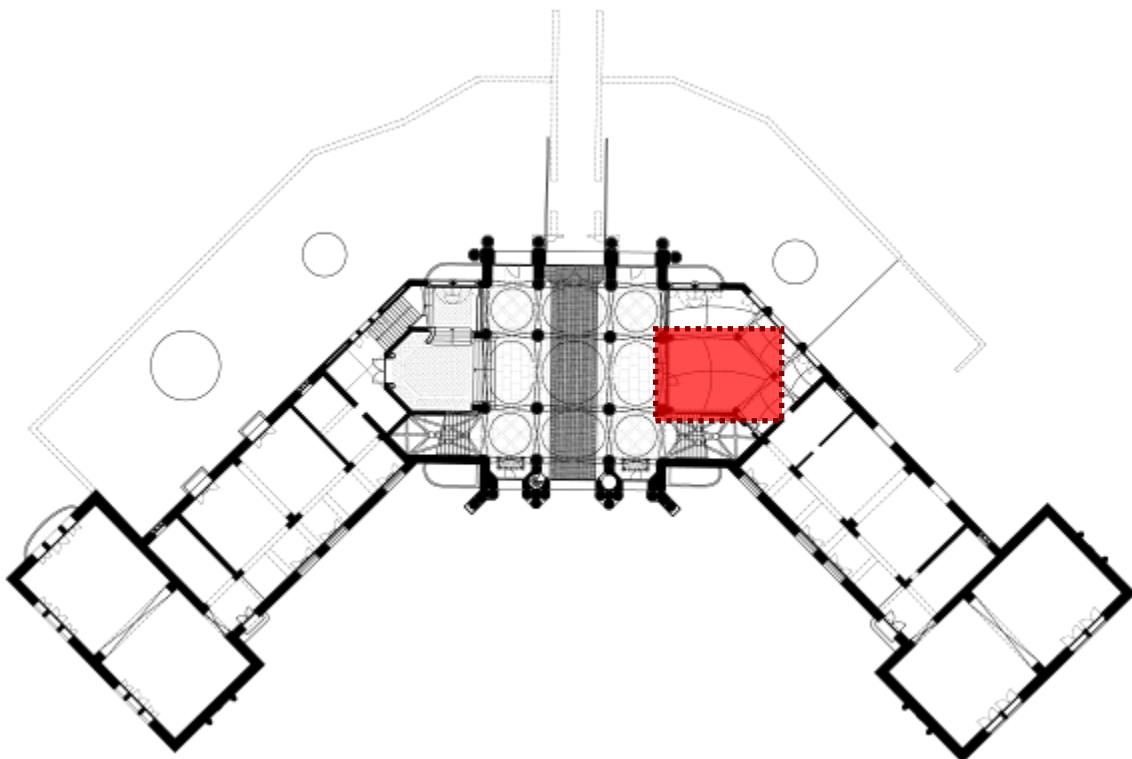


Fig. 326: Situació de la volta Dp-1_V11.

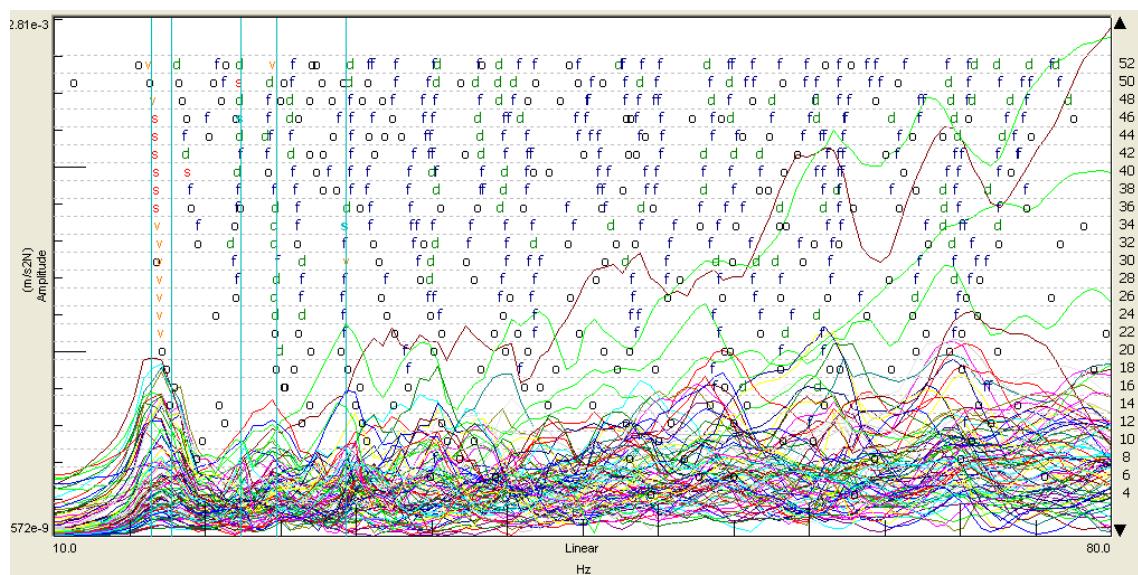


Fig. 327: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V11.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V11

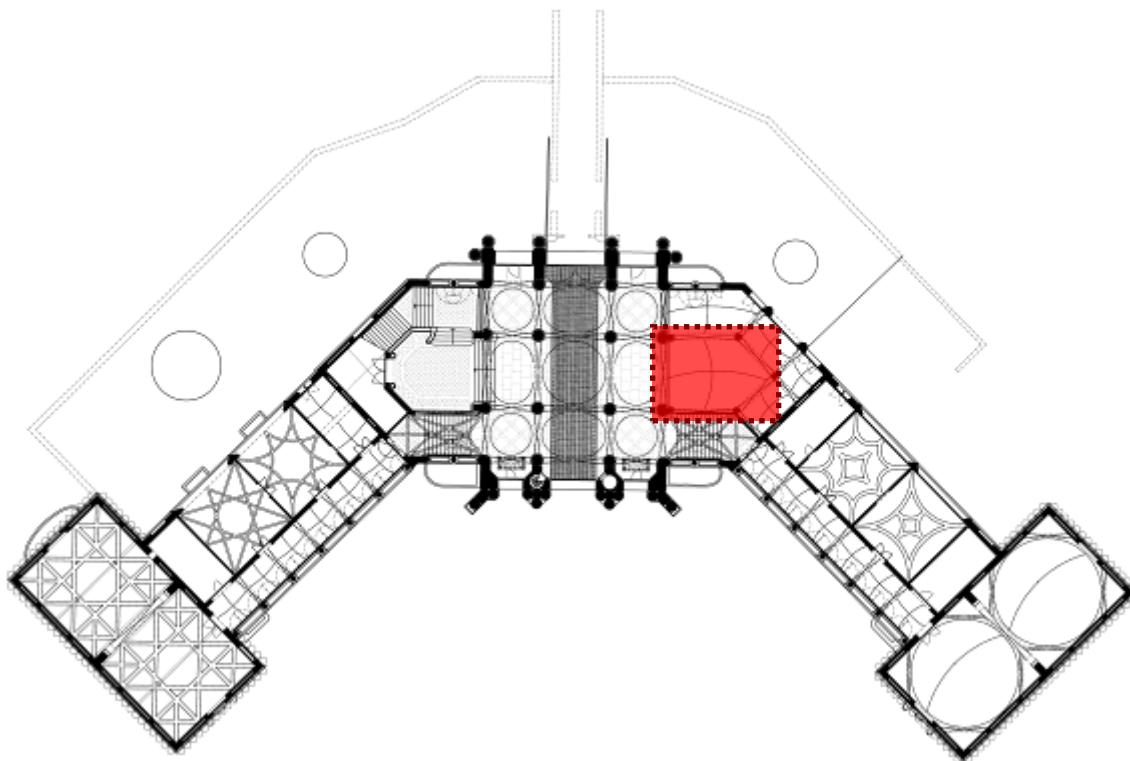


Fig. 328: Situació de la volta Dp0_V11.

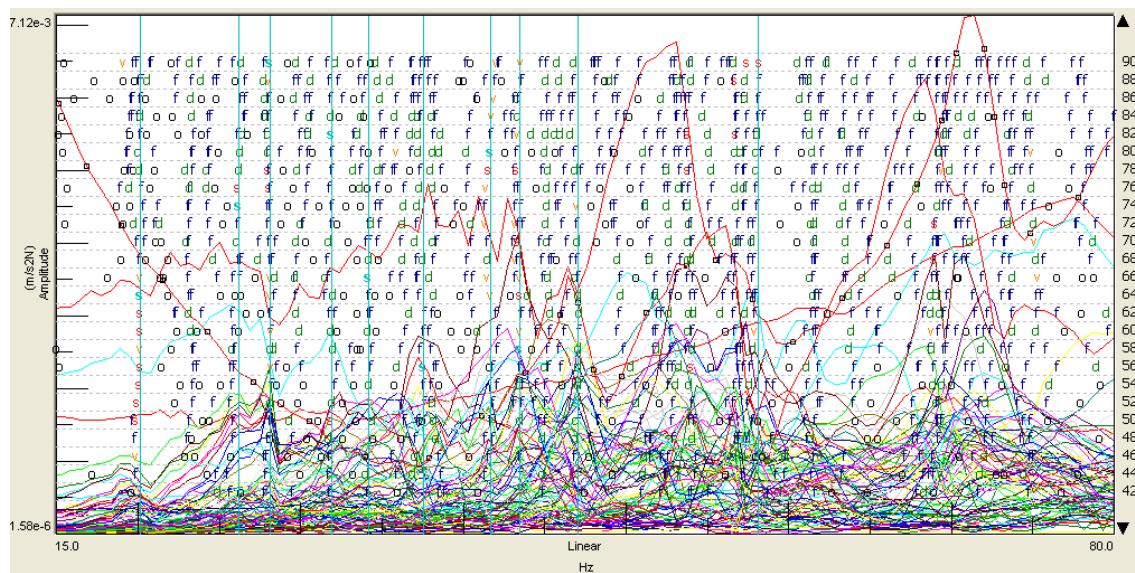


Fig. 329: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V11.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V2

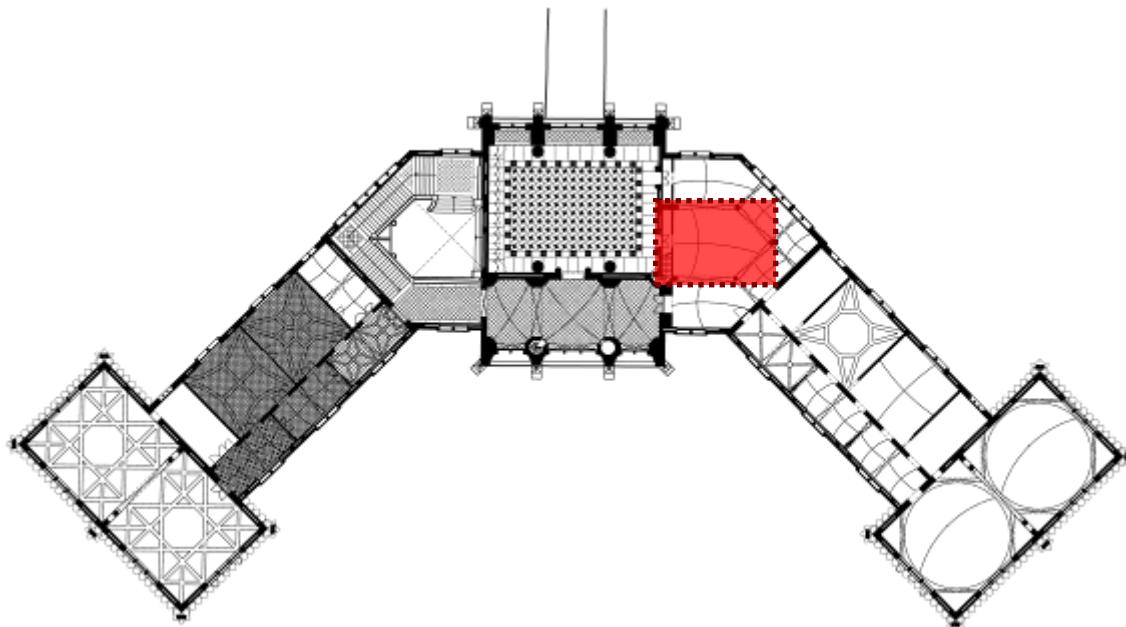


Fig. 330: Situació de la volta Np2_V2.

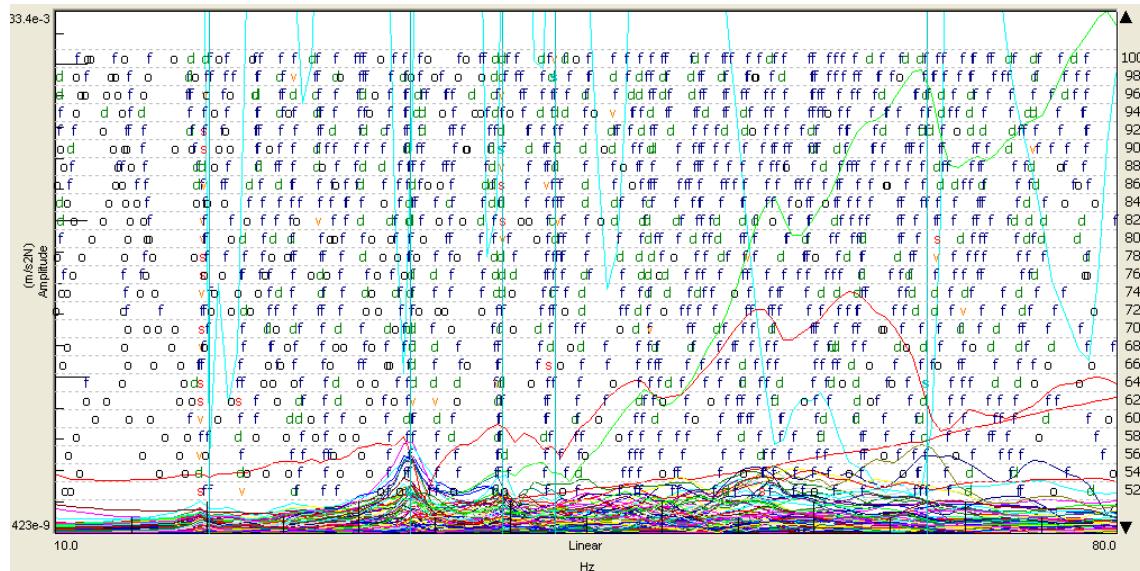


Fig. 331: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V2.

identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V11	16.422 Hz	17.741 Hz	22.352 Hz	24.699 Hz	29.298 Hz			
Dp0_V11	20.124 Hz	26.169 Hz	28.090 Hz	31.906 Hz	34.189 Hz	37.555 Hz	41.671 Hz	43.445 Hz
Np2_V2	20.118 Hz	33.397 Hz	39.450 Hz	42.939 Hz	67.459 Hz			

Fig. 332: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

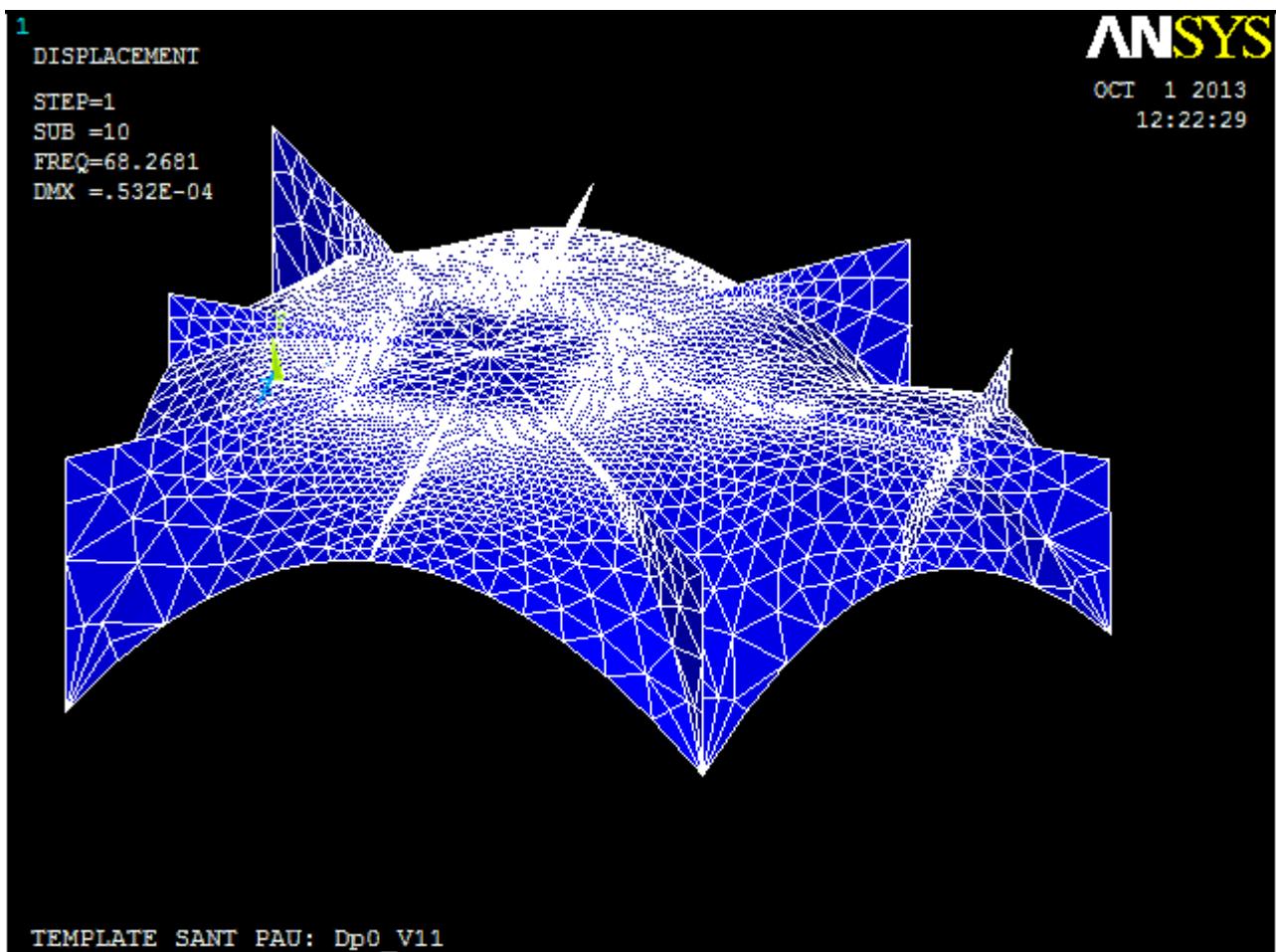


Fig. 333: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V11-Dp0_V11-Np2_V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V11-Dp0_V11-Np2_V2									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	7.453 Hz	8.663 Hz	10.432 Hz	14.259 Hz	17.223 Hz	18.093 Hz	21.542 Hz	22.542 Hz	23.632 Hz	26.146 Hz

Fig. 334: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V11-Dp0_V11-Np2_V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V13

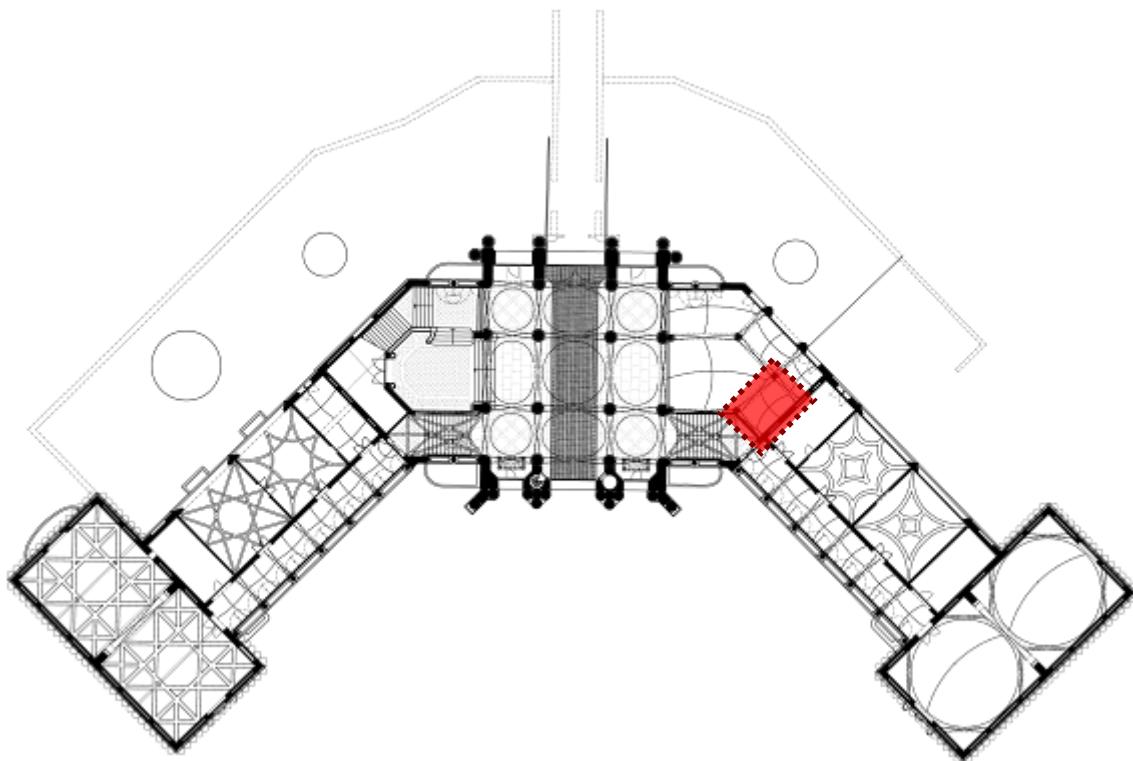


Fig. 335: Situació de la volta Dp0_V13.

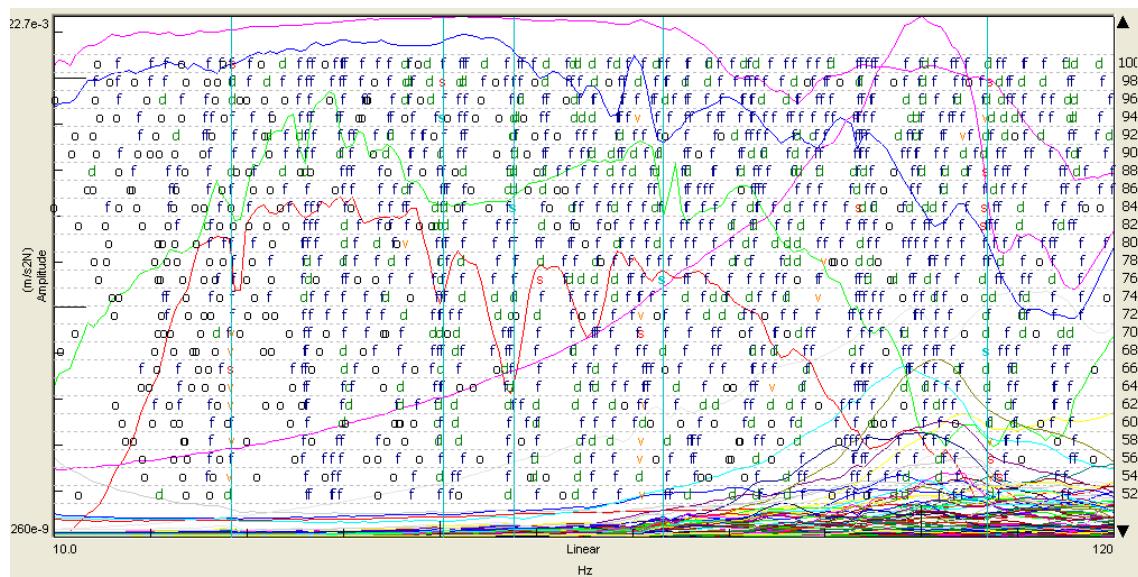


Fig. 336: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V13.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V13	28.304 Hz	50.411 Hz	57.751 Hz	73.208 Hz	106.896 Hz			

Fig. 337: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

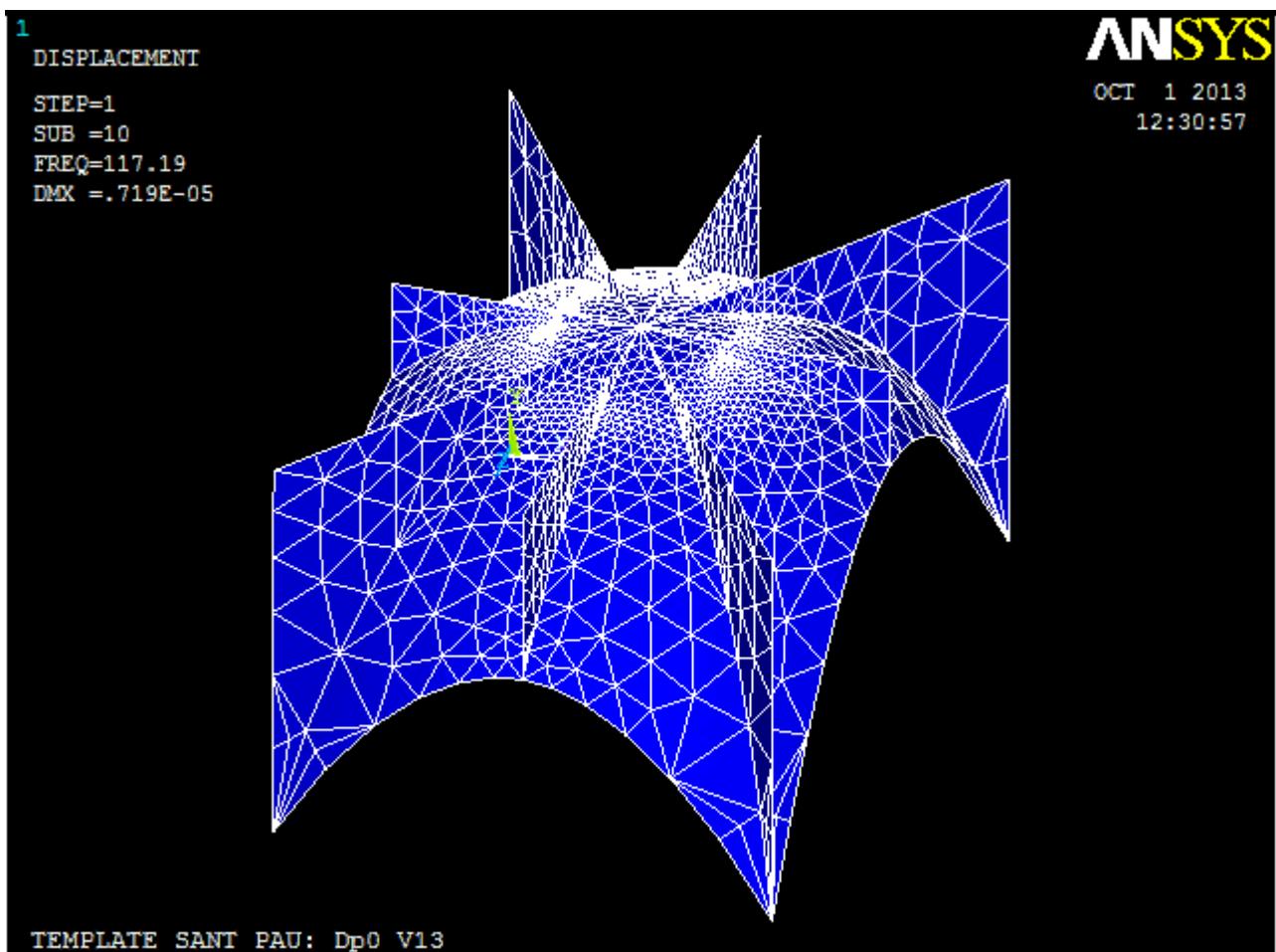


Fig. 338: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V13.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V13									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	13.440 Hz	15.285 Hz	16.233 Hz	27.850 Hz	29.222 Hz	30.243 Hz	35.844 Hz	40.028 Hz	42.027 Hz	44.882 Hz

Fig. 339: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V13.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V14

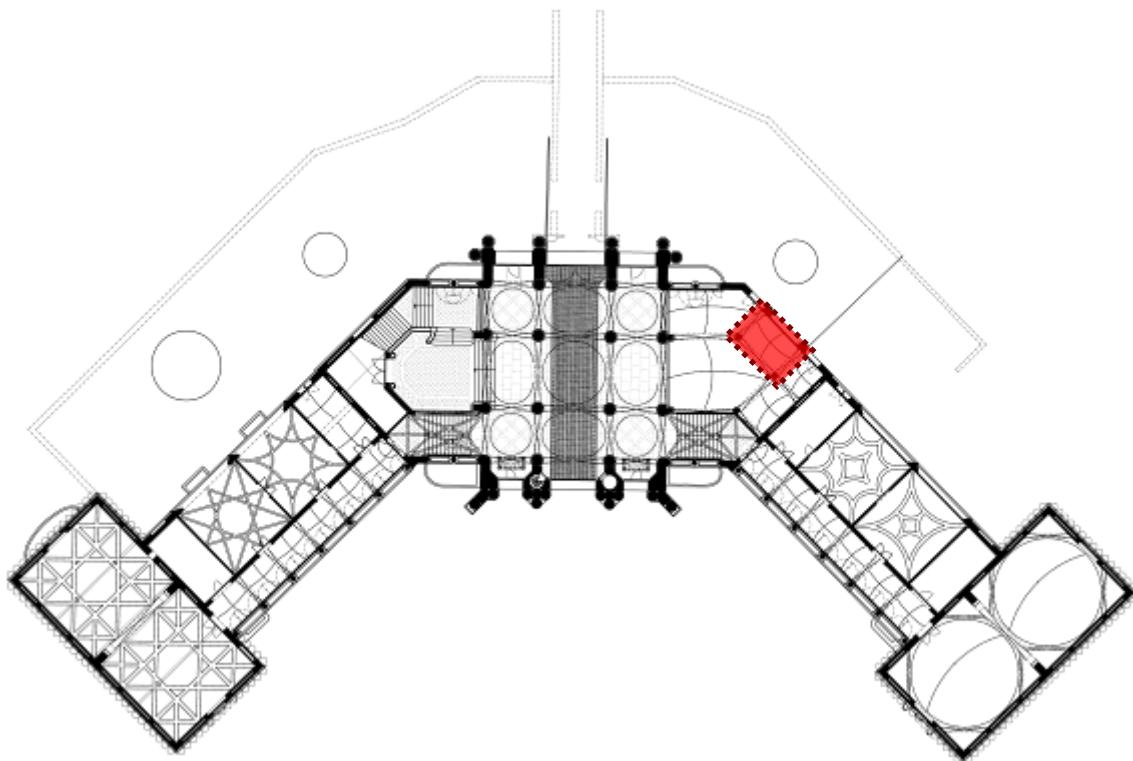


Fig. 340: Situació de la volta Dp0_V14.

