



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

## ***Les voltes de rajola doblada: construcció i seguretat estructural de les esglésies barroques catalanes***

**Anna Feu i Jordana**

**ADVERTIMENT** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del repositori institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) i el repositori cooperatiu TDX (<http://www.tdx.cat/>) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual **únicament per a usos privats** emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei UPCommons o TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a UPCommons (*framing*). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del repositorio institucional UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) y el repositorio cooperativo TDR (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=es>) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual **únicamente para usos privados enmarcados** en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio UPCommons. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a UPCommons (*framing*). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the institutional repository UPCommons (<http://upcommons.upc.edu/tesis>) and the cooperative repository TDX (<http://www.tdx.cat/?locale-attribute=en>) has been authorized by the titular of the intellectual property rights **only for private uses** placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading nor availability from a site foreign to the UPCommons service. Introducing its content in a window or frame foreign to the UPCommons service is not authorized (*framing*). These rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

# **Les voltes de rajola doblada. Construcció i seguretat estructural de les esglésies barroques catalanes.**

Autor: Anna Feu i Jordana

Universitat Politècnica de Catalunya

Director de la Tesi: Jose Luís González Moreno-Navarro

Programa de Doctorat en Tecnologia de l'Arquitectura, Edificació i Urbanisme

Departament de Tecnologia de l'Arquitectura

Barcelona, gener 2017

Tesi presentada per obtenir el títol de Doctora per la Universitat Politècnica de Catalunya

Vol 1 de 1.



## AGRAÏMENTS

He d'agrair al meu director de tesi, el professor Jose-Luis González Moreno Navarro, el seu nivell d'exigència, el seu rigor i coneixements, i la seva capacitat per transmetre'ls. La seva actitud ha estat per mi motiu d'inspiració i se'ns dubte m'ha infós la passió per la restauració i la rehabilitació arquitectòniques, aconseguint que la redacció d'aquesta tesi hagi estat una tasca engrescadora i plaent.

He d'agrair l'amable ajuda rebuda per part de totes les persones que m'han obert les portes de les diverses esglésies visitades, sobretot als rectors de les parròquies i als mossens, especialment a Mossèn Ramon Ezquerra per la confiança mostrada, i també al senyor Ximo Company, ambdós del Bisbat de Lleida.

També al senyor Eugeni Sendra Bonet, que em va facilitar informació sobre l'església de Rocafort de Queralt. A l'arquitecte Ramón Padullés i Rossell, que em va facilitar informació sobre la intervenció a l'església de Palau d'Anglesola. I als arquitectes Figuerola Gavaldà Romera.

Al Sr. Lluís Casaña, Director del Departament de Patrimoni Immobiliari del Bisbat de Lleida; i al Sr. Carles Freixes, responsable del Departament de Béns Immobles del Bisbat de Solsona.

També agraeixo l'ajuda dels arxivers Josep Sansalvador, de l'Arxiu Gavín, i a mossèn Enric Bartirina, de l'Arxiu del Bisbat de Solsona.

Agraeixo a Monseñor Jaime Alberto Mancera Casas, Degà i Capítol de la Catedral de Bogotà, l'atenció prestada en la visita realitzada a la Catedral de Bogotà, així com les facilitats brindades per a obtenir documentació de l'Arxiu. I al senyor Andrés Camilo Moreno Bogoya, que em va facilitar l'accés a l'extradós de les voltes del temple i a la documentació.

Agraeixo a les senyores Gisela Paredes Versategui i Shirley Céspedes, les gestions realitzades i la documentació que em van facilitar respecte la construcció i geometria de la Catedral de Potosí. També al senyor Willims Cervantes Beltrán, Alcalde del Govern Autònom Municipal de Potosí, per a possibilitar-me l'accés a la informació sobre la Catedral de Potosí.

També vull agrair a la Maria Marrugat i al John Quinn la seva traducció.

Per damunt de tot he d'agrair als meus pares la seva ajuda gens escèptica des d'una distància prudent i pacient.

I sobretot, aquesta tesi no hauria estat possible sense el suport incondicional del Carles, que m'ha ajudat i guiat amb perseverança, fins i tot amb exigència, i amb ferma convicció en aquest projecte.

# ÍNDEX

1	Introducció	1
	1.1 Origen	1
	1.2 Justificació	2
	1.3 Objectiu	4
	1.4 Hipòtesis	4
	1.5 Àmbit geogràfic i temporal	4
	1.6 Estat de la qüestió	6
	1.6.1 Estudis sobre esglésies barroques catalanes	6
	1.6.2 Estudis sobre arquitectura religiosa a Catalunya	7
	1.6.3 Estudis sobre les voltes de rajola doblada	8
	1.7 Comprovació del compliment de la hipòtesi plantejada	12
	1.8 Metodologia	12
2	Context històric constructiu de les esglésies barroques catalanes	14
	2.1 Les esglésies de tres naus i les voltes de rajola doblada	17
	2.2 Les esglésies de saló i les voltes de rajola doblada	24
	2.3 Procés constructiu	48
	2.4 Conclusions del capítol	60
3	Elements de les esglésies barroques catalanes i les seves relacions (amb una extensió a Amèrica)	65
	3.1 Les voltes de rajola doblada	65
	3.1.1 Lesions	81
	3.2 Solucions de coberta	83
	3.3 Tipus, proporcions i estabilitat	98
	3.4 Classificació de les esglésies segons el tipus i la solució de coberta	107
	3.5 Esglésies del XVIII catalanes a Amèrica	108
4	Anàlisi estructural de casos representatius	122
	4.1 Elecció dels casos (representatius per a entendre la seguretat)	122
	4.2 Estabilitat de l'església de Maldà	125
	4.3 Estabilitat de l'església de Falset	148

4.4	Estabilitat de l'església de Rocafort de Queralt	169
4.5	Estabilitat de l'església de Palau d'Anglesola	196
4.6	Estabilitat de l'església de Borges del Camp	230
4.7	Estabilitat de l'església d'Almacelles	266
4.8	El cas del cor barroc de l'església de Fonollet	294
4.9	Castilló de Tor, el fracàs de la reforma barroca de la coberta	315
4.10	Estabilitat de la Catedral de Bogotà	339
4.11	Estabilitat de la Catedral de Potosí	354
4.12	Conclusions del capítol	367
5	Conclusions	371
6	Futures investigacions	416
7	Annexes	417
	7.1 Recull de tabes	418
	7.2 Fitxes d'esglésies de saló	527
	7.3 Fotografies de les esglésies	575
	7.4 Croquis	654
	7.5 Càlculs	730
8	Bibliografia	902

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1 Origen

Durant el segle XVIII a Catalunya es van construir una gran quantitat d'esglésies i es van reformar molts temples romànics i gòtics. A la zona de Lleida i Tarragona, fruit de la puixança de les poblacions dedicades a la producció i al comerç de l'aiguardent i de l'oli, es van erigir esglésies de dimensions monumentals. Com va ser possible la construcció d'aquests temples construïts pel poble amb escassetat de mitjans, anomenats per alguns historiadors com "Catedrals de l'oli" o "Catedrals del vi" <sup>1</sup>?

Després de realitzar diversos treballs acadèmics i professionals entorn de la restauració i la rehabilitació d'esglésies a Catalunya, amb la conseqüent recerca històrica associada, es va observar com aquestes esglésies barroques catalanes estaven construïdes amb "*volta de rajola doblada*", tal com s'anomenava al segle XVIII. Es tracta de voltes i cúpules de dues filades de rajola preses amb guix. Les rajoles mesuren tant sols de 1,5 cm a 2 cm de gruix, i la segona filada es podia prendre amb morter de calç. El gruix total d'aquestes voltes oscil·la, comptant el gruix del morter, entre els 5 i els 7 cm.

Amb l'interès de contrastar aquesta realitat que diversos historiadors i fonts documentals avalaven, es va realitzar un intens treball de camp i documental.

La sorpresa va ser constatar que totes les voltes i les cúpules de les esglésies barroques i de les reformes barroques de temples més antics, s'havien executat amb volta de rajola doblada. Fins i tot per a l'execució dels arcs s'emprava aquest sistema. També totes les ressenyes documentals consultades es referien sempre a aquest sistema estructural.

Com aconseguien els constructors que no disposaven de coneixements teòrics amplis bastir aquests edificis amb aquestes voltes? Com s'encertien de la seguretat de les voltes de "rajola doblada"? La seva experiència es basava en mètodes empírics o existien normes tàcites per al correcte disseny? Com dimensionaven adequadament els estreps per a suportar l'empenta? Com intuïen l'estabilitat de l'estructura? Com establien la forma i els gruixos "segurs" de les voltes i les cúpules de rajola, i dels murs i pilars que les sostenen?

---

<sup>1</sup> SERRA MASDÉU, AL., (2010), "Josep Prat i la irrupció de l'academicisme en l'arquitectura tardobarroca tarragonina". Diputació de Tarragona, Col·lecció Ramon Berenguer IV, Tarragona..

Durant la recerca es va advertir la degradació de molts d'aquests temples. Importants deformacions dels arcs i voltes, esquerdes més o menys pronunciades, desploms dels murs i dels pilars, o el mal estat de les cobertes. També casos on s'havia desprès un fragment de rajola de les voltes o del revestiment de guix.

Són segures les voltes de rajola doblada malgrat les deformacions? Les esquerdes revelen un col·lapse imminent? El desprendiment d'un fragment de rajola o de guix compromet l'estabilitat? Els pilars i murs desplomats comprometen la seguretat de les voltes? La configuració de la coberta influeix en l'estabilitat?

El desconeixement de l'ús generalitzat de voltes de rajola doblada i la incomprensió de la seva capacitat resistent i autoportant, esdevé una amenaça per a la seva conservació i la integritat monumental de les esglésies, ja que es veuen sotmeses a demolicions innecessàries o a reparacions sobredimensionades.

Cal comprendre el procés constructiu i el funcionament estructural d'aquests temples, establir quines lesions poden comprometre l'estabilitat de les esglésies i definir uns protocols d'avaluació de la seva estabilitat, per tal d'assegurar que els tècnics prenguin mesures d'intervenció mínimes, no invasives, reversibles i acords amb les necessitats reals.

## **1.2 Justificació**

La gran quantitat de monuments religiosos existents a Catalunya fa molt difícil mantenir en condicions aquest parc edificat, i sovint, les solucions proposades pels arquitectes i els enginyers per a reparar danys o revertir el mal estat d'aquestes edificacions, són molt costoses. Això, sumat a la manca de capacitat pressupostària de les administracions i entitats religioses, fa que sigui impossible assumir-ne el cost i que, en conseqüència, no s'actui i els monuments segueixin deteriorant-se.

Això s'agreuja en el cas d'esglésies barroques, on l'ús de voltes i cúpules de rajola doblada és un fet desconegut, així com la seva construcció i el comportament estructural. Aquest fet esdevé una amenaça per a la conservació d'aquestes voltes i per la integritat monumental dels temples, que es veuen sotmesos a demolicions innecessàries o a reparacions sobredimensionades.

A més, les esglésies barroques comencen a evidenciar indicis de degradació (rajoles que es desprenen, deformacions i esquerdes de voltes i cúpules, i fins i tot recentment el col·lapse d'un campanar). Aquestes esglésies fa més de 200 anys que estan dempeus, i és evident la necessitat d'avaluar-ne la seguretat.

Però com es construïen les esglésies barroques catalanes amb voltes de rajola doblada? Quins materials s'utilitzaven i quins tipus s'adoptaven? Perquè només a la zona de Lleida i Tarragona van aparèixer les esglésies de saló?

Es podria afirmar que les esglésies catalanes del segle XVIII es construïen sempre amb voltes de rajola doblada? Quina geometria adoptaven els mestres de cases per construir aquestes voltes? Com s'encertien de la seguretat de les esveltes fulles que les conformen? La geometria era un factor que n'assegurava l'eficàcia? Com establien la forma i els gruixos "segurs"? És gràcies a l'ús de les voltes de rajola doblada que es van construir temples rurals de dimensions monumentals?

Com aconseguïen els constructors que no disposaven de coneixements teòrics amplis bastir aquests edificis amb aquestes voltes? Com intuïen l'estabilitat de l'estructura? La seva experiència es basava en mètodes empírics o existien normes tàcites per al correcte disseny? Com dimensionaven adequadament els estreps per a suportar l'empenta? I el gruix dels murs i dels pilars? Altres elements com la coberta podien ser part activa en l'estabilitat global?

És clar que amb el tipus saló s'assolien esglésies de majors magnituds. El tipus saló reportava avantatges respecte d'altres? Perquè adoptant el tipus saló s'assolien temples més grans? Com establien els mestres de cases com calia repartir els pesos per aconseguir l'equilibri?

I d'altra banda, el despreniment d'una rajola o part del revestiment d'enguixat compromet la seguretat dels temples? Fins a quin punt són preocupants les deformacions de les voltes i els desploms dels murs? Són segures les voltes de rajola doblada malgrat les deformacions? Els pilars i murs desplomats comprometen la seguretat de les voltes? Les esquerdes revelen un col·lapse imminent? Es poden determinar les causes que provoquen aquestes lesions i es poden revertir?

Quan es tracta d'intervencions del XVIII sobre temples romànics o gòtics es tendeix a creure que la causa de la lesió és la reforma barroca o els nous elements barrocs construïts, i sovint es decanta a buscar l'estil primitiu dels temples relegant la intervenció barroca a un rang inferior. Està justificada l'eliminació de la reforma barroca efectuada dins un context històric concret? No és aquesta reforma substancial a la seva època i en conseqüència dotada d'un valor documental? I d'altra banda, és aquesta reforma barroca l'origen de les lesions del temple com sovint es pretén?

És necessari, per a poder respondre aquestes qüestions, que són fruit de l'avanç i el desenvolupament d'aquesta investigació, aprofundir en el coneixement de la construcció d'aquestes esglésies i determinar un mètode que permeti entendre com es comporten per tal d'avaluar adequadament la seva estabilitat.

Cal establir uns criteris d'actuació que permetin als tècnics apropar-se al coneixement constructiu i estructural dels temples, per tal de concretar les seves propostes d'actuació d'acord amb la comprensió del comportament estructural i de les característiques dels materials (Recomanacions, 2004, ISCARSAH), assegurant així l'obtenció de solucions més realistes, proporcionades i ajustades.

Familiaritzar-se amb el comportament d'aquest tipus d'estructures evitarà incidir en lesions que no suposen cap amenaça i actuar de manera mesurada.

Per tot això aquesta tesi vol aclarir com es construïen les esglésies del XVIII , el seu comportament estructural i la seva estabilitat mitjançant la revisió de textos històrics, la presa de dades de treball de camp, l'anàlisi d'estructures i l'estudi de les lesions.

Això permetrà respondre les preguntes formulades en relació amb l'objectiu general, que és el coneixement de la construcció i el comportament estructural de les esglésies barroques catalanes amb voltes de rajola doblada per a avaluar-ne correctament la seva seguretat.

### **1.3 Objectiu**

L'objectiu d'aquesta tesi és donar resposta a totes les preguntes formulades anteriorment, podent-se resumir en aquesta frase:

Entendre la construcció i el comportament estructural de les esglésies barroques catalanes per a poder determinar l'origen de les lesions que presenten, establir la importància de les lesions en relació amb la seguretat de l'edifici i oferir recomanacions d'intervencions que en millorin l'estabilitat.

### **1.4 Hipòtesis**

Aquesta tesi parteix d'una **primera hipòtesi** que planteja que els estudis realitzats pels historiadors donaran resposta a les preguntes enunciades a la Justificació.

### **1.5 Àmbit geogràfic i temporal**

S'estudien les esglésies situades a la zona de Lleida i Tarragona perquè al llarg dels segles s'hi ha realitzat menys intervencions que a la resta de Catalunya. Per això són un bon testimoni del repertori de lesions i, en molts casos, de l'estat original de les construccions.

La zona de Lleida i Tarragona correspon a l'anomenada Catalunya Nova, que va restar molts segles sota domini musulmà. En aquest sentit, la construcció de temples cristians va ser més intensa al llarg dels segles posteriors a l'expansió cristiana, i remarcable al segle XVIII.

A més, és en aquesta zona on es troben tots els tipus d'esglésies que la tesi defineix i que són els que es construïen al segle XVIII, de tal manera que fora de l'àmbit de Lleida i Tarragona no es van construir esglésies de saló.

Les esglésies analitzades són barroques, totes construïdes al segle XVIII, sobretot a partir de mitjans del segle. Tradicionalment, les intervencions en el patrimoni religiós construït s'han esdevingut majoritàriament en temples romànics i gòtics. Les esglésies barroques, més modernes, no semblaven necessitar actuacions de rehabilitació o restauració i es realitzaven petites tasques de manteniment.