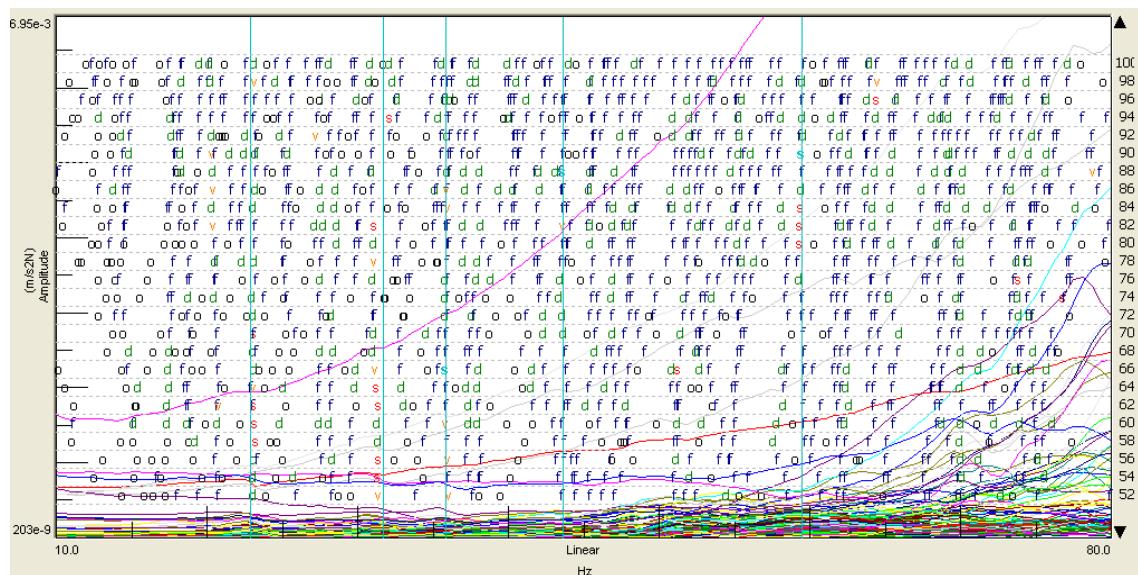


Fig. 341: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V14.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V14	22.884 Hz	31.650 Hz	35.852 Hz	43.598 Hz	59.464 Hz			

Fig. 342: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

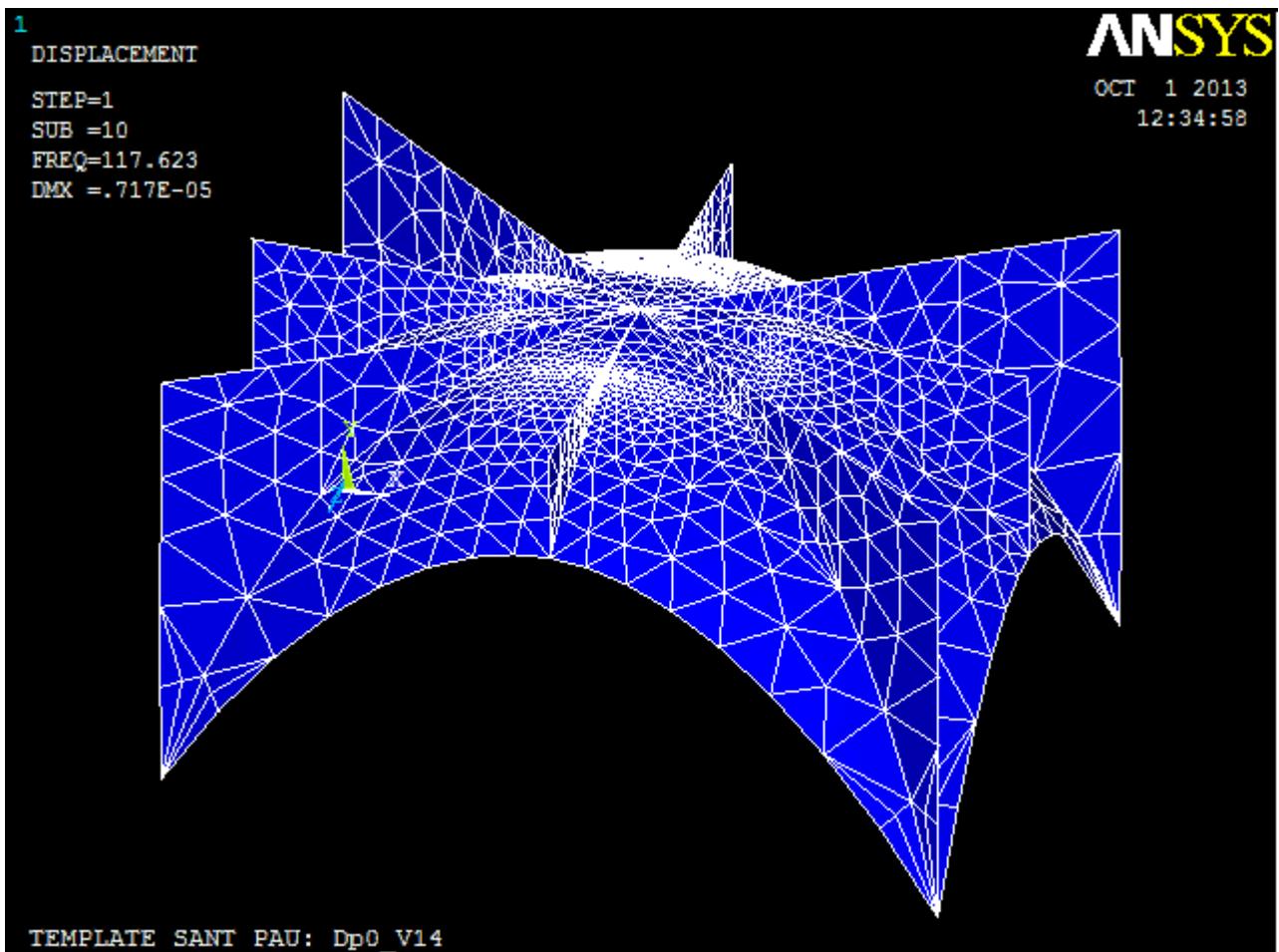


Fig. 343: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V14.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V14									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	13.459 Hz	15.336 Hz	16.297 Hz	27.870 Hz	29.253 Hz	30.271 Hz	35.932 Hz	40.116 Hz	42.158 Hz	45.048 Hz

Fig. 344: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V14.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V15

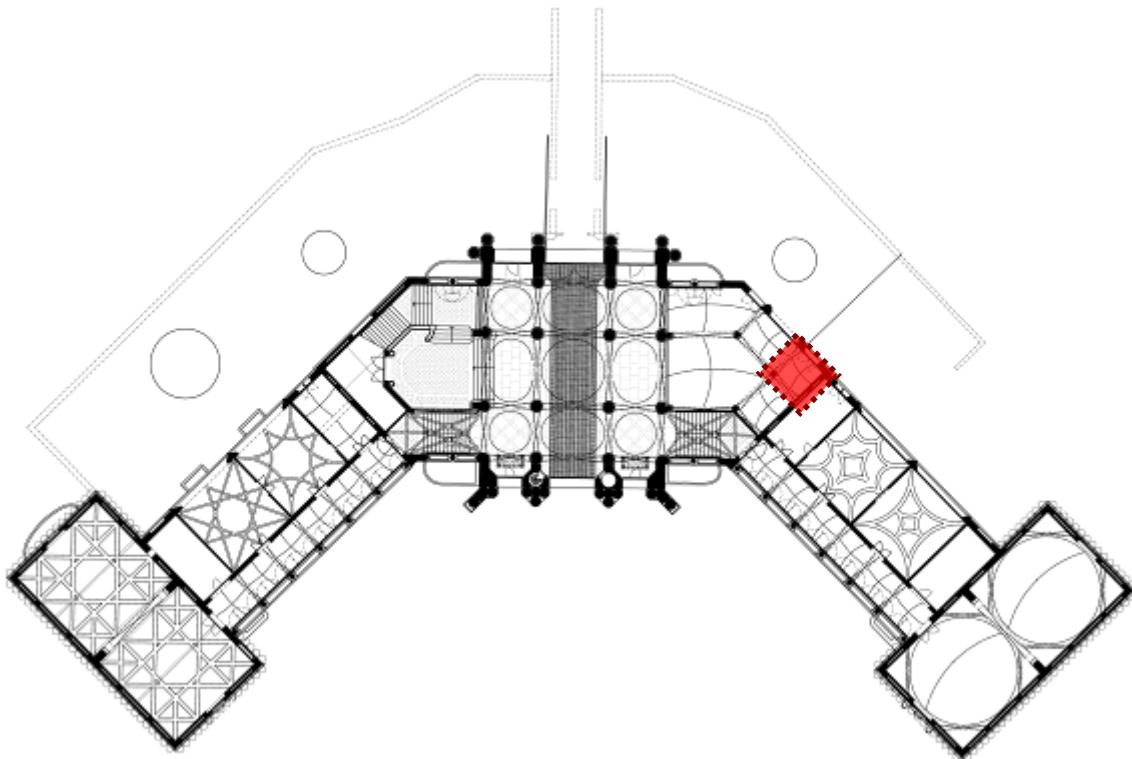


Fig. 345: Situació de la volta Dp0_V15.

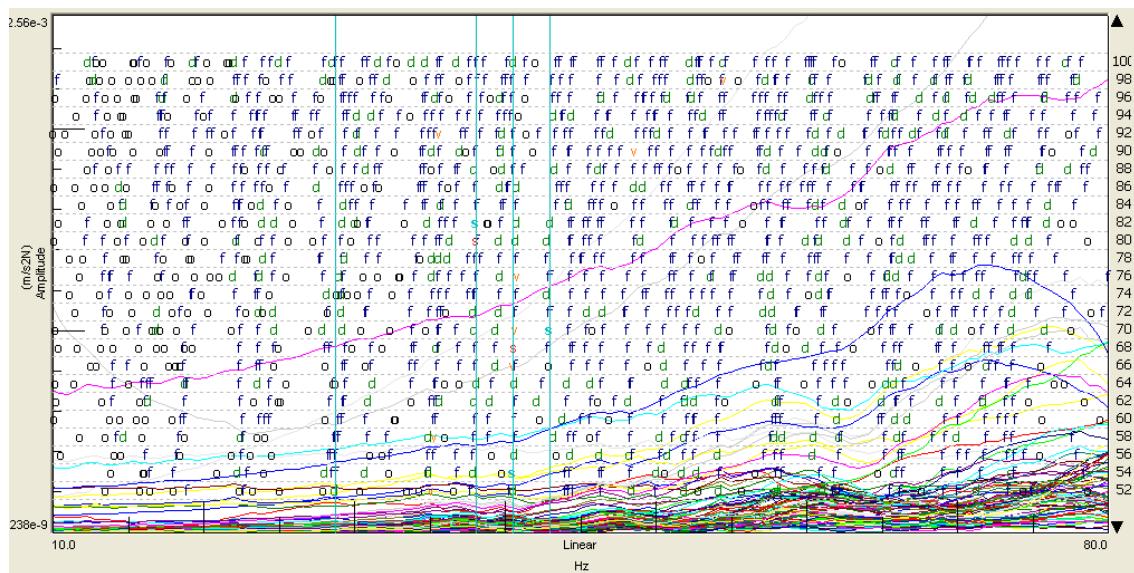


Fig. 346: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V15.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V15	28.666 Hz	38.064 Hz	40.531 Hz	42.972 Hz				

Fig. 347: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

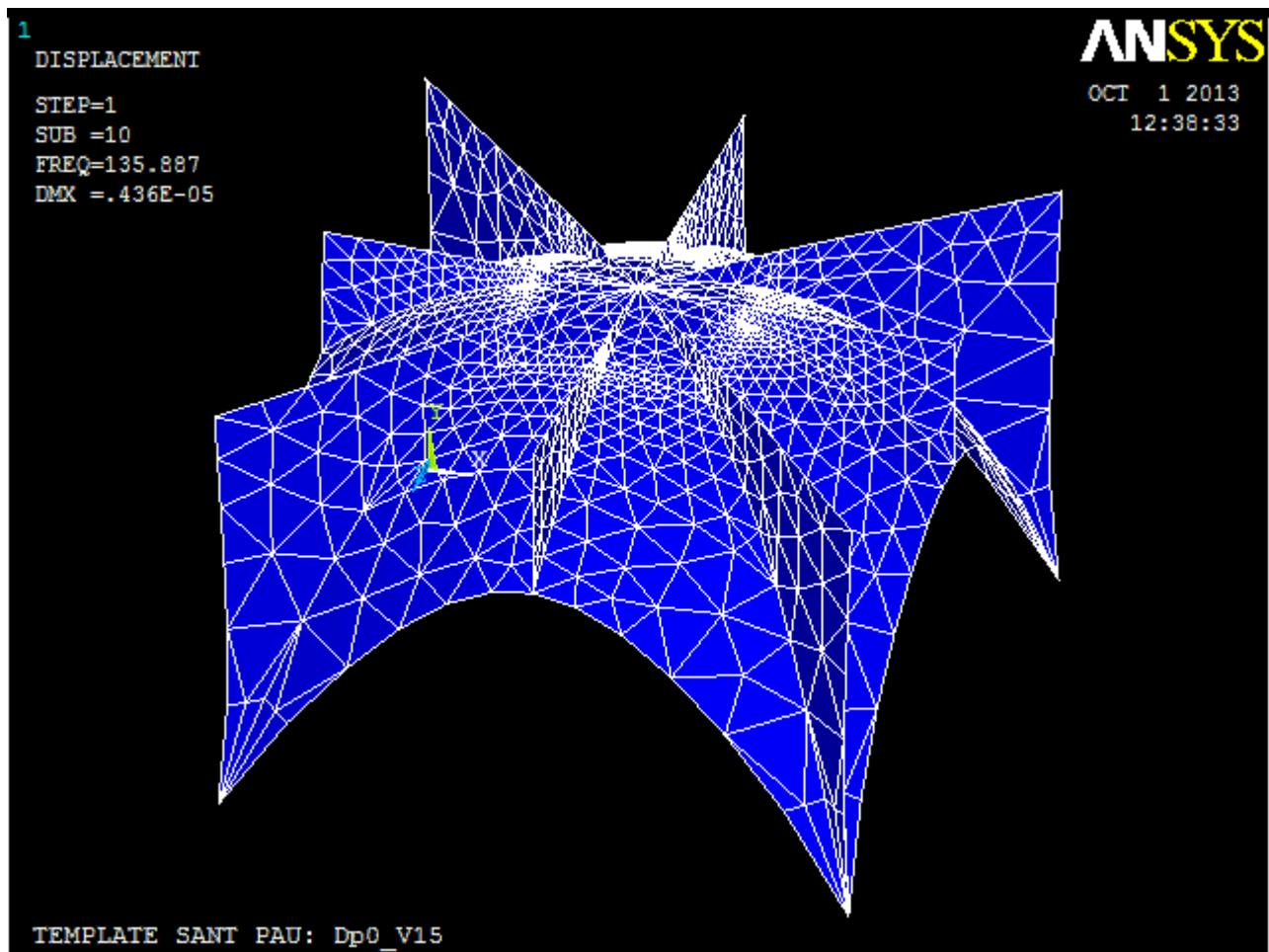


Fig. 348: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp0_V15.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp0_V15									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	17.257 Hz	17.968 Hz	19.432 Hz	36.799 Hz	39.153 Hz	39.568 Hz	44.539 Hz	51.595 Hz	51.966 Hz	52.042 Hz

Fig. 349: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp0_V15.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V2

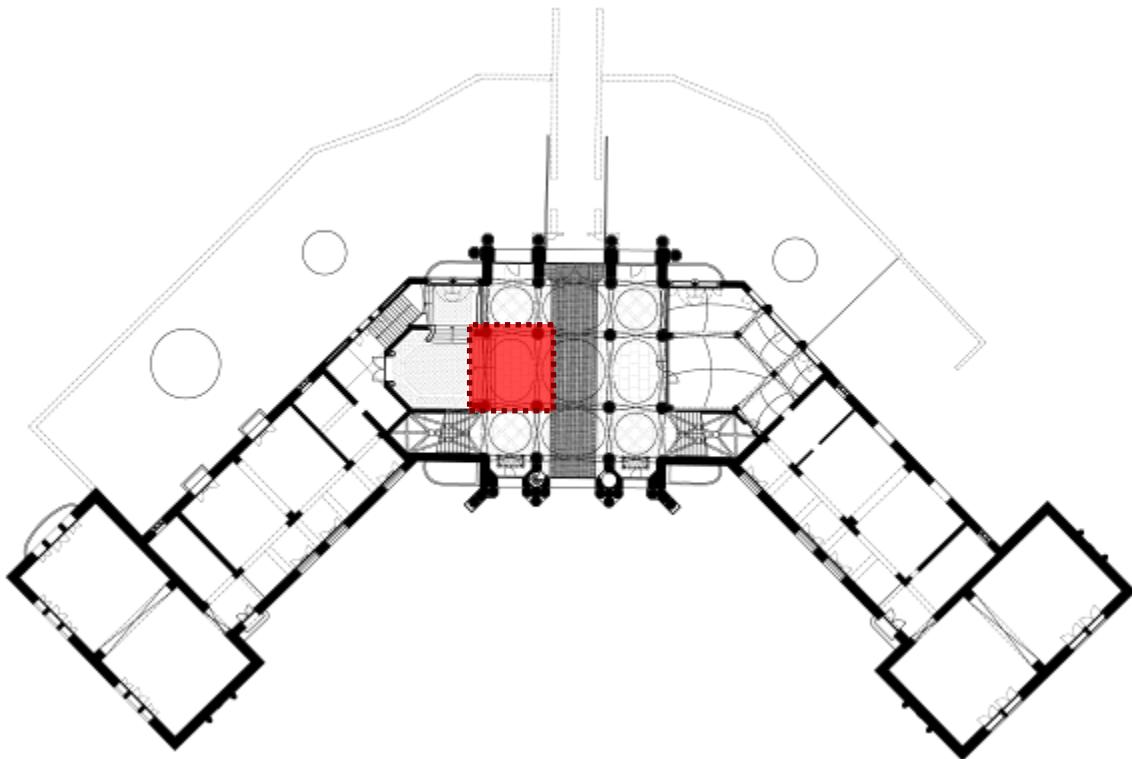


Fig. 350: Situació de la volta Dp-1_V2.

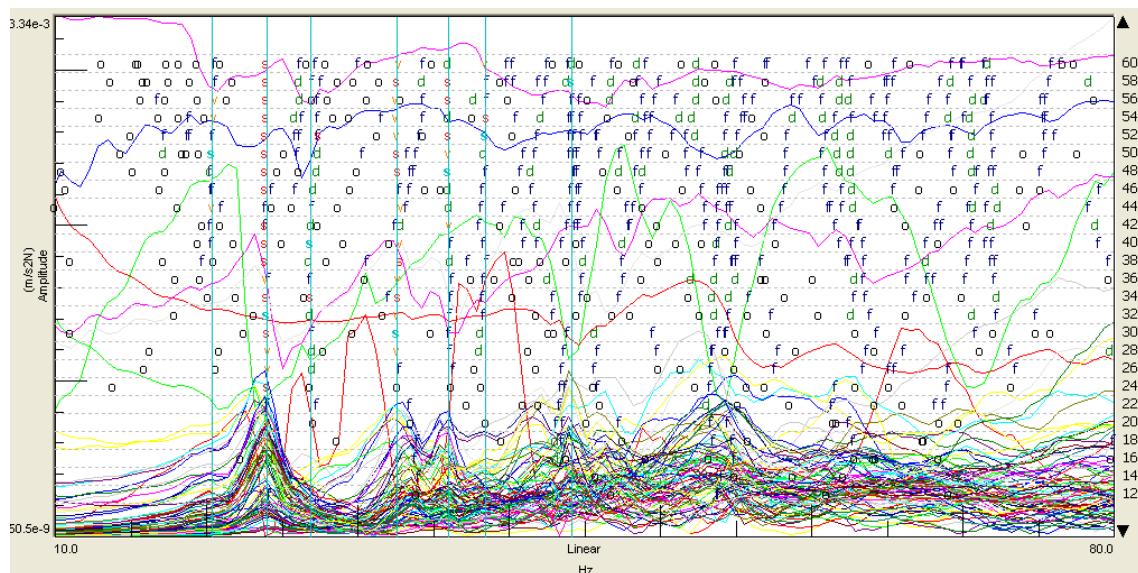


Fig. 351: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V8

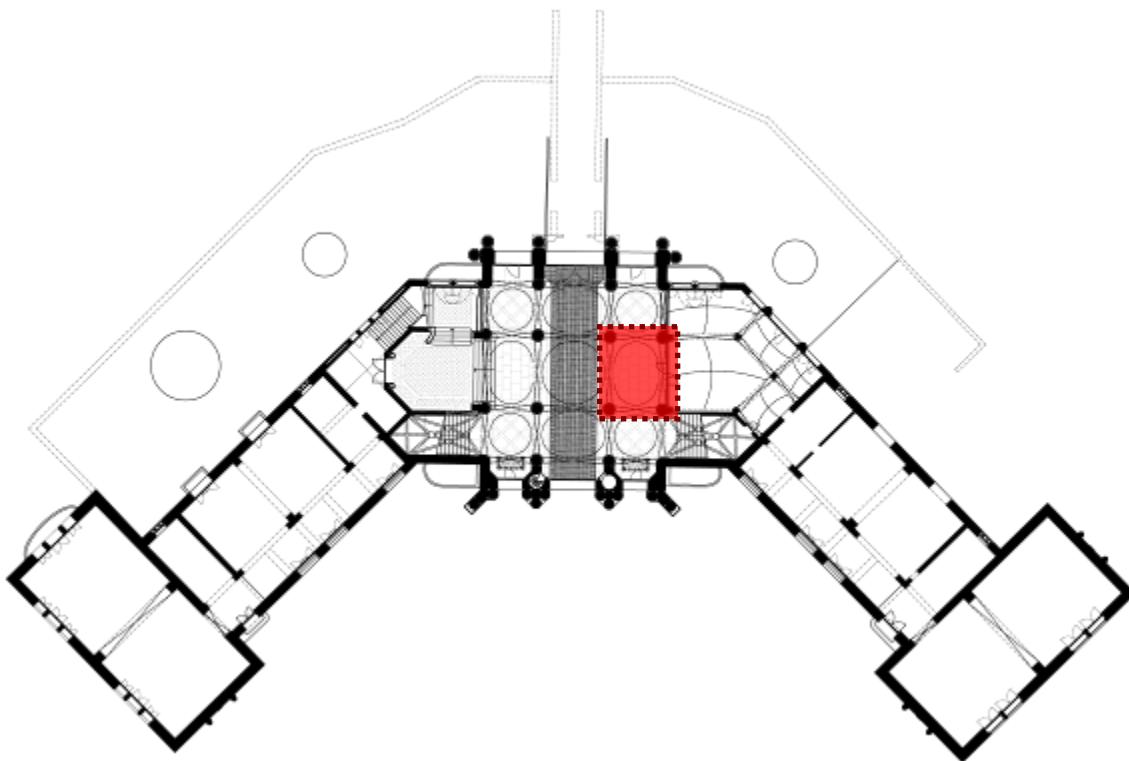


Fig. 352: Situació de la volta Dp-1_V8.

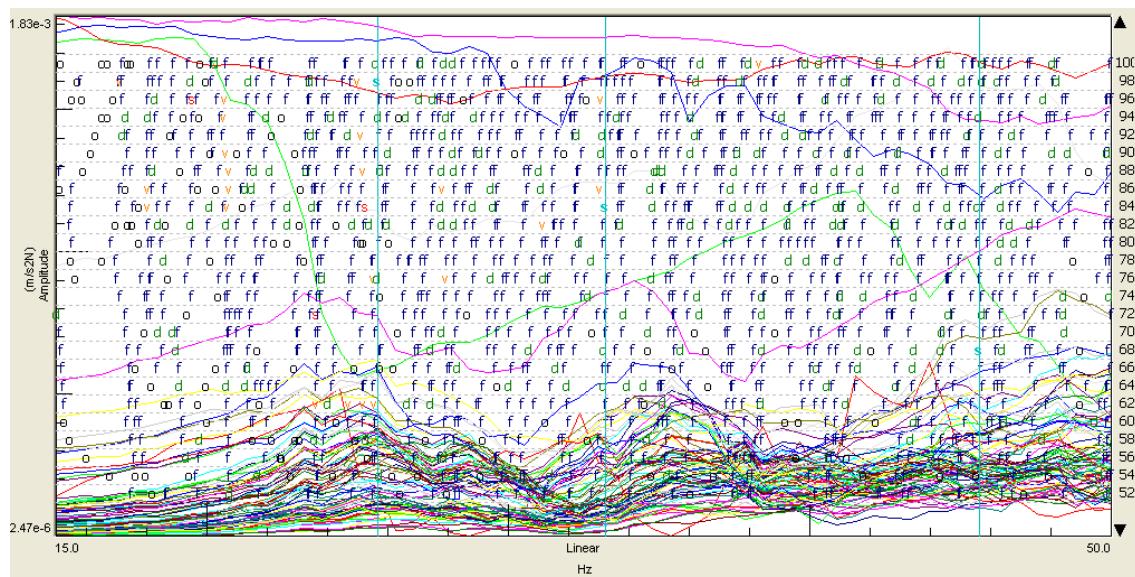


Fig. 353: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V8.

Identificació volta	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V2	20.340 Hz	23.979 Hz	26.852 Hz	32.609 Hz	35.973 Hz	38.432 Hz	41.047 Hz	44.140 Hz
Dp-1_V8	25.675 Hz	33.204 Hz	45.634 Hz					

Fig. 354: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

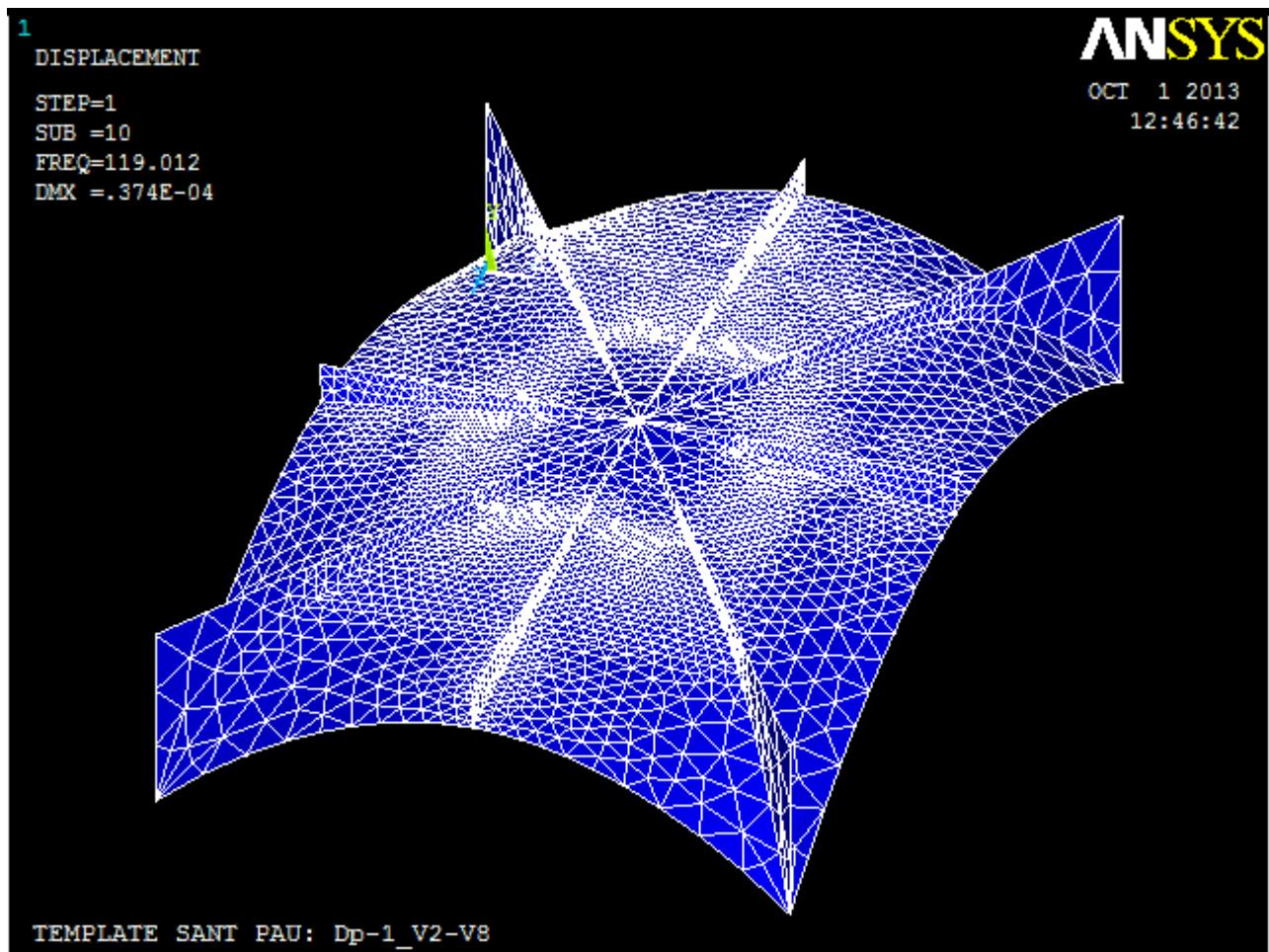


Fig. 355: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V2-V8.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V2-V8										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
AC_can		13.543 Hz	16.411 Hz	17.090 Hz	23.222 Hz	23.633 Hz	29.807 Hz	34.414 Hz	37.604 Hz	39.453 Hz	45.582 Hz

Fig. 356: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V2-V8.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V4

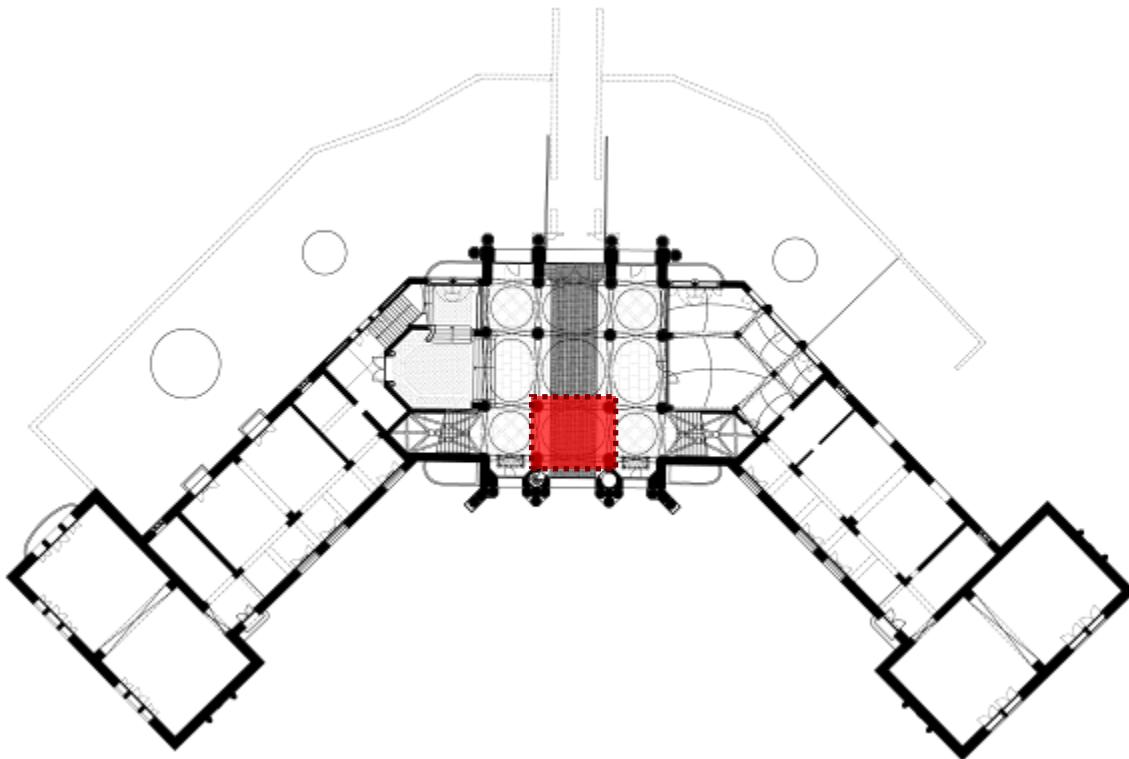


Fig. 357: Situació de la volta Dp-1_V4.

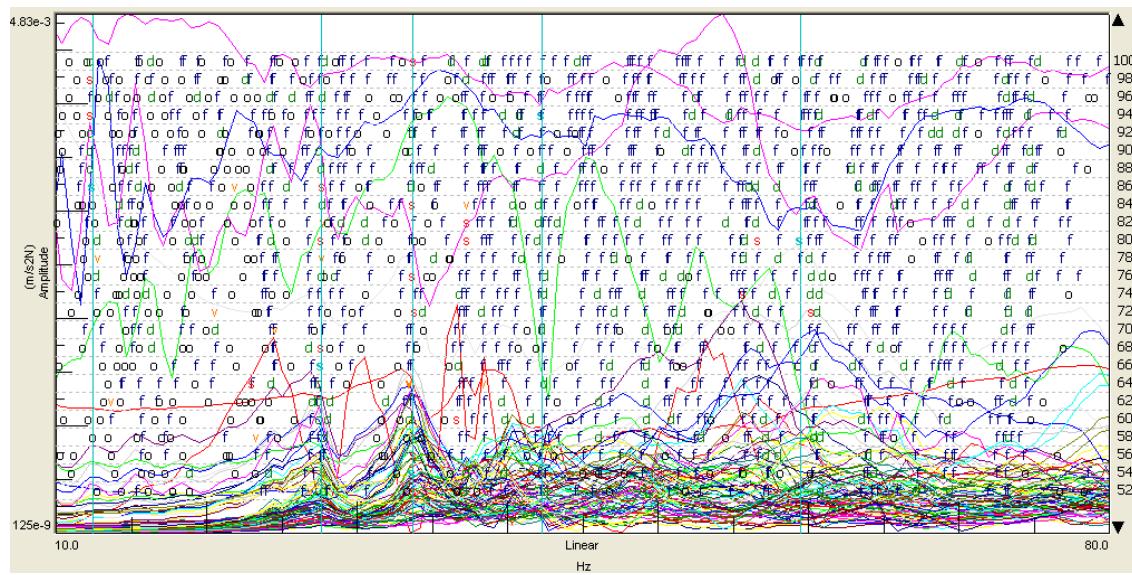


Fig. 358: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V4.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V6

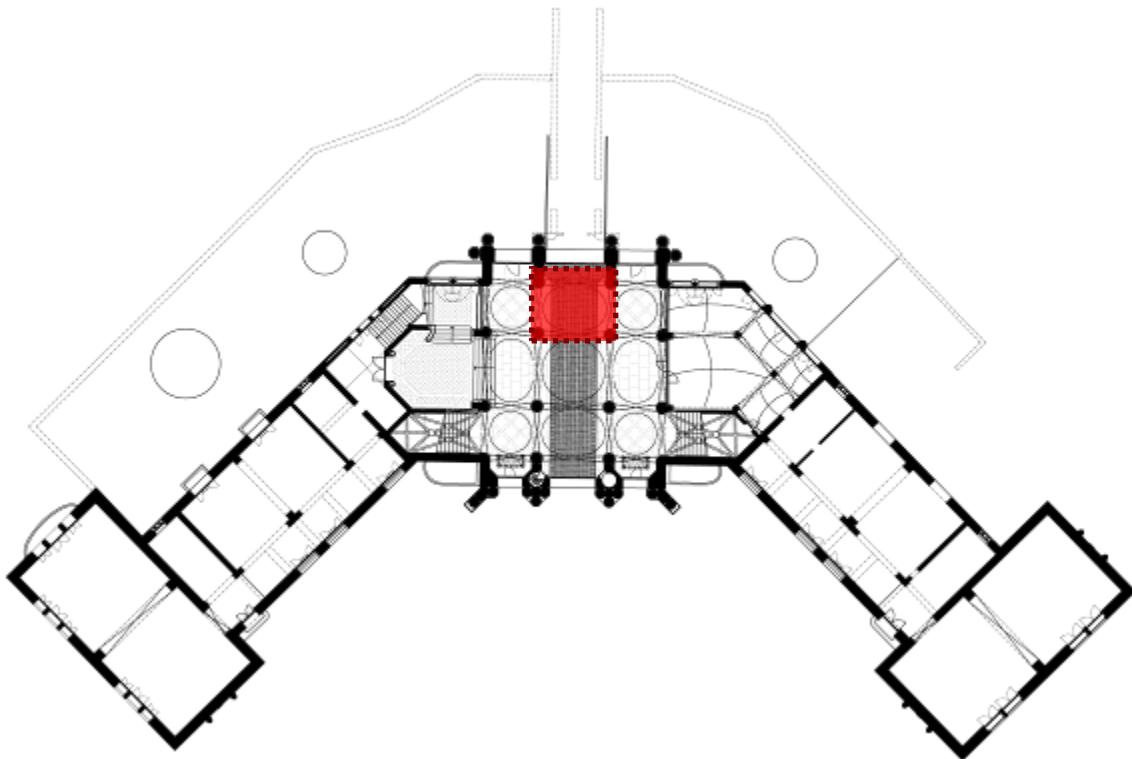


Fig. 359: Situació de la volta Dp-1_V6.

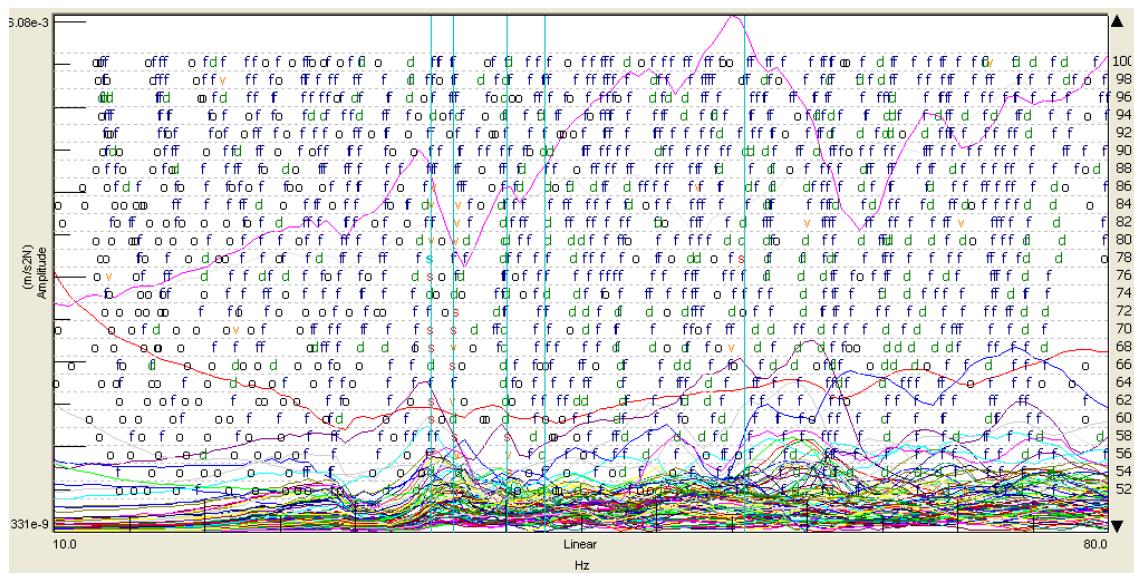


Fig. 360: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V6.

Identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V4	12.428 Hz	27.616 Hz	33.691 Hz	42.249 Hz	59.502 Hz			
Dp-1_V6	35.030 Hz	36.514 Hz	40.069 Hz	42.600 Hz	55.860 Hz			

Fig. 361: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

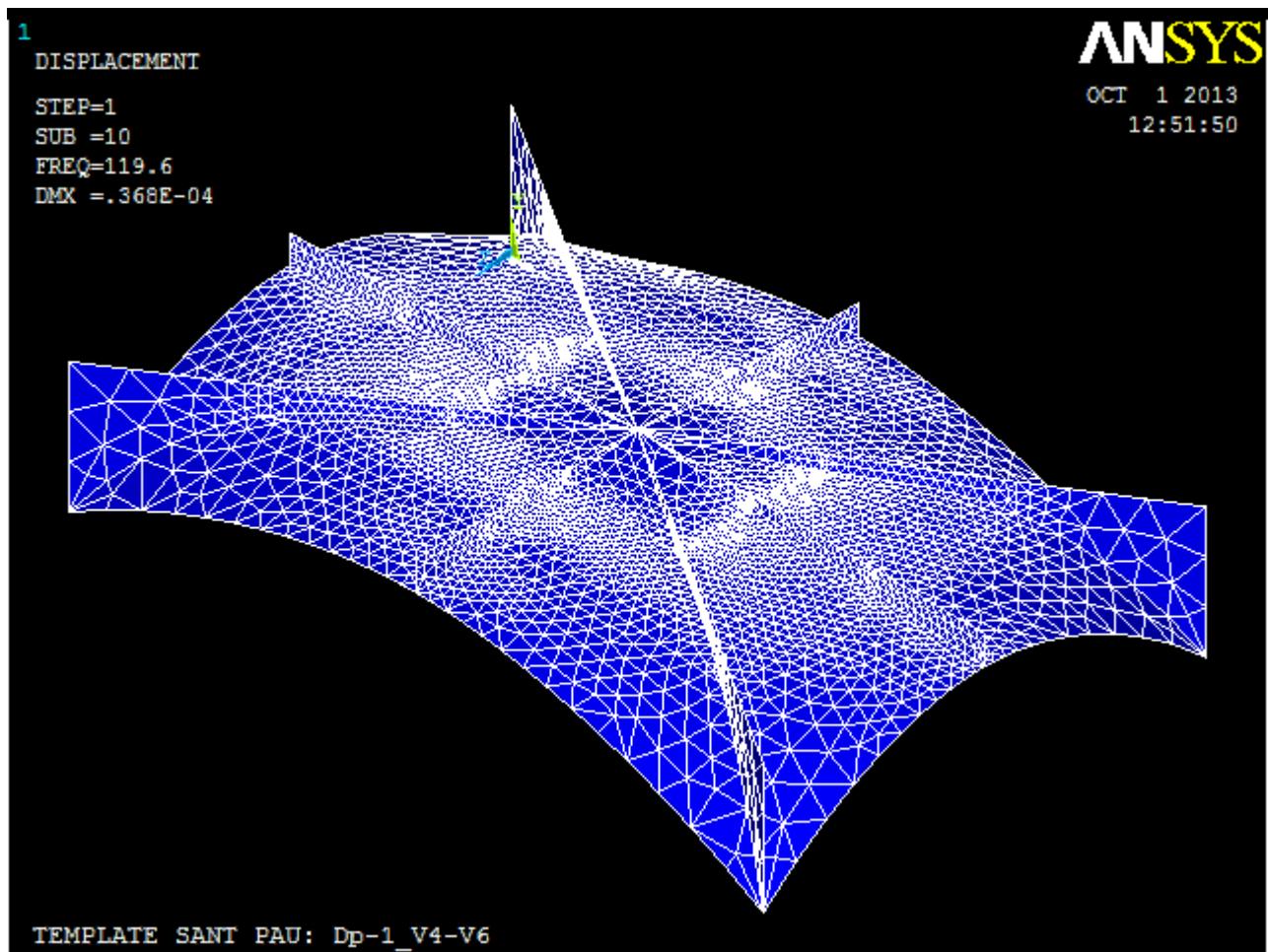


Fig. 362: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V4-V6.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V4-V6									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	13.746 Hz	16.530 Hz	16.996 Hz	23.268 Hz	23.625 Hz	29.653 Hz	34.350 Hz	37.623 Hz	39.448 Hz	45.807 Hz

Fig. 363: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V4-V6.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V5

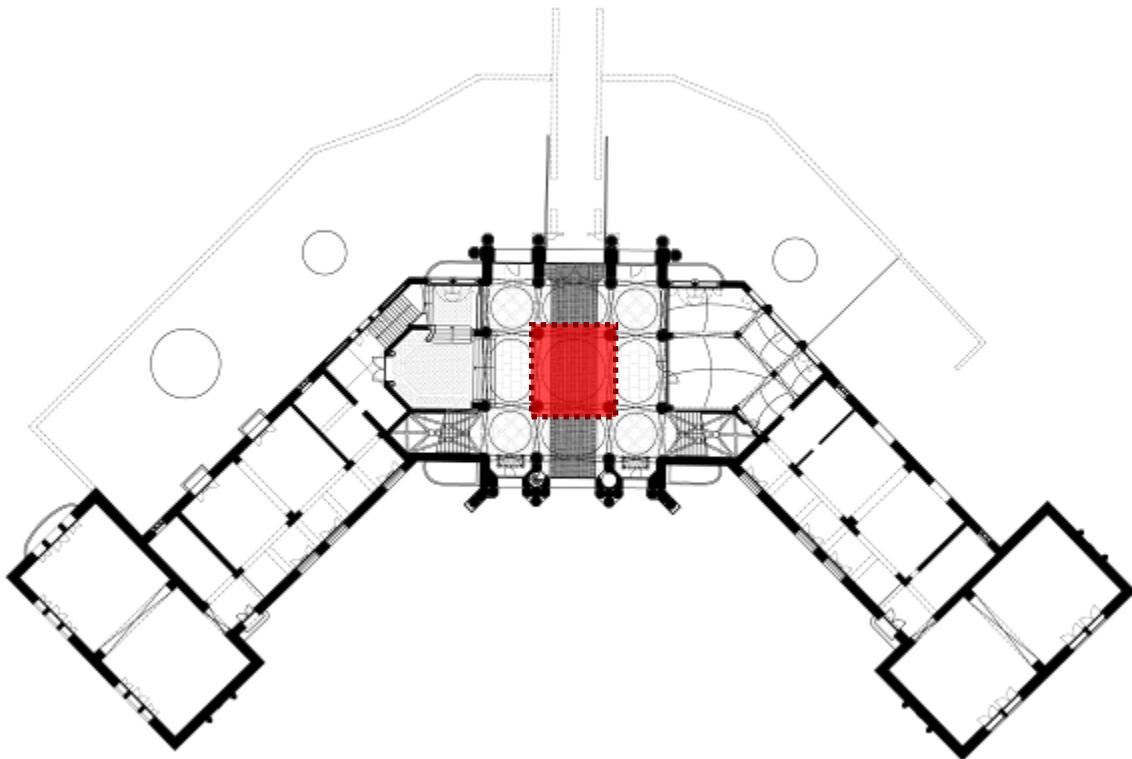


Fig. 364: Situació de la volta Dp-1_V5.

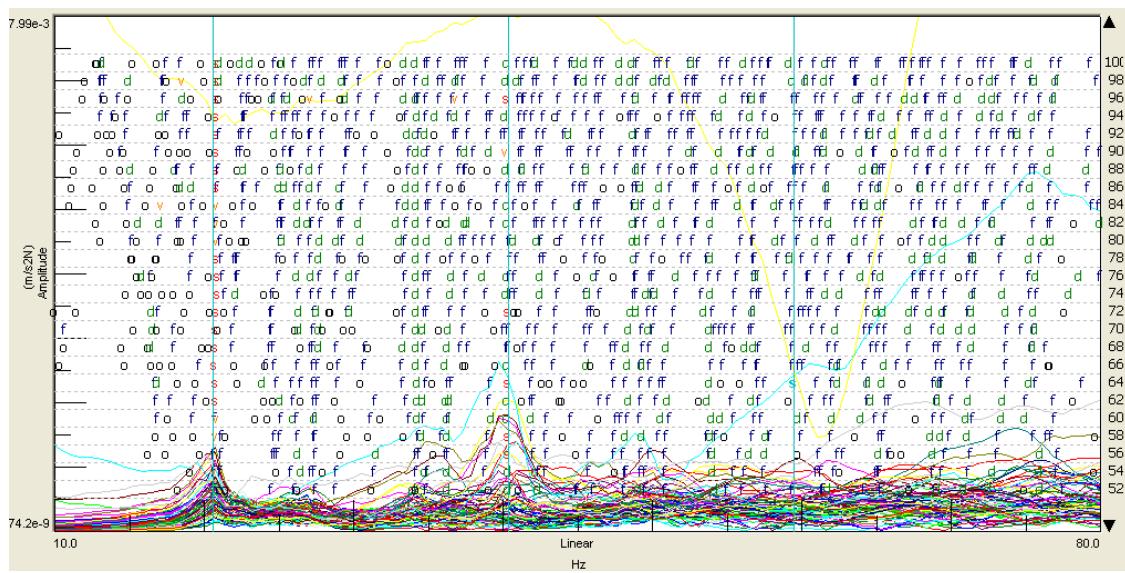


Fig. 365: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V5.

identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V5	20.593 Hz	40.344 Hz	59.506 Hz					

Fig. 366: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

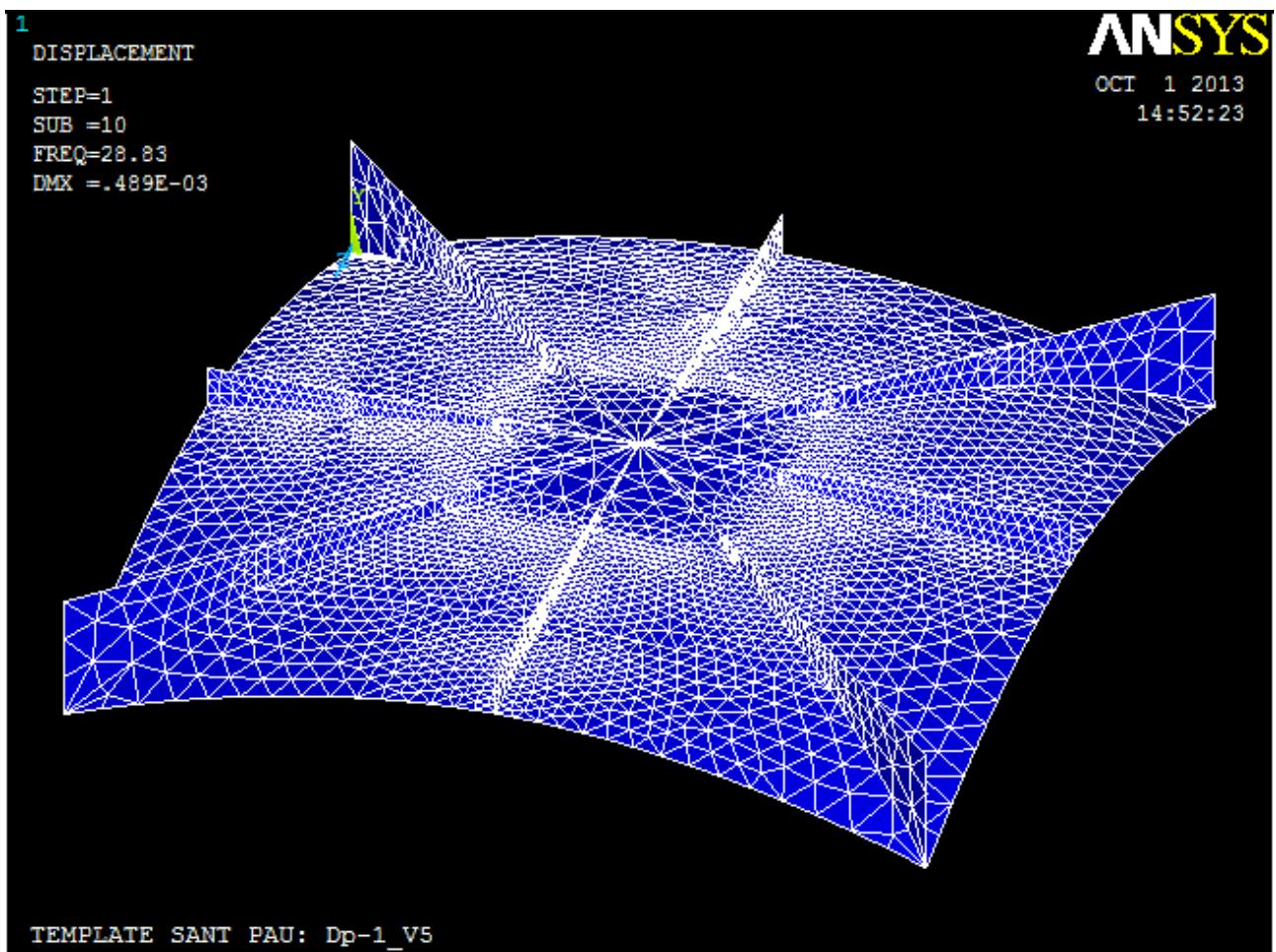


Fig. 367: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V5.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Dp-1_V5									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	11.305 Hz	11.773 Hz	12.057 Hz	15.014 Hz	17.257 Hz	17.408 Hz	18.478 Hz	20.456 Hz	22.319 Hz	28.830 Hz

Fig. 368: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V5.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V10

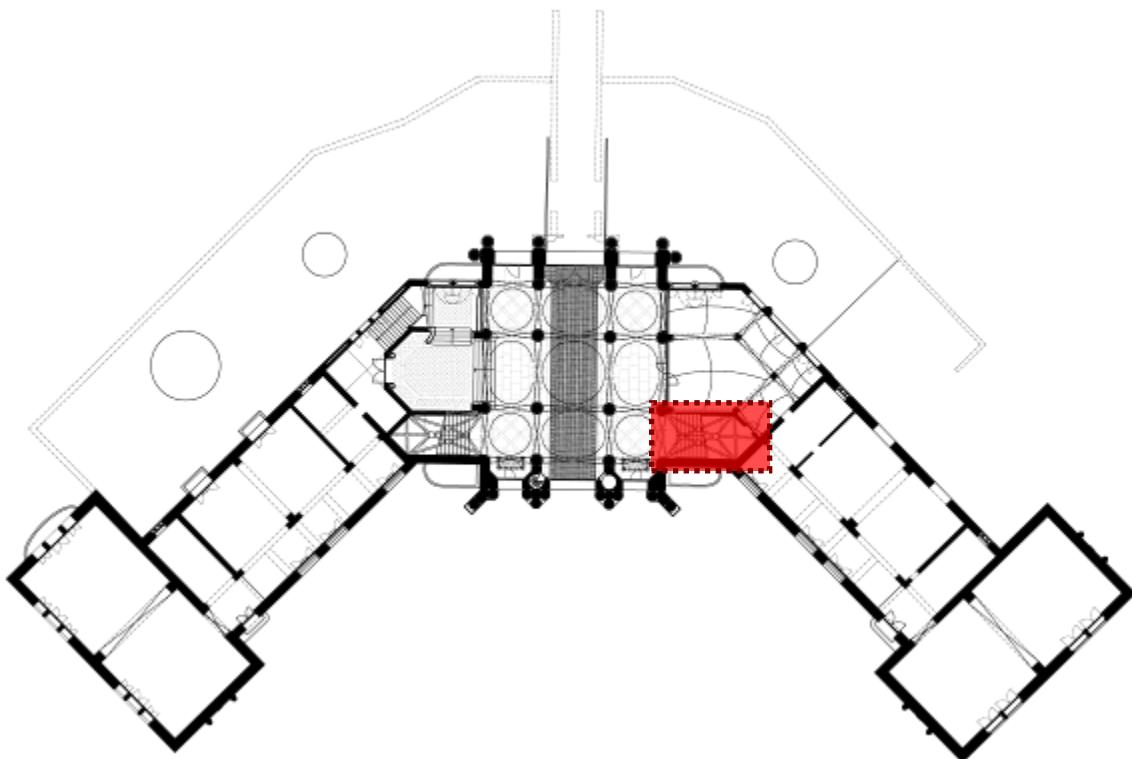


Fig. 369: Situació de la volta Dp-1_V10.

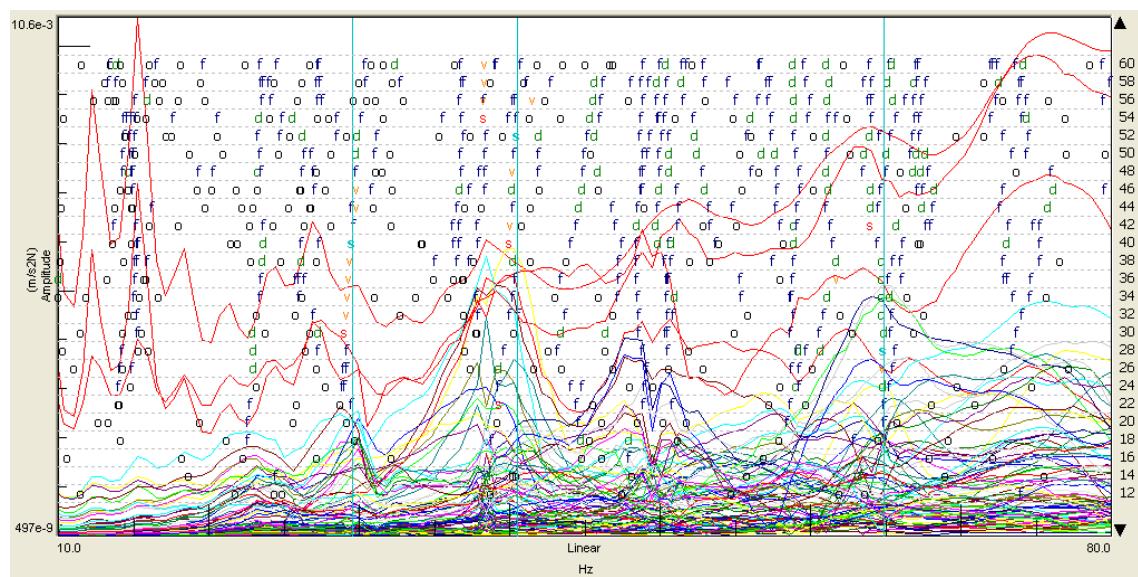


Fig. 370: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V10.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V12

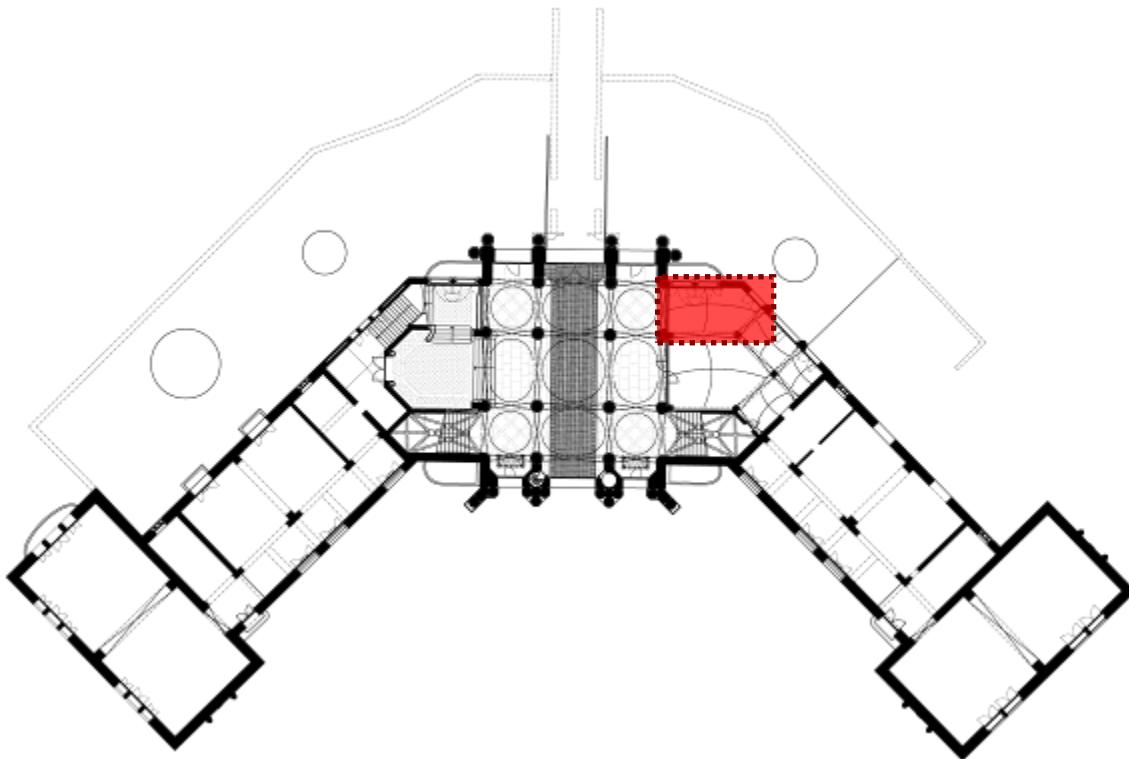


Fig. 371: Situació de la volta Dp-1_V12.

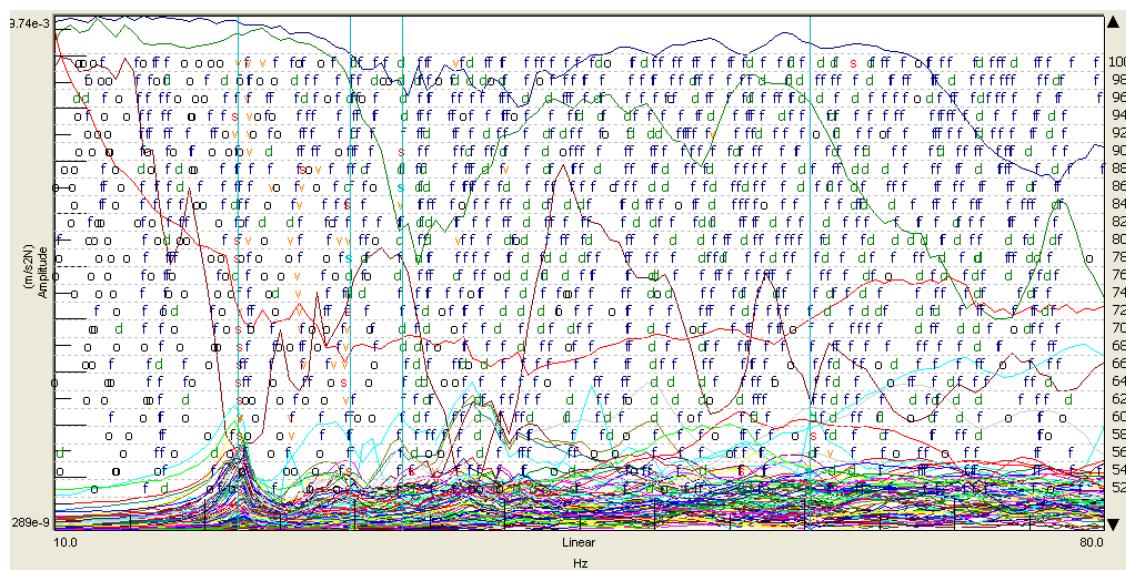


Fig. 372: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V12.

identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V10	29.507 Hz	40.486 Hz	64.870 Hz					
Dp-1_V12	22.208 Hz	29.654 Hz	33.186 Hz	60.351 Hz				

Fig. 373: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

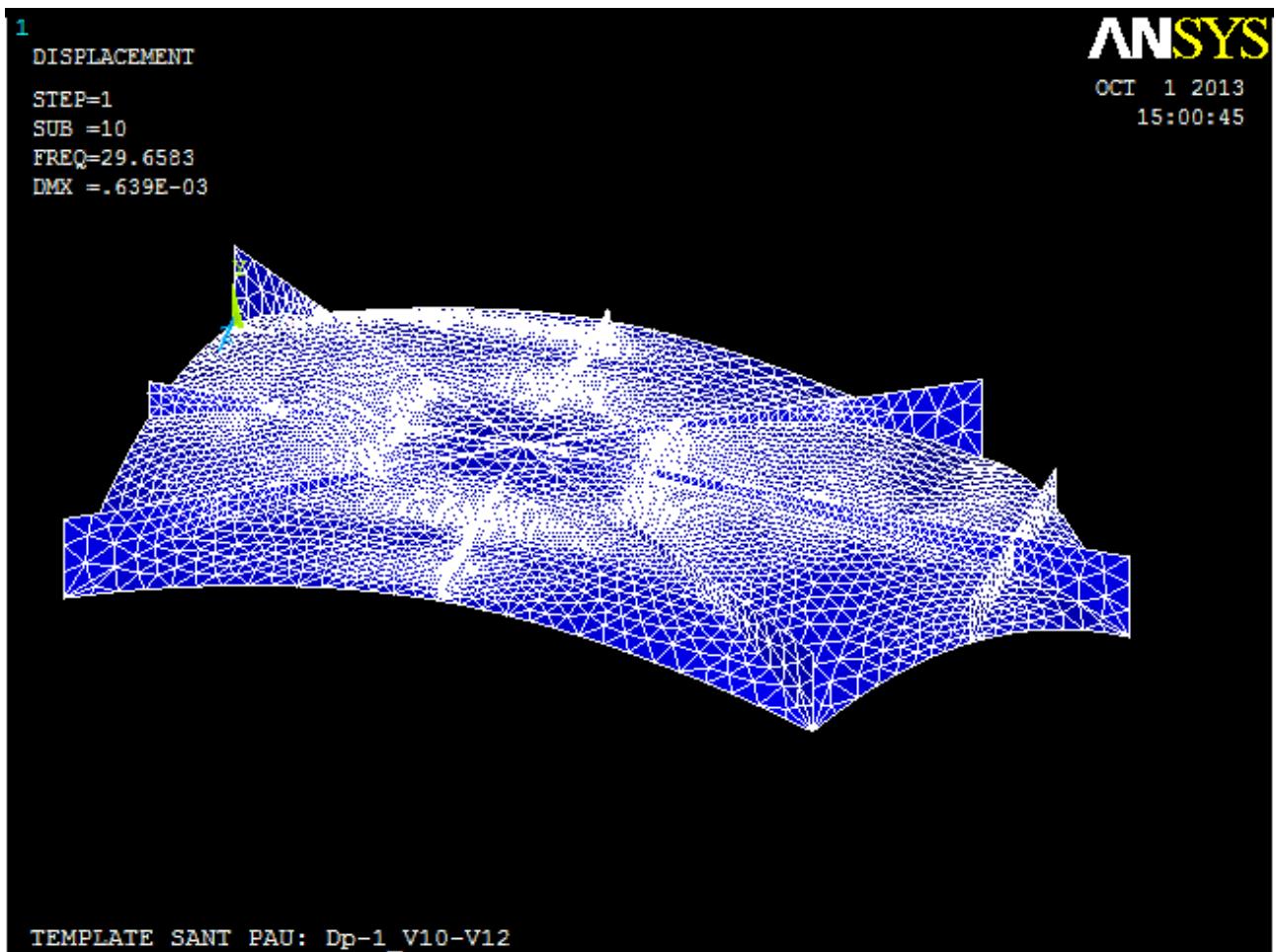


Fig. 374: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V10-V12.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V10-V12									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	10.471 Hz	12.565 Hz	14.241 Hz	19.749 Hz	21.212 Hz	22.699 Hz	24.024 Hz	26.283 Hz	28.722 Hz	29.658 Hz

Fig. 375: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V10-V12.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V13

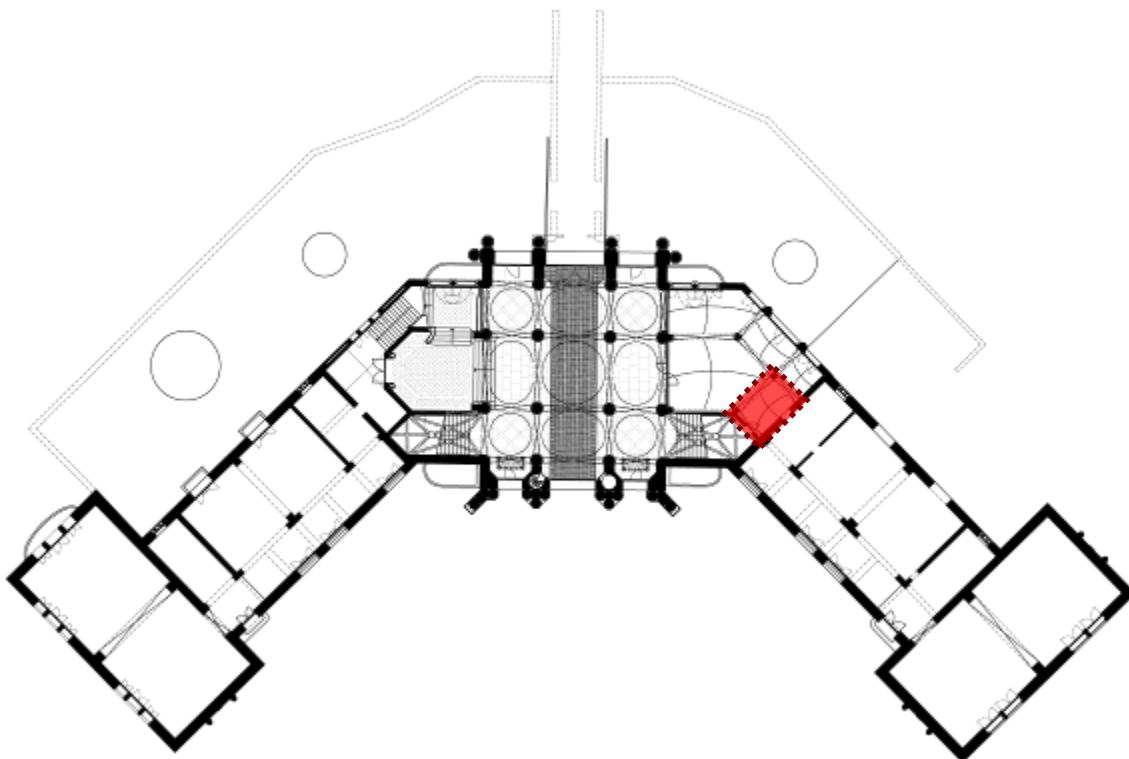


Fig. 376: Situació de la volta Dp-1_V13.

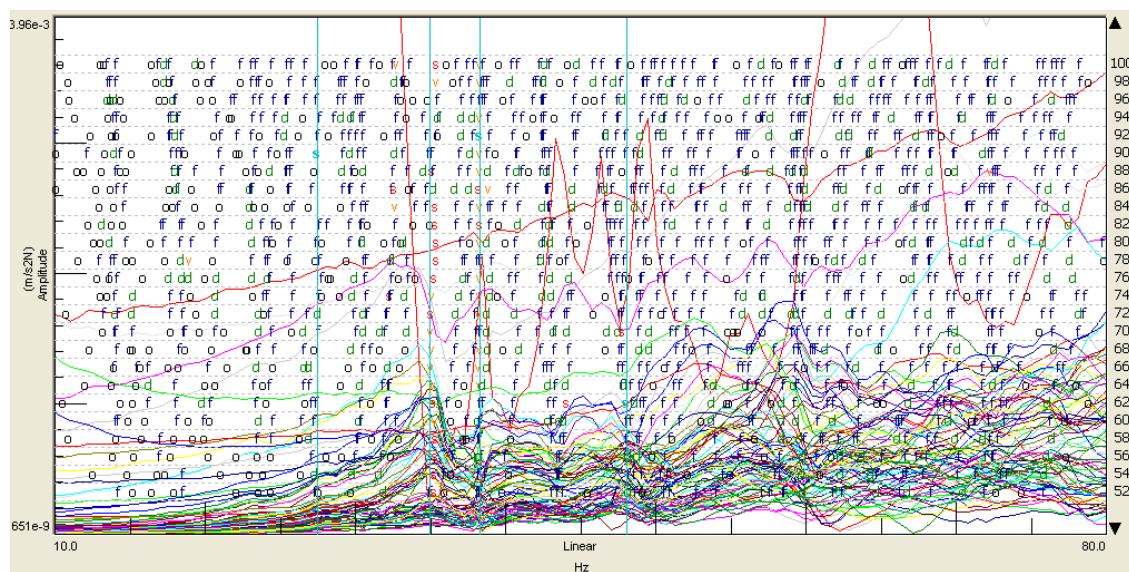


Fig. 377: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V13.