D'altra banda, el barroc, tal com afirmen diversos historiadors <sup>2</sup>, ha estat sempre un estil menystingut davant el romànic o el gòtic. Degradat pel context històric coetani. De manera que no s'ha aplicat el mateix interès en les actuacions necessàries per al seu manteniment i integritat. Tant és així que en molts casos s'han eliminat intervencions barroques efectuades en temples romànics o gòtics infravalorant aquest estil arquitectònic respecte els altres dos.

Les esglésies barroques fa més de 200 anys que estan dempeus, i moltes només han experimentat actuacions de reparació. Això demostra la seva seguretat, però també demostra, veient el seu estat actual, que avaluar-la de nou és cada vegada més necessari.



**Fig.1** Plànol de Catalunya a finals del segle XI, quan ja s'havia iniciat l'expansió cristiana però la frontera estava estabilitzada i Balaguer, Lleida, Tarragona i Tortosa seguien en mans musulmanes. Font: MORENO CULLELL, V., 2012. Orígens de Catalunya. Sàpiens.

<sup>2</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (2002) "El barroc: un patrimoni menystingut" a Bic. Revista del Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Lleida, n°96. Lleida, Ps. 5-14.

BASSEGODA, B., GARRIGA, J., PARÍS, J., (2006). "L'època dels barroc i els Bonifàs. Actes de les Jornades d'història de l'art a Catalunya". "El barroc català". Actes de les Jornades celebrades a Girona els dies 17, 18 i 19 de desembre de 1987. Pròleg de Joan-Ramon Triadó.



## 1.6 Estat de la qüestió

### 1.6.1 Estudis sobre esglésies barroques catalanes a la zona de Lleida i Tarragona

Cal destacar la tesi doctoral i els diversos articles de la historiadora Maria Garganté i Llanes <sup>3</sup>. S'ha consultat tota la seva obra, des de la seva tesi doctoral "L'arquitectura vuitcentista a la Segarra i l'Urgell" fins a diversos articles publicats, tots ells de gran interès i ajuda per a l'elaboració de la present tesi doctoral.

A la seva tesi aquesta historiadora explica els condicionants, els protagonistes i el fet constructiu de les esglésies rurals del XVIII a la Segarra i l'Urgell, fent èmfasi en la seva filiació amb les construccions institucionals com la Universitat de Cervera i la Catedral de Lleida. Explica quins eren els artífexs: mestres de cases, eclesiàstics i enginyers militars. Parla de la importància dels gremis i de la seva cultura arquitectònica. També incideix en el procés constructiu de les esglésies, des de l'elaboració del projecte, la taba i la subhasta de l'obra, la contractació, l'emplaçament, els utensilis i mà d'obra, les visures, i vicissituds. També incideix en els aspectes formals de l'obra construïda, com les façanes, portades, obertures i decoració, plantes, alçats i cobertes. I diverses intervencions. Conclou amb diversos estudis monogràfics sobre obres en esglésies concretes. Destaca el recull de tabes (contractes d'obres a mode de plec de condicions) de diverses esglésies que adjunta com a apèndix documental.

El treball d'aquesta historiadora és molt complet i exhaustiu, i abarca temes constructius i materials de gran interès. Tot i així, es centra en l'estudi d'aspectes històrics i formals de les esglésies, sense aprofundir en aspectes tècnics. Malgrat esmenta l'ús de la rajola doblada per a la construcció de les voltes, no s'assevera del seu ús generalitzat i no aprofundeix en la seva rellevància. Tampoc, tot i que l'exposa, no analitza el procés constructiu de les esglésies, atès el caràcter històric i compositiu de la seva investigació.

Els historiadors Raul Torrent i Isidre Puig <sup>4</sup>, han dut a terme una investigació sobre l'arquitectura religiosa del segle XVIII al Pla de Lleida (Segrià i part de les Garrigues), i dediquen diversos estudis i articles a l'arquitectura realigiosa catalana del segle XVIII i en concret a les esglésies de saló. En alguns casos descriuen el procés constructiu extret de les tabes d'alguna església, però no l'analitzen ni hi aprofundeixen.

---

<sup>3</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (2006), "Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell. Condicionants, artífexs i pràctica constructiva". Pagès Editors SL. Lleida.

<sup>4</sup> TORRENT, R., PUIG, I., (1999). "La parròquia de Torres de Segre. Procés constructiu (1746-1769)". URTX. Tàrraga. També: "l'Església nova de Maials", entre altres.

La tesi doctoral de la historiadora Anna Serra Masdéu <sup>5</sup> “Acadèmia i tradició: Josep Prat i l’arquitectura de la segona meitat del segle XVIII a la diòcesi de Tarragona” així com diversos articles publicats d’aquesta autora, també fan referència a les esglésies del XVIII a la zona de Tarragona. Encara que no esmenten la particularitat de l’existència de les de planta de saló, sí que ressalta la gran monumentalitat de les esglésies del XVIII de la zona de Tarragona, i la seva tesi i articles han estat de gran interès.

Altres articles consultats de diversos historiadors són estudis monogràfics d’esglésies concretes que s’esmenten a la bibliografia. Aporten documentació interessant sobre els processos de construcció i la història d’edificis concrets. Per exemple “L’església de Sant Martí de Vilallonga del Camp” d’Anna Serra Masdéu. O “L’església Parroquial de Palau d’Anglesola” dels historiadors Isidre Puig i Josep Yeguas. I diversos estudis de Yolanda Gil Saura.

L’historiador Ramon Planes <sup>6</sup> realitza un recull de tabes a “Contractes d’obres al Bisbat de Solsona, 1661-1790” on es poden consultar processos constructius i materials emprats per a la construcció de les esglésies catalanes del segle XVIII. També l’article “Obres i reformes a la catedral de Solsona, segles XV-XVIII” a Ilerda 1986; es documenta que els mestres de cases creaven maquetes de fusta dels edificis.

Cap dels historiadors consultats no fa especial èmfasi a la construcció amb voltes de rajola doblada de les esglésies barroques catalanes. Fins i tot es va contactar amb la historiadora Maria Garganté per a preguntar-li sobre aquest fet, però la seva investigació no incideix en aspectes tècnics més especialitzats. Per això s’ha realitzat una investigació pròpia per a comprovar que la rajola doblada sempre s’utilitzava per a la construcció de les voltes d’aquestes esglésies.

## **1.6.2 Estudis sobre arquitectura religiosa del s.XVIII**

Des d’una perspectiva més arquitectònica, la tesi doctoral de Josep Mora Catellà a "La construcció a Catalunya en el segle XVIII: la Universitat de Cervera com a paradigma de l'arquitectura dels enginyers militars", també ha estat de gran interès per l’elaboració de la present tesi. Altres articles de l’autor com “La construcció a Catalunya en el segle XVIII”. Guissona, 1997. I llibres com “La Universitat de Cervera: anàlisi d’un edifici paradigma de l’arquitectura dels segle XVIII a Catalunya” de Josep Mora i Josep Maria Montaner. Ha estat útil per a aquesta tesi atesa la descripció constructiva que fa de la Capella de la Universitat, que és una església de saló, i també per la descripció dels materials constructius emprats.

---

<sup>5</sup> SEERA MASDEU, AL., (2004). “ Acadèmia i tradició: Josep Prat i l’arquitectura de la segona meitat del segle XVIII a la diòcesi de Tarragona.”. Tesi doctoral.

<sup>6</sup> PLANES ALBETS, R., (1985). “ Contractes d’obres al bisbat de Solsona.”. Edicions de la Delegació Diocesana de M.C.S. Solsona.

També la tesi doctoral de l'arquitecta Beatriz Sáez Riquelme sobre "Iglesias salón Valencianas del XVIII" realitza un estudi compositiu i constructiu, i descriu les lesions habituals d'aquestes construccions, però ja fora de l'àmbit català i sense entrar en profunditat en l'anàlisi estructural.

La tesi doctoral "La parròquia rural a Catalunya (segles XVIII-XIX), bisbat de Girona", de l'historiador Joaquim M. Puigvert i Solé, explica com eren els temples i les intervencions que s'hi realitzaven fora de l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi.

La resta d'estudis que esmenten les esglésies rurals a Catalunya en fan una breu ressenya, sense ni distingir les de saló de la resta. Els tres volums de l'obra de César Martinell "l'Arquitectura i l'escultura barroques a Catalunya" i Josep F. Ràfols i Fontanals a "Entorn del nostre barroc", Joan Ramon Triadó "L'art a l'època del barroc, una proposta d'anàlisi interdisciplinar".

Altres historiadors del barroc català que no aprofundeixen en l'arquitectura religiosa són Arnau Puig "Història de l'Art Català: del renaixement al barroc, Barcelona", Joan Ainaud "Arte: El Renacimiento, el barroco y el neoclásico", Joan Ramón Triadó "L'època del barroc, s. XVII-XVIII. Estat de la qüestió i problemes metodològics", o Josep de C. Laplana "L'esplet del Barroc", entre d'altres.

L'arquitectura barroca del XVIII també compta amb les tesis doctorals de Manuel Arranz "Mestres d'obres i fusters: La construcció a Barcelona en el segle XVIII", i "La menestralia de Barcelona al segle XVIII: Els gremis de la construcció", i Josep Maria Montaner "La modernització de l'utilitatge mental de l'arquitectura a Catalunya 1714-1859". Sense aportacions destacables en arquitectura religiosa.

Sobre el tracista Fra Josep de la Concepció, en parla Carme Narváez a "El tracista fra Josep de la Concepció (1626-1690)". L'obra del carmelita d'una gran coherència s'explica per l'atracció envers els models de l'anomenada *escuela del camp*, i és l'arquitectura de la qual va ser hereva l'arquitectura religiosa barroca catalana.

Sobre l'escola del camp en parla el llibre de Marià Carbonell i Buades "L'Escola del camp de Tarragona en l'arquitectura del segle XVI a Catalunya". Interessant com a precedent.

### **1.6.3 Estudis històrics sobre la volta de rajola doblada**

La volta de rajola doblada no s'ha estudiat amb aquesta denominació. El seu ús i popularitat amb aquest nom, durant el segle XVIII a Catalunya, es demostren en la present tesi. Fray Lorenzo de San Nicolás

(Madrid 1593-1679) les anomenava voltes de “yeso tabicado”<sup>7</sup>. Fray Lorenzo tracta dos aspectes de les voltes; les mides dels murs o estreps i el procés d’execució de les diverses geometries. Per a aquesta tesi és d’especial interès el primer aspecte, tal com es veurà.

Al segle XIX Josep Renart i Closes (Barcelona, 1746-1824)<sup>8</sup> fa un tractat per al seu fill, mestre de cases, en el qual dona proporcions dels estreps per als diferents tipus de volta a la catalana. Diferents de les de Fray Lorenzo, interessa perquè malgrat ser d’inici del XIX, és un compendi de com s’havien construït aquestes voltes fins aleshores, i per tant durant el XVIII a Catalunya.

Manuel Fornés y Gurrea (València, 1777-1856)<sup>9</sup> va ser un arquitecte de València que des de 1800 va ser nomenat acadèmic per l’Acadèmia de San Carlos i va publicar les “Observaciones sobre la pràctica del arte de edificar” i “Album de proyectos prácticos originales de Arquitectura” inspirats en Fray Lorenzo de San Nicolás i en Juan de Torija (Madrid, 1604-1666). Aquest artífex realitza apreciacions sobre la construcció de les “bóvedas tabicadas”.

El discurs de 1936 de Joaquim Bassegoda i Amigó<sup>10</sup> a l’Acadèmia de les Ciències i les Arts de Barcelona “Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglésies de Catalunya” apunta a la construcció amb volta a la catalana de les esglésies catalanes.

Durant els modernisme diversos arquitectes catalans van aplicar sistemes de catenàries per al “càlcul” de la volta catalana, com Antoni Gaudí (1852-1926). També Rafael Guastavino Moreno (1842-1908), que va importar i patentar el sistema de volta catalana a Amèrica; i Rafael Guastavino Expósito (1872-1950, van realitzar càlculs de la volta a la catalana que consideraven un sistema “cohesiu” que resistia traccions. Ignasi Bosch i Reig (1910-1985) defensava l’anàlisi de la membrana.

Ja en l’actualitat, cal remarcar la tesi de Jaume Rossell<sup>11</sup> “La construcció a Barcelona al s.XVIII” on l’autor fa una aportació molt interessant pel seu recull del Quincenarios de Josep Renart, on com s’ha dit apareixen recomanacions, regles de proporcions i construcció de voltes a la catalana. També Jaume Rossell i Isabel Serra estudien l’aportació d’Esteve Terradas a “Estudis d’Esteve Terradas sobre la volta de maó pla”, IEC, 1987.

---

<sup>7</sup> DE SAN NICOLÁS, FL., (1639). “Arte y Uso de Arquitectura”.

<sup>8</sup> RENART I CLOSES, J., (1810). “Quincenarios”. Biblioteca de Catalunya. Arxiu Renart.

<sup>9</sup> FORNÉS Y GURREA, M., (1841). “Observaciones sobre la practica del arte de edificar”. València.

<sup>10</sup> BASSEGODA I AMIGÓ, J., (1936). “Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglésies de Catalunya”. Discurs de l’Acadèmia de les Ciències i les Arts de Barcelona.

<sup>11</sup> ROSELL, J., (1996). “La Construcció en l’arquitectura de Barcelona a finals del segle XVIII”. Tesi doctoral.

Actualment, la volta a la catalana l'estudien diversos especialistes de tot el món, Jacques Heyman, a Cambridge, és una autoritat en l'estudi de les estructures de catedrals aplicant les teories modernes per al càlcul de l'obra de fàbrica que consideren que la seva resistència a compressió és infinita. En aquestes condicions, els teoremes de l'anàlisi límit de la teoria de la plasticitat serien aplicables a l'estructura de maó.

A Barcelona l'arquitecte Catedràtic José Luís González <sup>12</sup> és un dels majors especialistes en restauració de voltes de maó pla, havent realitzat proves de càrrega. Segueix la teoria proposada per Heyman. Juntament amb Albert Casals han estudiat les voltes a la catalana de l'Hospital de Sant Pau de Barcelona, entre moltes altres.

A Madrid, Santiago Huerta <sup>13</sup> des de l'Escola d'Arquitectura de Madrid afirma que les voltes de maó pla tenen poca o nul·la resistència a tracció, s'esquerden i produeixen empenta. No accepta la hipòtesi de Guastavino que les considerava monolítiques y cohesives, per tant també recomana que es calculin mitjançant les teories de l'Anàlisi Límit proposat per Heyman. Ha realitzat publicacions i articles sobre les voltes de Guastavino. També des de Madrid, la investigadora Esther Redondo Martínez <sup>14</sup>, a la seva tesi realitza un compendi dels diversos estudis estructurals sobre aquest sistema constructiu al llarg del temps. "La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: la transformación de un sistema constructivo".

També a Barcelona, l'enginyer de camins Pere Roca, recomana l'Anàlisi Límit, i la macromodelització amb el mètode dels elements finits. Considera que: caldria realitzar una macromodelització precisa de la geometria, s'hauria de considerar la no-linealitat del material, s'hauria de considerar resistència limitada a compressió, s'hauria de considerar resistència a tracció no-nul·la però molt limitada i s'hauria de considerar la no linealitat geomètrica. A Girona Joan Llorens i Antoni Llorens han estudiat les voltes a la catalana d'Ignasi Bosch i Reigt

Cal destacar el *Simposio Internacional sobre Bóvedas Tabicadas* <sup>15</sup> celebrat a València el 2011, on diversos investigadors exposaven els seus treballs relacionats amb aquestes estructures. Tots els articles han estat molt útils per a la present investigació. Per exemple, Antonio Conejo da Pena, ha estudiat les voltes de maó pla durant el gòtic a Catalunya. "«Volta de rajola», «volta de maó pla» o «volta catalana»: reflexiones entorno a las bóvedas tabicadas en Cataluña durante los siglos del gótico".

---

<sup>12</sup> GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, JL., (2005). "La bóveda tabicada: entre la conservación y la destrucción".

<sup>13</sup> HUERTA, S., (1999). "La mecánica de las bóvedas tabicadas en su contexto histórico: la aportación de los Guastavino".

<sup>14</sup> REDONDO, E., (2013). "La bóveda tabicada en España en el siglo XIX: la transformación de un sistema constructivo".. Tesi doctoral.