Identificació volta	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V13	27.456 Hz	34.963 Hz	38.268 Hz	48.033 Hz				

Fig. 378: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

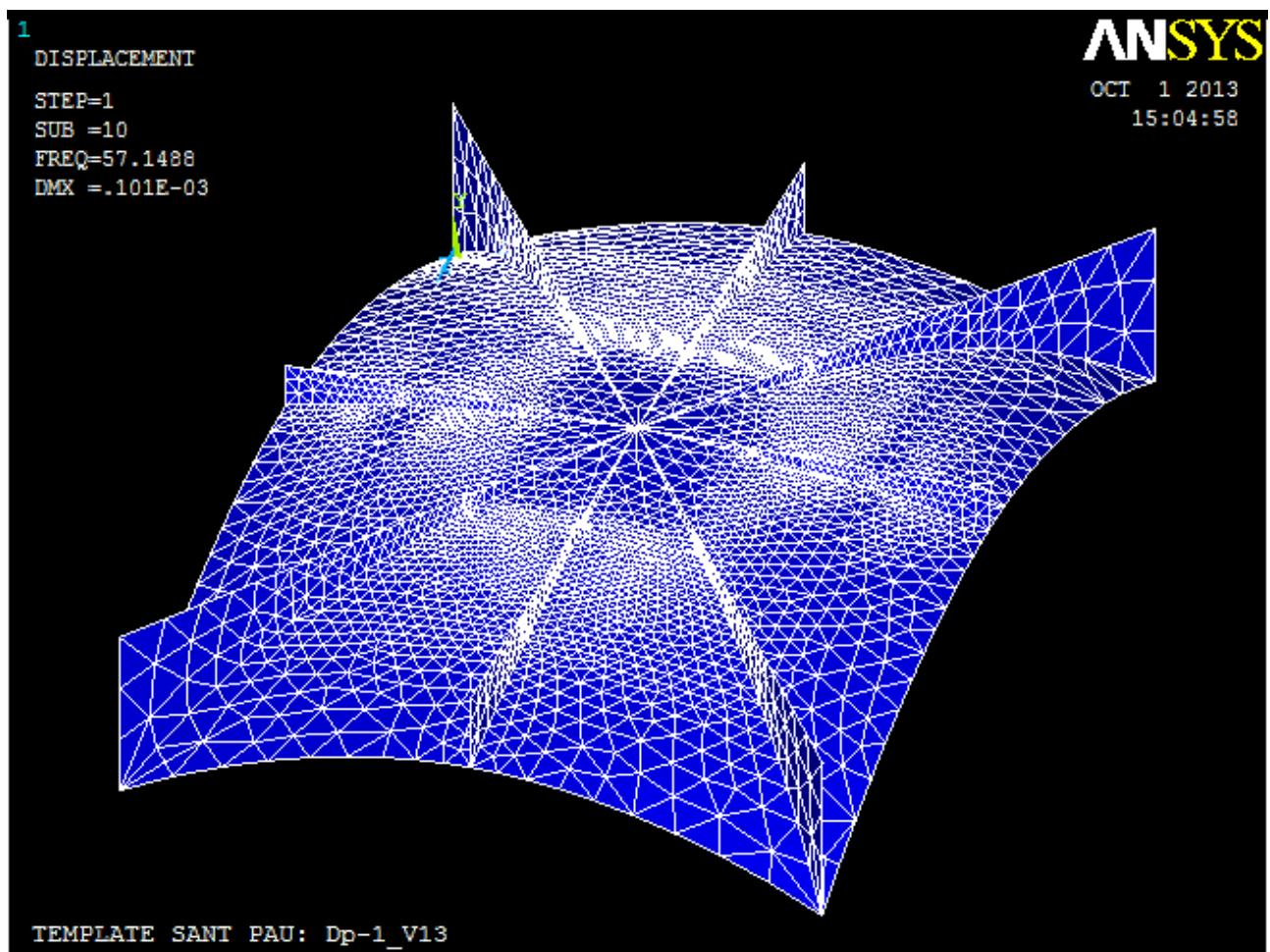


Fig. 379: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V13.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Dp-1_V13									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	20.546 Hz	25.245 Hz	28.848 Hz	35.557 Hz	37.321 Hz	38.181 Hz	42.753 Hz	47.153 Hz	49.416 Hz	57.149 Hz

Fig. 380: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V13.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V14

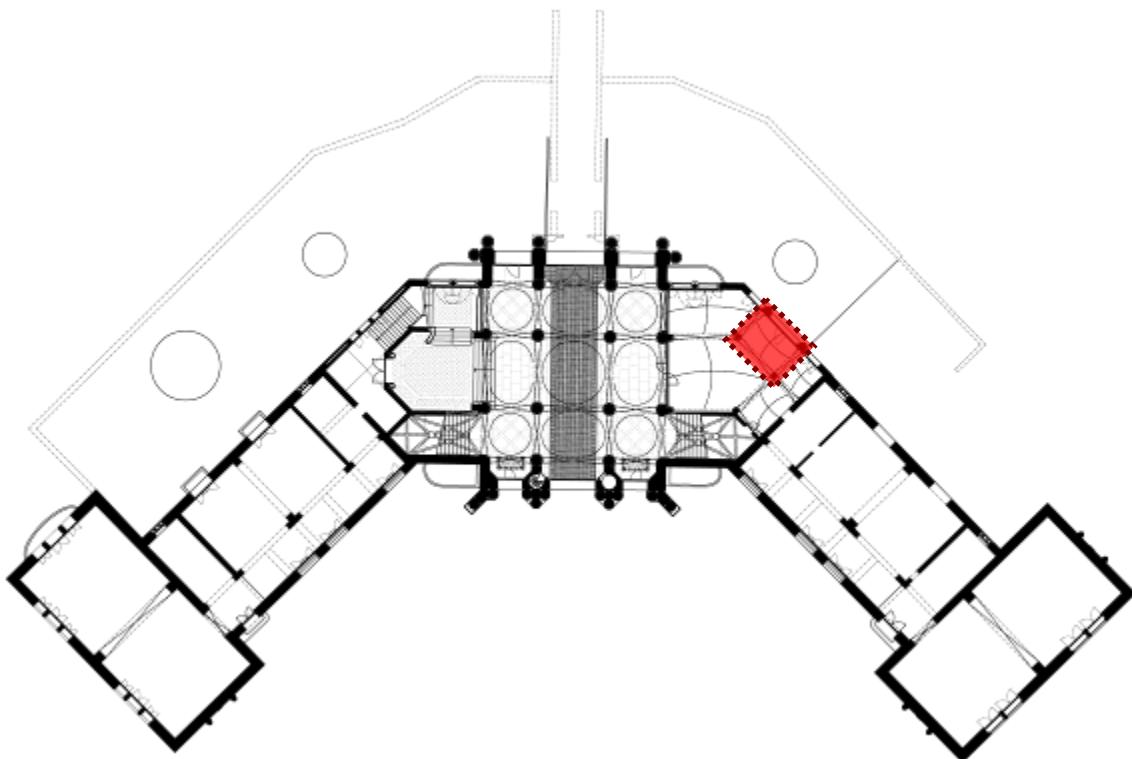


Fig. 381: Situació de la volta Dp-1_V14.

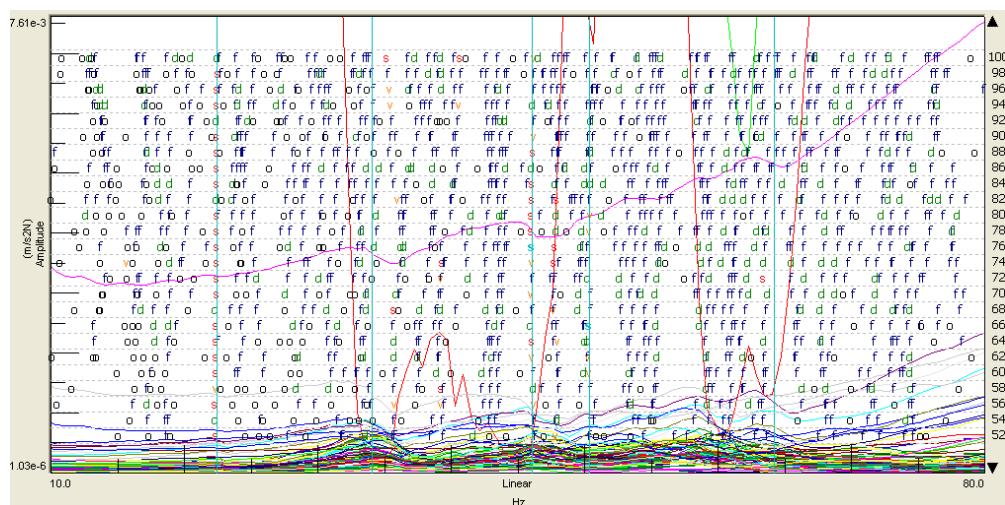


Fig. 382: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V14.

Identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V14	22.444 Hz	34.037 Hz	46.034 Hz	50.350 Hz	64.192 Hz			

Fig. 383: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

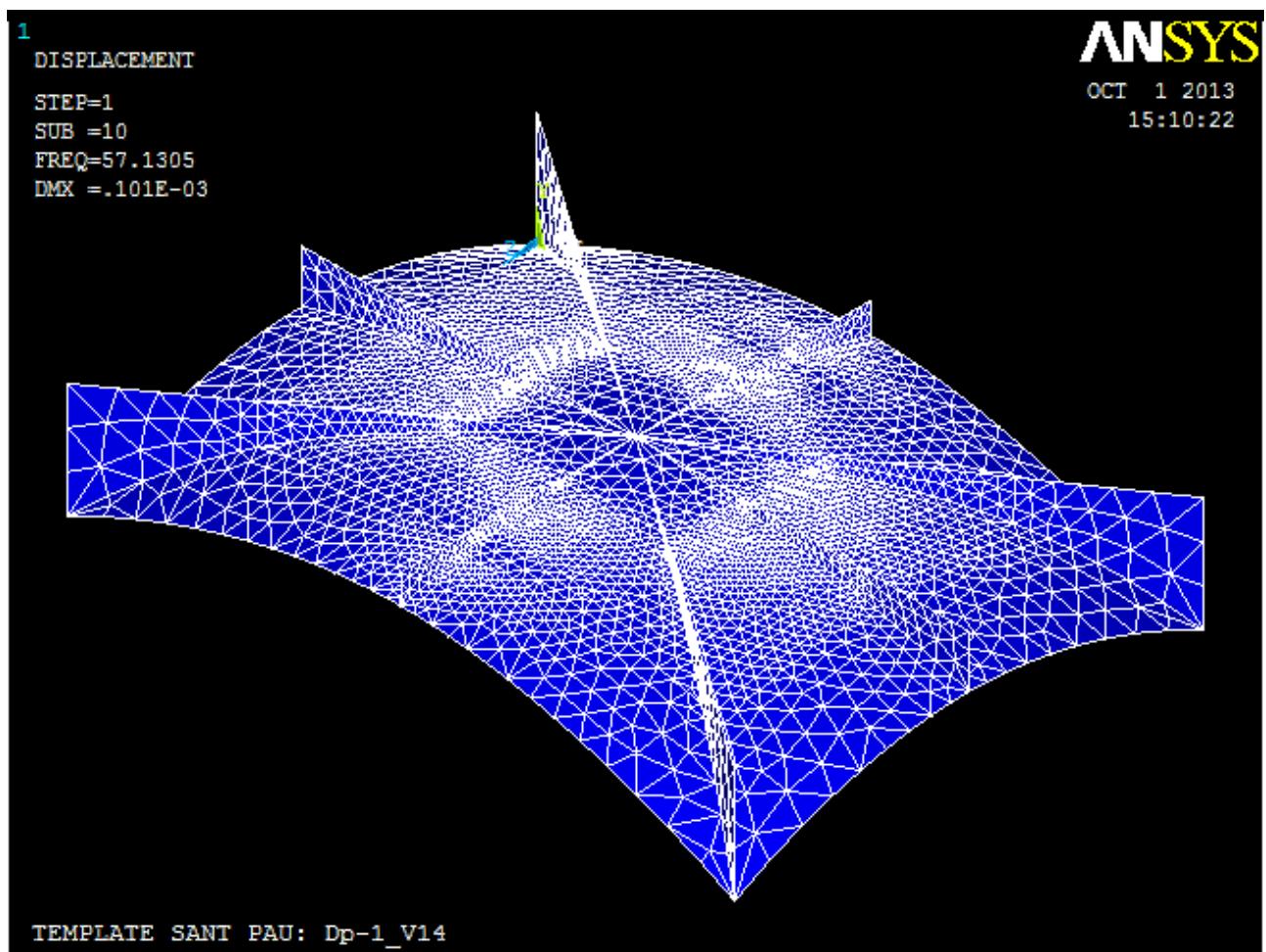


Fig. 384: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V14.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V14									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	20.539 Hz	25.237 Hz	28.816 Hz	35.543 Hz	37.303 Hz	38.169 Hz	42.732 Hz	47.114 Hz	49.418 Hz	57.130 Hz

Fig. 385: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V14.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V15

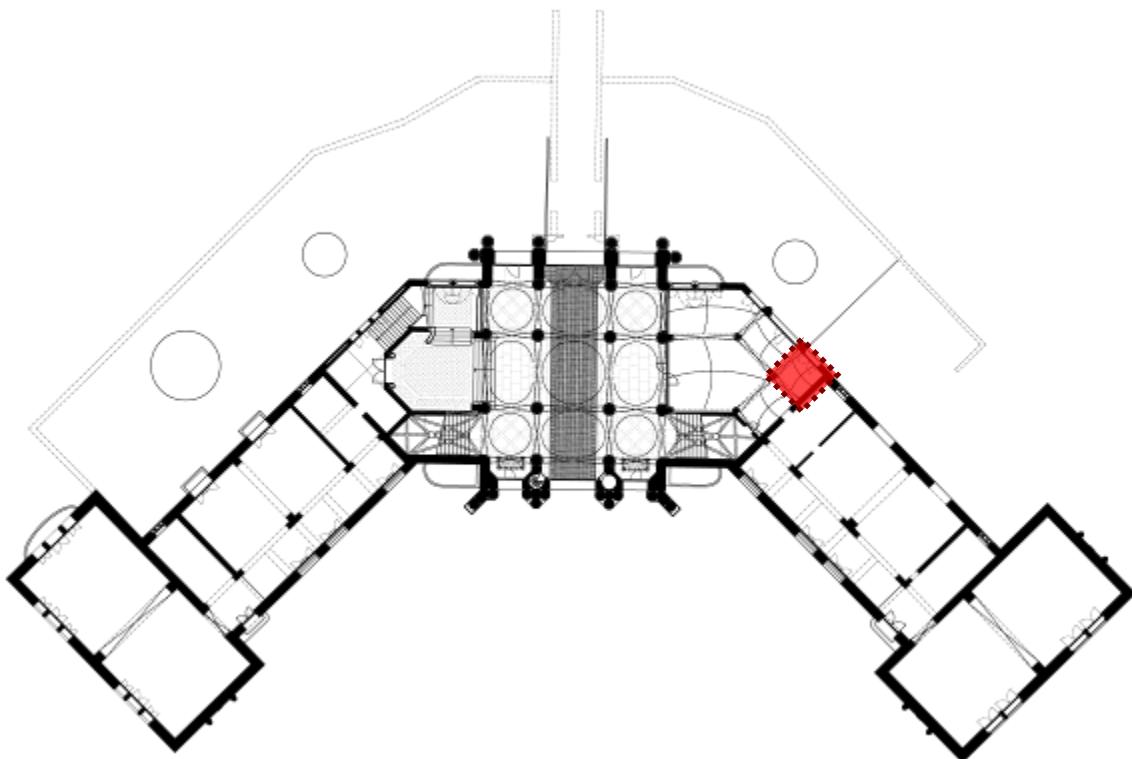


Fig. 386: Situació de la volta Dp-1_V15.

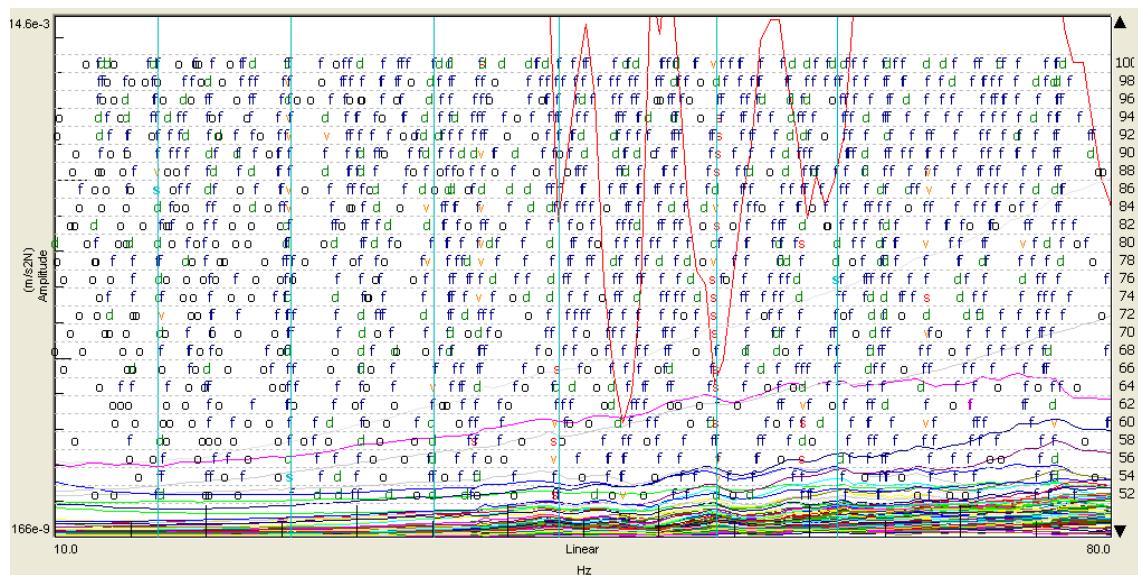


Fig. 387: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V15.

Identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V15	16.810 Hz	25.636 Hz	35.114 Hz	43.374 Hz	53.814	61.873		

Fig. 388: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

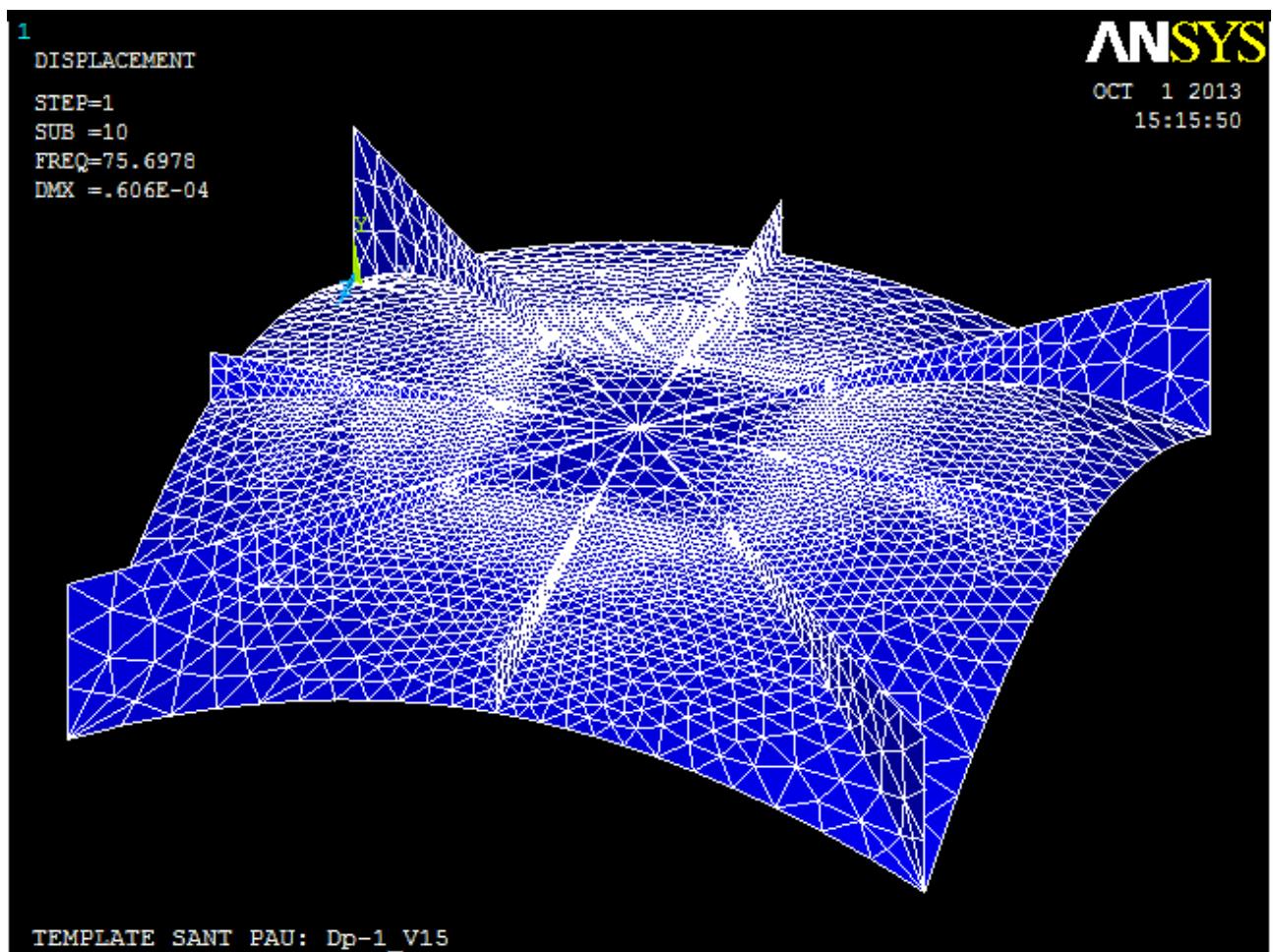


Fig. 389: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V15.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V15									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	30.361 Hz	32.227 Hz	33.329 Hz	43.942 Hz	47.038 Hz	48.889 Hz	49.583 Hz	56.227 Hz	63.492 Hz	75.698 Hz

Fig. 390: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V15.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp0_V16

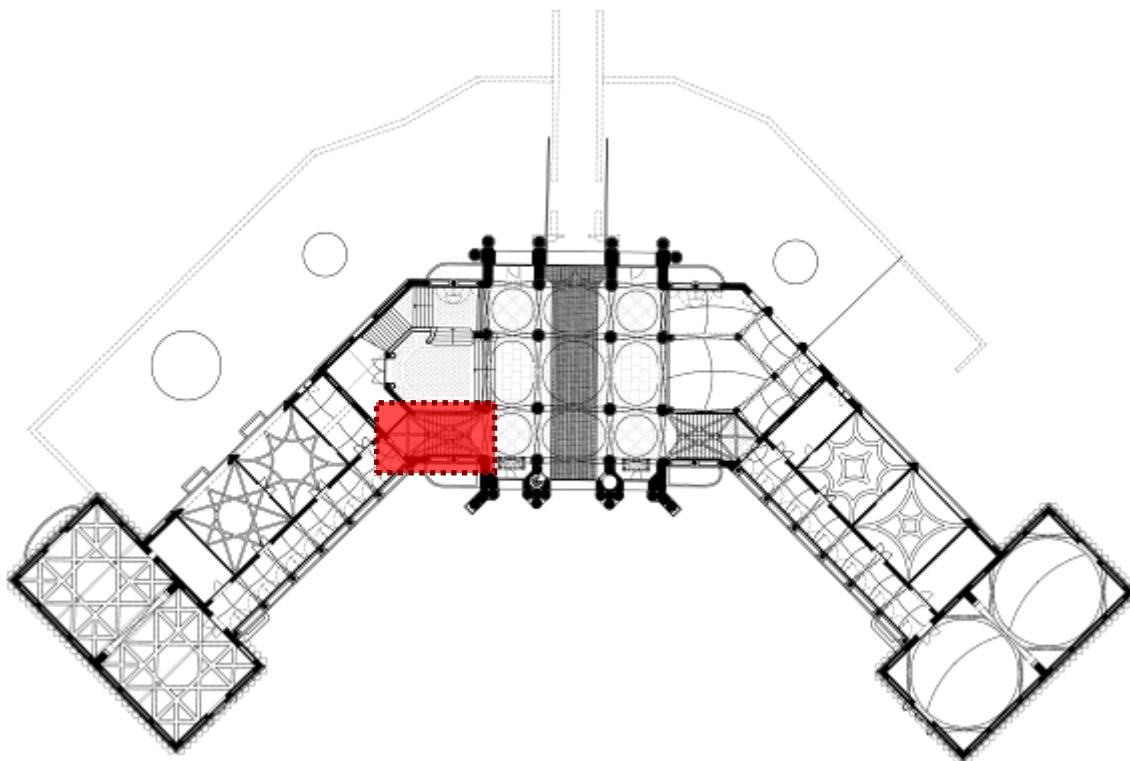


Fig. 391: Situació de la volta Dp0_V16.

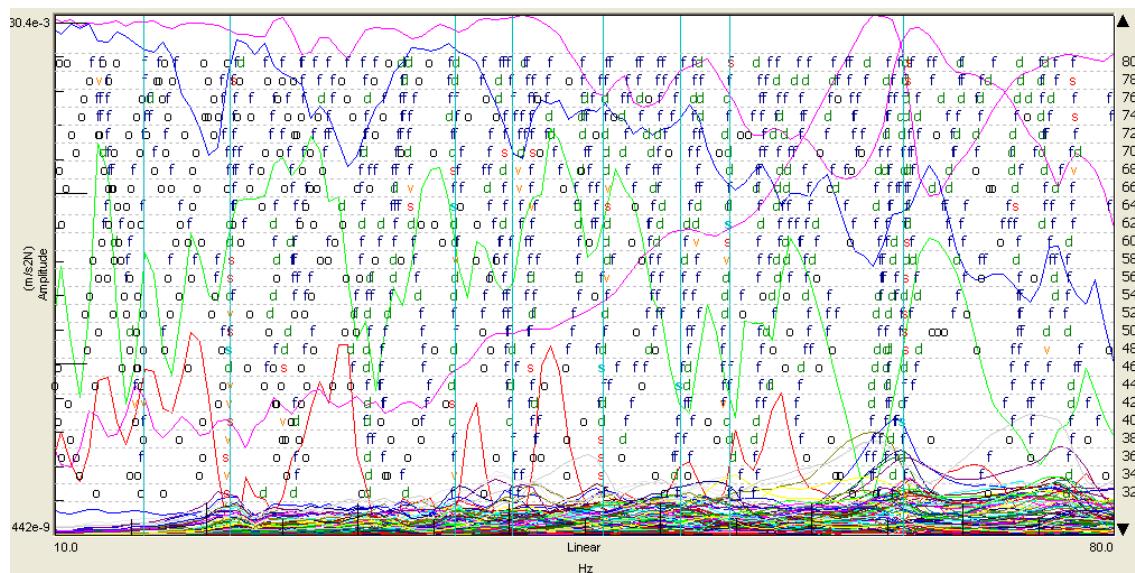


Fig. 392: Gràfica d'estabilització de la volta Dp0_V16.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V16

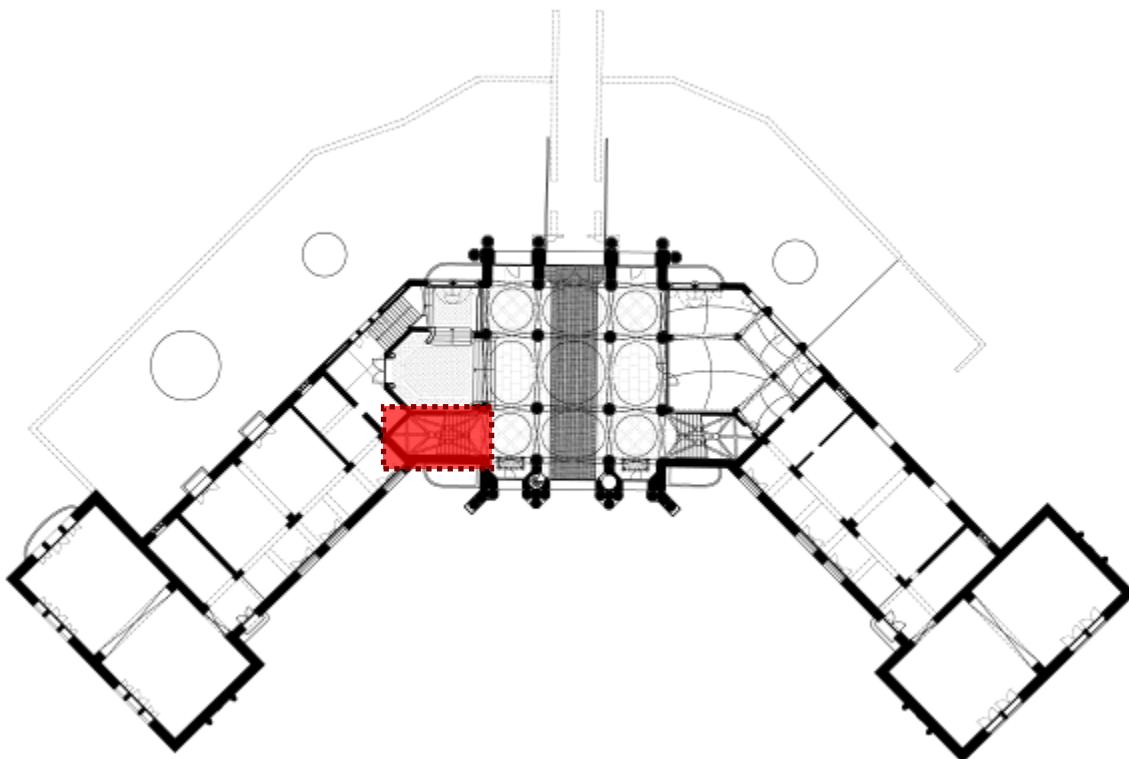


Fig. 393: Situació de la volta Dp-1_V16.

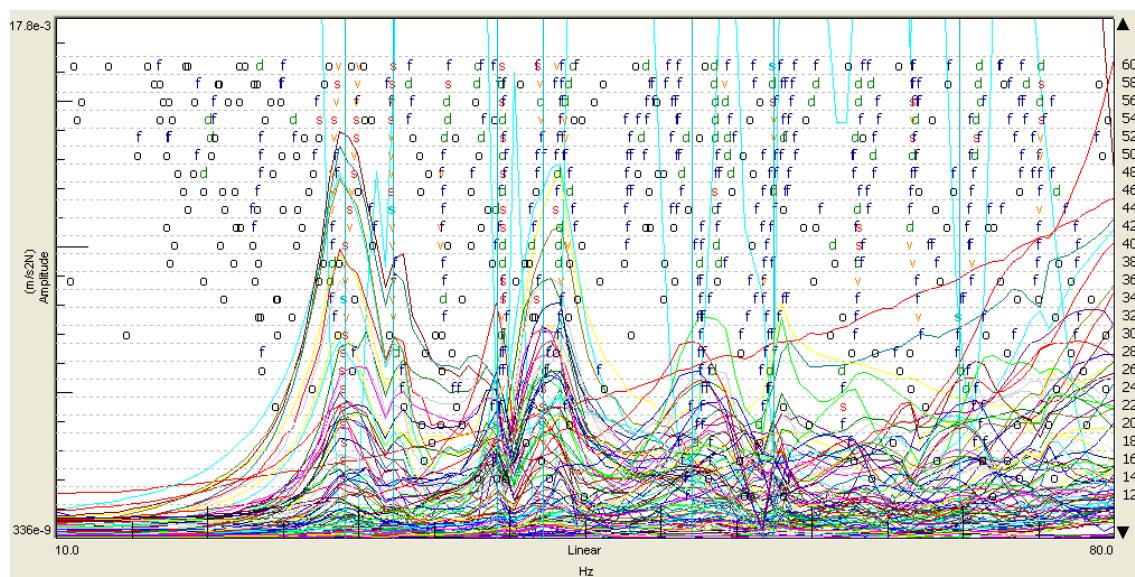


Fig. 394: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V16.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V18

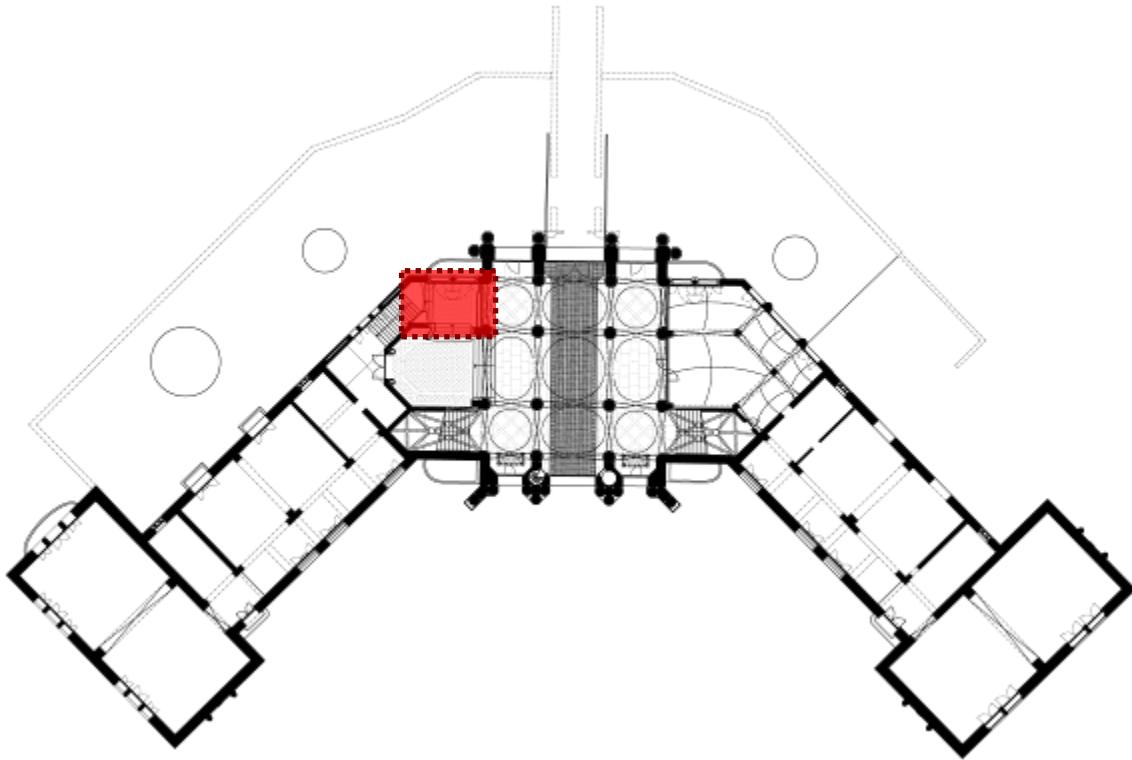


Fig. 395: Situació de la volta Dp-1_V18.