<sup>15</sup> SIMPOSIO INTERNACIONAL BÓVEDAS TABICADAS (2011). València

Manuel Fortea Luna <sup>16</sup> i Vicente López Bernal, estudien les “bóvedas tabicadas extremeñas”. Amb diversos articles i publicacions. Cal destacar la tesi doctoral de Manuel Fortea “Análisi estructural de bóvedas de fàbrica. La eficàcia de la geometria” on l'autor tracta sobre l'anàlisi estructural de les voltes de fàbrica i especialment de la relació entre el seu comportament i la seva geometria. L'autor també recomana que es calculin mitjançant les teories de l'Anàlisi Límit.

A la Universitat de València, Arturo Zaragoza Catalán, ha estudiat la construcció de voltes i cúpules de maó pla i diverses esglésies cobertes amb voltes i cúpules executades amb aquest sistema. Va ser el director del *Simposio Internacional de Bóveda Tabicada* que es va celebrar a València el 2011.

Des de la Universitat de València diversos investigadors han tractat el tema: Fernando Vegas i Camila Mileto han estudiat les voltes de Guastavino; Rafael Marín Sánchez ha estudiat les voltes de maó pla de les esglésies valencianes de finals del XVII, i Yolanda Gil Saura ha estudiat la construcció i ruina de les voltes de maó pla a València als segles XVII i XVIII.

Alfonso Durà i Arturo Martínez Boquera, també de la Universitat de València han estudiat el tema de la tracció en les voltes de maó pla. Des de València també Rafael Seler Verdú i Alba Soler Estrela han estudiat els tipus constructius de cúpules de maó pla. Mercedes Gómez-Ferrer Lozano ha estudiat les voltes de maó pla a l'arquitectura Valenciana.

Des de Sevilla, Mar Loren ha aprofundit sobre l'obra de Guastavino a Amèrica. “La obra de Guastavino en Nueva York: su actualidad y restauración”.

Antonio Almargo Gorbea, ha estudiat les voltes de maó pla de la Cartuja de Granada, i Javier Ibáñez Fernández, “Aproximación al estudio de la bóveda tabicada en Aragón”, ha estudiat la volta de maó pla a l'Aragó i la seva decoració.

A Palerm, Maria Mercedes Bares i Marco Rosario Nobile, han estudiat les voltes de maó pla a Sicília i Sardenya.

A Amèrica, al MIT, John Ochsendorf estudia el comportament estructural de les voltes de maó pla de Guastavino entre altres, des del grup d'investigació de Masonry del MIT diversos investigadors han desenvolupat un software com els de Philippe Block, Lara Davis y Matthias Rippman, d'altra banda Megan L. Reese y Atamturkur estudien les voltes de Guastavino. Megan L. Reese demostra com l'Anàlisi Límit és el més apropiat per a l'avaluació de la seguretat estructural d'aquestes voltes.

---

<sup>16</sup> FORTEA LUNA, M., (2013). “Análisis estructural de bóvedas de fàbrica. La eficàcia de la geometria”. Tesi doctoral.

## 1.7 Comprovació del compliment de la hipòtesi plantejada

Un cop estudiada tota la literatura exposada a l'Estat de la Qüestió, es comprova que la hipòtesi plantejada a l'apartat 1.4 no es compleix.

Durant el desenvolupament de l'Estat de la Qüestió, on s'han consultat els historiadors, documents diversos i altres fonts secundàries relacionades amb l'objecte de la investigació, no ha estat possible trobar respostes a les 23 preguntes formulades, ja que escapen de l'àmbit purament històric i compositiu.

Per això es planteja una **segona hipòtesi**, segons la qual, realitzant un treball de síntesi de la informació dels historiadors (recopilada a l'Estat de la Qüestió), i la informació derivada d'un anàlisi de les esglésies realitzat amb els instruments propis de l'arquitecte (que es desenvoluparà en la present tesi), serà possible respondre les preguntes inicials. Aquesta tesi intentarà demostrar si aquesta hipòtesi es compleix.

## 1.8 Metodologia

Per a investigar si les esglésies i les intervencions en esglésies executades durant el segle XVIII són amb volta de rajola doblada s'ha realitzat una revisió de la literatura existent, s'ha buscat documentació com contractes d'obres (tabes) i llibres de visites de diverses esglésies als Arxius Diocesans de Solsona, Lleida i Tarragona i s'han realitzat visites "in situ" a 81 esglésies i s'ha accedit a l'extradós de les voltes de 65.

Per a investigar la seguretat de les esglésies catalanes del segle XVIII primer s'ha revisat la literatura existent. La informació facilitada pels historiadors ha permès orientar en la recerca dels temples a estudiar.

Amb l'orientació presa s'han consultat fonts documentals als Arxius Diocesans del Bisbat de Solsona, el Bisbat de Lleida i el Bisbat de Tarragona, també a l'Arxiu Gavín.

Això ha permès acotar la zona geogràfica en aquella on hi ha exemples construïts de tots els tipus identificats. També ha permès acotar d'acord amb l'estat en què es troben els temples.

Un cop localitzat un nombre considerable de temples d'interès, s'han realitzat 120 inspeccions visuals in situ.

Durant les inspeccions visuals també es realitzava l'aixecament de les esglésies amb làser distanciómetre i cinta mètrica.

Amb la revisió de la literatura existent es va detectar l'existència d'esglésies com les del XVIII catalanes, construïdes pels mateixos artífexs, a l'Aragó i a Amèrica.

S'han realitzat visites a les esglésies d'Aragó (Mas de las Matas, La Cerollera, Alcañiz, Calaceit) i també a Bogotà (Catedral Primada de Bogotà). On s'ha comprovat que estan construïdes amb volta de rajola doblada.

També s'ha contactat amb els responsables de la restauració de la Catedral de Potosí, que han facilitat la documentació necessària que a comprovar que la Catedral està construïda amb volta de rajola doblada i que respon al mateix tipus i construcció que les executades a la zona de Lleida i Tarragona durant el segle XVIII.

D'aquesta manera s'ha completat tècnicament la tasca que des de la vessant històrica avalen els historiadors.

Finalment les inspeccions visuals també han permès analitzar les lesions en cada cas. Els aixecaments han permès comparar les proporcions entre les diverses esglésies i han servit per l'estudi de l'estabilitat.

L'estudi de les lesions ha proporcionat informació sobre l'estat general en què es troba el parc edificat d'esglésies del XVIII catalanes. I ha permès discernir els casos amb problemes destacables útils per a il·lustrar les mancances tècniques que actualment presenten molts temples.

S'han escollit els casos més representatius i/o il·lustratius i s'ha realitzat una recerca històrica més exhaustiva de cada un d'ells. S'han consultat els Arxius Diocesans de Solsona, Lleida i Tarragona, i l'Arxiu Gavín.

També s'ha realitzat una recerca de documentació en cas d'esglésies on s'han efectuat intervencions, consultant als tècnics en cada cas.

Per a avaluar la seguretat dels casos escollits s'han realitzat informes aplicant el mètode científic i l'Anàlisi Límit tal com el proposa Heyman (Heyman, 1995).



## 2. CONTEXT HISTÒRIC CONSTRUCTIU DE LES ESGLÉSIES BARROQUES CATALANES

L'inici del segle XVIII estava marcat per la guerra de successió (1707-1714). Felip V, d'ideari uniformador i centrista i influenciat pel gust de Versalles, va fer venir enginyers militars d'origen Franco-Belga formats dins les doctrines de Vauban, per estendre el seu llenguatge en la formació acadèmica i en les construccions.

Els enginyers d'origen espanyol van ser formats a les aules de l'Acadèmia de San Fernando (1752) i també a l'Acadèmia Militar de Matemàtiques de Barcelona (1720-1802). Aquesta escola era una primera mostra a Catalunya de la superació del sistema gremial, mitjançant un cos de coneixements científics, delimitats i moderns. S'estudiaven Vauban, Belidor, Gautier, D'Avilier, Derand, de la Rue, etc..., que es basaven essencialment en la pràctica, en la precisió matemàtica i el càlcul, i en la geometria i el dibuix com a mètode analític <sup>(17)</sup>.

Amb els enginyers militars, el poder central de Madrid pretenia controlar el procés constructiu des dels seus inicis, evitant que els mestres de cases prenguessin part en el disseny i propiciant l'arquitectura econòmica, austera, simple i pràctica, que es traduïa en una arquitectura academicista (propagadora del classicisme francès). En la seva Lluita directa contra el saber oral i tradicional dels gremis els dies 23 d'octubre i 25 de novembre de 1777 es feren públics uns decrets firmats pel comte de Floridablanca, que obligaven a sotmetre els projectes de les esglésies que s'haguessin de construir a l'examen i aprovació de la Real Academia de San Fernando.

D'altra banda, els gremis, les corporacions locals, les parròquies i els municipis, defensaven la seva legitimitat i autonomia enfront de la invasió absolutista del poder central pel que fa a titulacions i concessions de permisos d'obra i optaven per ignorar els nous decrets. A més, l'Acadèmia rebutjava els projectes realitzats per mestres de cases o arquitectes no acadèmics, ja que seguien els paràmetres estètics del barroc i no acollien fàcilment les directrius academicistes que s'anaven imposant arreu, i això creava un cert recel a enviar-hi qualsevol projecte. <sup>(18)</sup>

Mentrestant, amb la política agrària de François Bessacourt (1698-1765), baró de Maials i senyor de Llardecans, la Catalunya rural de les comarques de Lleida i Tarragona va experimentar una notable millora econòmica. El baró de Maials va ser corregidor de Lleida i durant el seu mandat promogué, sobretot a les Garrigues, la rompuda d'erms per al conreu d'oliveres. Fruit del seu interès per

---

<sup>17</sup> MORA I CASTELLÀ, J., (1987). "L'obra de la Universitat de Cervera a través dels projectes i les incidències en la construcció". Micol·lània Cerverina, núm. 5.

<sup>18</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (2006). "L'arquitectura religiosa a la Segarra i l'Urgell: condicionants, artífexs i pràctica constructiva". Barcelona: Fundació Noguera.

l'experimentació agrícola en terres comunals, el 1763 creà l'Acadèmia d'Agricultura de Lleida <sup>(19)</sup>. Aquests fets van fomentar l'extensió agrícola de l'olivera, la vinya i l'ametller, i la producció d'oli, vi i aiguardent. El seu comerç va permetre una important acumulació de diners que beneficiaren la construcció de molts edificis de caire civil, i també, en particular, d'esglésies. La tradició popular bateja els temples, bastits vers les darreries del XVIII, com "les catedrals del vi" a la zona del camp de Tarragona, i les "catedrals de l'oli" a la zona de Lleida i sobretot a les Garrigues. <sup>(20)</sup>

Els factors que van impulsar l'activitat constructora foren:

- Millora econòmica a la zona de Lleida i Tarragona, a partir del segon terç del XVIII, a causa del comerç de l'aiguardent (Tarragona) i de l'oli d'oliva a Lleida (baró de Maials, substitució del cereal per l'olivera).
- Reforma del port de Tarragona i del port de Salou, fet que augmenta la producció per l'exportació que se'n feia.
- Les poblacions de Lleida i Tarragona conformaven el què es denominava "Catalunya Nova" per haver estat durant molt temps sota domini musulmà, això feia que les obrieres d'aquestes parròquies (és a dir, les tasques de manteniment dels temples) no tinguessin la importància institucional que tenien en altres zones. En les zones de Lleida i Tarragona l'obreria tenia una funció testimonial i les grans empreses arquitectòniques relacionades amb l'església gairebé sempre les duien a terme els Ajuntaments que augmentaven d'importància a mesura que avançava l'època moderna.
- El poble mantenia un pols amb el senyor jurisdiccional (senyors feudals o eclesiàstics com el bisbe d'Urgell o l'Abat de Poblet) que percebia gairebé la totalitat dels delmes, mentre que la iniciativa i la responsabilitat de reparar o construir una nova església requeria sobre els Ajuntaments. El poble, representat pel seu Ajuntament, pretenia que com a delmador, el senyor contribuís econòmicament a la construcció, a la qual cosa normalment no estava disposat.
- Ressorgiment d'una nova classe d'agricultors rics amb consciència de propietaris, que eren generalment els membres dels Ajuntaments en la comissió que es formava per a supervisar l'obra. S'enfrontaven amb els perceptors del delmes. Amb la construcció d'un grandíols i nou temple, sovint sobredimensionat per a la població que havia de servir, representava la força, el poder i l'orgull d'aquesta classe emergent.

---

<sup>19</sup> ENCICLOPEDIA CATALANA.NET

<sup>20</sup> SERRA MASDEU, AL., (1999). "L'església de Sant Martí de Vilallonga de Camp". LOCVS AMECENVS 4, 219-228.

- Component simbòlic de rivalitat entre poblacions.
- Component simbòlic de rivalitat amb el poder de Castella manifestat a través dels dictàmens de l'Acadèmia de San Fernando, que sempre desestimava els projectes d'aquestes esglésies.

A tot Catalunya la població, sobretot en nuclis petits rurals, va experimentar un elevat increment i no cabia als vells temples romànics i gòtics que, o havien quedat petits o amenaçaven ruïna. Segons Anna Serra Masdèu <sup>(21)</sup>, la documentació conservada sobre la construcció d'esglésies deixa ben clara la postura emprenedora del poble. Era aquest qui es reunia, organitzava el finançament i, a través del consistori, arribava a aconseguir els permisos adients i també els mestres d'obra que erigirien el temple. El finançament s'efectuava mitjançant imposicions de feina als habitants i amb nous impostos (imposició voluntària sobre les pròpies collites mentre durés l'obra).

Els acadèmics consideraven els edificis religiosos que es construïen sense passar per l'Acadèmia “monstruosos”, “por la desgraciadísima disposición en lo más substancial de todo el edificio”. <sup>(22)</sup>

Tot i així, cal dir que els enginyers militars van introduir a Catalunya textos moderns de temes tècnics i propagadors del classicisme francès. I van tenir una certa relació i una influència decisiva entre els metres de cases gremials. <sup>(23)</sup>

Pel què fa a les esglésies rurals del XVIII a Catalunya cal subratllar que segons Garganté: “l'arquitectura setcentista d'aquestes comarques és prerrogativa dels mestres de cases formats gairebé exclusivament a peu d'obra, i els enginyers militars únicament intervenen en el disseny de la Universitat de Cervera” <sup>24</sup> i també en la Catedral de Lleida.

Efectivament, la construcció d'aquestes esglésies conviu amb els nous plantejaments del classicisme acadèmic, però segueix l'estètica barroca que imperava en el món gremial.

Els mestres d'obres estaven influenciats per les grans obres que es dugueren a terme a la zona, on sovint hi treballaven. Però moltes d'aquestes esglésies es construïren abans que les grans obres de referència, fet que constata que el seu disseny ateny íntegrament als coneixements gremials dels mestres de cases.

---

<sup>21</sup> SERRA MASDEU, AI., (2013-2012). “La construcció de l'església parroquial de Vilanova de Prades: pactes i condicions”, Aplec de Treballs, Montblanc. “La construcció d'esglésies del set-cents sobre esglésies medievals i renaixentistes: un pont d'unió poc conegut entre traça i fàbrica”, Archivo de Arte Valenciano, València, núm. 93.

<sup>22</sup> MORA I CASTELLÀ, J., (1987) “ L'obra de la Universitat de Cervera a través dels projectes i les incidències en la construcció”. Micel·lània Cerverina. Núm. 5.

<sup>23</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (20016. “ Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell”. Tesi Doctoral. p. 124

<sup>24</sup> MORA I CASTELLÀ, J., (1987) “ L'obra de la Universitat de Cervera a través dels projectes i les incidències en la construcció”. Micel·lània Cerverina. Núm. 5.

Les esglésies del XVIII catalanes, reben les influències de dues bandes. “Una del barroc cortesà francès, a través de l’ensenyament institucionalitzat per l’Acadèmia de Matemàtiques de Barcelona i l’altre del renaixement de l’escola del Camp de Tarragona, és a dir dels models arquitectònics ja coneguts i estudiats pels mestres de cases de Catalunya. (...) conflueixen vàries solucions arquitectòniques de diferents estils.” Es crea un “barroc autòcton, reinterpretat i sincrètic, per dir-ho d’alguna manera. És precisament això que el fa característic, amb personalitat i més proper a una arquitectura popular encaixonada dins d’uns paràmetres clàssics.”<sup>(25)</sup> Segons Garganté, existeixen dos tipus evidents d’Esglésies:

- Una nau central més elevada que les laterals (“seguint l’esquema típic que es donava amb la Contrareforma”, Garganté, 2004).
- Tres naus situades gairebé a la mateixa alçada amb il·luminació lateral (planta de saló).