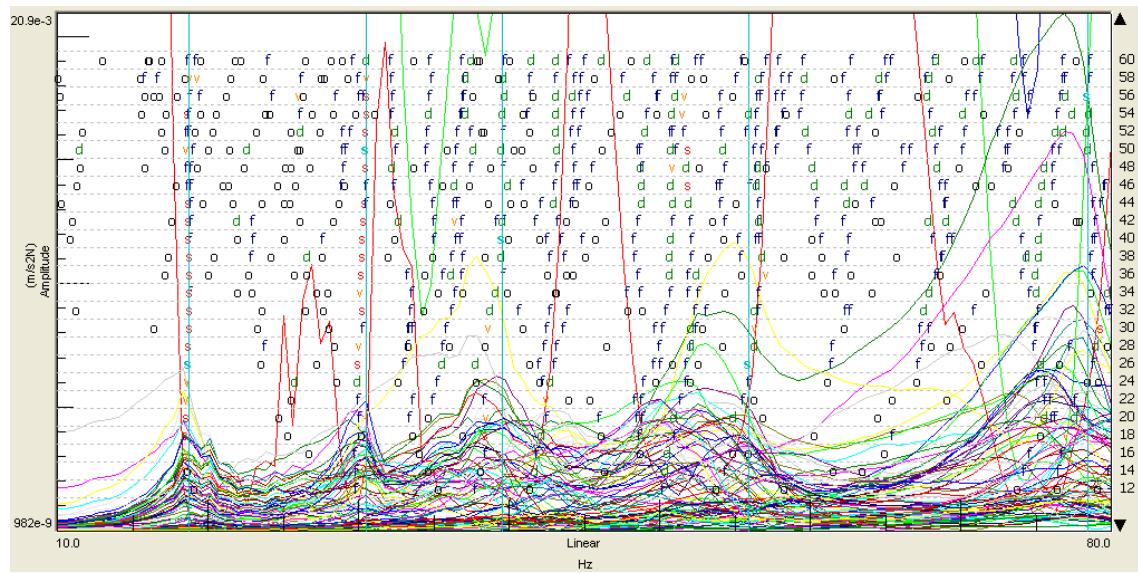


Fig. 396: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V18.

identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp0_V16	15.813 Hz	21.560 Hz	36.412 Hz	40.195 Hz	46.218 Hz	51.332 Hz	54.548 Hz	66.081 Hz
Dp-1_V16	29.124 Hz	32.249 Hz	39.146 Hz	42.222 Hz	52.097 Hz	57.450 Hz	69.799 Hz	
Dp-1_V18	18.736 Hz	30.510 Hz	39.529 Hz	55.889 Hz	78.444 Hz			

Fig. 397: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

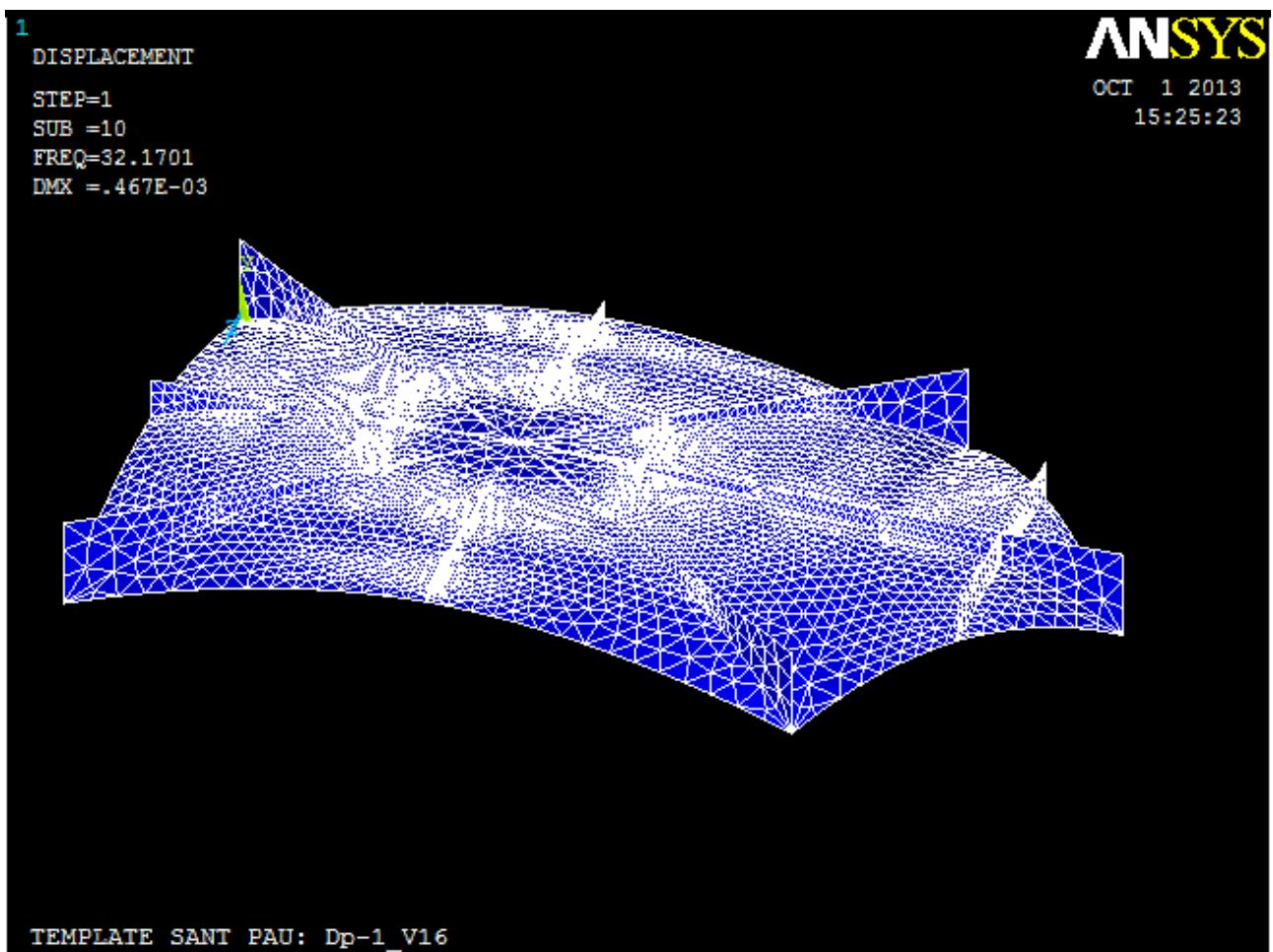


Fig. 398: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V16-Dp0_V16-Dp-1_V18.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V16-Dp0_V16-Dp-1_V18									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	12.290 Hz	13.835 Hz	15.247 Hz	21.020 Hz	22.289 Hz	23.718 Hz	25.873 Hz	27.548 Hz	29.875 Hz	32.170 Hz

Fig. 399: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V16-Dp0_V16-Dp-1_V18.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Dp-1_V17

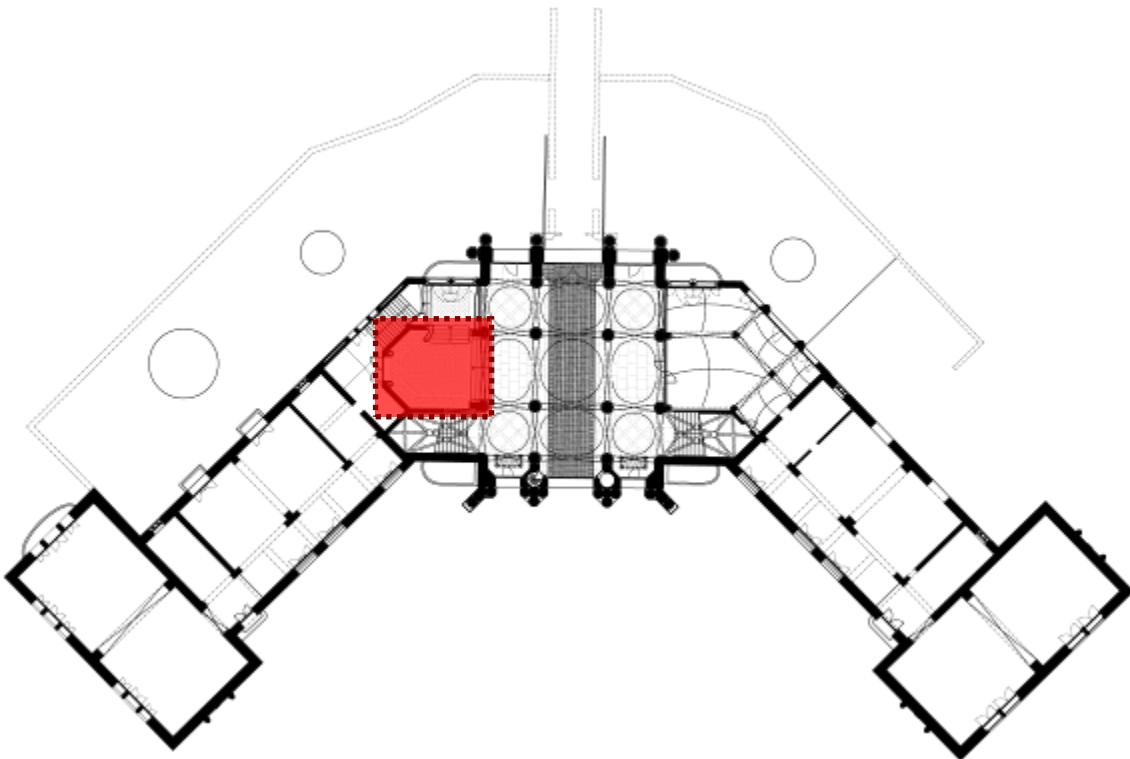


Fig. 400: Situació de la volta Dp-1_V17.

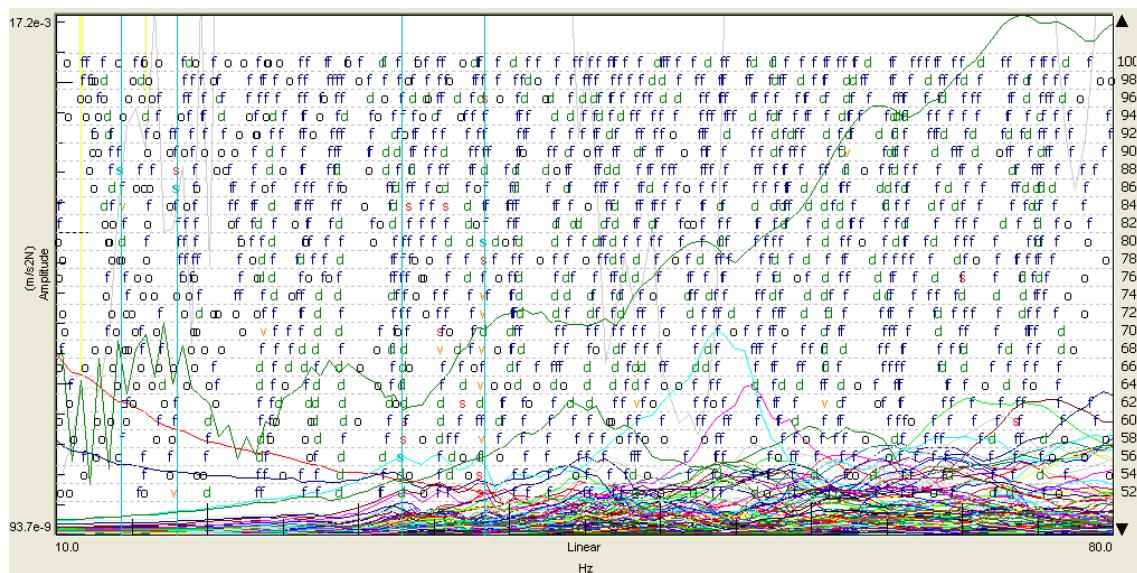


Fig. 401: Gràfica d'estabilització de la volta Dp-1_V17.

identificació volta D planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Dp-1_V17	14.238 Hz	17.947 Hz	32.893 Hz	38.357 Hz				

Fig. 402: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

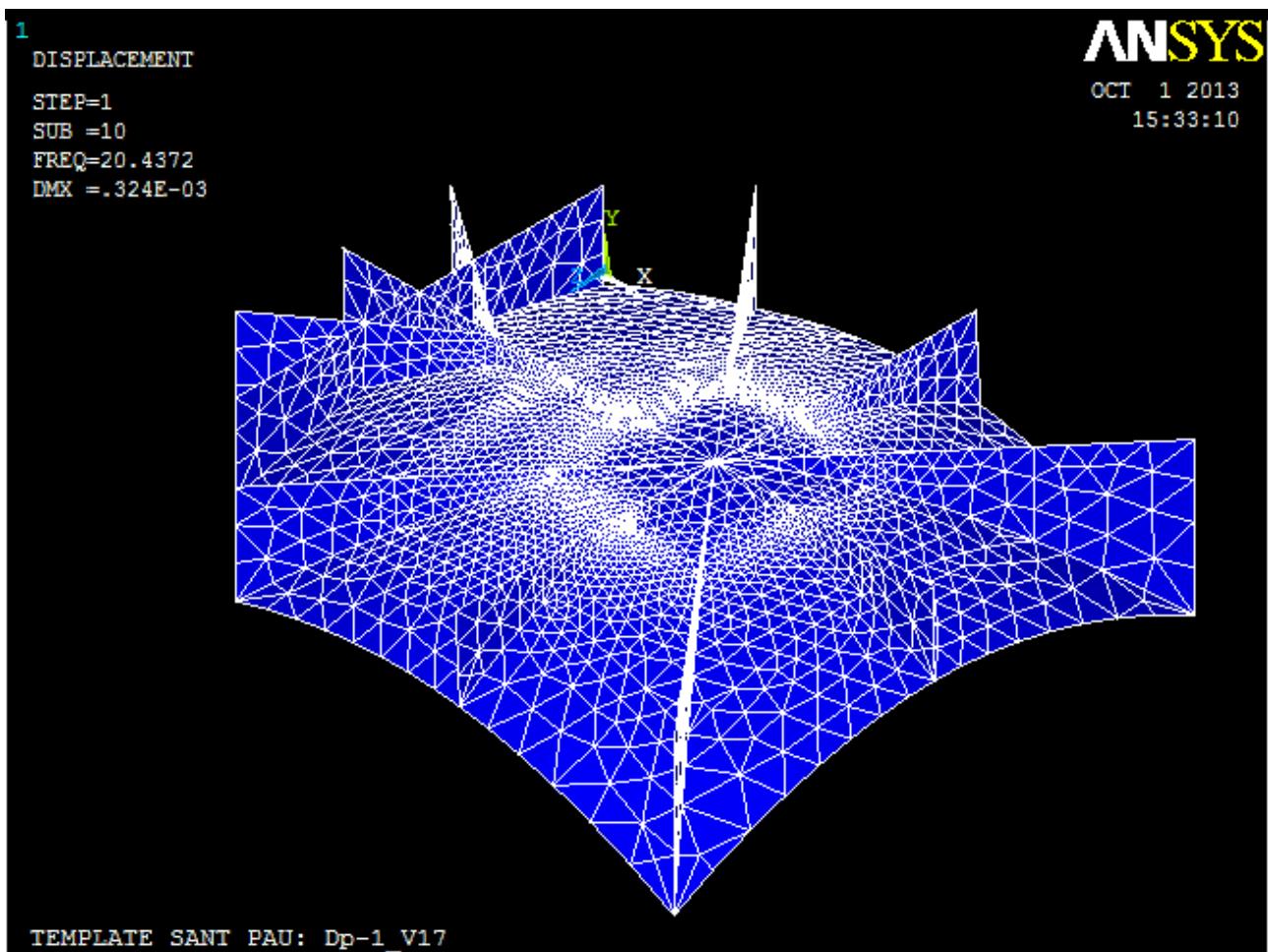


Fig. 403: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Dp-1_V17.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Dp-1_V17										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
AC_can		9.911 Hz	11.551 Hz	14.879 Hz	15.323 Hz	16.131 Hz	16.426 Hz	17.046 Hz	18.456 Hz	19.963 Hz	20.437 Hz

Fig. 404: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Dp-1_V17.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : EPP-1_V2

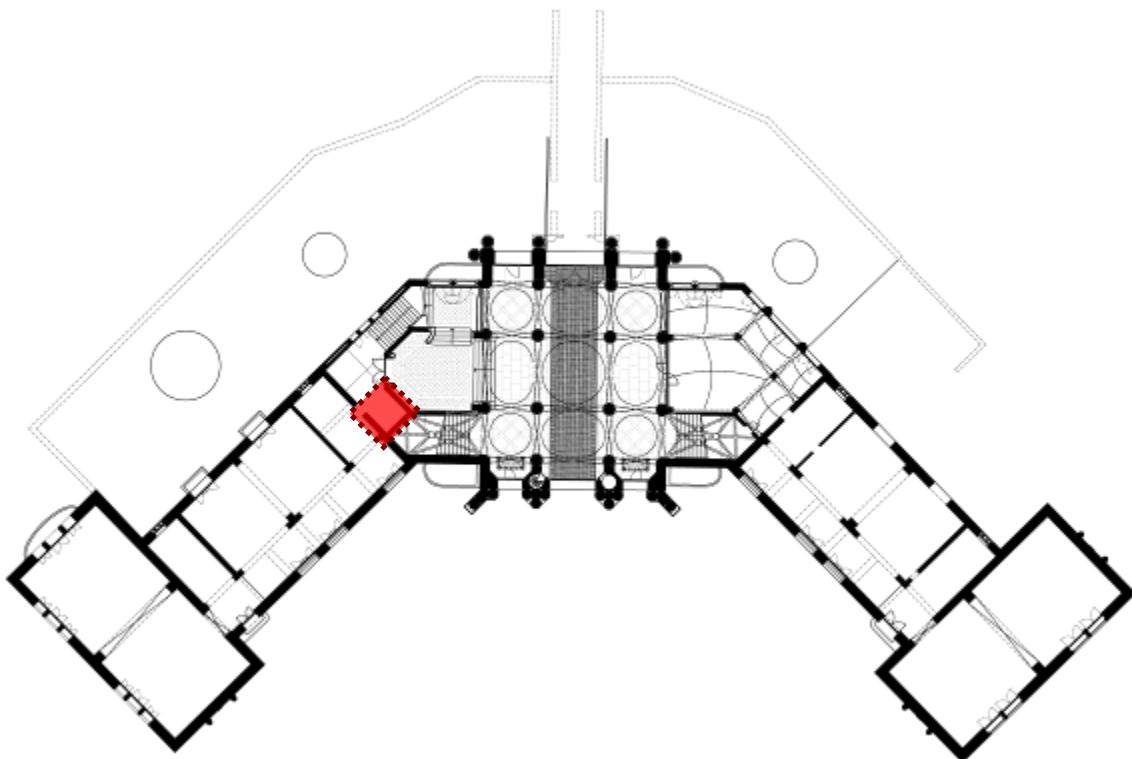


Fig. 405: Situació de la volta EPP-1_V2.

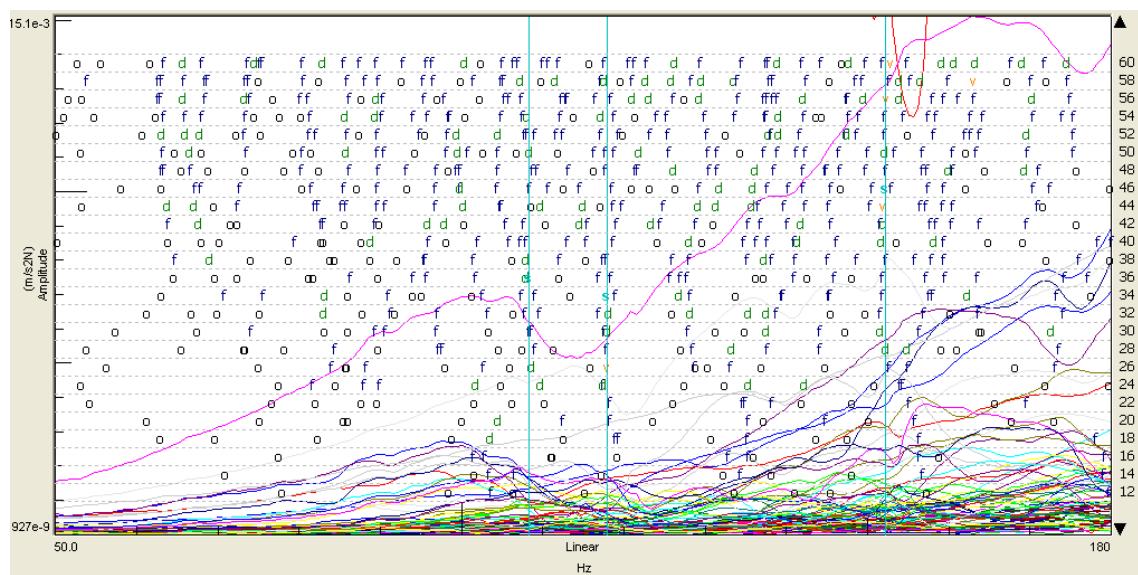


Fig. 406: Gràfica d'estabilització de la volta EPP-1_V2.

Identificació volta EP planta soterrani	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
EPP-1_V2	108.257 Hz	117.867 Hz	152.232 Hz					

Fig. 407: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

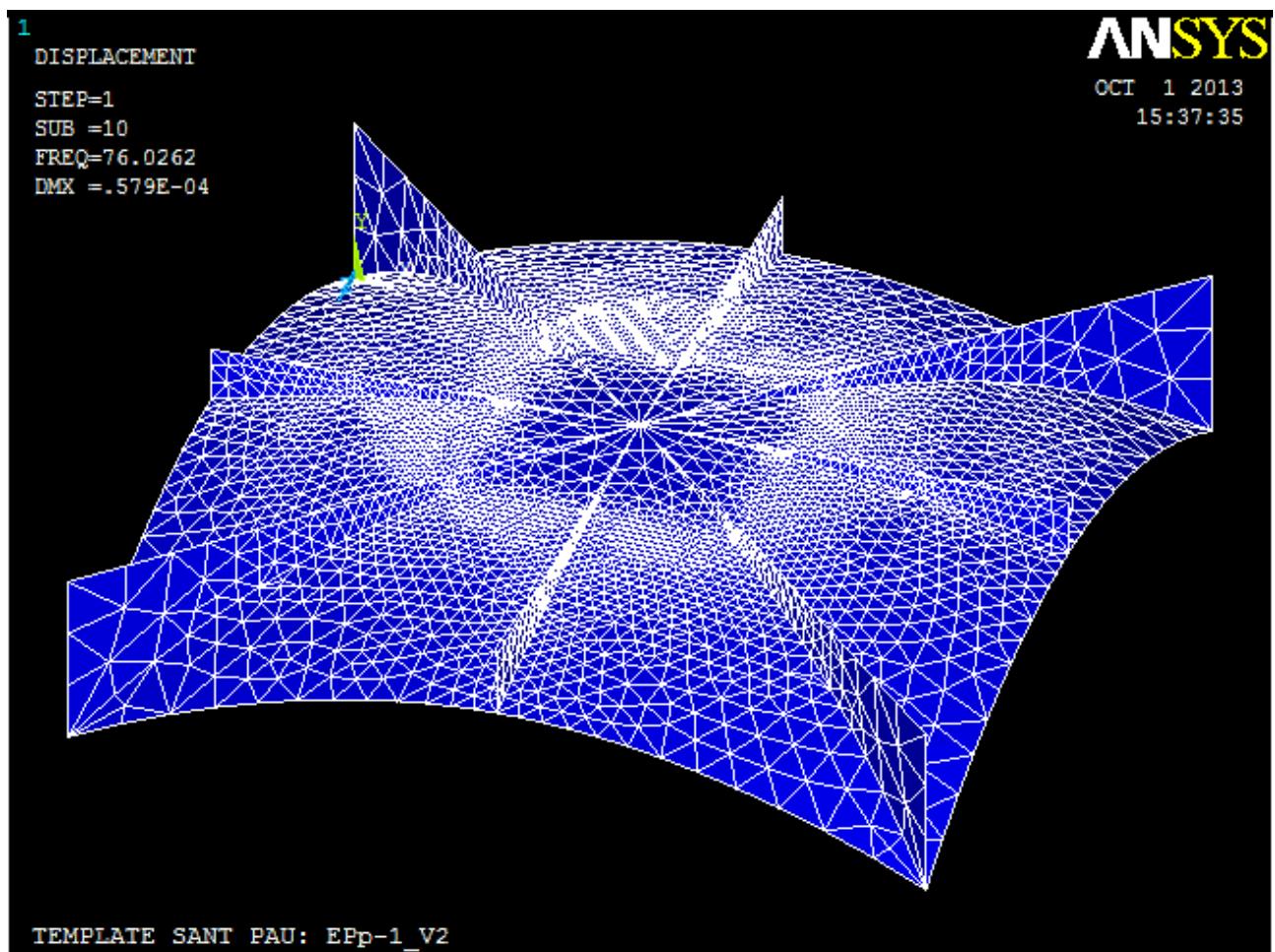


Fig. 408: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta EPp-1_V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES EPp-1_V2										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
AC_can		30.884 Hz	32.996 Hz	33.845 Hz	43.105 Hz	47.045 Hz	49.492 Hz	50.781 Hz	55.855 Hz	64.060 Hz	76.026 Hz

Fig. 409: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta EPp-1_V2.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V1

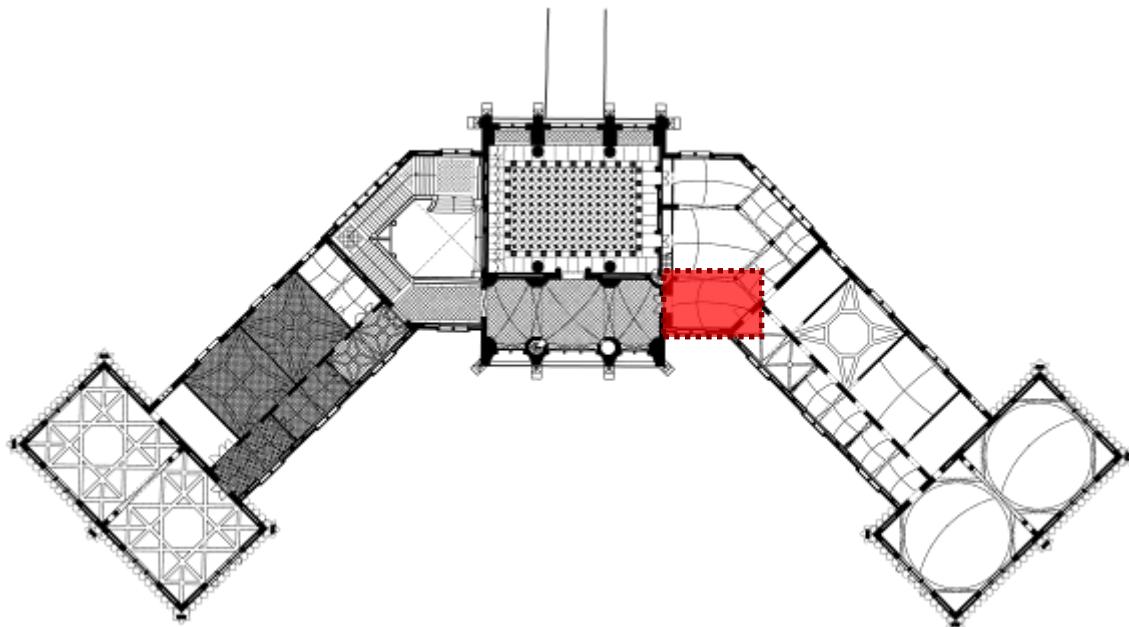


Fig. 410: Situació de la volta Np2_V1.

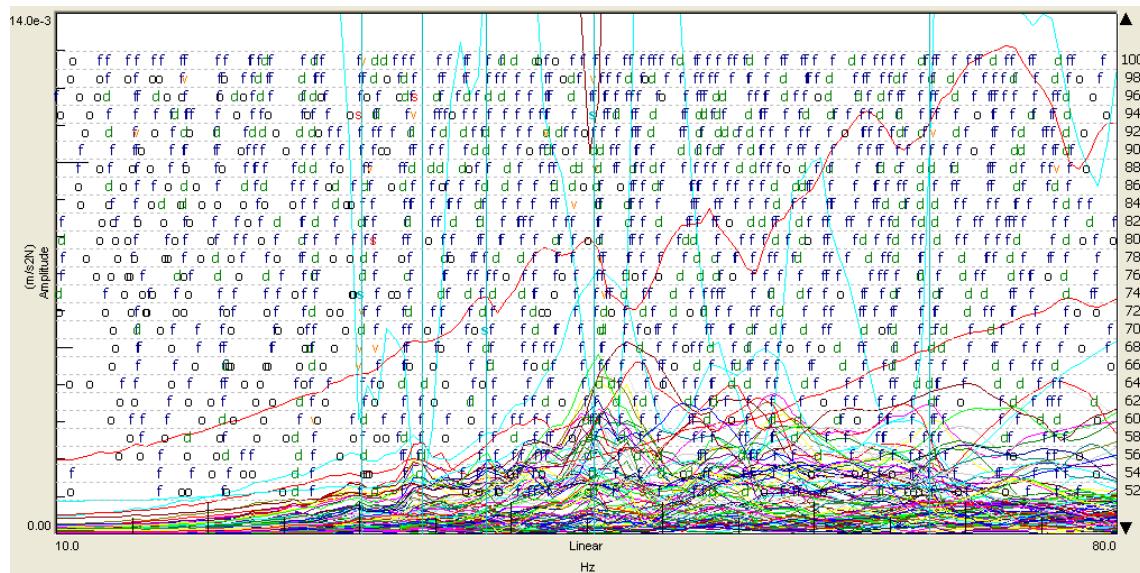


Fig. 411: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V1.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V3

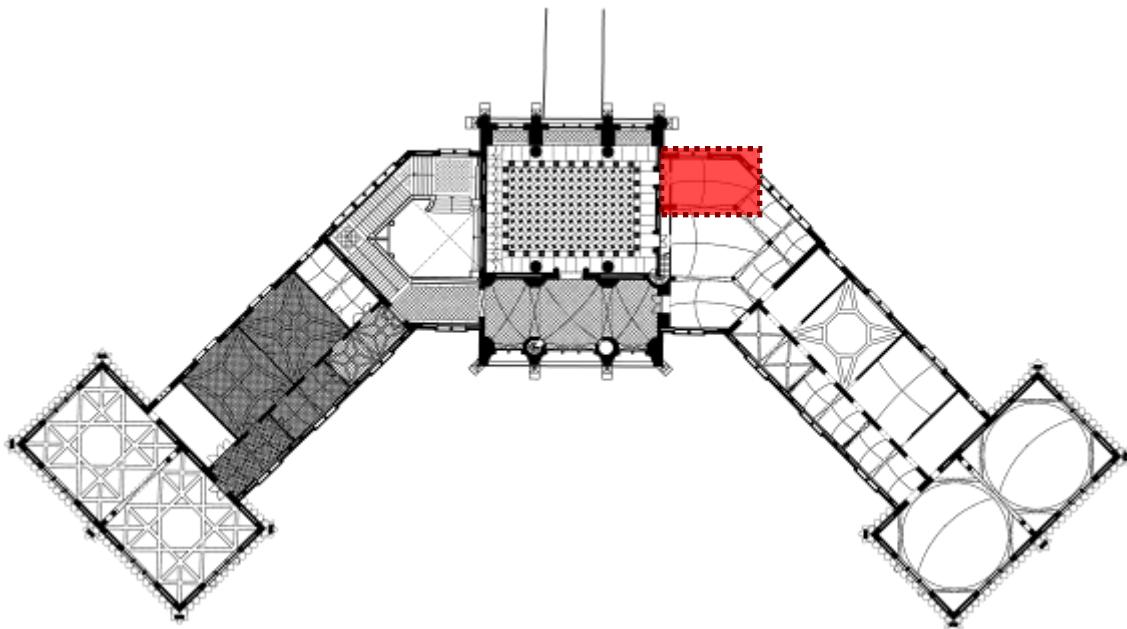


Fig. 412: Situació de la volta Np2_V3.

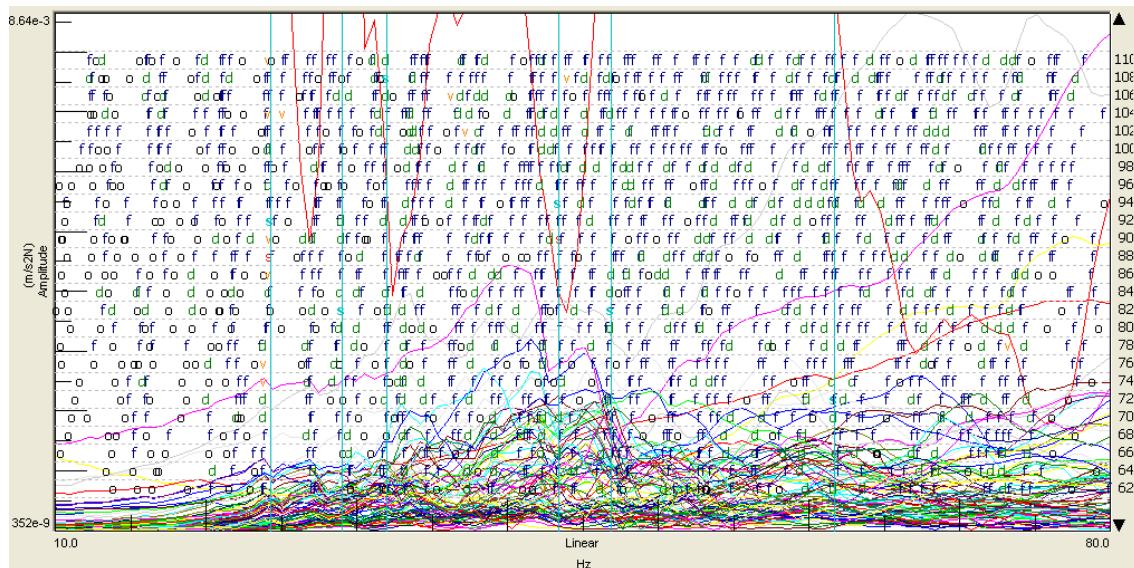


Fig. 413: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V3.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Np2_V1	30.154 Hz	34.116 Hz	38.325 Hz	45.481 Hz	67.595 Hz			
Np2_V3	24.273 Hz	29.018 Hz	31.993 Hz	43.369 Hz	46.884 Hz	61.681 Hz		

Fig. 414: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

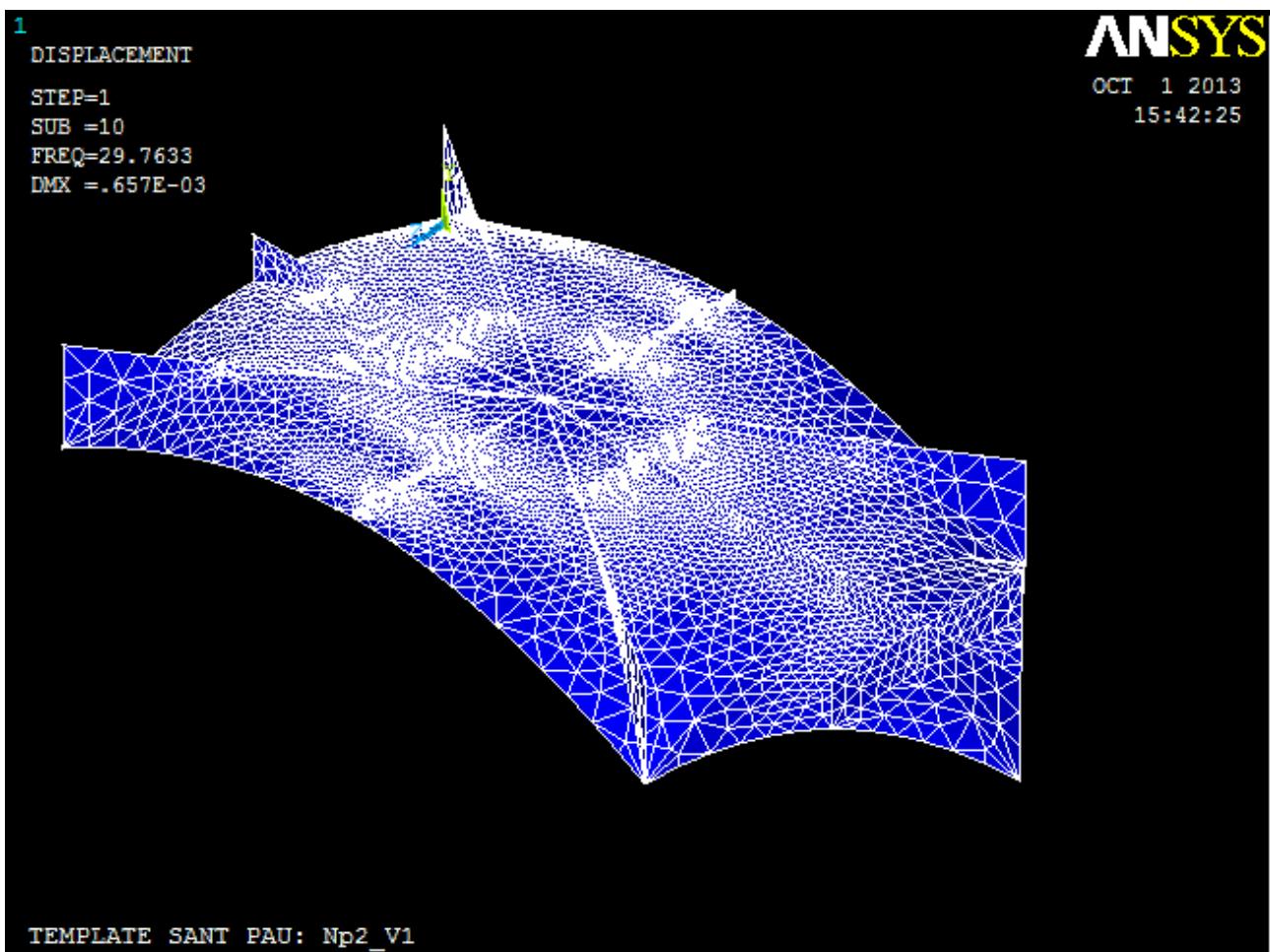


Fig. 415: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Np2_V1-V3.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Np2_V1-V3									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	10.263 Hz	12.491 Hz	15.730 Hz	18.485 Hz	22.912 Hz	22.938 Hz	25.770 Hz	26.272 Hz	28.877 Hz	29.763 Hz

Fig. 416: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Np2_V1-V3.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V4

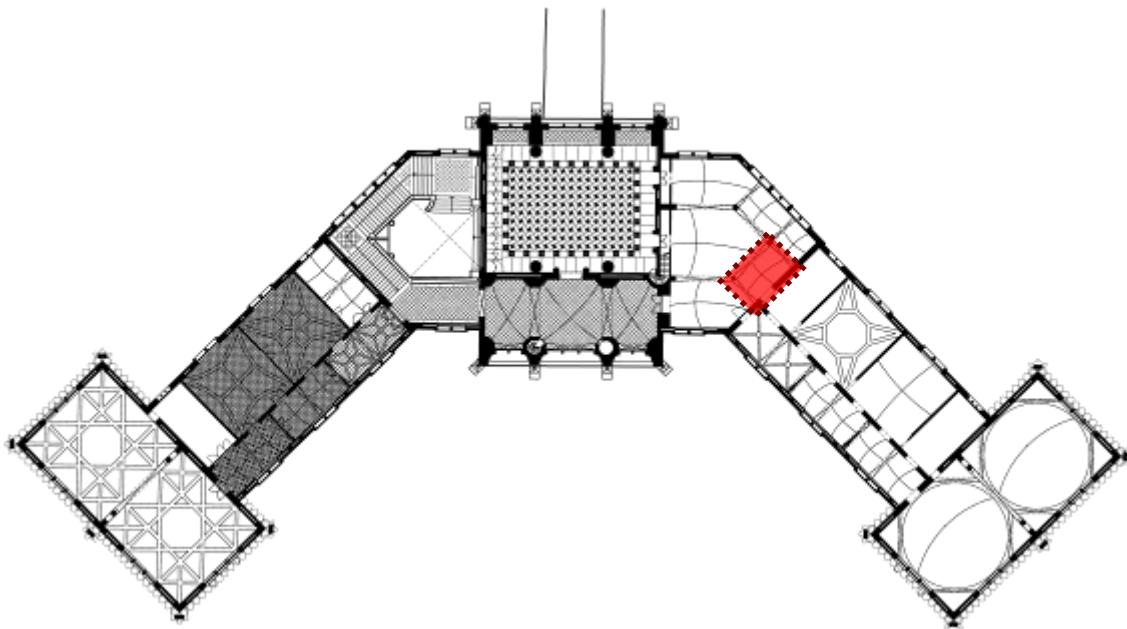


Fig. 417: Situació de la volta Np2_V4.