## **2.1. Les esglésies de tres naus i les voltes de rajola doblada**

Segons Anna Serra i M. Garganté, l’estil tendeix a ser classicista. S’acosten als models contrareformistes, derivats de l’església del Gesú de Roma (Fig.2): “A Catalunya l’espai religiós (s. XVIII) va tenir una funció eminentment pràctica, deixant de banda el simbolisme que trobarem en determinats llocs de la península i també a Europa. S’entenia l’espai com un lloc de reunió dels fidels, espai per al culte. Per tant, la tipologia que trobarem arreu de Catalunya serà, bàsicament, la que tendeix cap al Classicisme, amb esglésies d’una sola nau amb capelles laterals intercomunicades i fals creuer amb cúpula, que s’acosten als models contrareformistes, derivats de l’església del Gesu a Roma. Una altra característica existent en els edificis religiosos arreu de Catalunya i també de la península es la utilització d’un cor alt sobre el primer tram de l’església”.<sup>(26)</sup>

Aquest tipus s’estén a tot Catalunya durant el segle XVIII, però l’origen és la influència de l’Escola del Camp de Tarragona, entre els segles XVI-XVII, amb Pere Blai, Jaume Amigó i els seus col·laboradors. Van introduir al Principat l’arquitectura del renaixement que es feia a Itàlia.

Les esglésies construïdes per aquestes mestres de cases van exercir una clara influència en la construcció de les esglésies rurals del XVIII a Catalunya, erigint-se com a referents. L’influx de l’església de Cornudella de Montsant i de l’església de La Selva del Camp (Fig.1), a la zona de la Catalunya Nova, és evident també per la proximitat geogràfica.

---

<sup>25</sup> BLANCH TORREBADELL, JC., (2001). “Breu Relació Històrica de la Parròquia de Santa Margarida de la Riera de Gaià. Estudis Altafullencs” 30, p. 93-110.

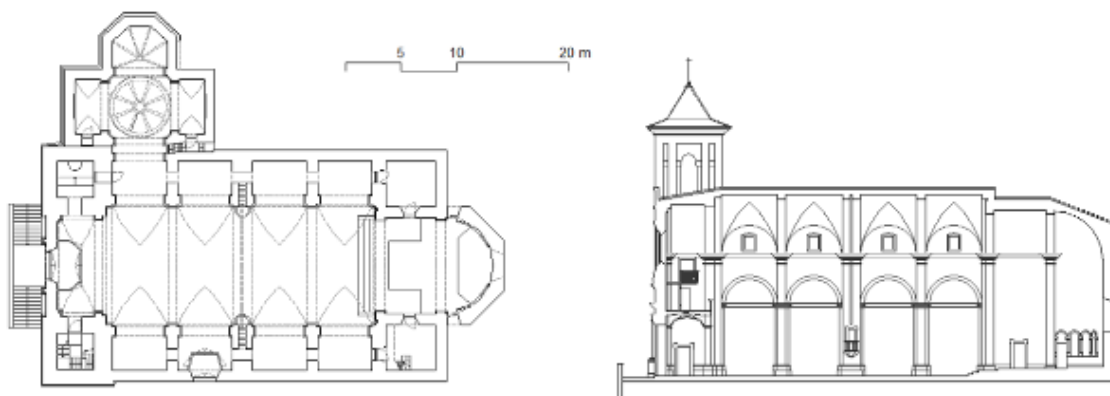
<sup>26</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (20016. “Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l’Urgell”. Tesi Doctoral.

Aquest tipus arquitectònic influencià també el gran arquitecte català de l'època del barroc, el carmelità Fra Josep de la Concepció (anomenat el tracista). La filiació de les esglésies barroques del XVIII amb l'obra del carmelità també és palesa, en temples com la parroquial de Tàrrega o l'església de Sant Ramon del Portell. (Fig.4). A més Fra Josep treballà a València i a Aragó, fent palesa la irradiació de la influència de la seva obra a la zona de l'antic bisbat de Tortosa.

Les variants de les plantes d'aquestes esglésies poden ser sense cúpula ni creuer, i altres amb un creuer molt pronunciat que fa que la planta tendeixi a la centralitat. En total s'han inventariat 45 esglésies del tipus d'una única nau amb capelles laterals. (Taula 2)

Tipus de tres naus amb capelles laterals o naus laterals			
Amb cúpula central:	3		
Amb cúpula en creuer:	17	- mitja taronja amb òcul:	3
		- mitja taronja sense òcul	10
		- rebaixada	3
		- de mocador:	1
Sense cúpula:	17		
<b>TOTAL ESGLÉSIES</b>	<b>37</b>		

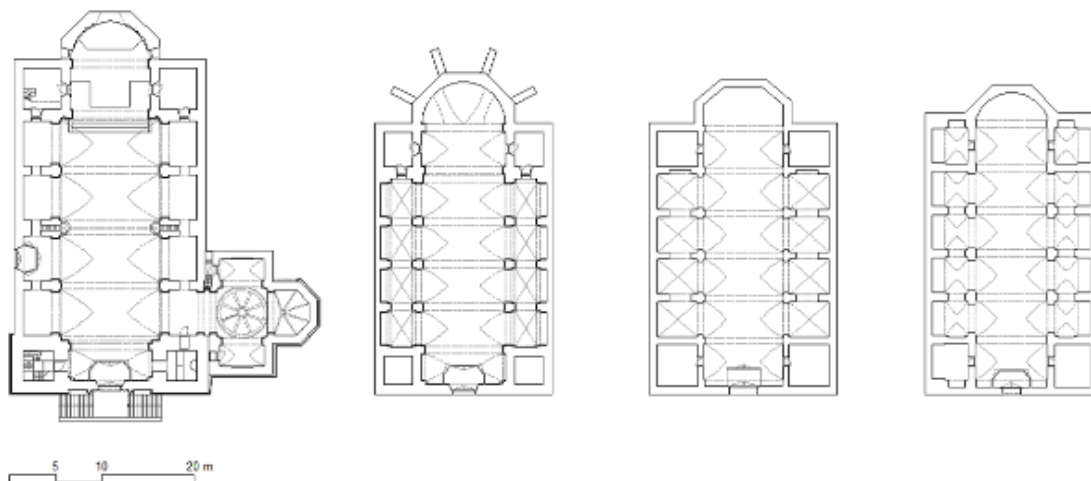
**Taula 2** Esglésies inventariades del tipus d'una nau amb capelles laterals.



**Fig.1** Planta i secció de l'església de Cornudella de Montsant, Pere Blai (1615).



**Fig.2** D'esquerra a dreta: Planta de l'església del Gesù, Vignola (1568). Façana de l'església del Gesù. Façana de l'església de Cornudella de Montsant, Pere Blai (1615).

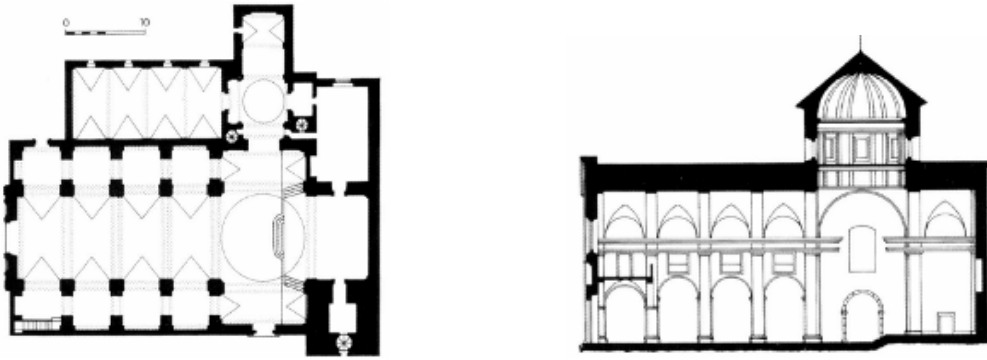


**Fig.3** D'esquerra a dreta planta de les esglésies de: Cornudella de Montsant (1615), Vallmoll (1775), l'Albi (1746), Alió (1769).

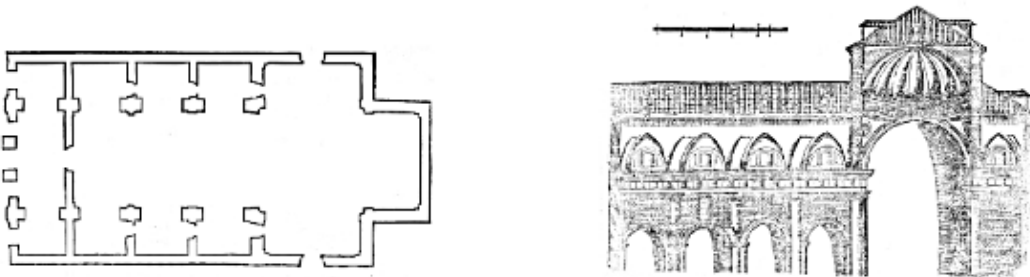
Segons Carme Narváez <sup>(27)</sup> “de la mateixa manera que l’obra dels mestres esmentats influencià en les construccions futures, els treballs de Jaume Amigó i Pere Blai també influenciaren en les esglésies que posteriorment va construir Fra Josep de la Concepció”. (Fig.4)

Tampoc es pot obviar la gran similitud entre la parroquial de Tàrrega (1674) de Fra Josep de la Concepció amb la planta i secció de l'església que apareix en diversos llocs del tractat de Fray Lorenzo de San Nicolàs (1639). (Fig.5)

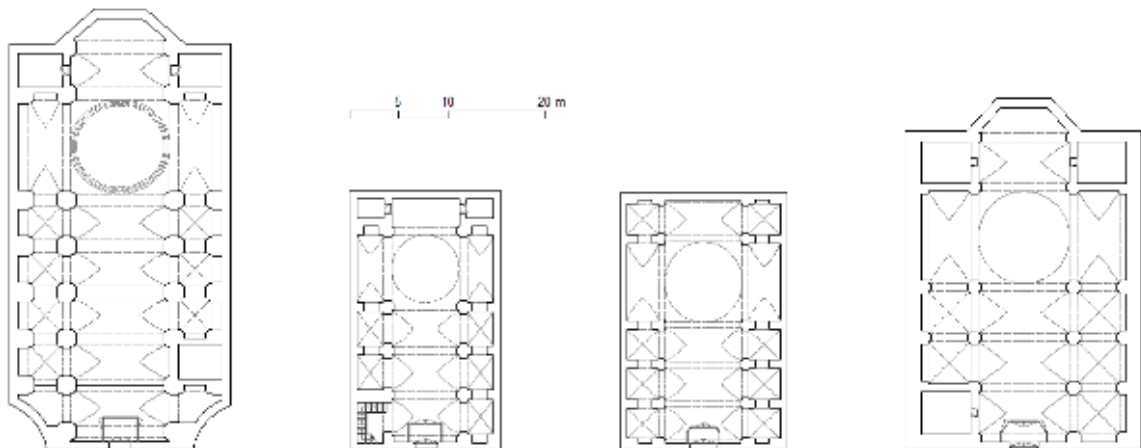
<sup>27</sup> NARVÁEZ CASES, C., (2003). “El tracista fra Josep de la Concepció: revisió historiogràfica i noves atribucions”, a LOCVS AMECENVS 6. P. 257-270.



**Fig.4** Església de Santa Maria de l'Alba a Tàrrrega, Fra Josep de la Concepció (1674). Font: Maria Garganté.



**Fig.5** Planta i secció de l'església que apareix en diversos llocs del tractat de Fray Lorenzo de San Nicolàs. 1639.



**Fig.6** D'esquerra a dreta planta de les esglésies de: el Catllar (1790), Aspa (1746), Passanant (1778), Seròs (1745).

Les esglésies de la Fig.6 es podrien establir com a alguns dels exemples de filiació amb l'obra de Fra Josep de la Concepció. Tot i intentar ordenar les esglésies segons filiacions, la realitat és suficientment eclèctica per a constituir-se una barreja poc clara, i de ben segur els mestres de cases empraven els recursos estilístics que coneixien vinguessin d'on vinguessin. Tot i així, el que és segur és que els temples dels mestres de cases Pere Blai, Jaume Amigó i posteriorment Fra Josep de la Concepció, són els referents construïts que els artífexs del segle XVIII prenen com a exemple per a bastir les seves esglésies.

De la mateixa manera que l'obra dels mestres esmentats influencià en les construccions futures, els treballs de Jaume Amigó i Pere Blai també influenciaren en les esglésies que posteriorment va construir Fra Josep de la Concepció. (Fig.7)



**Fig.7** D'esquerra a dreta: Interior de l'església de La Selva del Camp, Jaume Amigó i Pere Blai, 1582. Interior de l'església de Cornudella de Montsant, Pere Blai, 1615. Interior de l'església de Sant Ramon del Portell, Fra Josep de la Concepció, 1674-1695. Setembre 2015.

Per a aixecar els seus edificis, aquests mestres de cases van utilitzar la volta a la catalana en les seves construccions. Això és un fet documentat, temples són un clar precedent de la generalització de l'ús de la volta a la catalana i el maó per a cobrir les esglésies rurals del XVIII.



**Fig.8** Interior de l'església de Cornudella de Montsant i vistes de l'extradós de les voltes a la catalana que la cobreixen. Es poden distingir perfectament els maons. Maig de 2014.

Les visites realitzades durant l'inventari han corroborat la certesa de les fonts documentals. Durant la visita realitzada a l'església de Cornudella de Montsant, es va comprovar les voltes són de rajola doblada. Malgrat que a l'església de La Selva del Camp no es va poder accedir al sota-coberta, diversos estudis corroboren l'ús de la volta a la catalana. Roser Puig i Josep M. Grau, parlant de l'església de La Selva del Camp, afirmen:



“La coberta, volta de canó amb llunetes, és molt innovadora. La volta descarrega sobre els arcs formers, peraltats, per sobre les tribunes. Ve reforçada per arcs faixons que neixen de les pilastres de segon ordre i les prolonguen. Com a nou sistema constructiu, és el tipus de material emprat: **el maó o rajola**”.<sup>28</sup>

D'altra banda, a la taba de la mateixa església de Sant Andreu de la Selva del Camp, es pot llegir:

“El primer de maig de 1582 es reuneixen a La Selva amb Pere Blay el prior de la Cartoixa d'Escala Dei, l'ardiaca i el rector de Tivissa, Mossèn Jaume Amigó, i tots junts, acabaren la traça de l'església nova i els capítols que el mestre Blay havia de fer; es proposà al Consell si es faria la volta de pedra picada o de rajola grossa “al coberta de teula italiana”, i fou resolt que la volta es construís de rajola grossa ben cuita”  
Contrata: agost de 1582 “Itm. Sobre dita cornixe composita interior assentarà la cúpula, ó media naranga feta de volta de rajola comuna y morter grossa de un larch de rajola, coberta ó pavimentada de rajoleta valenciana ab rajola assentada, y sobre desta cúpula en lo mig dellaas sentará una bola de pedra picada calar de tres palms de diametro ó si millor aparráque'sfaçe de terra cuyta envernissada conforme seran les rajoletes, y per mig y sobre della una hasta de ferro ab sa bandereta que senyala los vents ab una creu, la qual casta se encastará un palm dins la volta.”...”totes les capelles sacristies y sobre sacristies y aposentos sobre capelles tant alt com baix y corredors sobre les capelles se faran voltes de rajola y morter de gruxa de un ample de rajola.”...”...la volta major de la Iglesia (...) la qual volta serà de rajola y argamassa de grossaria de tres palms fete a lunetes, ó formarers y arestes que la punta delle sarribe á la tercera part de la volta lisa á punt redó conforme representa la trassa de la planta, la qual volta ha de ésser coberta de teula italiana ab sos caperons les quals teules eixiran mig palm.”<sup>29</sup>

De l'obra realitzada per Fra Josep de la Concepció, algunes fonts refermen l'ús que feia el carmelità de la volta catalana per a cobrir els temples: “ (...) fray José propone utilizar el enmaderado de la cubierta como una especie de zuncho que ate la construcción desde la cubierta y construir bóvedasde ladrillo a rosca en la nave, brazos del crucero y presbiterio y de ladrillo tabicado en la cúpula”.<sup>30</sup>

“A Sant Ramon de Portell es va fer un ús generalitzat de la volta catalana. És probable que les cobertes es comencessin a fer pels volts del 1682, any en què els mestres de Sant Ramon van demanar consell a Gaspar Roca, mestre d'obra de l'església de Santa Maria de Tàrrega. Els cindris utilitzats a Sant Ramon, es van portar de l'obra de Tàrrega”.<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup>PUIG TÁRRECH, R., GRAU PUJOL, JM., (2009). “ Església parroquial de Sant Andreu”.

<sup>29</sup>RÀFOLS, JF., (1934). “Pere Blay i l'arquitectura del renaixement a Catalunya”.

<sup>30</sup>NARVÁEZ, C., ( 2011). “Convent del Carmen de Orihuela Fra Josep de la Concepció, 1681”.

<sup>31</sup>Un monestir per a un Sant Català” Xevi Camprubí



Passanant, maig 2014.



El Catllar, maig 2014.



**Fig.9** Església parroquial de Passanant: la volta cavalca sobre els arcs formers. Església parroquial del Catllar: la volta és de rajola doblada i cavalca sobre l'arc former, a la segona fotografia, s'observen els maons que reforcen els nervis de la volta.



Capafonts, juny 2014.



El lloar, maig 2014.

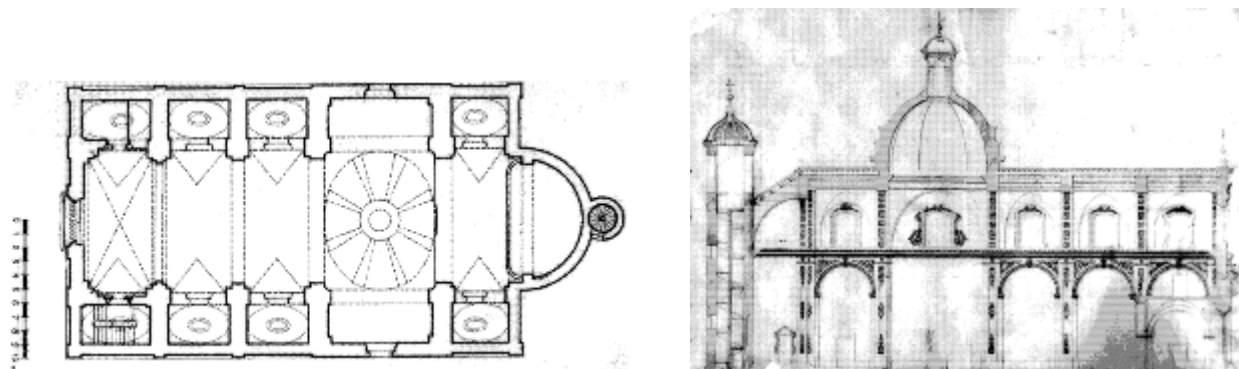


**Fig.10** Església parroquial de Capafonts: S'observa que la volta de maó pla. Església parroquial de El Lloar: a la primera fotografia s'observa la volta de maons i a la segona com aquesta és "doblada" i es solapa sobre un arc former.



**Fig.11** Església parroquial de Ginestar l'agost de 2014. Volta cavalca sobre els arcs formers i que és de dues voltes de rajola. Les influències del barroc francès van entrar amb la instal·lació de la monarquia borbònica, a través de la institució reial de l'Acadèmia Militar de Matemàtiques de Barcelona. Els mestres de cases del principat es formaven a l'acadèmia de Barcelona i posaven en pràctica els seus coneixements en els edificis parroquials. L'església de la Ciutadella de Barcelona, dissenyada el 1718 per l'enginyer flamenc Pròsper

de Verboom, es converteix en l'exemple a seguir en l'ensenyament institucionalitzat dels mestres de cases de Catalunya.



**Fig.12** Planta i secció de l'església de la Ciutadella (1718). Font: Juan Miguel Muñoz Corbalán.

L'església de la Ciutadella també està construïda amb volta a la catalana. Tal com especifica la taba:

“ Las pilastras y arcos de la iglesia de harán de mahones, puestos con argamasa fina, observando que los arcos sigan bien su sindrio u sercha, y que las juntas vayan tiradas a su centro. **Las bóvedas o lunetas se habrán de ladrillo, en la misma forma que se acostumbra en las iglesias del País.** (...). La cuatro pechinas del pie de la cúpula se harán de mahones, dándoles grueso para resistir al peso y empuxo de la cúpula, y se hará también de mahones de canto u de llano, como se juzgará mejor. Y el zimbório se construirá en la forma ordinaria y más combeniente que se acostumbra en el País.”

S'observa que la taba d'aquesta església dóna per fet, ja al 1718, que les voltes es feien amb maons “ en la misma forma que se acostumbra en las Iglesias del País”, es a dir, a la catalana.

De les 37 esglésies d'aquest tipus que s'han visitat, inspeccionat i realitzat l'aixecament, totes estan construïdes amb volta de rajola doblada. Altres esglésies d'aquest tipus de les quals s'han consultat les tabes o s'ahn estudiat articles de diversos historiadors, també totes estan construïdes amb volta de rajola doblada.

## 2.2 Les esglésies de saló i les voltes de rajola doblada

Esglésies de tres naus on les naus laterals tenen gairebé la mateixa alçada que la nau central (la diferència és de l'ordre de 0,5 a 2 m). El resultat és una planta diàfana amb il·luminació lateral. En comptes

d'illuminar per la nau central, la il·luminació es fa a través de les naus laterals. Els avantatges d'aquest tipus estructural ja els advertia Rodrigo Gil de Hontañón al segle XVI.<sup>32</sup>

Generalment són esglésies amb cúpula sobre cimbori o resolt amb una volta de mocador, i segons la llargada de les naus tendeixen més o menys a la centralitat.

De planta de saló s'han inventariat un total de 58 esglésies, de les quals:

- 41 es troben a Catalunya, i s'han visitat i mesurat
- 4 es troben al Baix Aragó, i s'han mesurat i visitat
- 17 es troben al País Valencià, i les dades s'han extret de la tesi doctoral de l'arquitecta Betriz Sáez Riquelme, que en realitza un estudi geomètric.
- 1 es troba a Bogotà i s'ha visitat i mesurat.

La major part d'esglésies de saló del XVIII, s'emplacen a la zona de Lleida i Tarragona, on s'en compten un centenar, vers unes desenes a l'Aragó i 17 a València.

Tipus de tres naus (saló)			
Amb cúpula en creuer:	53	- mitja taronja amb cimbori:	31
		- de mocador:	22
Sense cúpula:	3		
<b>TOTAL ESGLÉSIES</b>	<b>56</b>		

**Taula 3** Esglésies inventariades del tipus d'una nau amb capelles laterals.

Les zones a Catalunya on hi ha esglésies de saló coincideixen amb els territoris dels bisbats de Lleida, Tarragona i de l'antic Bisbat de Tortosa. No hi ha esglésies de saló construïdes al segle XVIII, en cap altre lloc del principat, exceptuant l'església de Sant Miquel del Port de Barcelona.

A la Figura 31 el vermell més intens representa l'àmbit de major concentració de temples d'aquest tipus, mentre que el vermell més tènue representa les zones de menor concentració fins on s'estenen aquestes construccions.

<sup>32</sup> HUERTA, S., (2001). "Arcos, Bóvedas y Cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica". Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid.



**Fig.13** Plànol de la situació i la densitat de les esglésies de saló construïdes el XVIII a la península.



Les esglésies de saló construïdes al segle XVIII es concentren majoritàriament a la zona de Lleida i Tarragona, i s'estenen pel Baix Aragó i València, concentrant-se majoritàriament, en aquests dos casos, al voltant dels antics territoris del bisbat de Tortosa.

A l'Aragó parlem de poblacions com Calaceit (1732), La Cerollera (1734), Mas de las Matas i Alcañiz (1736). El Pilar de Zaragoza (1754) també és de saló.

**Fig.14** Plànol dels territoris que formaven l'antic bisbat de Tortosa i modificacions territorials.



A València es situen a les poblacions de Castell de Cabres (1750-63), Cincorres (1763-82), Portell de Morella (1742-50), Vilafranca del Cid (1773-94), Vinarós (1780-99), Càlig (1773-85), Vilar de Canes (1781-86), Les Coves de Vinaromà (1774-93), Culla (1781), San Vicenç de Pedrahita (1770-81), Vallat (1753), Montan (1781-87), Ribesalbes (1766-81), Suera (1773-97), Vilareal (1752-65-79), Quart de les Valls (1756-95), Benifairó de les Valls (1773-90), i Callosa de Segura.

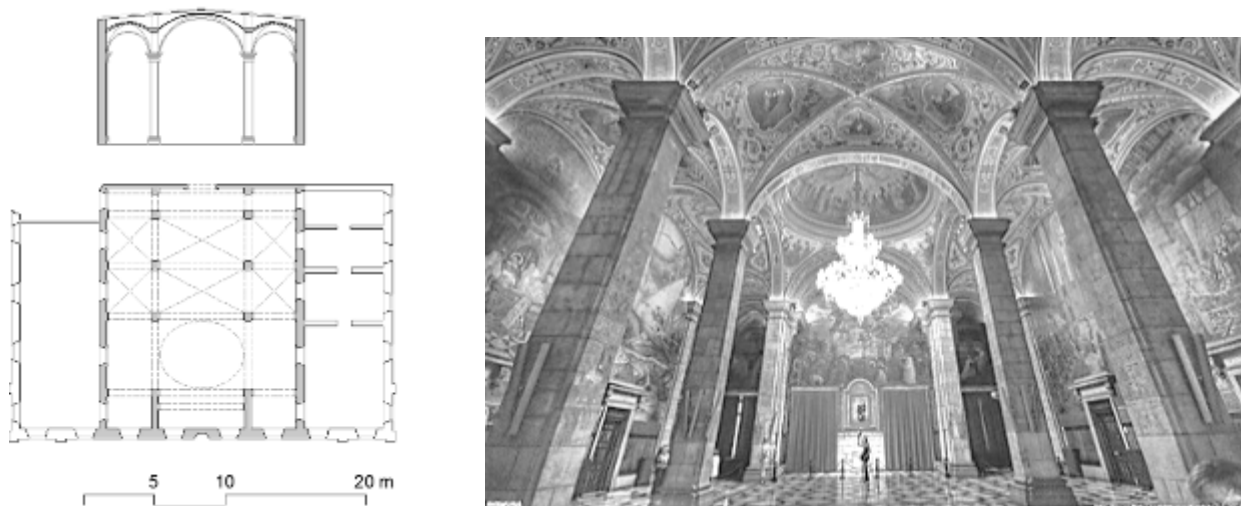
**Fig.15** Esglésies de saló del XVIII a València.. Font: Riquelme Baez, Beatriz: Iglesias de salón Valencianas del XVIII. Tesis Doctoral. 2015.

“Aquestes esglésies de planta de Saló (hallenkirchen), representen un dels grans models espacials de la història de l’arquitectura. Gestades a centreuropa a l’Edat Mitjana (d’origen discutit, situat al Poitou sXII, embrió del gòtic germànic), la seva introducció s’atribueix al contacte existent entre arquitectes centreeuropeus i mestres d’obres del nord peninsular, que serien els encarregats de propagar aquest model”<sup>33</sup>, que tingué gran difusió pels regnes peninsulars durant el segle XVI. La utilització a Catalunya no és habitual fins al XVIII.<sup>34</sup> Abans d’aquestes dates la Capella de Sant Jordi del palau de la Generalitat (Pere Blai 1597-1619), és l’únic edifici de saló construït a Catalunya.

<sup>33</sup> GIL SAURA, Y., (2007). “Arquitectura barroca en Castellón”. Diputación de Castellón, p. 199

<sup>34</sup> GARGANTÉ LLANES, M., (2008). “La planta de saló a la Segarra: de la capella de la Universitat de Cervera a la irradiació de la catedral de Lleida”. Miscel·lània Cerverina 18, p. 11-54.

Des de l'interval de temps que va des de l'abandó de l'ús de la planta de saló amb l'inici del renaixement, i la reutilització del model en aquestes esglésies barroques, es construí un únic edifici a Catalunya amb el tipus saló. Es tracta del Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat de Catalunya, projectat per Pere Blai el 1597, les obres del qual es van acabar el 1619. Fig. 34.



**Fig.16** Secció, planta i fotografia interior del Saló Sant Jordi de la Generalitat de Catalunya.

Pere Blai ja havia construït les esglésies de La Selva del Camp i Cornudella de Montsant amb volta de rajola doblada. Si a aquest fet hi afegim que el Saló Sant Jordi recupera la planta de saló emprada en època medieval, on el maó es col·locava com a plementeria entre els nervis; és fàcil imaginar que les voltes són de maó pla.



#### **10. Saló de Sant Jordi**

(1597-1619). Pere Blai.

El Saló de Sant Jordi és la sala principal del Palau de la Generalitat. Va ser dissenyat com a nova Capella del Palau, funció que va exercir fins a l'any 1714. El saló respon al tipus de temple de tres naus, cobertes amb diferents voltes de maó a la catalana. Prop de la capçalera, s'obre el buit d'una gran cúpula de planta ovalada, visible des de la plaça, que dóna llum a la sala amb un llanternó de coronament.

**Fig.17** Pamflet: Un recorregut pel Palau de la Generalitat de Catalunya. Generalitat de Catalunya.

A Catalunya hauran de passar més de 100 anys des de la construcció del Saló Sant Jordi perquè es construeixi un temple de saló.

Quan es construeix la primera església de saló documentada a la zona de l'Aragó (església de Calaceit 1695-1710), feia 75 anys que Pere Blai ja havia construït el Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat



(1619). Pere Blai, procedent de l'Escola del Camp de Tarragona, mantenia un estret lligam amb el Bisbat de Tortosa.

El 2 d'octubre de 1695, Sever Tomàs Auter, bisbe de Tortosa, va col·locar la primera pedra de l'església de Calaceit. El primer constructor va ser Miguel de Aguas, oriünd de la població, però la seva traça no es seguí per desavinences amb la població. El segon constructor va ser Josep Xambó i no era francès com sovint s'afirma<sup>35</sup>, sinó de Vic <sup>36</sup>. Els Xambó (pare i fill) treballaven a l'església d'Arnes (Terra Alta) i també van dirigir la Catedral de Tortosa.



L'església d'Arnes, 1693-1698, realitzada pels mestres de cases Josep i Roc Gambou (també anomenats Xambó), és de saló.

**Fig.18** Interior de l'església d'Arnes. A dalt exteriors de l'església d'Arnes.

“És força coneguda la trajectòria tortosina de Josep Xambó (documentat entre 1658-1707), que després de feinejar al costat del seu pare i el seu germà, abans esmentats, el 1698 contracta les obres del temple de Calaceit (el Matarranya), després d'acabar l'església d'Arnes (la Terra Alta). Un fill de Josep és Roc Xambó (documentat entre 1698 i 1755). Roc deuria treballar amb el seu pare a Arnes, Calaceit, Tortosa, i després de la seva mort va ostentar el càrrec de mestre d'obres de la catedral tortosina (1707-1709), fins que fou purgat pel nou règim borbònic.”<sup>37</sup>

Les obres de l'església de Calaceit van continuar-les Ibarqüens (façana), i sis anys després Mascarós i encara Dolç. Ibarqüens va ser el mestre de cases de la façana i el campanar de l'església de Vilalba dels Arcs, a Tarragona. L'església de Calaceit es va consagrar el 1710.

<sup>35</sup> FUNDACIÓ QUÍLEZ.COM

<sup>36</sup> MASSIP, J., (1995). “Aportacions a l'estudi de les relacions entre l'església de Calaceit i el Bisbat de Tortosa”. Calaceit.

<sup>37</sup> YEGUAS GASSÓ, J., (2008). “ Més fragments d'art Bellpugenc (del segle XV al XX)”.



Els territoris que conformaven el Bisbat de Tortosa durant el segle XVIII (fig.14) abraçaven bona part de la zona de l'Aragó on s'originaren aquestes esglésies. Per tant, és molt possible que fos a l'Escola del Camp on aquestes esglésies primeres construïdes a l'Aragó, pertanyents moltes d'elles a l'antic bisbat de Tortosa, trobessin la seva filiació. La relació dels constructors de la parroquial de Calaceit amb la zona de Tarragona és ben clara.

D'altra banda, totes aquestes esglésies es construeixen amb volta a la catalana. Pere Blai va introduir l'ús de la volta a la catalana <sup>38</sup> en les esglésies de La Selva del Camp, Cornudella de Montsant i el Palau de la Generalitat, entre altres edificis. Per tant, la filiació de les primeres esglésies de saló situades al Matarranya i al Maestrat, podria molt ben ser l'obra de Pere Blai i dels mestres de cases coneguts i influenciats per l'obra de l'Escola del Camp de Tarragona.

En aquest cas es podria parlar d'una filiació catalana de les esglésies de saló de l'Aragó.