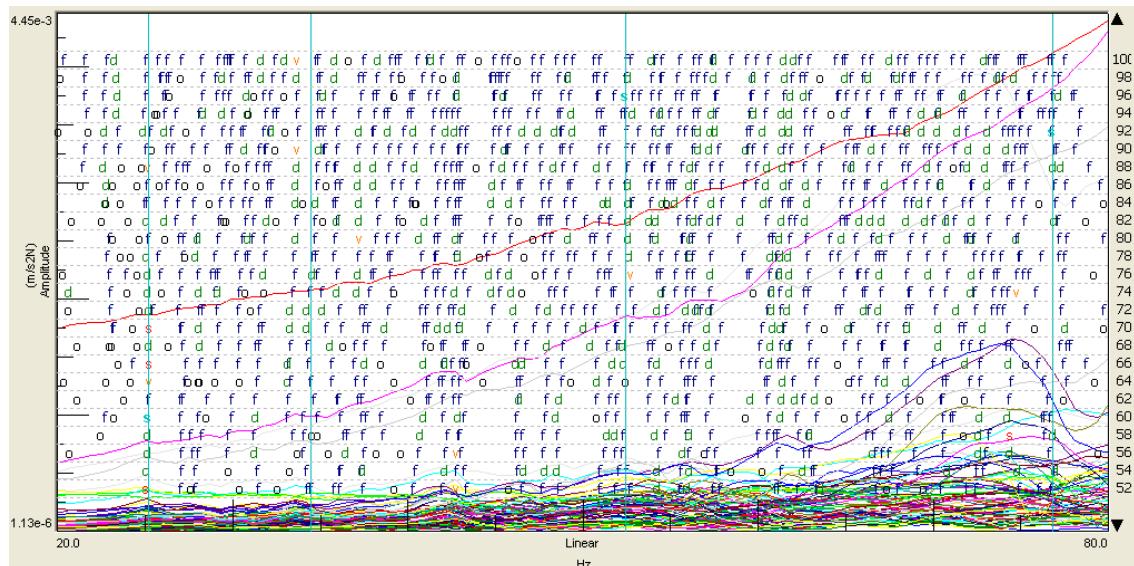


Fig. 418: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V4.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Np2_V4	25.177 Hz	34.487 Hz	52.453 Hz	76.818 Hz				

Fig. 419: Taula de freqüències extretes del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

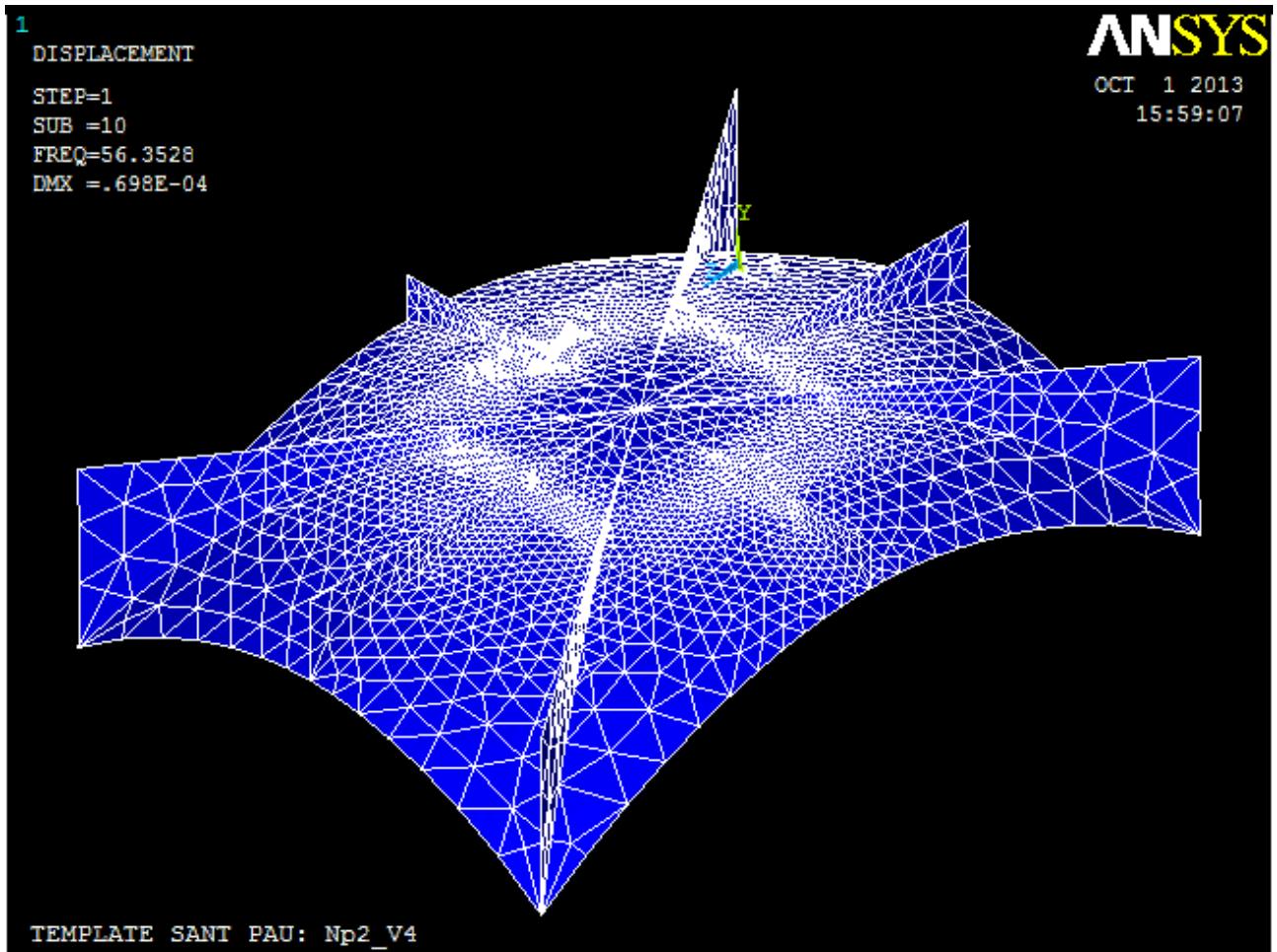


Fig. 420: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Np2_V4.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Np2_V4									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	20.087 Hz	28.143 Hz	30.940 Hz	32.914 Hz	37.775 Hz	43.440 Hz	47.999 Hz	48.382 Hz	56.309 Hz	56.353 Hz

Fig. 421: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Np2_V4.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V5

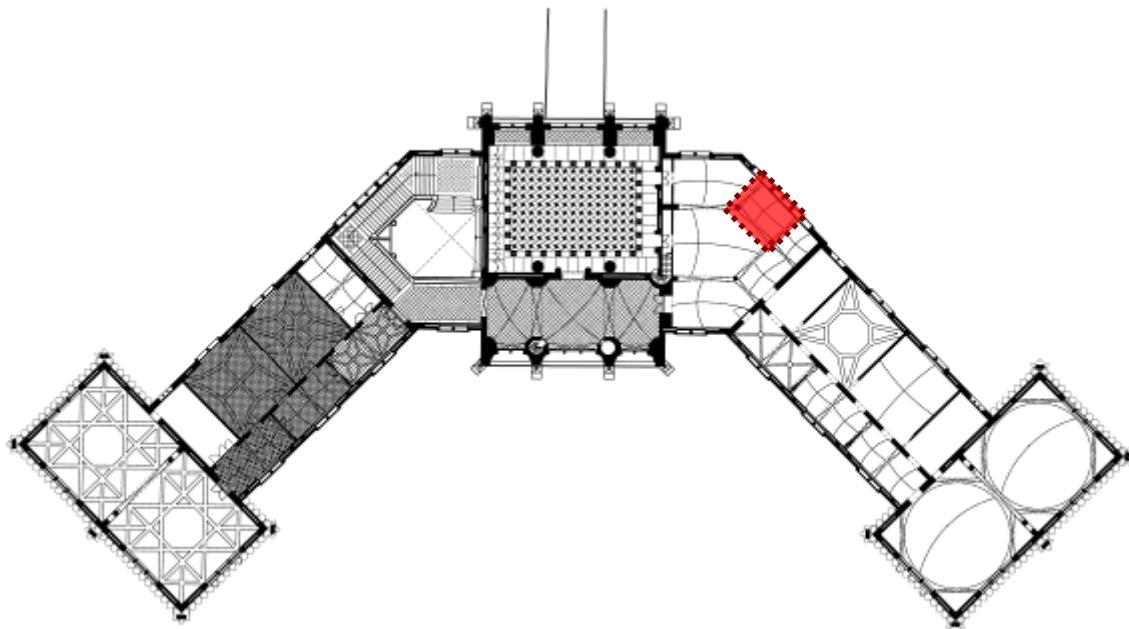


Fig. 422: Situació de la volta Np2_V5.

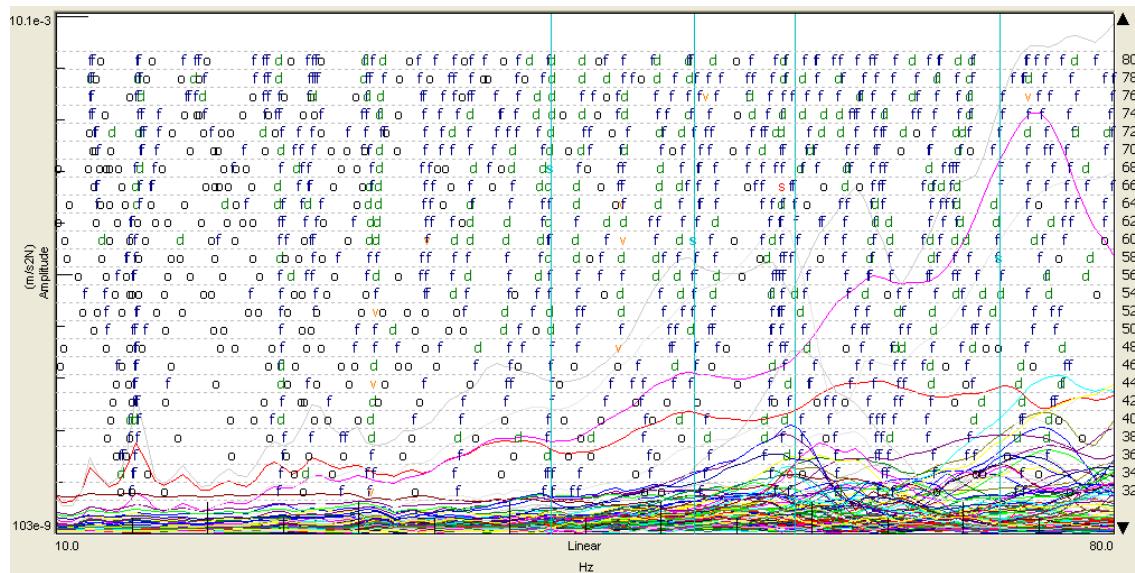


Fig. 423: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V5.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Np2_V5	42,744 Hz	52,237 Hz	58,917 Hz	72,429 Hz				

Fig. 424: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

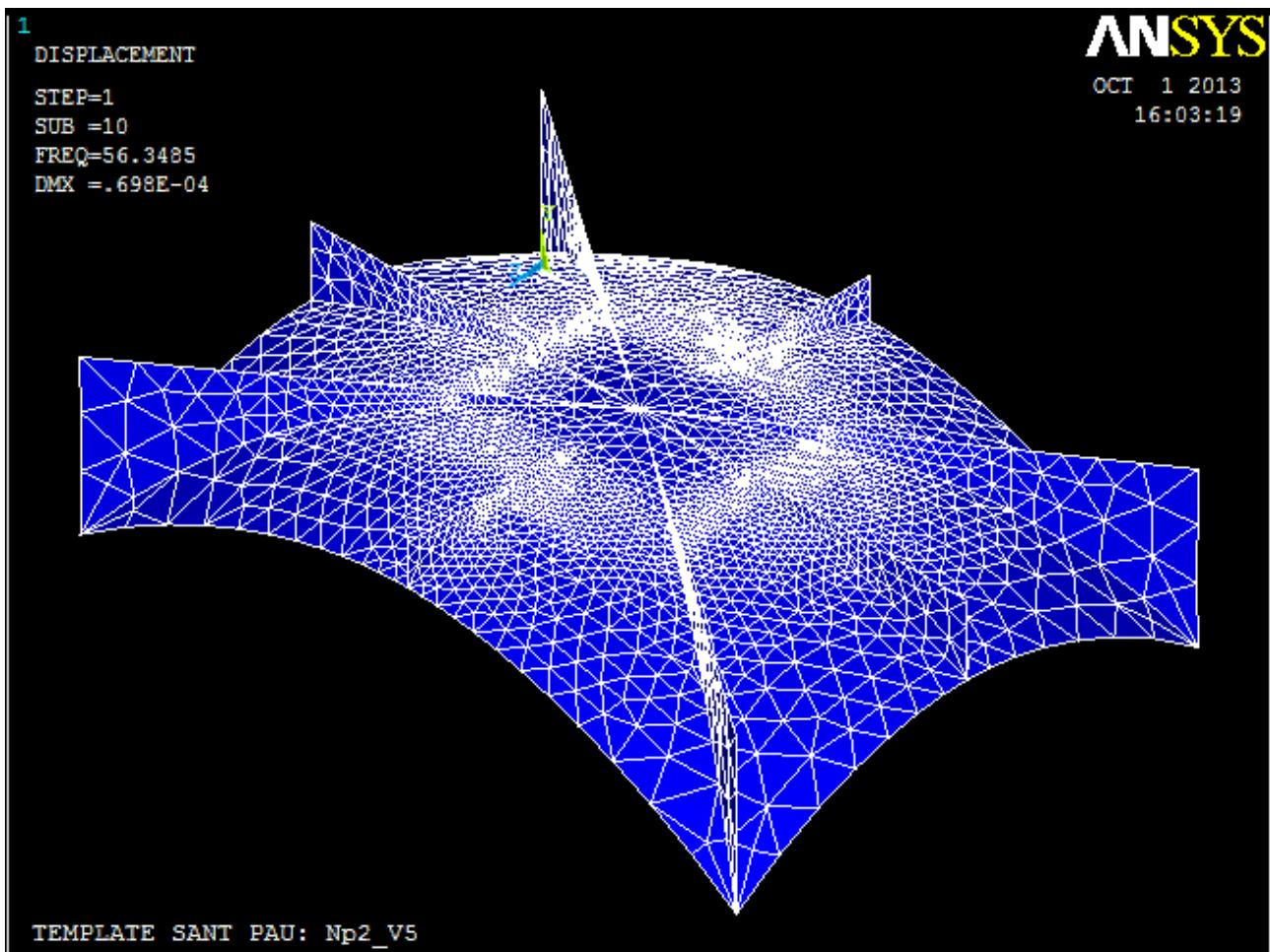


Fig. 425: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta Np2_V5.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES Np2_V5										
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq	
AC_can		20.067 Hz	28.111 Hz	30.921 Hz	32.889 Hz	37.735 Hz	43.404 Hz	47.967 Hz	48.354 Hz	56.328 Hz	56.348 Hz

Fig. 426: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Np2_V5.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : Np2_V6

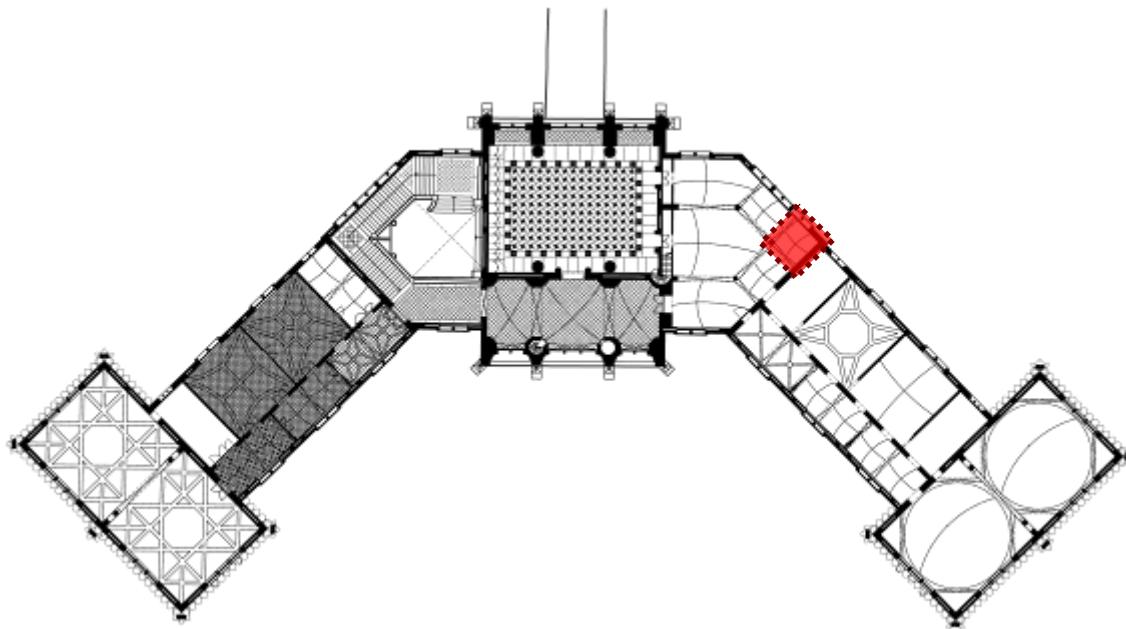


Fig. 427: Situació de la volta Np2_V6.

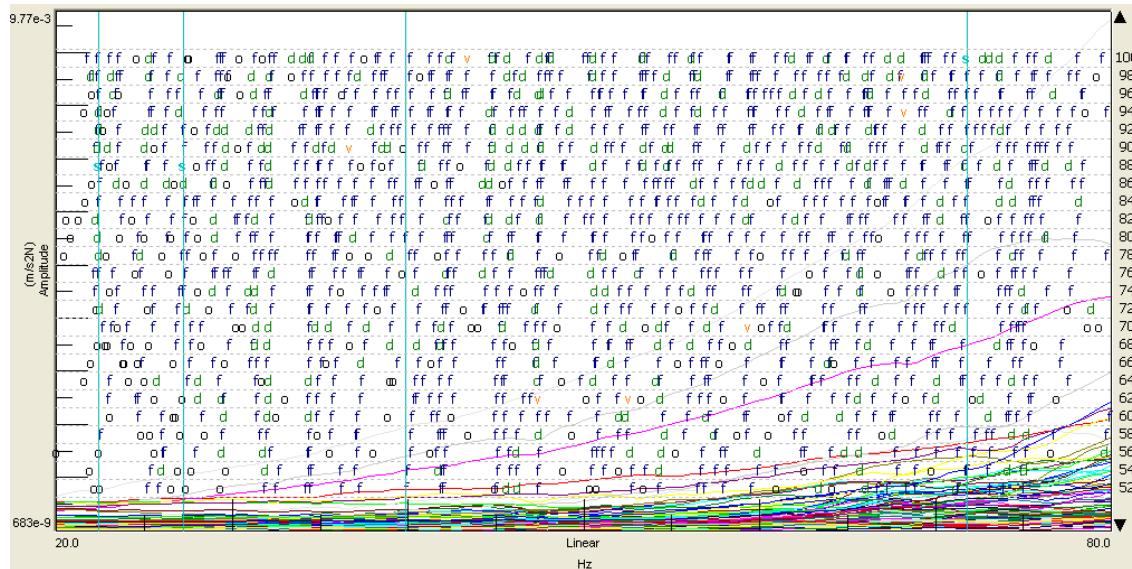


Fig. 428: Gràfica d'estabilització de la volta Np2_V6.

Identificació volta D planta baixa	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
Np2_V6	22.400 Hz	27.216 Hz	39.851 Hz	71.795 Hz				

Fig. 429: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

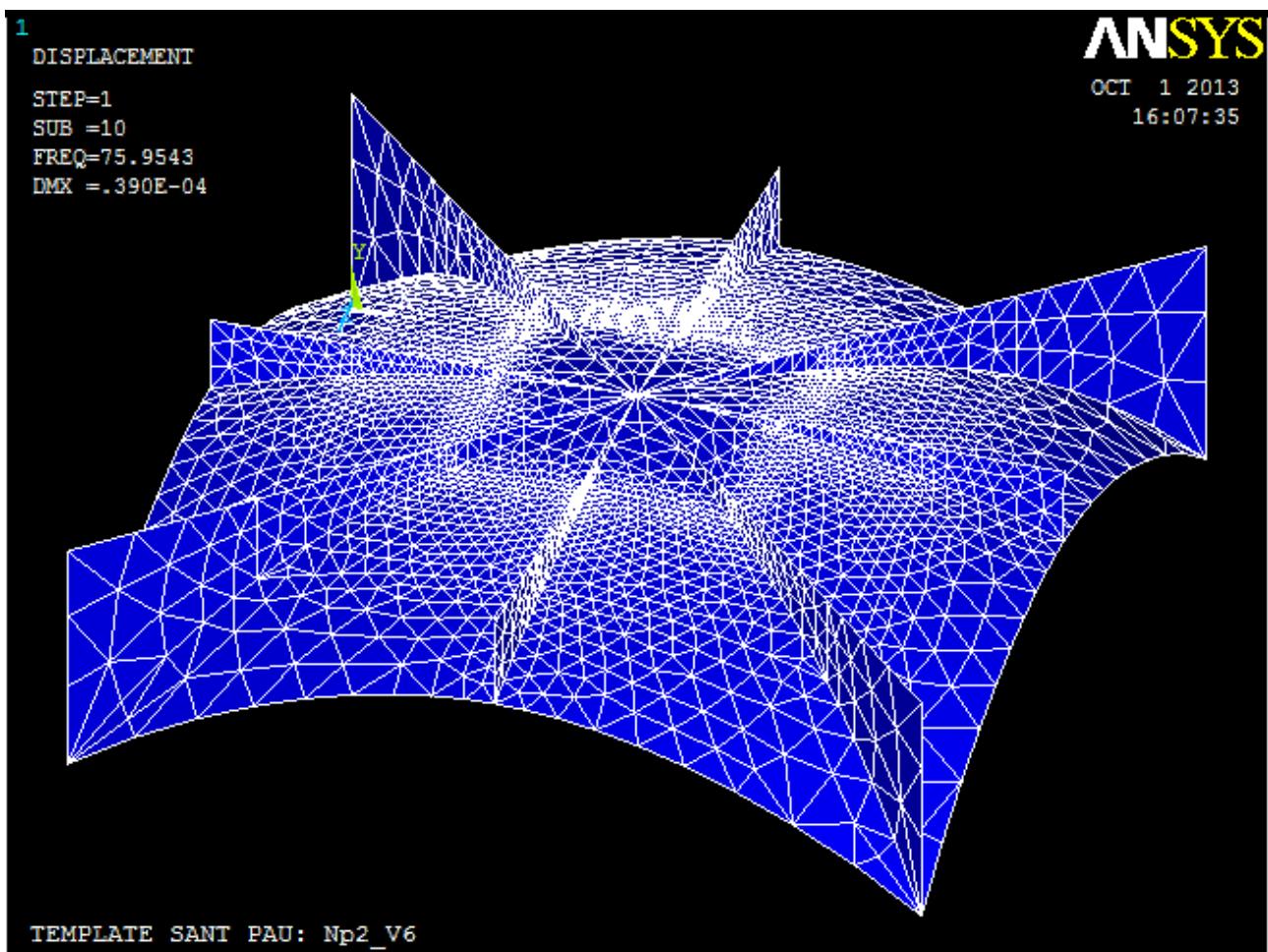


Fig. 430: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta Np2_V6.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES Np2_V6									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	30.196 Hz	31.691 Hz	40.781 Hz	42.486 Hz	51.106 Hz	51.337 Hz	55.477 Hz	61.370 Hz	74.400 Hz	75.954 Hz

Fig. 431: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta Np2_V6.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : L3p2_V1

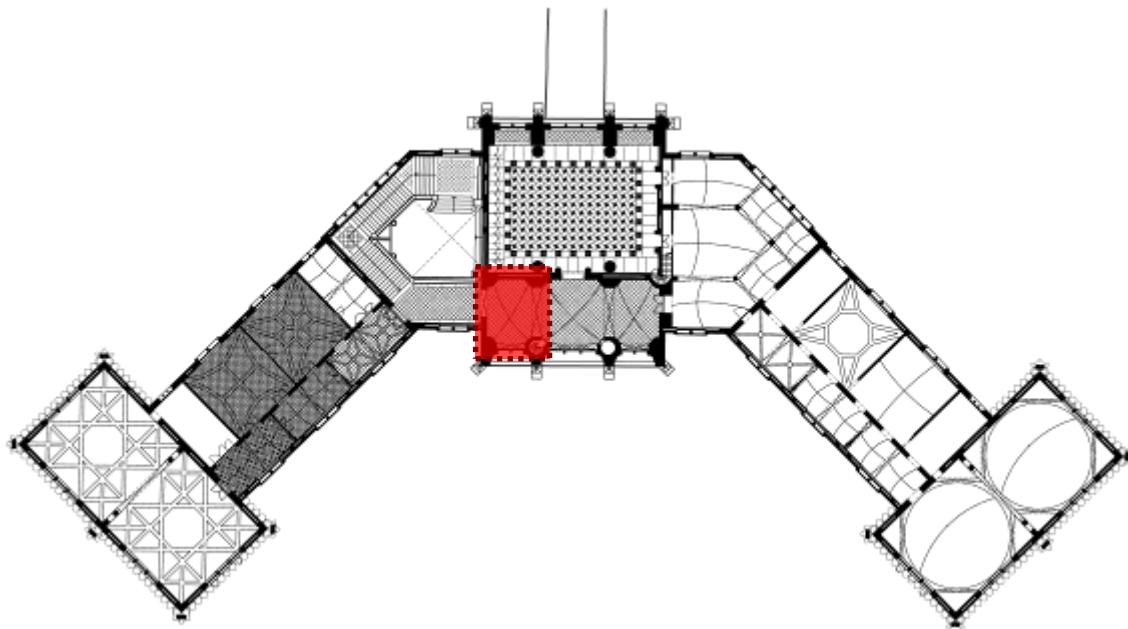


Fig. 432: Situació de la volta L3p2_V1.

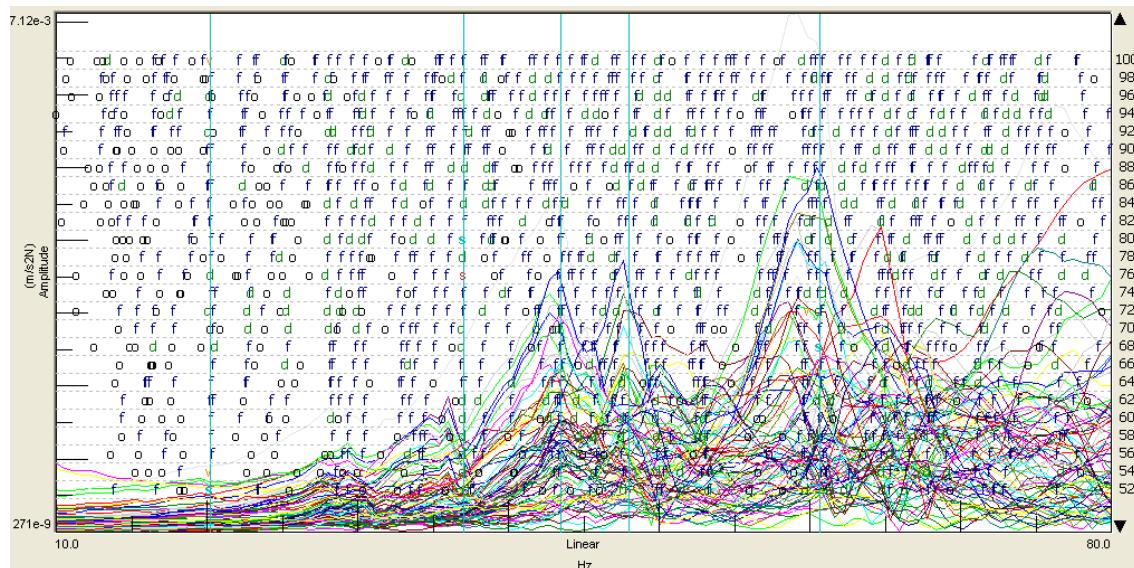


Fig. 433: Gràfica d'estabilització de la volta L3p2_V1.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : L3p2_V3

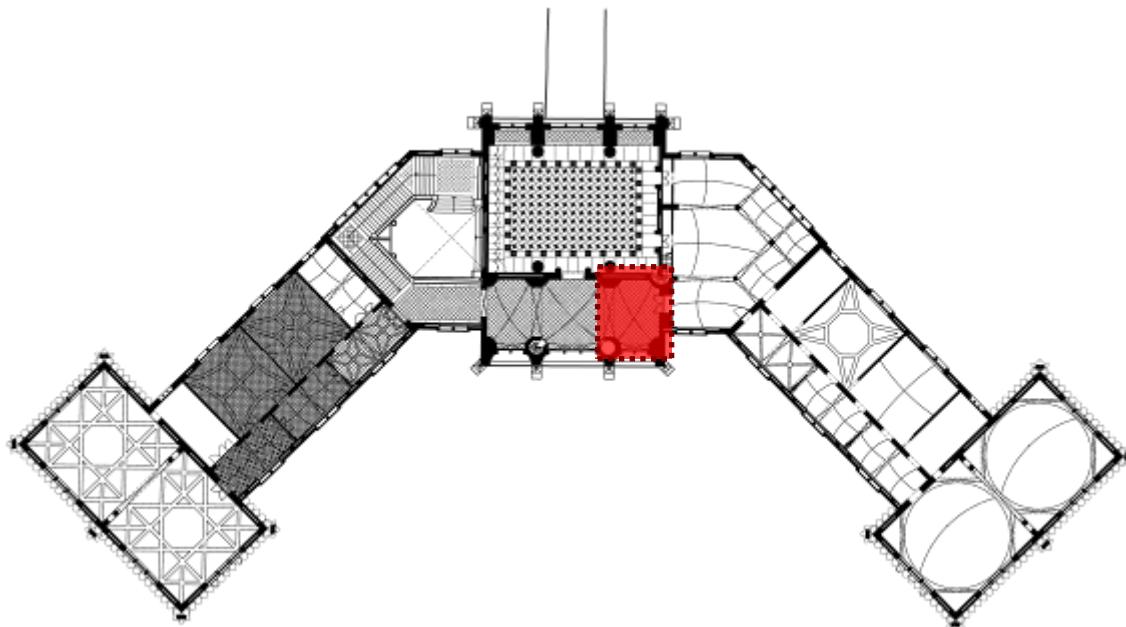


Fig. 434: Situació de la volta L3p2_V3.

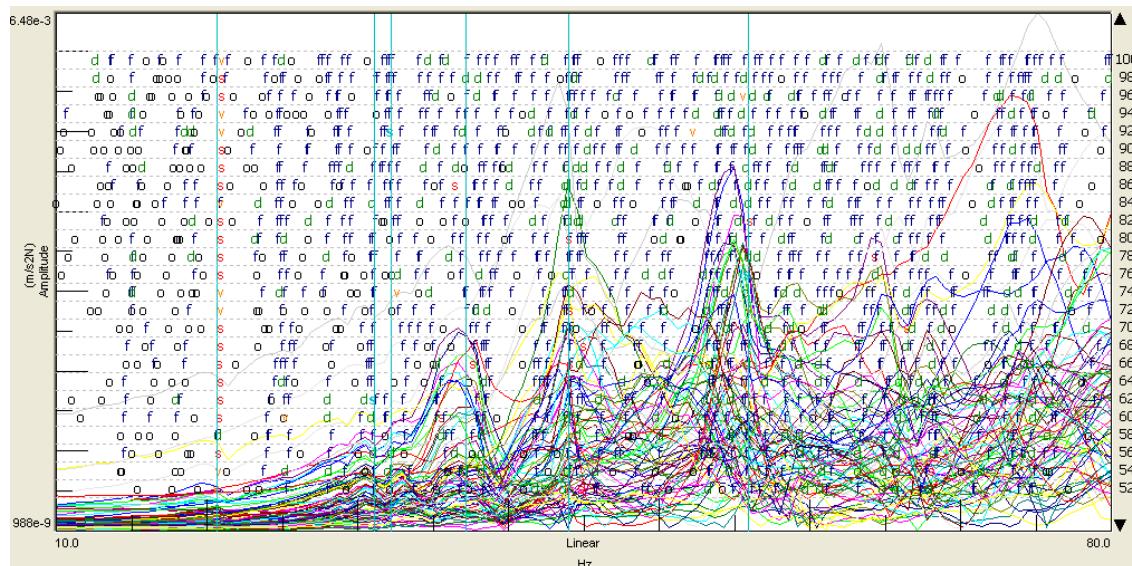


Fig. 435: Gràfica d'estabilització de la volta L3p2_V3.