Aquesta conjectura seria motiu d'una recerca històrica que s'escapa de l'àmbit d'estudi d'aquesta tesi. Tot i així, la concatenació dels esdeveniments apunten a una possible relació entre les primeres esglésies de saló de l'Aragó i l'obra de Pere Blai al Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat. Si fos així, es tancaria el cercle i s'entendria que, vinculada al bisbat de Tortosa, l'església de Calaceit fos dissenyada per aquests mestres de cases que de ben segur coneixien l'obra del mestre Blai.

Per tant, l'origen i la profusió de les esglésies de saló barroques naixeria de la filiació dels mestres de cases amb l'Escola del Camp de Tarragona, que, vinculada la seva activitat amb el bisbat de Tortosa, expandiria el model més enllà dels territoris de Lleida i Tarragona, situant el focus d'origen a la Franja de Ponent.

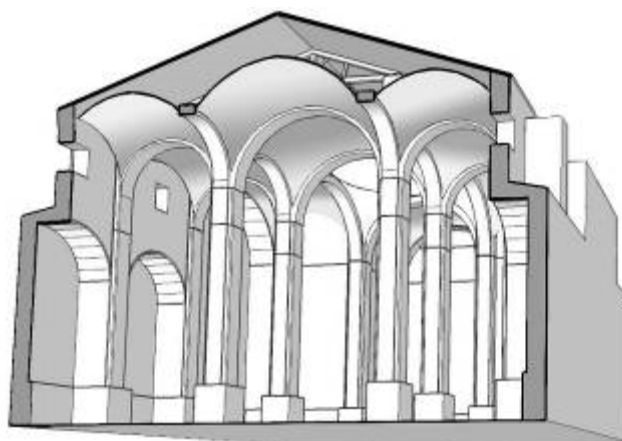
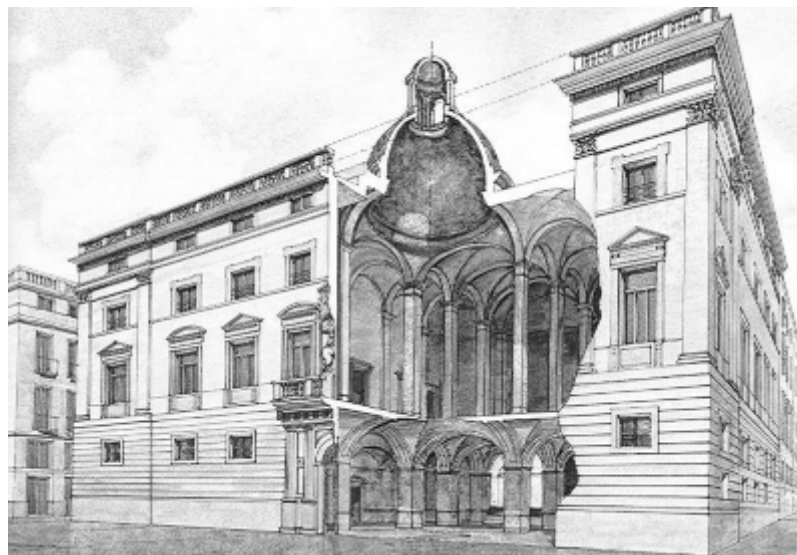
Els fets explicarien també la situació d'aquestes esglésies en aquesta zona de la geografia. Com ja s'ha demostrat, les zones de Lleida i Tarragona experimentaren un auge econòmic durant el segle XVIII, que els permeté la construcció de molts temples, aquesta i altres raons exposades, justifiquen l'apogeu de construcció d'esglésies en aquest àmbit geogràfic. Però cap d'aquestes raons no explica el perquè de la introducció del tipus de saló. És per això que, la pertinença de Calaceit al Bisbat de Tortosa, i el lligam d'aquest bisbat amb l'Escola del Camp de Tarragona, fan possible una relació entre la construcció de la parroquial de Calaceit amb aquesta Escola. Malgrat la parroquial data de 1695, i el saló Sant Jordi de 1619, de ben segur que a l'Escola del Camp s'estudiava i es coneixia el projecte de Pere Blai, que per tots era considerat un mestre. No seria plausible doncs que la parroquial de Calaceit introduís el model de saló al territori, de la mà de l'Escola del Camp? No podrien ser les primerenques esglésies de La Cerollera,

---

<sup>38</sup> BASSEGODA I AMIGÓ, J., (1936). "Transició de les voltes de pedra a les de maó de pla en les esglésies de Catalunya". Discurs de l'Acadèmia de Ciències i Arts Barcelona.

Mas de las Matas i Luna (1733-34), totes elles construïdes abans que la col·legiata d'Alcañiz (1738) o el Pilar de Saragossa, filiacions del Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat?

Aquesta tesi no podia deixar d'apuntar uns esdeveniments dels quals no s'assevera, però que detecta suficientment interessants per a projectar-los a l'espera de futures investigacions que hi aprofundeixin.

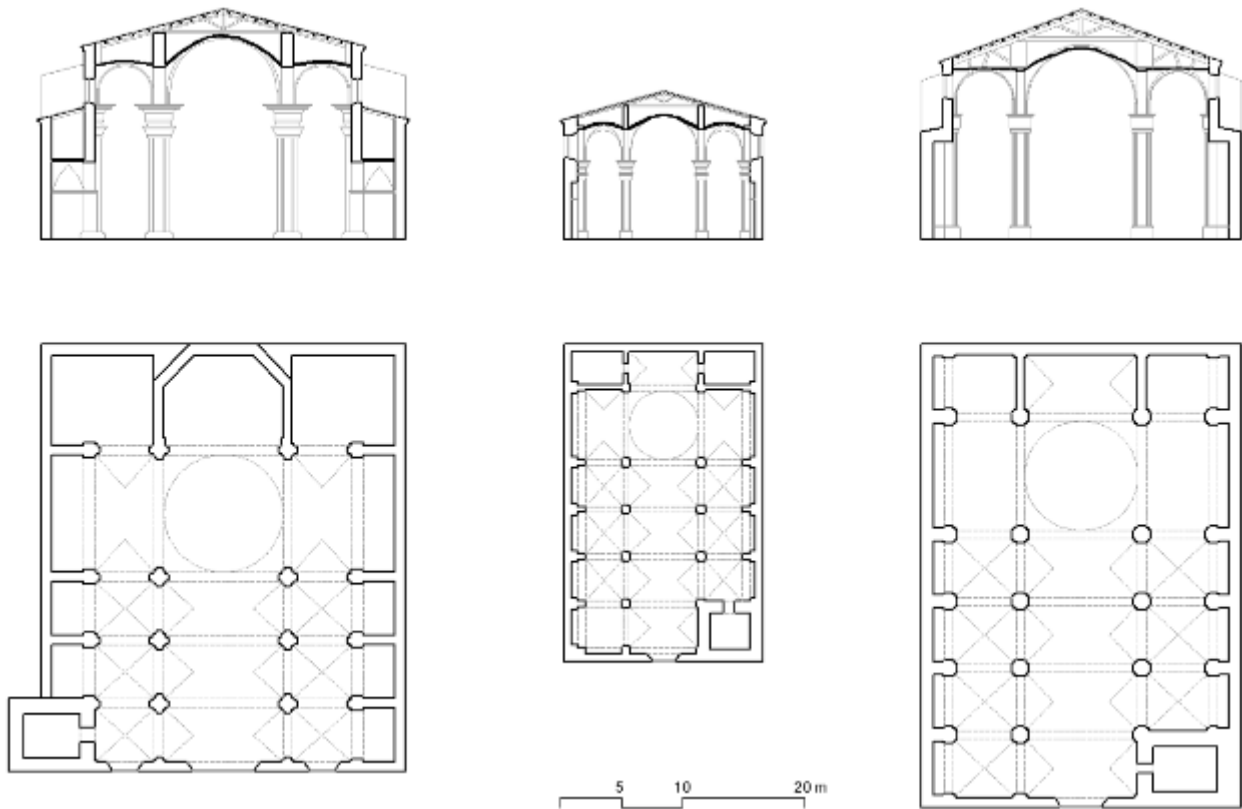


**Fig.19** A dalt model del Saló Sant Jordi de la Generalitat, font: il·lustració. A baix model de l'església de Torres de Segre.

## *Filiació aragonesa*

Les primeres esglésies de saló es construeixen al Matarranya i al Baix Aragó. El primer temple de saló data del 1694 i és l'església parroquial de Calaceit, segons alguns autors construïda per mestres de cases d'origen aragonès, vasc i francès. “Maestros de obras vascos, como Francisco de Iburgüens, que será también el artífice del campanario de Gandesa y la fachada de la iglesia de Vilalba dels Arcs, fi nalizada en 1705, ambas obras en la Terra Alta.”<sup>39</sup>

Durant la primera meitat del segle XVIII les esglésies de saló són molt habituals al Baix Aragó. Les primeres són les parroquials de Mas de las Matas, La Cerollera, o Luna, que daten totes d'entre 1733 a 1734 (Fig.20). Cal destacar alguna altra església com la de Cantavieja (1730-1745) (Fig.37). Però l'exemple més notable és l'església col·legial d'Alcañiz (1738-1757), que va assimilar el model del Pilar de Zaragoza. (Fig.22)



**Fig.20** Esquerra a dreta secció i planta de: Calaceit, 1694. La Sorollera, 1733. Mas de las Matas, 1734.

<sup>39</sup>GARGANTÉ LLANES, M., (2008). “La filiació catalana de la catedral de Potosí: aproximación a un modelo”. LOCVS AMCENVS 9, p. 249-276.

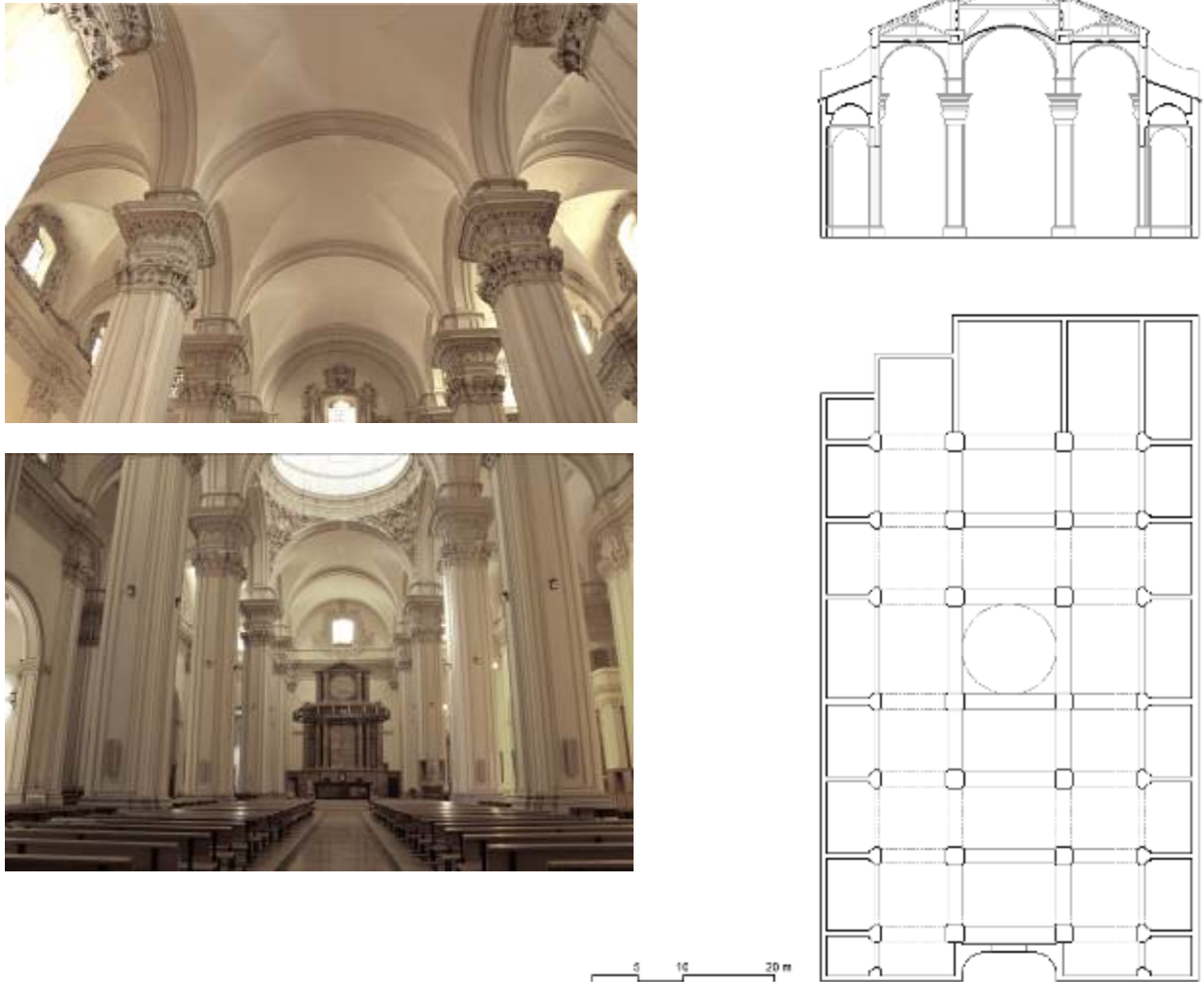


**Fig.21** Fotografies de l'interior de l'església de Cantavieja. Font: <http://viajandoporelmaestrazgo.blogspot.com.es/2015>.

<i>església</i>	<i>data</i>	<i>autor</i>	<i>relació</i>
Calaceit	1694	Josep i Roc Xambó	Treballen a la Catedral de Tarragona i pel Bisbat de Tortosa. Un dels mestres d'obres vascos, Francisco de Iburgüens construirà el campanar de Gandesa i la façana de l'església de Vilalba dls Arcs, a la Terra Alta.
			Se l'hi atribueix la traça de l'església parroquial de Batea (Terra Alta). I també presenta un projecte de planta de saló per a l'església franciscana de Tortosa.
Alcañiz	1738-57	Fray Atanasio Aznar	Els mestres de cases Francesc Melet i Josep Burria treballen a l'església d'Alcañiz. Els dos artífexs participaran al concurs per la Catedral de Lleida. Francesc Melet treballarà a l'església de Batea, i és l'artífex de Corbera d'Ebre. Josep Burria actuarà durant un temps com a mestre major de la Catedral de Lleida. Els dos artífexs construiran diverses esglésies de saló a Catalunya.
Mas de las Matas		José Francisco Dols	Josep Dols és mestre de cases de les esglésies de Vila-real, Portell de Morella, Cinctorres,
La Cerollera	1733-34	Simón Moreno	Simón Moreno va intervenir amb Francesc Melet en l'església de Batea.
Luna		Fra. José Alberto Pina	Se l'hi atribuïa la traça de Vila-real, de Juan Joseph Nadal.

**Taula 4** Relacions entre esglésies aragoneses i mestres de cases.

En la construcció d'aquestes temples aragonesos van participar-hi diversos mestres de cases que després participarien o serien artífexs de diverses esglésies de saló a la resta del territori. Entre ells destaquen Francesc Melet i Josep Burria.



**Fig.22** Imatges interiors, secció i planta de la Col·legiata d'Alcañiz, agost de 2015.



**Fig.23** Imatges interiors de Calaceit, Mas de las Matas i La Cerollera, l'agost de 2015.

S'han obtingut les tabes de l'església d'Alcañiz i de la parroquial de La Cerollera. En aquestes tabes es confirma l'ús de la volta a la catalana per a la construcció de les voltes. Tot i així s'ha comprovat "in situ" i s'ha verificat la construcció amb volta de rajola doblada de totes aquestes esglésies.



“ (...) También será de la obligación de el maestro el construir todas las bóvedas de las tres naves de esta fábrica de el grueso de dos falfas, de yeso y ladrillo; atizonándolas bien en los arcos y paredes, lo menos dos tercios de palmo; y mazizar bien sus tercios con yeso y ladrillo; y por la parte convexa, xarreándolas, labarlas y bruñirlas a punta de paleta.”<sup>40</sup>



**Fig.24** Voltes de maó vistes per l'extradós a la Col·legiata d'Alcañiz, a l'agost de 2015.



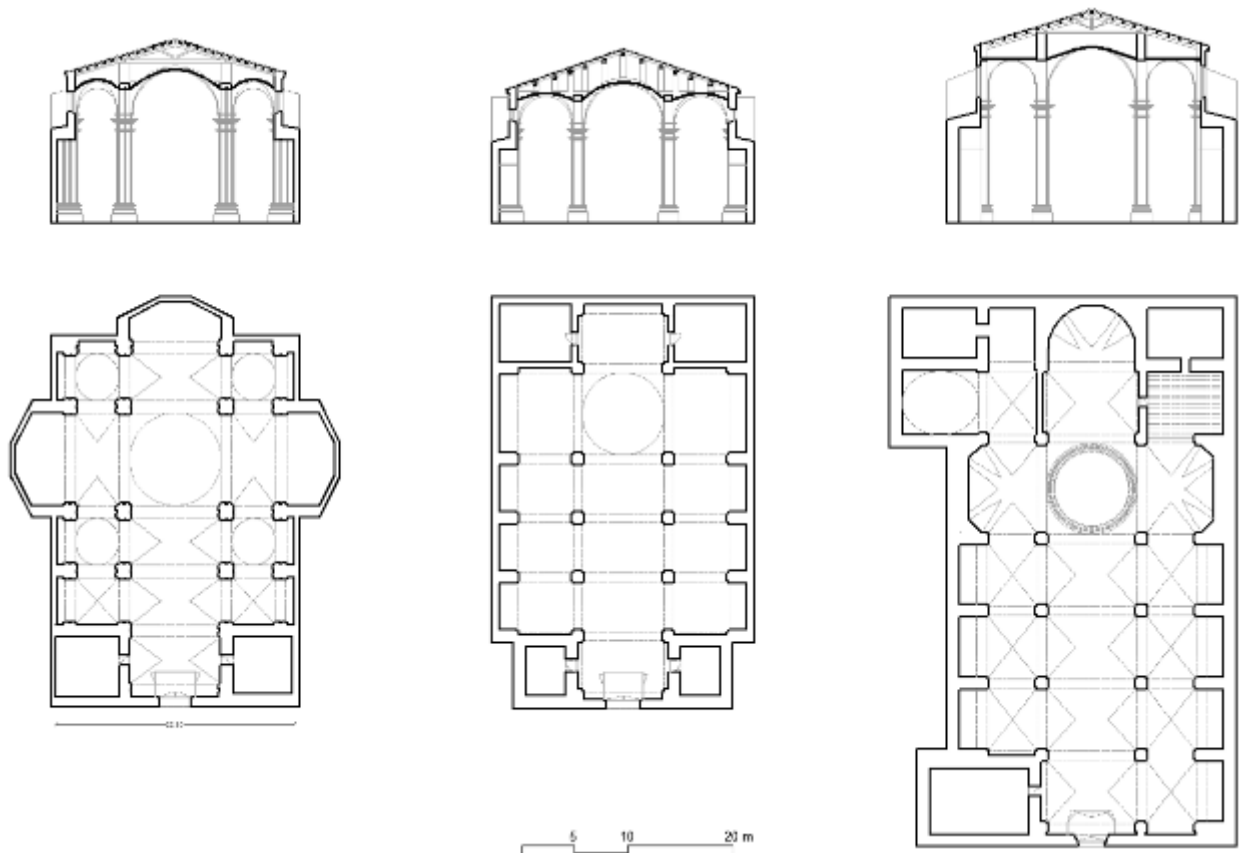
**Fig.25** Vestigi de l'església de Mas de las Matas, agost de 2015, s'observa la de rajola doblada que solapa sobre els arcs formers.



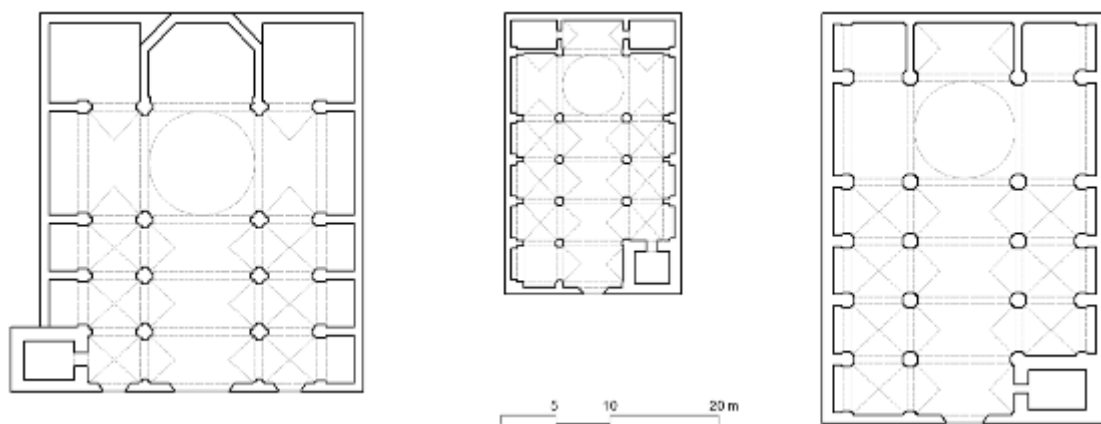
**Fig.26** Voltes de rajola doblada, Mas de las Matas, agost de 2015. El gruix és de 7 cm.

<sup>40</sup> A.H.P.A. “Capitulación y concórdia entre la junta de fábrica de la Iglesia de Alcañiz y maestros de obres, Silvestre Colás y Miguel de Aguas, para la fábrica de la nueva Iglesia col·legial de dicha Ciudad”.

Algunes de les esglésies construïdes a Catalunya que presenten certa filiació amb les aragoneses són les què mostra la Figura 44.



**Fig.427** D'esquerra a dreta, secció i planta de les esglésies: Aitona 1754, Torres de Segre 1769, Batea 1772.



**Fig.28** Esquerra a dreta planta de: Església de Calacit, 1694. Església de La Sorollera, 1733. Església de Mas de las Matas, 1734.

## Filiació valenciana

Les esglésies construïdes a València són contemporànies a les construïdes a Catalunya, per tant, tot i que òbviament existeixen relacions de disseny i forma, no es pot parlar pròpiament d'una filiació, sinó més aviat de contemporaneïtat.

La relació d'esglésies, la seva geometria, construcció i patologies comuns han estat estudiades per l'arquitecta Beatriz Sáez Riquelme a la seva Tesi doctoral "Iglesias de salón valencianas del XVIII". La informació sobre aquests temples es pot consultar a la referida tesi. Totes aquestes esglésies, tal com palesa la Tesi esmentada, estan construïdes amb volta a la catalana.

En connexió amb el focus aragonès hi ha l'església del Portell de Morella, que és la primera construïda en terres valencianes.

Población	Fecha
Denominación	Inicio-Fin
Callosa de Segura	1494-1569
Iglesia arciprestal San Martín	
Valencia	1482 y 1548
Lorja de la Seda o de los Mercaderes	
Benifairó de les Valls	1763/68-1790
Iglesia San Gil	
Càlig	1773?-1785
Santuario de la Mare de Déu del Socós	
Castell de Cabres	1750?-1763
Iglesia San Lorenzo	
Cinctorres	1763-1782
Iglesia San Pedro Apóstol	
Coves de Vinromà, Les	antes 1784?-1793+
Iglesia Asunción de Nuestra Señora	
Culla	¿?-1781
Ermita Sant Cristòfol	
Montàn	1781- 1787/90
Iglesia Santa Ana (Ex-c. servita)	
Portell de Morella	1742-1750
Iglesia de la Asunción	
Quart de les Valls	1776/77-1789-96
Iglesia San Miguel (Ex-c. servita)	
Ribesalbes	antes 1770-1781
Iglesia San Cristóbal	
San Vicente de Pedrahita	1770-1781
Iglesia San Vicente Ferrer	
Suera	1773-1797
Iglesia Asunción de la Madre de Dios	
Vallat	¿?-1763?
Iglesia San Juan Evangelista	
Vilafranca del Cid	1773-1794
Ermita Santa Bàrbara	
Vilar de Canes	1781-1786
Iglesia San Lorenzo Màrtir	
Vila-real	1752-54/1765-79
Iglesia arciprestal San Jaime Apóstol	
Vinaròs	1780-1799
Ermita Sant Gregori	
Ayodà	1853-1861
Iglesia San Vicente Ferrer	

Fig. 11 Tabla: Construcciones salón valencianas

Cal remarcar que l'església de Vila-real va ser projectada per Juan José Nadal, el qual era rebesavi de Rafel Guastavino Moreno. El 1766, un projecte d'església amb planta de saló de tres naus i remat mixtilini servirà a Juan Josep Nadal per a obtenir el títol d'acadèmic supernumerari.



Fig.29 Construccions de saló valencianes. I fotografies interiors de les església del Portell i Vila Real(inferior). Font: Beatriz Sáez Riquelme. Tesi doctoral.



La universitat de Cervera fou un projecte de Miguel Marín, enginyer militar procedent de l'Acadèmia de Matemàtiques de Barcelona, i es va construir entre el 1718 i el 1740. Els esdeveniments que emmarquen la construcció de la Universitat foren els següents:

- La victòria de Felip V en la Guerra de Successió, el 1714, suposa el trasllat a Cervera dels estudis de Filosofia, Cànon i Lleis (romanen a Barcelona els de Medicina i Gramàtica, que impartien els jesuïtes).
- El 1717 es crea, per ordre reial, la Universitat Única a Cervera, que unifica els estudis procedents de Barcelona amb els que hi havia en altres poblacions catalanes (Lleida, Girona, Tarragona, Vic, Solsona i Tortosa).
- A partir del 1767 s'inicia una situació de decadència a la Universitat de Cervera i sorgeix un interès creixent per part de Barcelona de recuperar la universitat. A la ciutat, ja s'hi havien fundat centres d'ensenyament que hi tindrien gran transcendència: l'Acadèmia Reial i Militar de Matemàtiques de Barcelona, pionera a Europa, el Col·legi de Cirurgia de Barcelona, i la Junta de Comerç; amb un nivell molt superior als estudis que s'impartien a Cervera.<sup>41</sup>

La capella de la Universitat guarda similituds amb el Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat, el qual, molt possiblement, l'enginyer militar Miguel Marín prengué com a font d'inspiració (Fig.47):

“La planta d'aquest espai, entre civil i religiós, el relaciona amb espais de característiques similars, com l'església o saló de Sant Jordi del Palau de la Generalitat, a Barcelona, que serà l'espai que es prendrà com a referència a l'hora de construir l'església de Sant Miquel del Port, al nou barri de la Barceloneta, projectada pel també enginyer militar Pedro Martín Zermeño, que després serà el responsable del projecte de la nova catedral de Lleida. Precisament, el mestre d'obres barceloní Josep Renart i Closas, que escriu sobre les esglésies barcelonines del segle XVIII als seus *Quincenarios*, compara l'interior de les tres naus d'igual alçada de Sant Miquel del Port –promoguda pel Marqués de la Mina l'any 1753- amb el “salón que había en la diputación o audiencia, que daba dicho salón a la fachada de la parte de San Jaime”.<sup>42</sup>

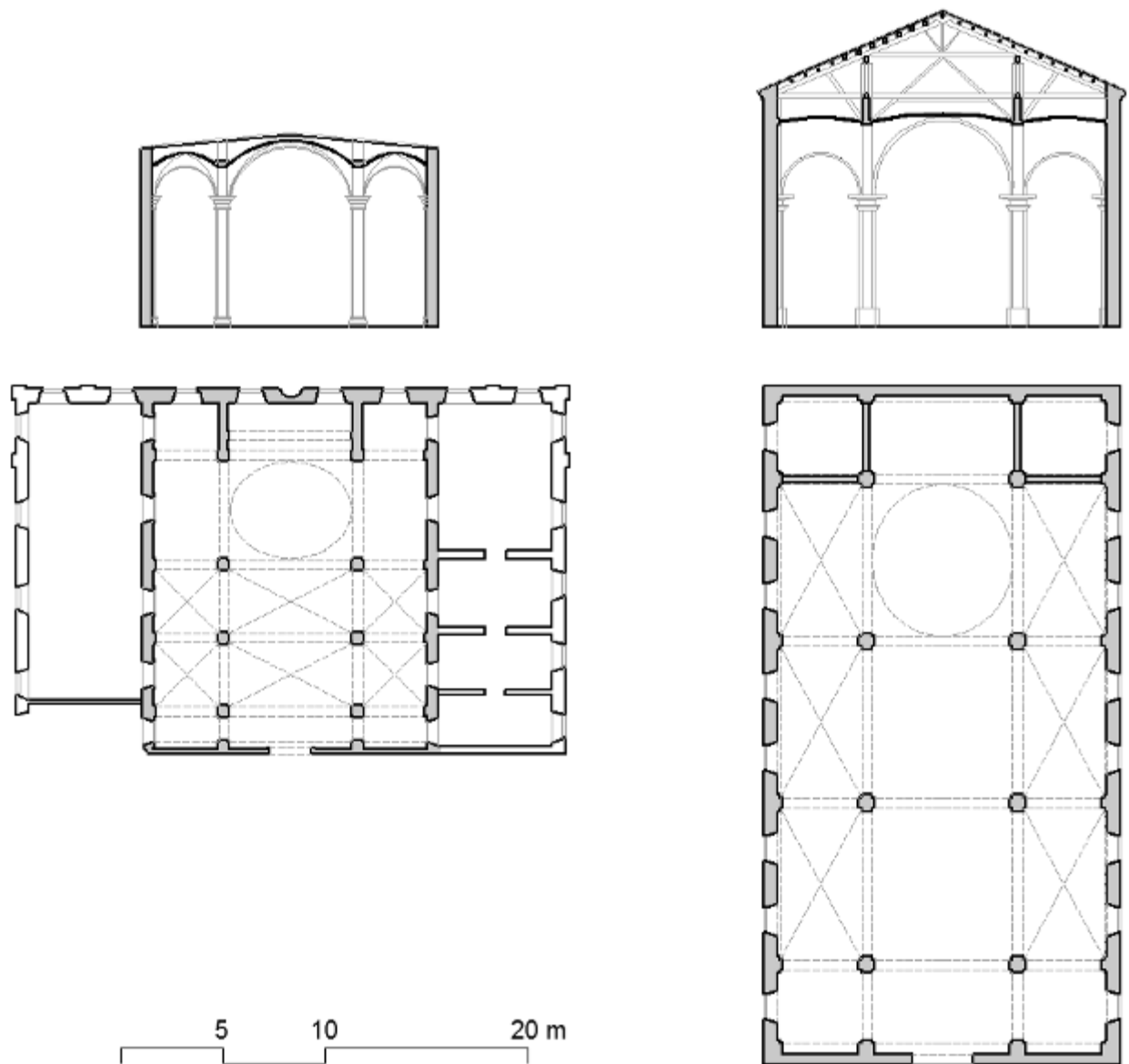
---

<sup>41</sup>[http://www.ub.edu/web/ub/ca/universitat/coneix\\_la\\_ub/historia/1717-1835/1717-1835.html](http://www.ub.edu/web/ub/ca/universitat/coneix_la_ub/historia/1717-1835/1717-1835.html).

<sup>42</sup>GARGANTÉ LLANES, M., (2008). “La planta de saló a la Segarra: de la capella de la Universitat de Cervera a la irradiació de la catedral de Lleida”. *Miscel·lània Cerverina* 18, p. 11-54.



**Fig.30** D'esquerra a dreta: Interior de la Capella del Palau de la Generalitat, 1619, Pere Blai. Interior de la Capella de la Universitat de Cervera, 1740, Miguel Marín.



**Fig.31** D'esquerra a dreta: Secció i planta de la Capella del Palau de la Generalitat. Secció i planta de la Capella de la Universitat de Cervera.

La capella de la Universitat influirà en la producció arquitectònica d'esglésies posteriors a la seva construcció. Diversos artífexs hi treballaren i diverses esglésies de la zona estan clarament influenciades per aquesta construcció. Tal com afirma Mora:

“ (...) la importància de l'edifici de la Universitat, que amb el seu nou llenguatge arquitectònic influirà en la producció venidora de l'arquitectura neoclàssica a Catalunya.”<sup>43</sup>

La capella de la Universitat de Cervera està construïda amb voltes a la catalana, tal com s'ha pogut comprovar.



**Fig.32** Vista de l'extradós de les voltes a la catalana de la Capella de la Universitat de Cervera, juliol de 2015.

Per altra banda, la Catedral de Lleida (1764-1781) fou un projecte de l'enginyer militar Pedro Martín Cermeño, amb la intervenció de Josep Prat Delorta. Ambdós formats com a enginyers militars a l'esmentada acadèmia Barcelonina.

Pedro Martín Cermeño projectà també l'església de saló de Sant miquel del Port de Barcelona, que és l'única construïda a Catalunya durant el segle XVIII que es troba fora de l'àmbit de les comarques de Lleida i Tarragona.

El mestre major de les obres fou Josep Burria i també hi treballà Francesc Melet, ambdós mestres de cases i artífexs de diverses de les esglésies de saló.