Identificació volta L3 planta segona	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
L3p2_V1	20.195 Hz	37.033 Hz	43.492 Hz	47.987 Hz	60.685 Hz			
L3p2_V3	20.670 Hz	31.073 Hz	32.184 Hz	37.144 Hz	43.971 Hz	55.946 Hz		

Fig. 436: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

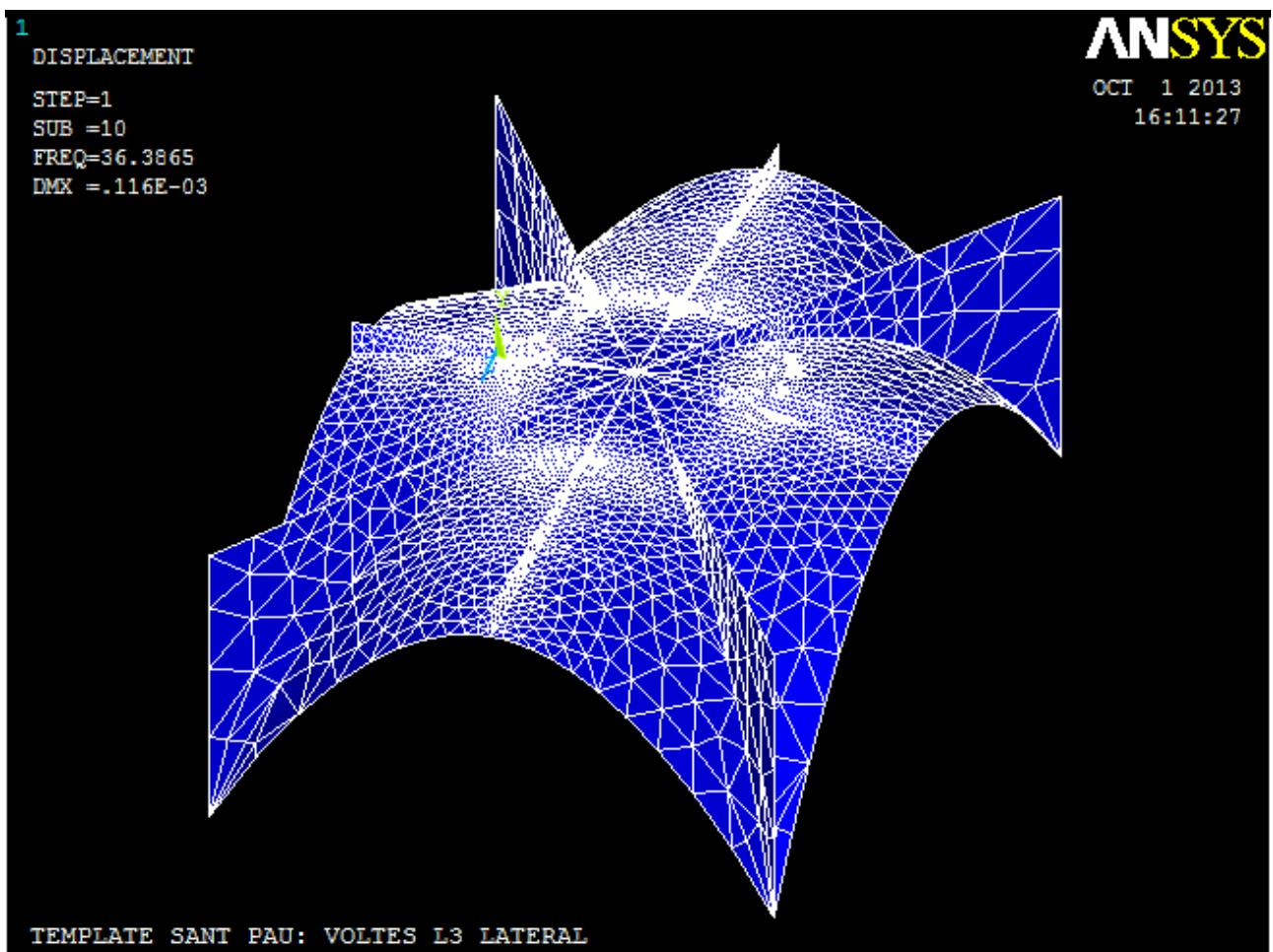


Fig. 437: Model de càlcul extret del programa ANSYS de la volta L3p2_V1-V3.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQUÈNCIA VOLTES L3p2_V1-V3									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	9.635 Hz	10.018 Hz	11.419 Hz	20.923 Hz	22.412 Hz	23.595 Hz	24.232 Hz	31.316 Hz	32.135 Hz	36.386 Hz

Fig. 438: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta L3p2_V1-V3.

Família : Voltes restants
 Nomenclatura : L3p2_V2

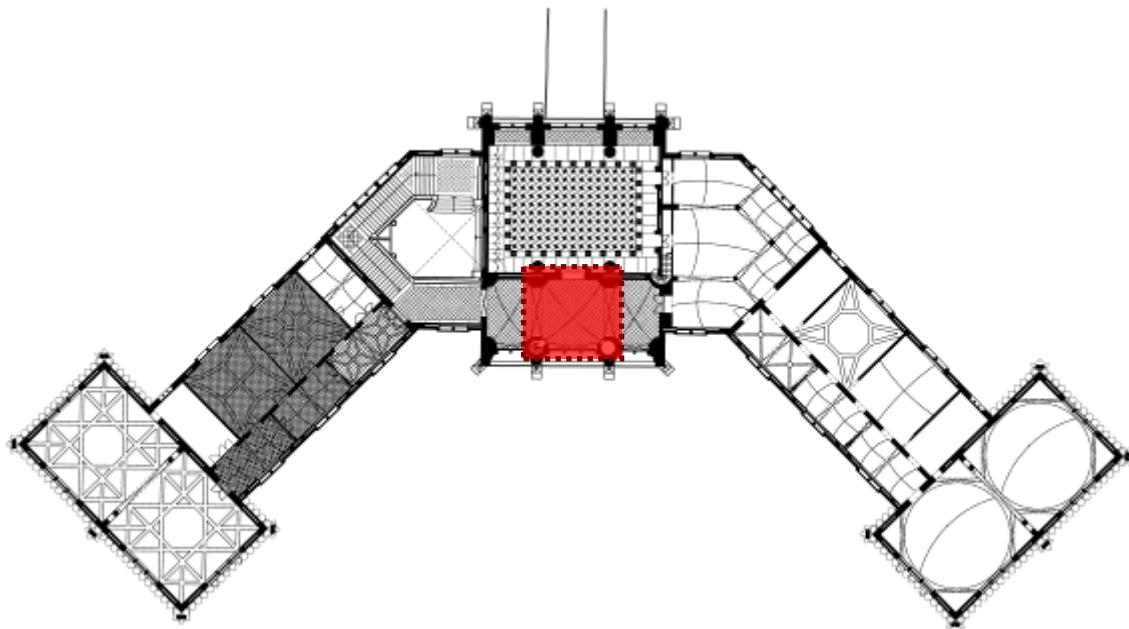


Fig. 439: Situació de la volta L3p2_V2.

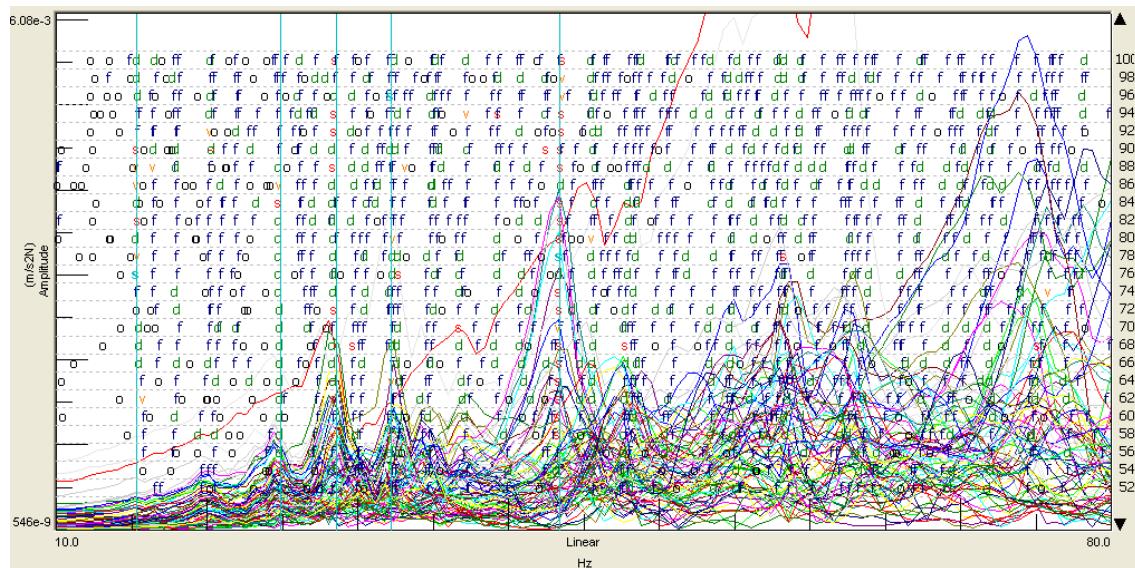


Fig. 440: Gràfica d'estabilització de la volta L3p2_V2.

Identificació volta L3 planta segona	1a Freqüència	2a Freqüència	3a Freqüència	4a Freqüència	5a Freqüència	6a Freqüència	7a Freqüència	8a Freqüència
L3p2_V2	15.325 Hz	24.835 Hz	28.587 Hz	32.227 Hz	43.381 Hz			

Fig. 441: Taula de freqüències extrems del programa Test.Lab per mitjà de les proves dinàmiques experimentals.

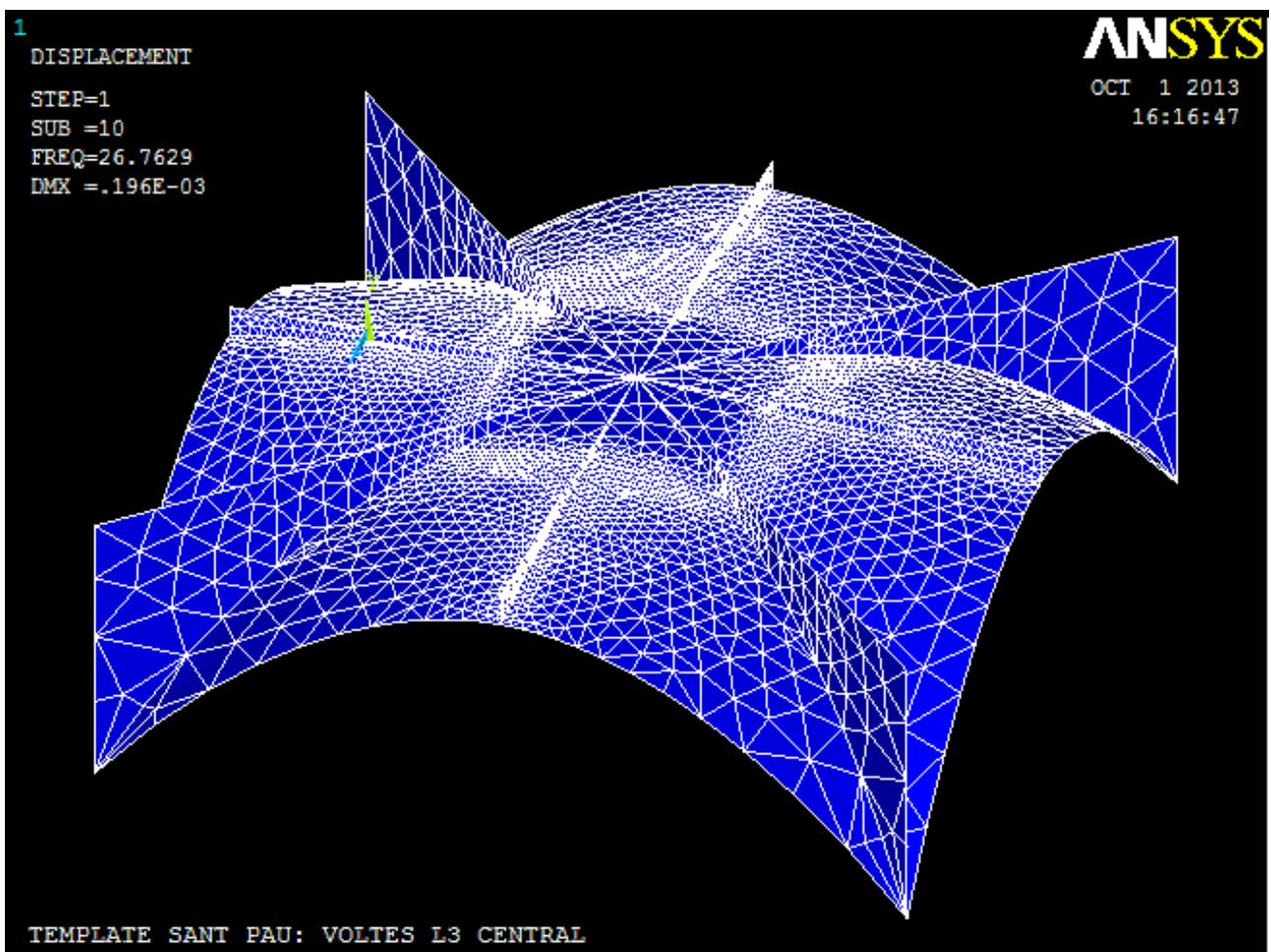


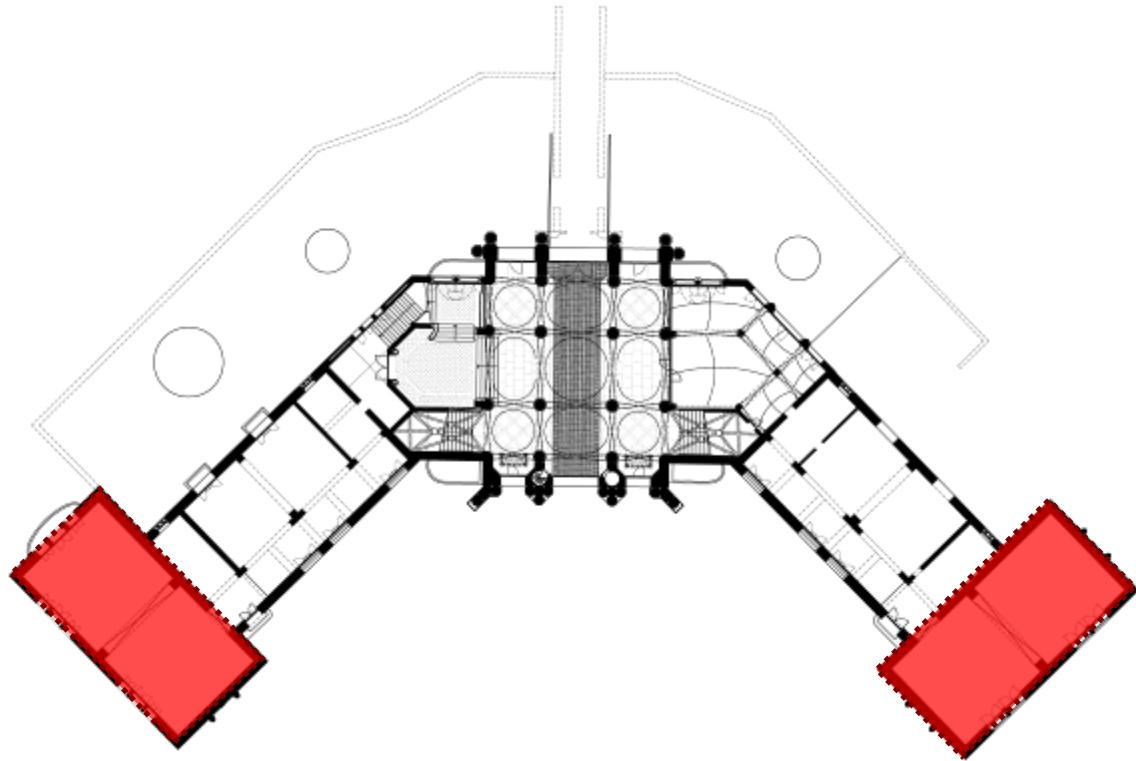
Fig. 442: Model de càcul extret del programa ANSYS de la volta L3p2_V2.

CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	FREQÜÈNCIA VOLTES L3p2_V2									
	1a freq	2a freq	3a freq	4a freq	5a freq	6a freq	7a freq	8a freq	9a freq	10a freq
AC_can	8.031 Hz	8.055 Hz	9.313 Hz	17.134 Hz	18.591 Hz	19.101 Hz	19.143 Hz	25.363 Hz	26.725 Hz	26.763 Hz

Fig. 443: Taula de freqüències extretes del programa ANSYS de la volta L3p2_V2.

6.1.4.2.- Conclusions parcials relatives a la resta de voltes.

Cas1.- Voltes Ap1_V1, Ap1_V2, Hp1_V1, Hp1_V2.
(voltes grans corresponents a coberta).



Les voltes de l'esquerra (Ap1_V1, Ap1_V2) es comporten pràcticament de la mateixa manera que les corresponents a la planta inferior. En general el conjunt de voltes de l'ala esquerra es mou al voltant de 10, i 20/21Hz. En el cas de les voltes del sostre soterrani el valors obtinguts han estat 10 i 17 Hz. Les freqüències, tot estar lleugerament corregudes, responen a un model similar.

S'han fet dos models d'Ansys per determinar el comportament de les voltes grans superiors:

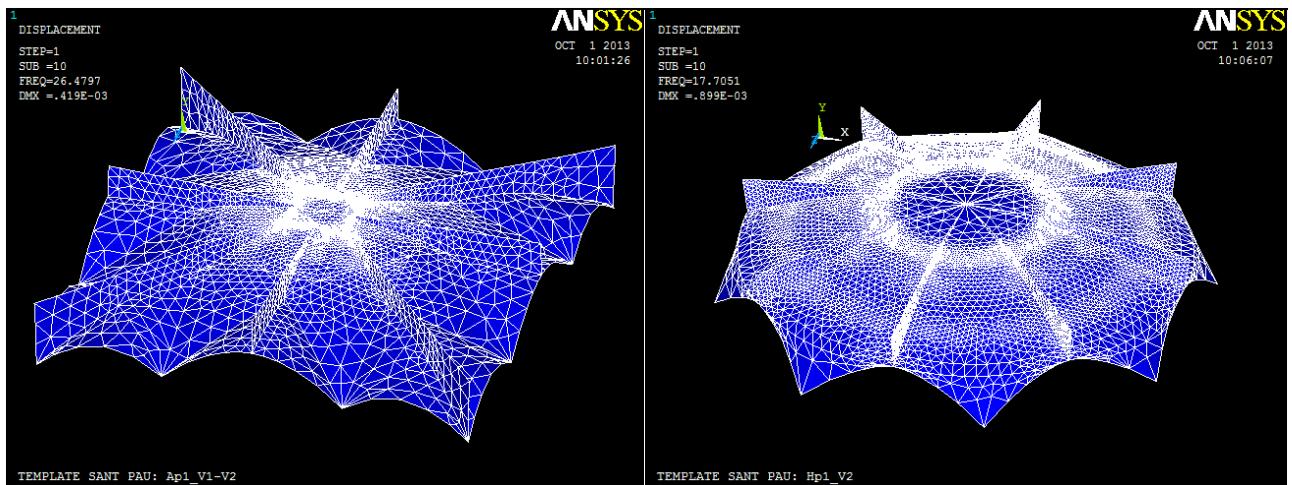


Fig. 444: Models corresponents a les voltes grans superiors.

S'observa, que al igual que en el cas de les mesures experimentals, el model numèric corresponent a les voltes de l'ala dreta dona freqüències més altes.

El senyal en aquest cas resulta menys clar. Un dels motius que fa que es doni aquesta situació, sol ésser el soroll en els suports. Per tant, és plausible que les voltes de l'ala dreta, tinguin d'alguna manera afectats el seus suports.

Les tensions i les deformacions experimentades en ambdós casos són acceptables. El comportament a nivell de càrrega d'aquestes voltes no és rellevant, ja que no es previsible que rebin càrregues variables.

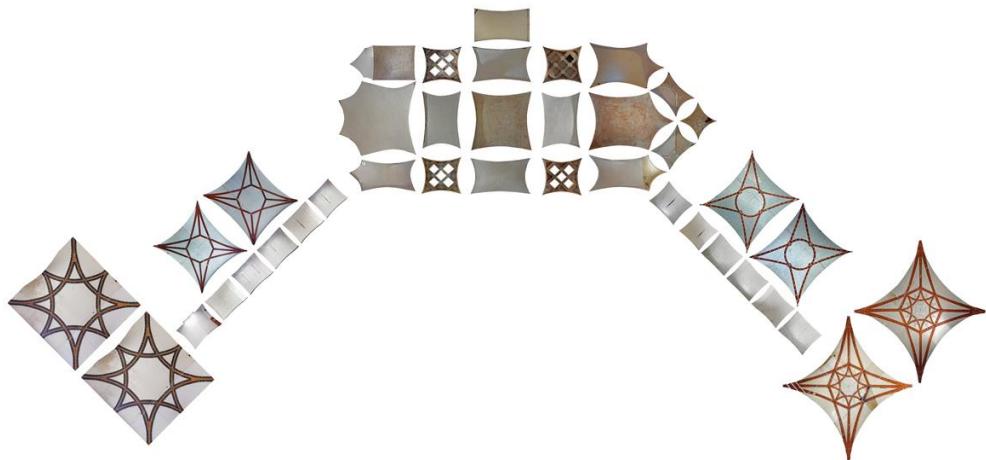


Fig. 445: Projecció de les voltes corresponents al sostre planta soterrani.

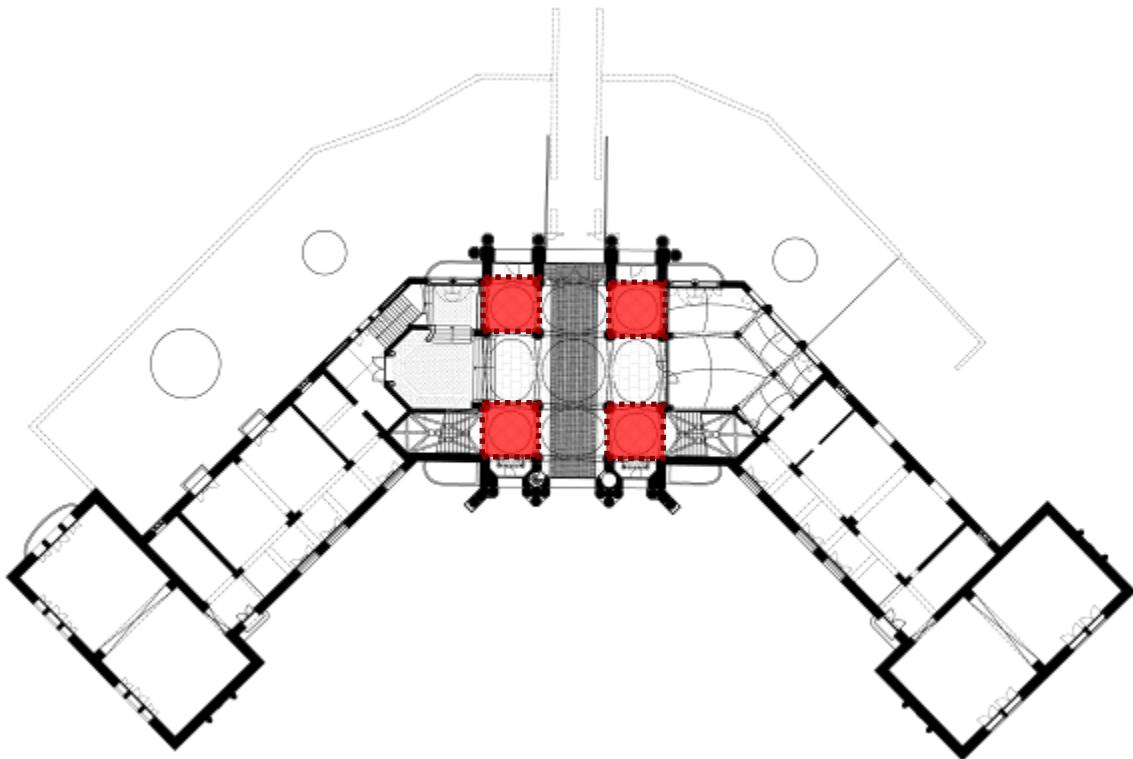


Fig. 446: Projecció de les voltes corresponents al sostre planta pis.

En aquestes dues figures es pot veure la forma de la volta. Tot i que no es coneix en detall la disposició dels envans superiors, la planta ja indica que l'esquema resistent de les voltes situades en el nivell superior i a l'ala dreta, és diferent als altres casos.

Cas 2.- Voltes Dp0_V1, Dp0_V3, Dp0_V7, Dp0_V9.

Aquestes voltes només estan presents en el segon nivell (p0), ja que en el sostre de la planta soterrani, les voltes es converteixen en lluernes.

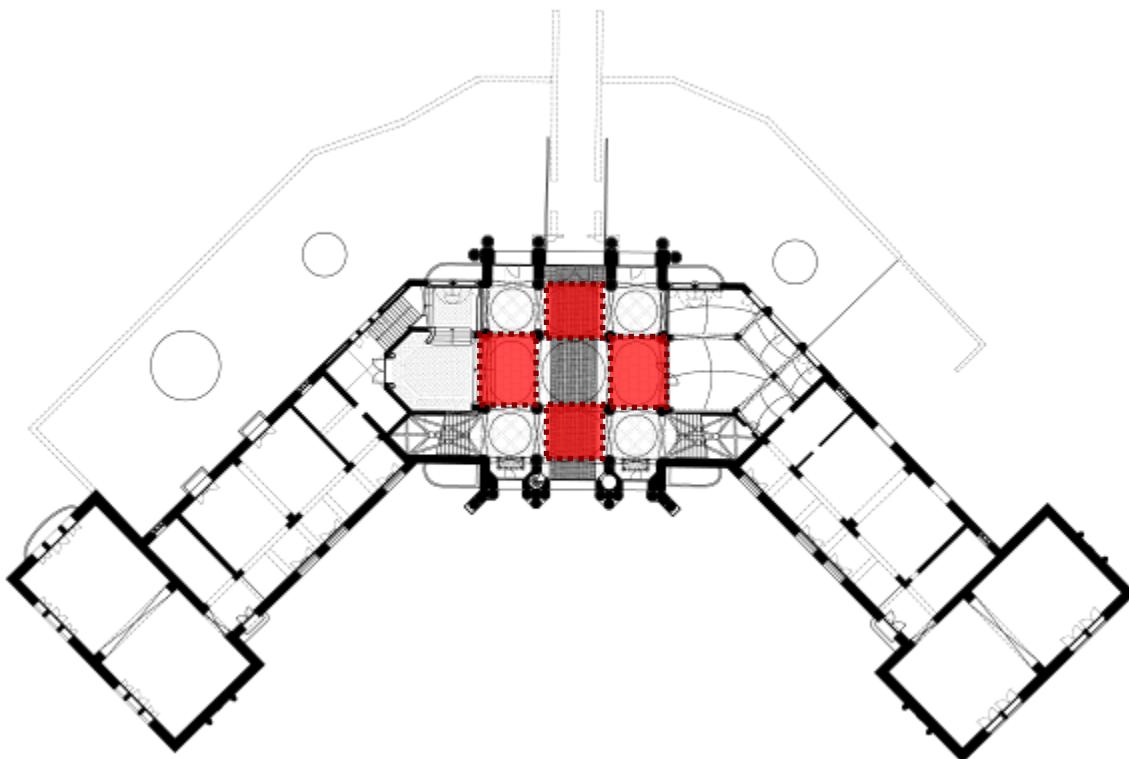


Les freqüències obtingudes en aquest assaig queden agrupades al voltant d'una freqüència de valor 30 Hz. Els són homogenis i són reconeixibles en el model numèric.

Avaluat el mateix mitjançant un model relativament simple, es pot determinar que les tensions prescrites en projecte (**3.00 kN/m²**), són assumibles.

Cas 3.- Voltes Dp-1_V2, Dp-1_V4, Dp-1_V6, Dp-1_V8.

Voltes Dp0_V2, Dp0_V4, Dp0_V6, Dp0_V8.



Tot i que s'han agrupat els 4 tipus de volta en un mateix esquema, existeix un comportament diferenciat entre les voltes Voltes Dp0_V2, Dp0_V4, Dp0_V6, Dp0_V8

El primer grup, presenta freqüències identificables al voltant dels valors 39 i 45 Hz, mentre que en el segon, els valors es desplacen cap a les freqüències 34 i 47 Hz.

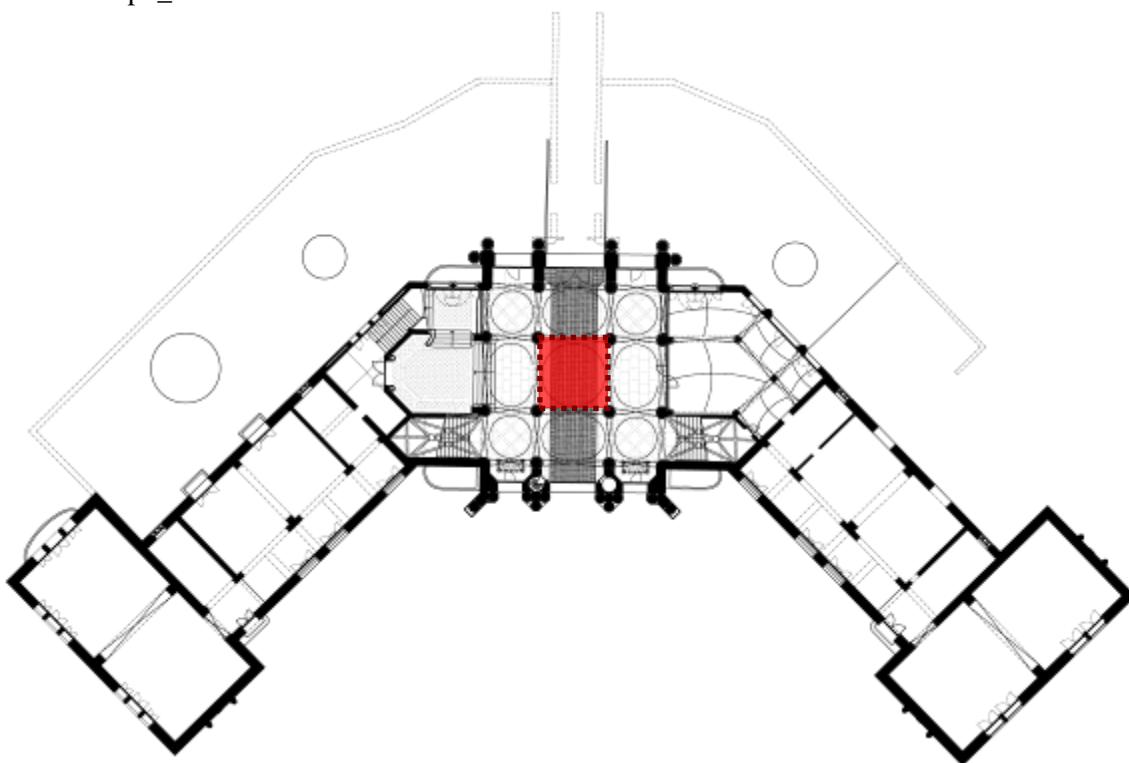
En el cas del segon grup (Dp-1_V4, Dp-1_V6 i les Dp-1_V2, Dp-1_V8), les freqüències resulten més baixes i agrupades al voltant dels valors de 25 i 33 Hz.

El model emprat, tot i ser senzill, permet establir que els valors prescrits per el projecte - 3.00 kN/m² – són assumibles per la estructura.

Assolir valors superiors requerirà un estudi més exhaustiu, la base del qual serà el coneixement de la posició dels envans situats sobre la volta.

Cas 4.- Voltes Dp-1_5.

Voltes Dp0_5.



Novament ens trobem amb el cas de que la part superior de la volta està constituïda de forma diferent en ambdós casos: a la volta situada en el sostre soterrani (Dp-1_V5), el material situat a la cara superior són sòls incoherents, i probablement hi hagi alguns nervis de reforç. Això és degut a la previsió feta per suportar el cas de càrregues mòbils (veïcles de l'època).

Per altre part, la curvatura de la volta és menor en el cas de la volta de la planta sotterrani tal com es pot apreciar a la següent figura:

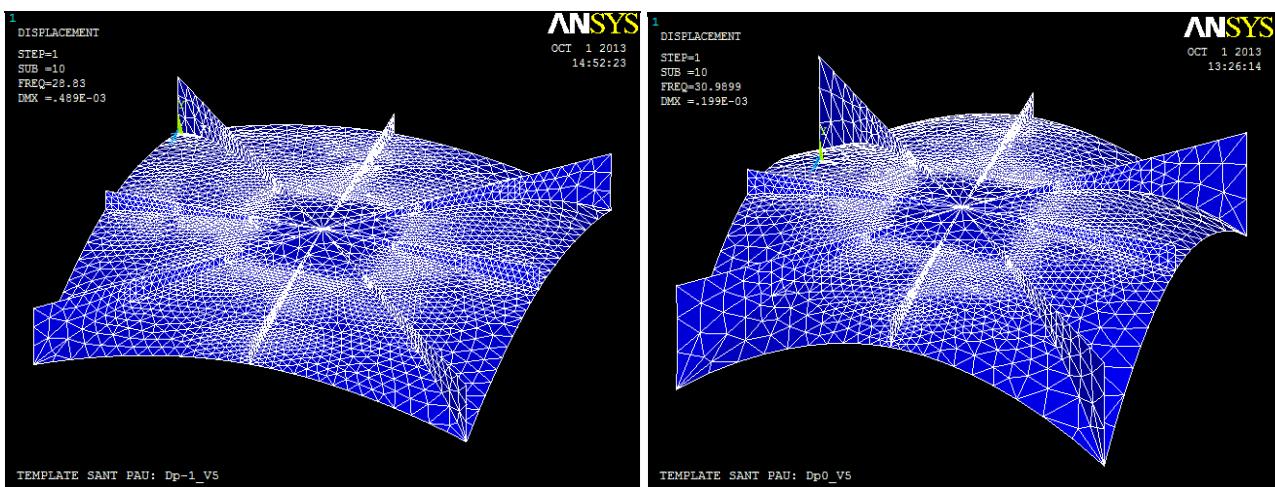
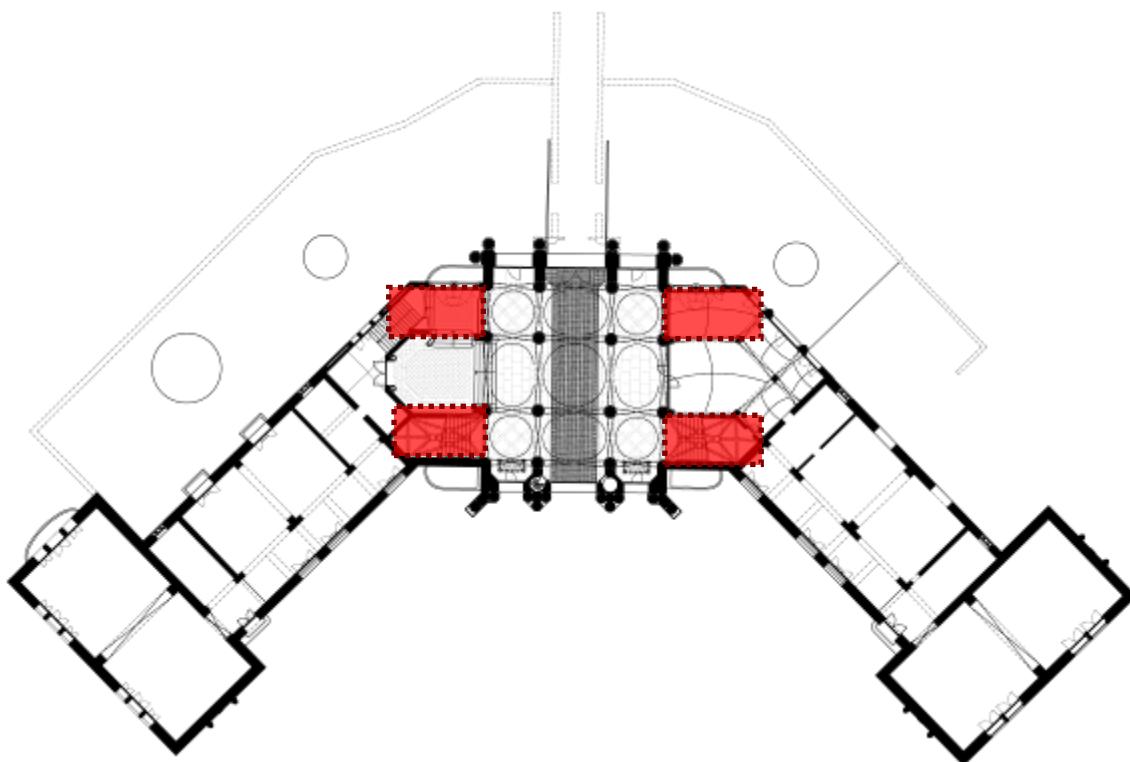


Fig. 447: Models corresponents a la volta Dp-1_V5 (esquerra) i Dp0_V5 (dreta).

L'efecte de la curvatura sobre l'estructura té poca influència; la diferència essencial està en la natura de rebliment.

Cas 5.- Voltes Dp-1_V10, Dp-1_V12, Dp-1_V16, Dp-1_V18.
Voltes Dp0_V10, Dp0_V12, Dp0_V16.
Voltes Np2_V1, Np2_V3.



Aquest conjunt de voltes presenten una freqüència comuna al voltant del valor de 29-30 Hz. Aquest valor també es troba present en el model numèric.

S'ha comprovat el comportament de la volta en el model, i els valors obtinguts superen el valor prescrit en projecte (**3.00 kN/m²**).

Per poder ajustar més aquests valors caldria determinar la geometria concreta dels envans situats sobre la volta. La geometria emprada en aquesta avaliació ha estat amb petites variants (hi ha diversos models dependent de la volta) la següent:

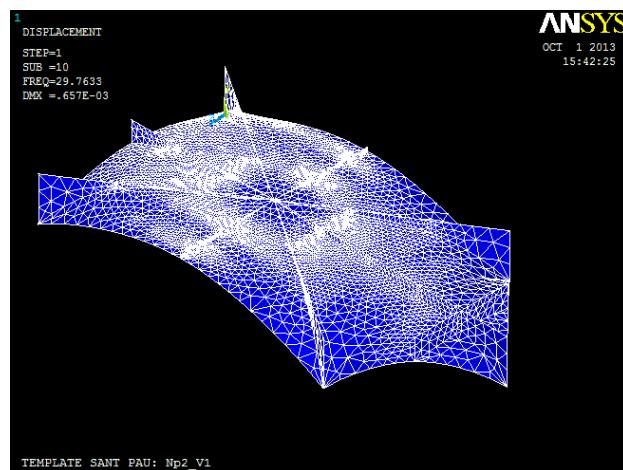


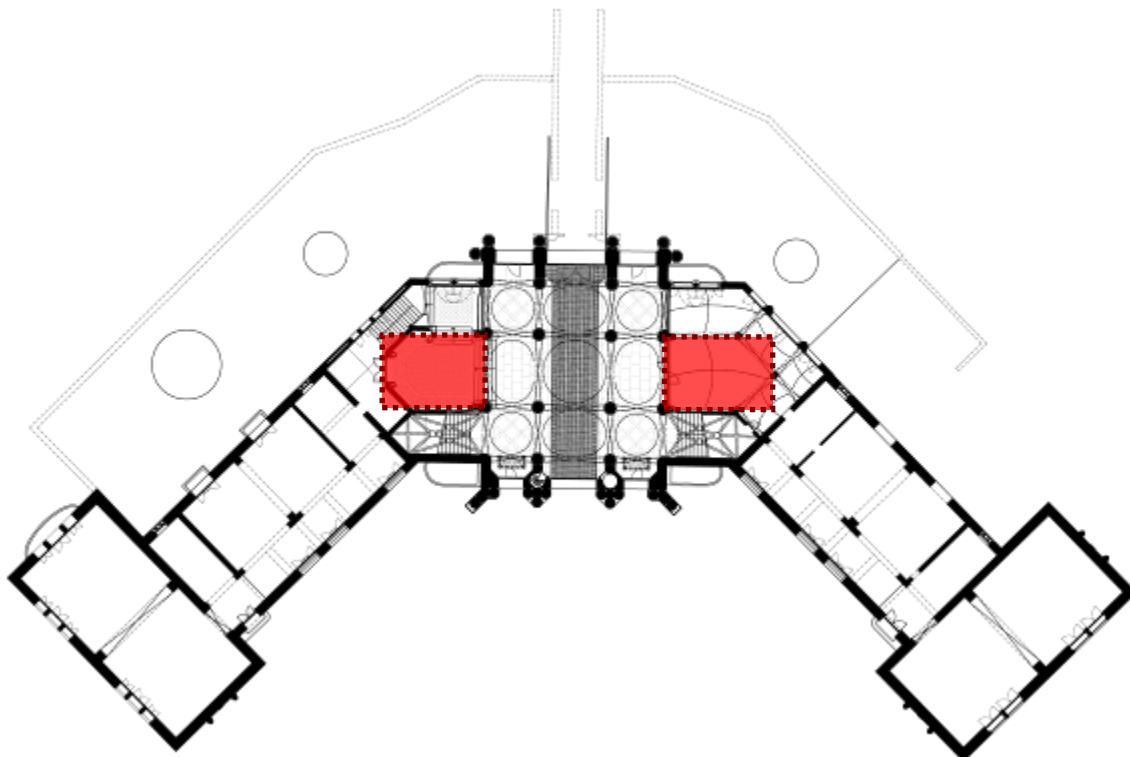
Fig. 448: Geometria emprada en l'anàlisi.

Cas 6.- Voltes Dp-1_V11, Dp-1_V17.

Voltes Dp0_V11.

Voltes Np2_V2

(La volta Dp0_V17 no existeix. Àmbit d'escala)



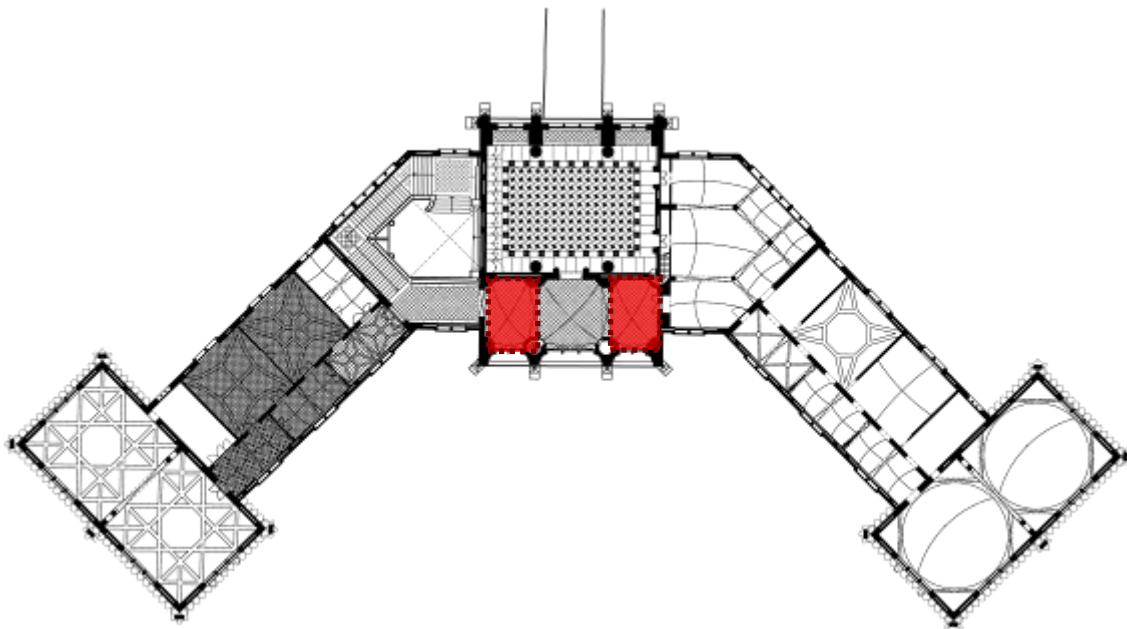
En aquest grup de voltes, novament es pot establir una clara diferència entre les voltes situades en plantes superiors i les voltes situades en el nivell 0.

Les voltes situades en aquesta cota, presenten rebliments incoherents. Això fa que els valors de les freqüències resultin netament diferents dels obtinguts a les plantes superiors.

Per altre part, els valor corresponent a la volta situades a la cota (Dp-1_V17) dona un diagrama d'estabilització sense pràcticament informació. Això es degut a la massa situada per sobre de la volta que probablement fa que les freqüències quedin molt esmorteïdes. Caldrà refinir la lectura de les dades per procedir a determinar el valor de les sobrecàrregues.

A les plantes superiors, la correlació entre les freqüències dels models experimentals i numèrics, permet assegurar que es poden assolir els valors de **3.00 kN/m²**. Ajustar més el valor requerirà disposar de la informació relativa a la disposició de les costelles.

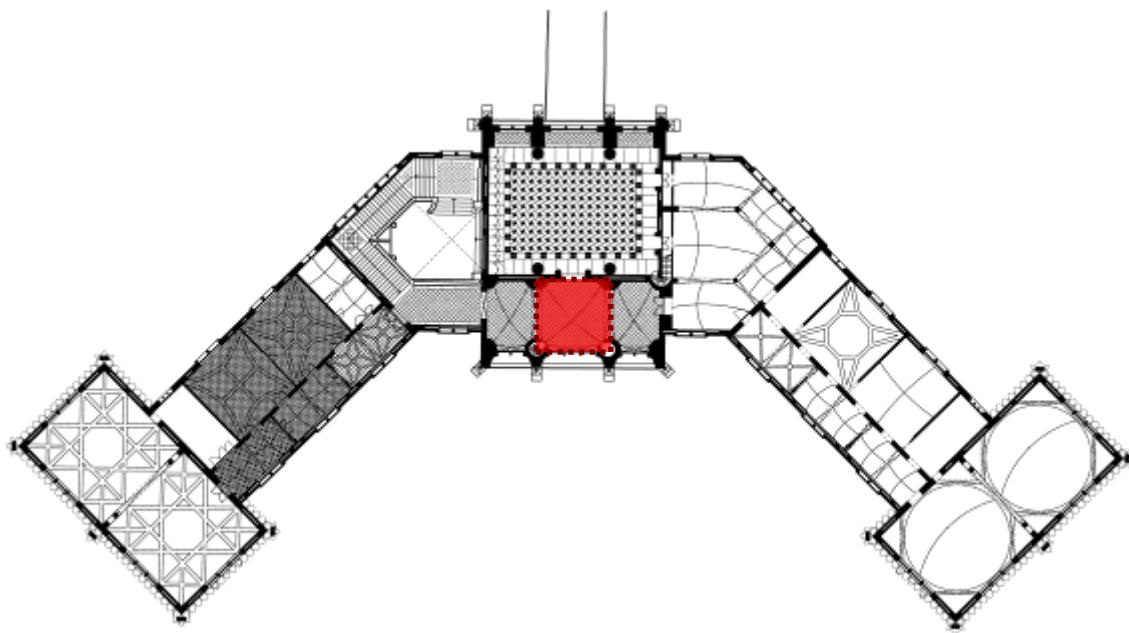
Cas 7.- Voltes L3p2_V1, L3p2_V3. Tercer nivell.



Aquesta coberta presenta freqüències reconeixibles al voltant de 20 i de 37 Hz. Aquestes freqüències són reconeixibles també en el model numèric.

Cal recordar que els reforços consistents en envanets ceràmics situats per sobre de la volta són molt simplificats i no necessàriament responen a la realitat (es desconeix la configuració real dels mateixos).

Les tensions i deformacions observades en els models assoleixen valors no crítics, ja que es tracta de voltes de coberta on no s'esperen sobrecàrregues variables de consideració.

Cas 8.- Voltes L3p2_V2.

Aquesta coberta presenta freqüències reconeixibles al voltant de 15 i de 24 Hz. Aquestes freqüències són reconeixibles també en el model numèric.

Les tensions i deformacions observades en els models assoleixen valors no crítics, ja que es tracta de voltes de coberta on no s'esperen sobrecàrregues variables de consideració.

7.- COMPORTAMENT TÈRMIC DE LA VOLTA.

A fi de determinar l'efecte d'un possible increment de temperatura a les voltes, es dissenya un experiment adreçat a l'anàlisi del comportament de la volta en aquestes condicions.

La justificació per aquesta mesura, és poder determinar l'efecte de l'aportació de calor d'un terra radiant o font tèrmica equivalent.

Per analitzar-ho, es col·loca una galga extenso mètrica a cadascuna de les dues cares de la volta (cara superior i inferior). La temperatura s'aplica mitjançant una graella de conductors capaços d'escalfar-se al subministrar corrent elèctrica al sistema. Per aprofitar la totalitat de la radiació emesa, es cobreix el sistema amb una capa de cartró i una capa plàstica.

L'assaig es completa mitjançant un dispositiu capaç de convertir les lectures de les galges en temperatura.

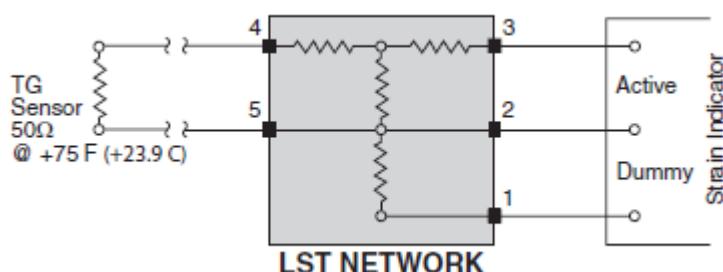
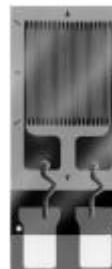
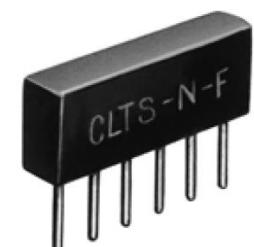


Fig. 395: Esquema amb els sensors emprats en la mesura.

ETG-50-B/W.- Temperature Sensor	
Supplier	Vishay
Resistance	$50 \Omega \pm 0.30 \%$
Gage length	3.18
Overall length	5.97
Grid Width	3.18
Overall Width	3.18
Matrix	
Length	8.3
Width	4.7



LST-100C-350D.- Matching Network	
Supplier	Vishay
Output slope	$100 \mu\text{s} / ^\circ\text{C}$
Temp. range	(-150 °C) – (+260 °C)
Weatstone bridge	Half bridge
Resistance	350Ω



7.1.- Esquema de la prova i ubicació dels sensors.

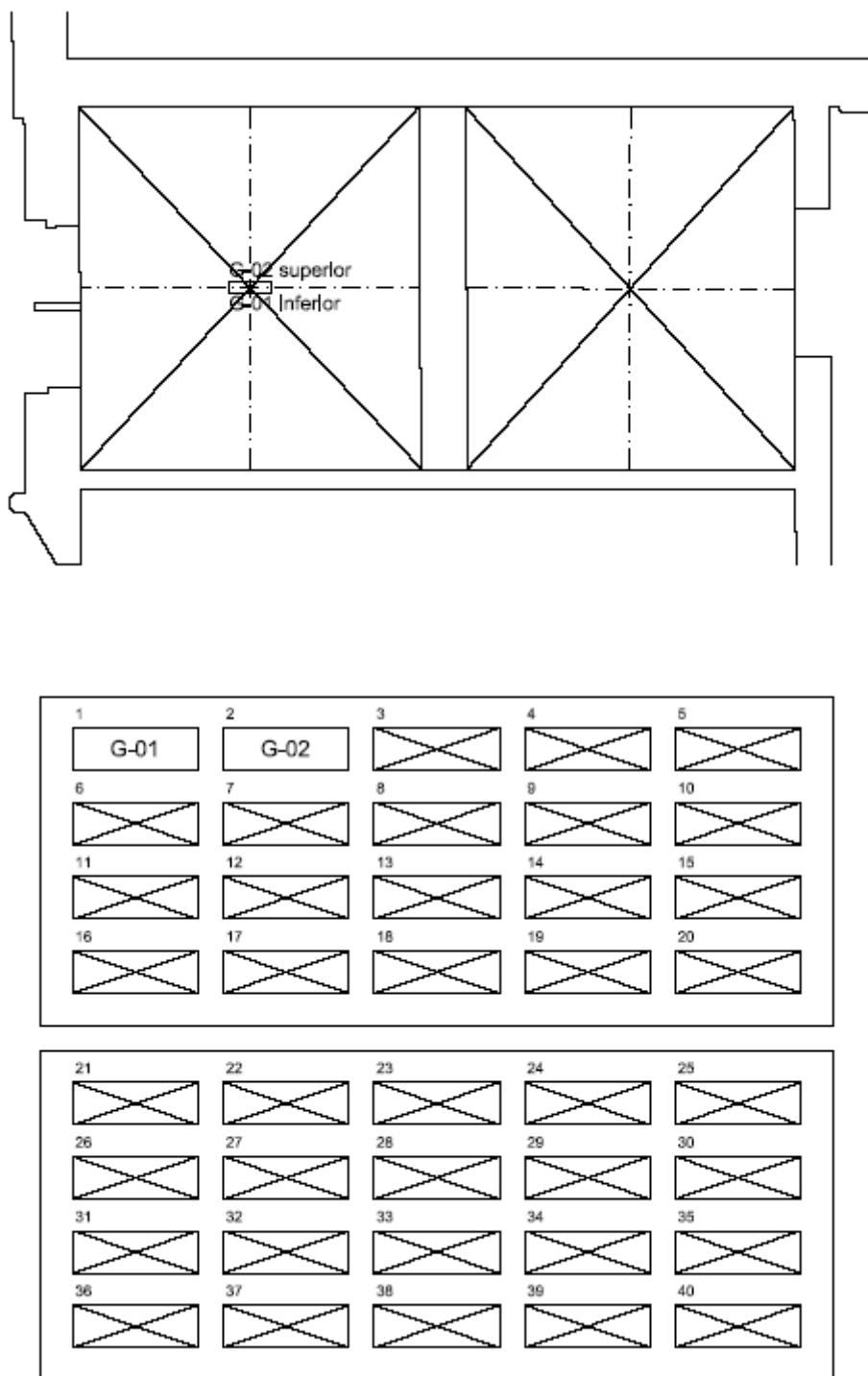


Fig. 396: Esquema dels sensors a l'avaluació tèrmica P5-2a.



Col·locació de les galques



Muntatge del linealitzador LST-100C-350D



Primera cobertura



Segona cobertura



Tercera cobertura

Fig. 397: Muntatge de l'assaig tèrmic.

7.2.- Resultats de l'avaluació tèrmica.

Família : **Voltes mitjanes**
 Nomenclatura : E2p1_V2 – P2-5a

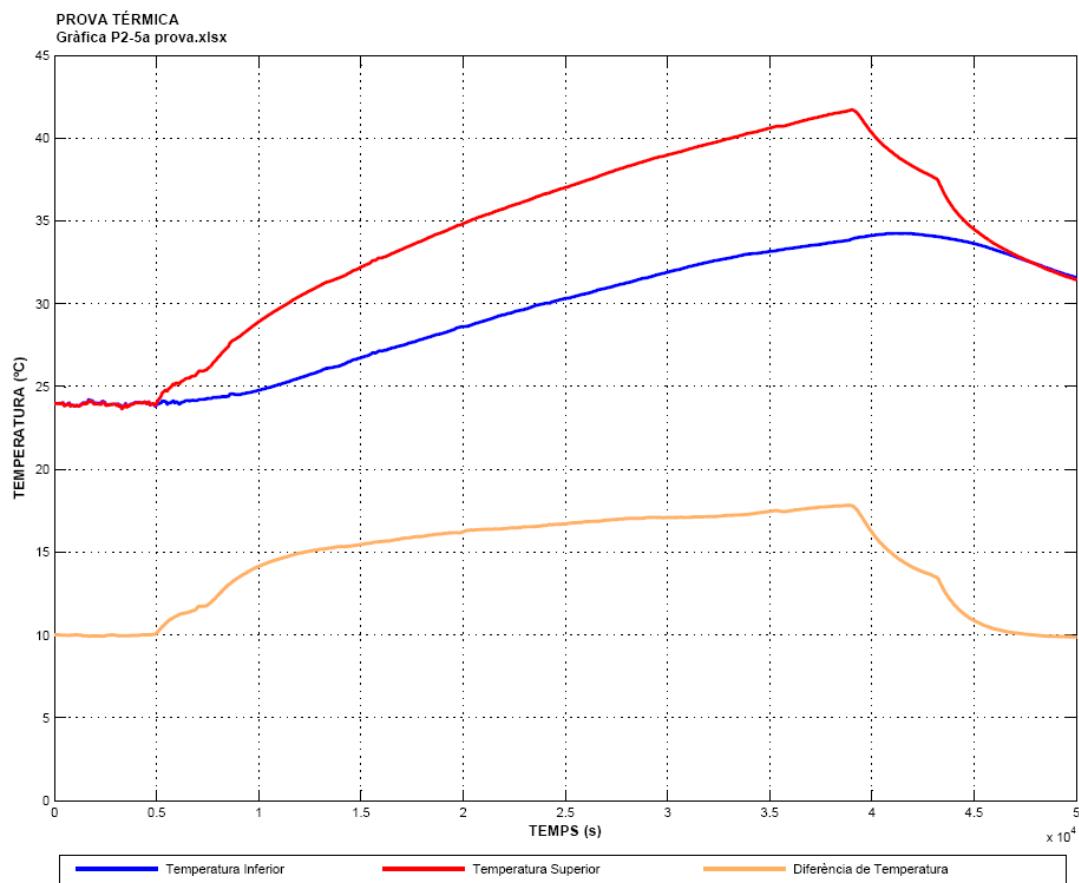


Fig.398 : Temperatures a la volta E2p1_V2 (prova P2-5a).

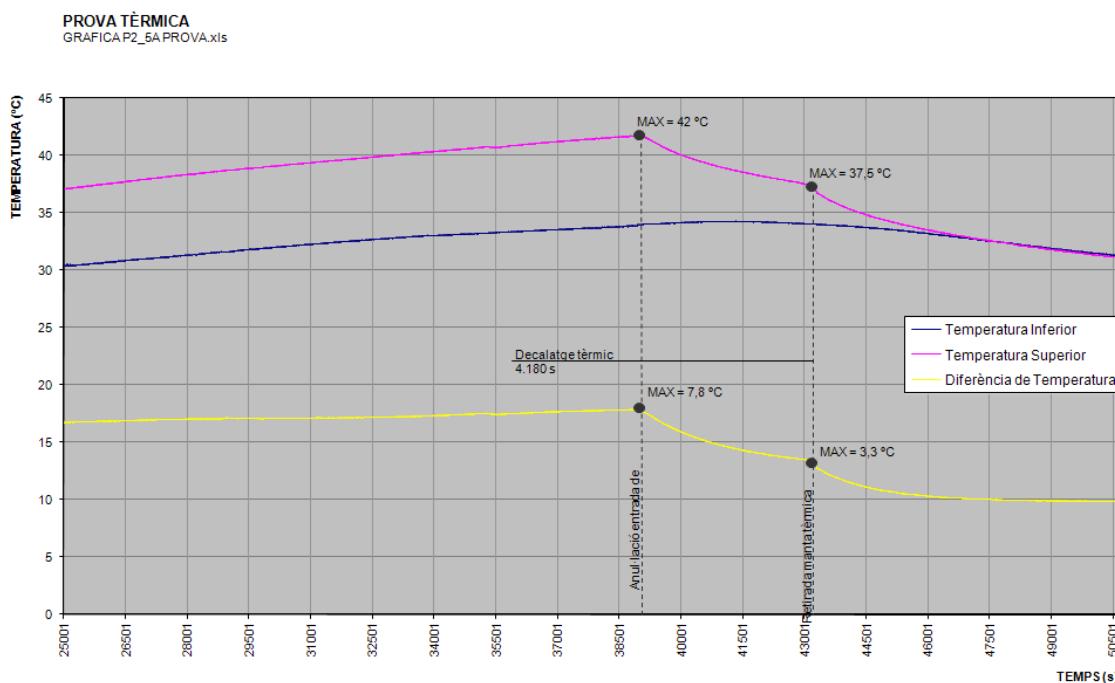


Fig.399 : Temperatures a la volta E2p1_V2 (prova P2-5a).

7.3.- Anàlisi dels resultats.

.- Condicions de l'assaig.

- .- L'assaig tèrmic ha durat aproximadament 14 hores (11.00 – 01.00).
- .- El salt tèrmic aplicat ha estat d'uns 18 graus (diferència entre la temperatura superficial a l'inici de l'assaig (24°C) i la temperatura màxima assolida).

S'observa que:

- .- Les temperatures generades i transmeses en sentit descendent, són representatives de l'escalfor que pot generar un sistema de calefacció. Cal recordar que les solucions habituals contemplen aïllar la part inferior de l'element generador de calor, per aprofitar el màxim l'energia consumida.
- .- Es produeix un gradient màxim d'aproximadament 7.8 °C entre la cara superior i inferior. Això implica que tota la fulla s'escalfa de forma relativament uniforme. Per tant, no sembla raonable que es puguin generar tensions importants entre la volta i el recobriment ceràmic inferior, excepte que aquesta capa ceràmica estigués en un context fred o que els morters amb que les peces estan subjectades fos de molt baixa qualitat.
- .- L'increment mesurat es produeix amb un decalatge tèrmic d'uns 70 minuts. Això és: un increment de temperatura aplicat a la cara superior de la volta es percep amb 70 minuts de retard. El mateix passa si l'increment és negatiu. Una conseqüència d'aquest fet, és que la distribució de temperatures a la cara inferior resulta més uniforme.

8.- CONCLUSIONS FINALS.

S'han analitzat un total de 101 voltes de l'edifici de l'administració de l'Hospital de Sant Pau. La metodologia emprada ha estat la següent:

- .- Realització de proves experimentals consistents en:
 - .- proves de càrrega estàtiques.
 - .- assaigs dinàmics.

El resultat d'aquestes proves ha estat:

- .- valor de càrrega assajat.

A la prova de càrrega corresponent a les voltes petites, s'ha arribat a un valor màxim de 4.95 kN/m^2 . Aquest valor correspon al cas on no hi ha contribució dels envans ni de l'encadellat ceràmic superior.

A la prova de càrrega corresponent a les voltes mitjanes, s'ha arribat a una valor màxim de 2.75 kN/m^2 . Aquest valor correspon al cas on no hi ha contribució dels envans ni de l'encadellat ceràmic superior.

A partir de les tensions i deformacions obtingudes en les altres proves de càrrega, es conclou que aquestes càrregues es poden incrementar de forma notable 40-50% quan es considera la contribució dels elements secundaris (envans i encadellat ceràmic).

Aquesta afirmació es sosté en fet de que les tensions i deformacions que experimenta la volta creixen amb un percentatge similar al exposat, en el moment en que es retiren els elements esmentats (envans i encadellat ceràmic).

- .- tensions i deformacions associats a la càrrega.

Tot i que el model emprat és senzill, les tensions i deformacions resulten assumibles.

- .- eficàcia dels reforços.

Després d'avaluar les voltes aplicant reforços basats en:

- .- capa d'un cm de reforç, mitjançant l'ús de Plantitop HDM (morter cementós bicomponent) i Mapegrid (malla de fibra de vidre).
- .- capa addicional ceràmica.

El resultat és que l'aplicació de la capa indicada resulta profitosa per la volta, essent les conseqüències del reforç, una reducció de les deformacions i una homogeneïtzació de les tensions. La capa de Mapei porta el benefici afegit de incrementar la resistència a tracció en el cas en que estigui situada a la cara pertinent.

- .- Anàlisi de les condicions de contorn.

S'han fet models numèrics de les diferents voltes, ajustades a partir dels paràmetres mecànics obtinguts a la fase de laboratori.

S'ha fet un anàlisi modal numèric de l'estructura considerant diferents condicions de contorn. Comparant les freqüències obtingudes de forma numèrica i experimental, s'han pogut definir quines són les condicions de contorn representatives de la volta. Aquesta precaució permet eliminar aquesta variable en processos posteriors.

Un cop calibrat el model, material i condicions de contorn, s'ha procedit a extender el procediment a la resta de les voltes.

Per fer-ho, s'han fet:

- .- Assaigs experimentals dinàmics a les voltes.
- .- Models numèric representatius de les mateixes.

El procediment proposat consisteix en:

- .- Agrupar voltes de geometria i condicions similars.

L'edifici presenta simetria, la qual cosa genera elements repetits. S'agrupen les voltes tenint en compte aquest criteri.

- .- Comparar la seva resposta dinàmica.

Es comprova l'homogeneïtat del comportament, identificant-se les situacions anòmals. Es tracta d'un primer filtre per localitzar possibles voltes danyades o amb alguna propietat específica.

- .- Comprovar que les freqüències característiques dels diferents grups, s'observen també en els models que les representen.

Cal garantir que el model numèric té garanties suficients per poder extreure'n conclusions relatives al comportament estructural.

- .- Analitzar el nivell de tensions i deformacions en el model, un cop sotmès a la càrrega prescrita en projecte.

Com a pas final validem les voltes on no s'ha fet una prova de càrrega de forma indirecta.

Aquest procediment és qualitatiu.

El resultat d'aquest estudi ha estat que:

- .- Les voltes poden suportar les càrregues indicades en projecte (3.00 kN/m^2).

- .- Aquest valor es pot confirmar, tot i que els models són simples, ja que:

- .- no s'ha considerat l'esmorteïment en els models numèrics, tot i que s'ha obtingut de forma experimental per cadascun dels diferents modes considerats.

- .- la geometria pel que fa a les costelles ceràmiques, només té un caràcter realista en el cas de les 3 primeres famílies (voltes petites, mitjanes i grans situades en el sostre soterrani). En el tercer cas - les voltes grans – es coneix la disposició de les costelles, però el seu cantell total.

En el cas de la resta de les voltes, s'han col·locat costelles per donar rigidesa a la volta, tot i que l'efecte aconseguit és menor que el que probablement tingui la volta (menor nombre de costelles en el model que a la realitat).

- .- Les consideracions anteriors, deixen les estimacions efectuades del costat de la seguretat.

- .- Per trobar els valors màxims de cada volta caldria incloure la informació que s'indica.

9.- REFERÈNCIES.

9.1.- Documentació consultada

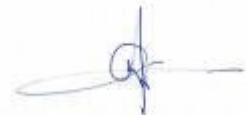
- Document: **DICTAMEN RELATIU A LA CAPACITAT ESTRUCTURAL DEL PAVELLÓ D'ADMINISTRACIÓ, PERTANYENT AL RECINTE HOSPITALARI DE L'HOSPITAL DE LA SANTA CREU I SANT PAU, BARCELONA.**
 Redactor: BOMA (Brufau, Obiol, Moya & Ass, S.P.L.)
 Data: Juliol -2007
- Document: **INFORME RELATIVO A LA COMPROVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LAS CÚPULAS DEL PABELLÓN ADMINISTRATIVO DEL HOSPITAL DE SANT PAU (BARCELONA).**
 Redactor: COTCA, S.A. (Sociedad de estudios y servicios de asistencia técnica, control y gestión para la garantía de calidad)
 Data: Agost -2010
- Document: **INFORME SOBRE EL ENSAYO DE CARGA ESTÁTICA REALIZADO EN EL FORJADO PLANTA BAJA, PLANTA PRIMERA, PLANTA SEGUNDA Y CUBIERTA DEL PABELLÓN ADMINISTRATIVO DEL HOSPITAL DE SANT PAU – BARCELONA.**
 Redactor: COTCA, S.A. (Sociedad de estudios y servicios de asistencia técnica, control y gestión para la garantía de calidad)
 Data: Octubre -2010

9.2.- Bibliografia.

- [3] Kuczma, M and Wybranowska, K. (2005)
 “Numerical homogenization of elastic brick masonry”
 Civil and Environmental Engineering reports, n.1.
- [4] I, Felix (1999)
 “Compressive strength and Modulus of Elasticity of masonry prisms”.
 Ph.D submitted to the Department of Civil and Environmental Engineering. Carleton University. Ottawa, Ontario (Canadà).
- [3] Barrera G.,Carreón G. , Ruiz M. (2005)
 “Control de calidad de piezas cerámicas por medio de análisis de vibraciones y redes neuronales artificiales”
 Computación y sistemas. Vol. 8 , Núm. 3, pp. 187-195. (México)
- [3] Rosell J.,Cantalapiedra I. (2011)
 “Método simple para determinar el módulo de Young dinámico a partir de una excitación por impacto aplicado a morteros de cal y cemento”.
 Materiales de Construcción, Vol 61, No 301 (España)
- [3] Nichols J. Totoev Y.
 “Experimental determination of the dynamic Modulus of Elasticity of masonry units”.
 Paper draft versión.
- [3] Heindl R., Pendegast, W. (1934)
 “Young's modulus of elasticity at several temperatures for some refractories of varying silica content”.
 Journal of Research of the National Bureau of Standard, Volume 13 (USA)

Normativa

- [4] UNE-EN 772-1 del juny de l'any 2002: Mètodes d'assaig per a les peces ceràmiques. Part 1:Determinació de la resistència a compressió.
- [4] UNE-EN 1015-11 de l'agost del 2000, Mètode d'assaig dels morters per a fàbrica, part 11:Determinació de la resistència a flexió i a compressió del morter endurit.
- [4] UNE-EN 1052-1 de l'abril del 1999, Mètode d'assaig per la obra de fàbrica. Part 1: Determinació de la resistència a compressió.
- [1] Comisión 4. Grupo de trabajo 4.3 de ACHE (2004)
“Monografía M-9: Pruebas de carga en estructuras”.
Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural.
- [2] CTE-DB-SE (2007)
“Código técnico de la Edificación. Documento Básico. Seguridad estructural. ” (CTE-DB-SE-F).
Abril -2012



MIQUEL LLORENS PhD
GMK Associats SLP
GIRONA