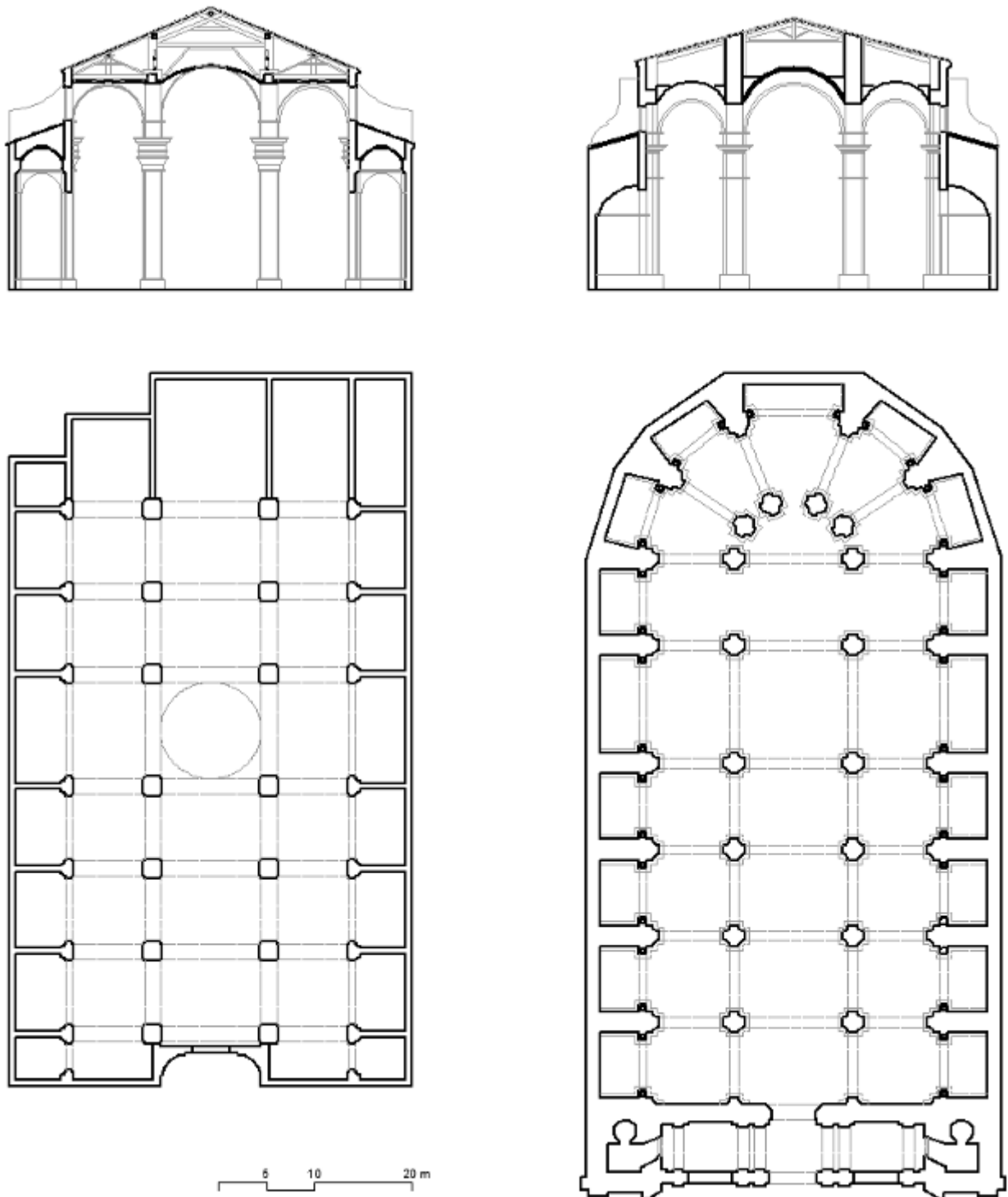
Pedro Martín coneixia de ben segur el Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat (estava format a l'Acadèmia de Matemàtiques de Barcelona), i també deuria conèixer el projecte de la Universitat de Cervera, així com possiblement algunes de les esglésies de saló que s'estaven construint a l'Aragó.

---

<sup>43</sup>MORA I CASTELLÀ, J., (1987). “La Universitat de Cervera a través dels projectes i les incidències en la construcció”.

MORA I CASTELLÀ, J., (1985). “La Universitat de Cervera: anàlisi d'un edifici paradigma de l'arquitectura del segle XVIII a Catalunya”.

Aquest enginyer va revisar, el 1761 (quatre anys abans del projecte de la Catedral de Lleida), el projecte de construcció d'una carretera de Barcelona al límit amb el regne d'Aragó; aquest fet el degué apropar a l'arquitectura que s'estava forjant a la zona, entrant en contacte amb obres com la Col·legiata d'Alcañiz.

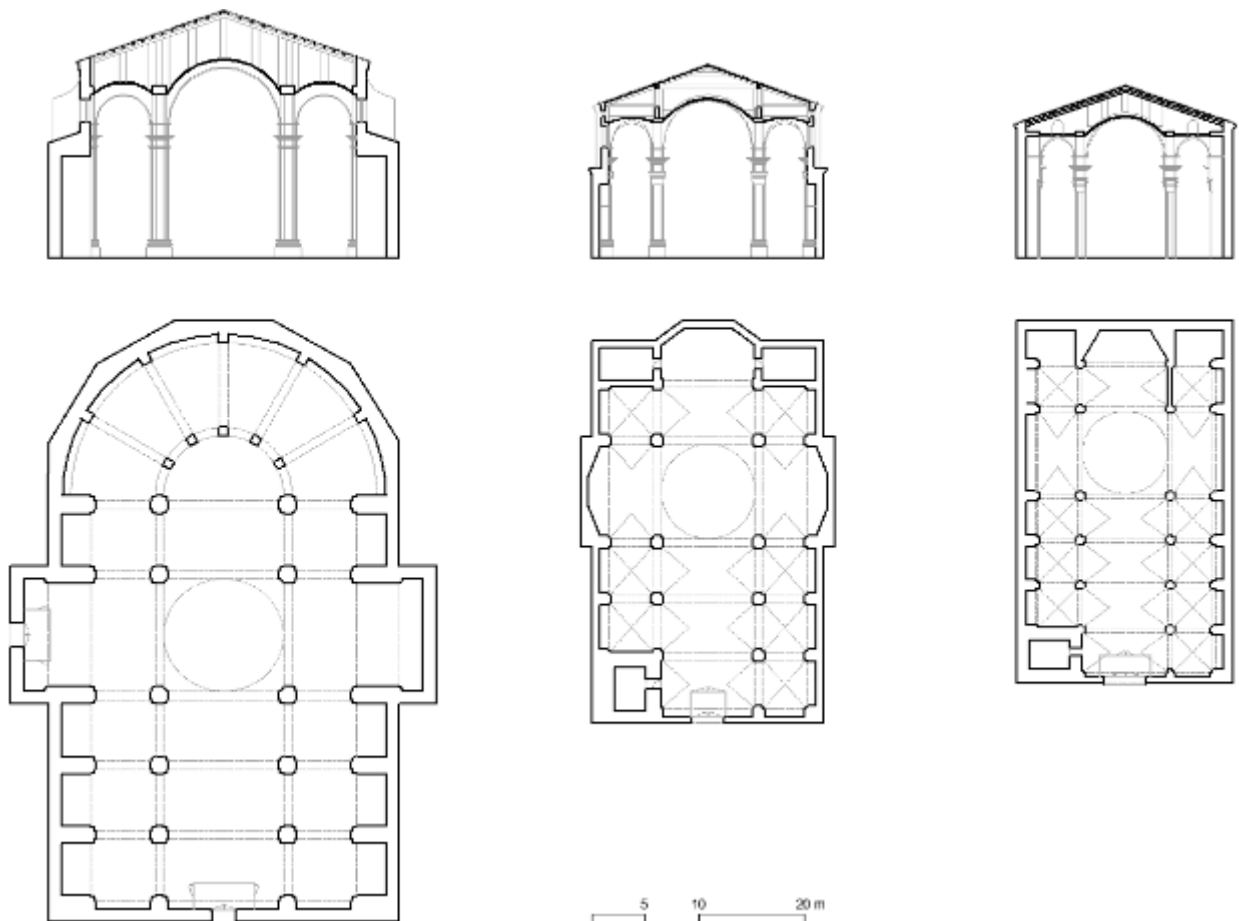


**Fig.33** D'esquerra a dreta: Secció i planta de la Col·legiata d'Alcañiz, 1757, Fra Atanasio Aznar. Secció i planta de la Catedral de Lleida, 1781, Pedro Martín Cermeño.



**Fig.34** D'esquerra a dreta: Interior de la Col·legiata d'Alcañiz, 1757, Fra Atanasio Aznar. Interior de la Catedral de Lleida, 1781, Pedro Martín Cermeño. Fotografies preses l'agost de 2015 i el juliol de 2015 respectivament.

S'ha comprovat que les voltes de la Catedral de Lleida són de rajola doblada. Les voltes són de mocador, i per a rigiditzar la "fulla" tant prima i evitar el pandeig, es reforcen amb nervis per l'extradós.

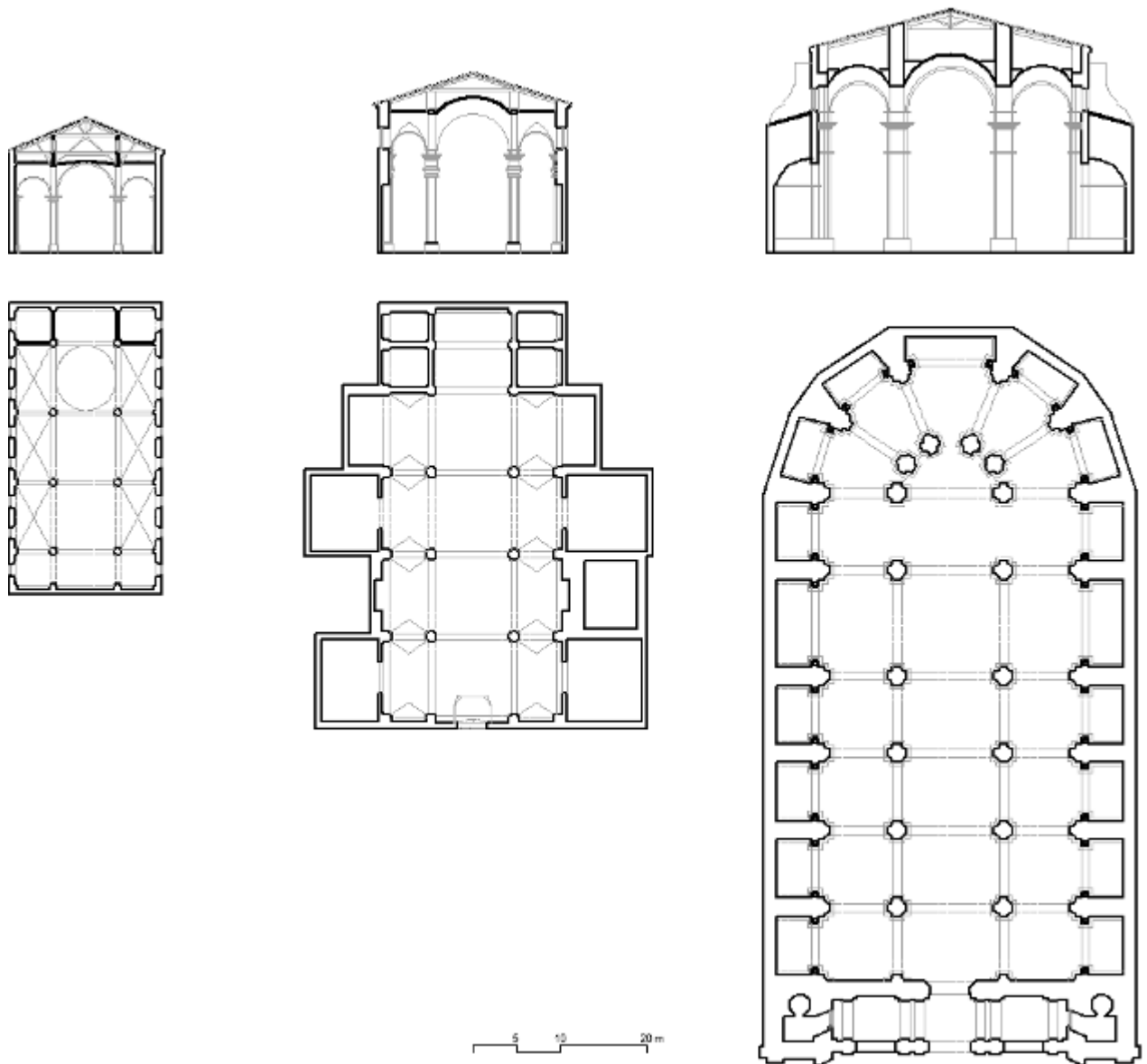


**Fig.35** D'esquerra a dreta, esglésies de: Mont-roig del Camp, Alcarràs i Maldà.



**Fig.36** Extradós de les voltes a la catalana de la Catedral de Lleida, juliol de 2015.

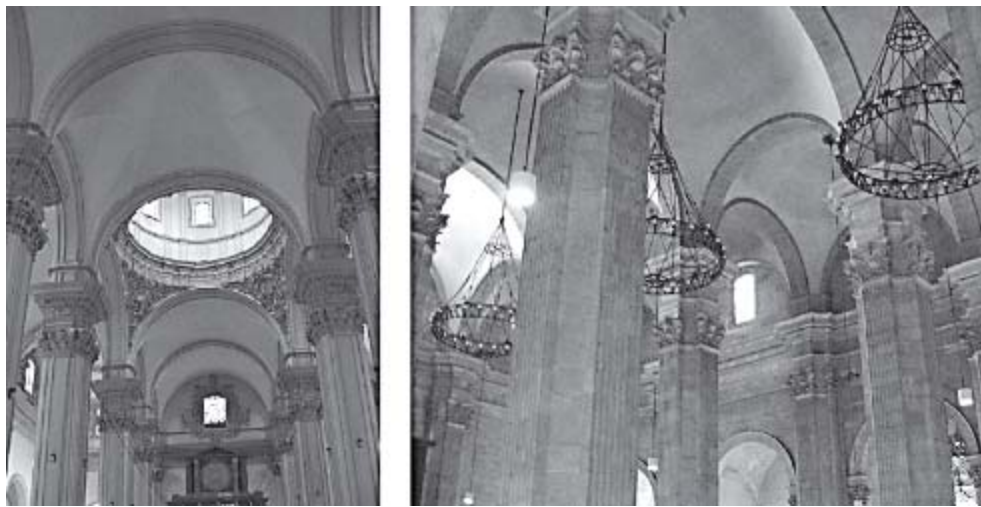
Segons Garganté l'església parroquial de Guissona presenta una síntesi d'influències de la Universitat de Cervera i la Catedral de Lleida.



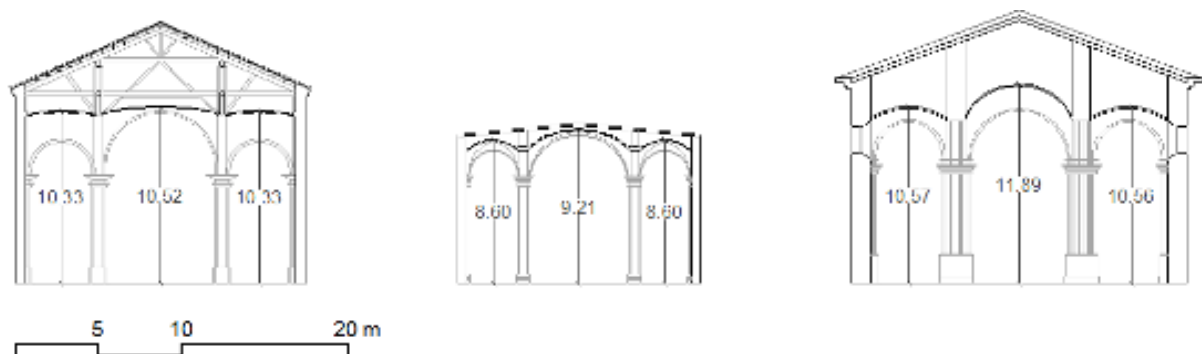
**Fig.38** D'esquerra a dreta, secció i planta de: Capella de la Universitat de Cervera, església parroquial de Guissona, Catedral de Lleida.



**Fig.37** Interiors de la Catedral de Lleida i de l'Església parroquial de Guissona. Fotografies preses el juliol de 2015 respectivament.



**Fig.39** D'esquerra a dreta, interiors de la col·legiata d'Alcañiz i de la Catedral de Lleida. Fotografies preses l'agost de 2015 i el juliol de 2015 respectivament.

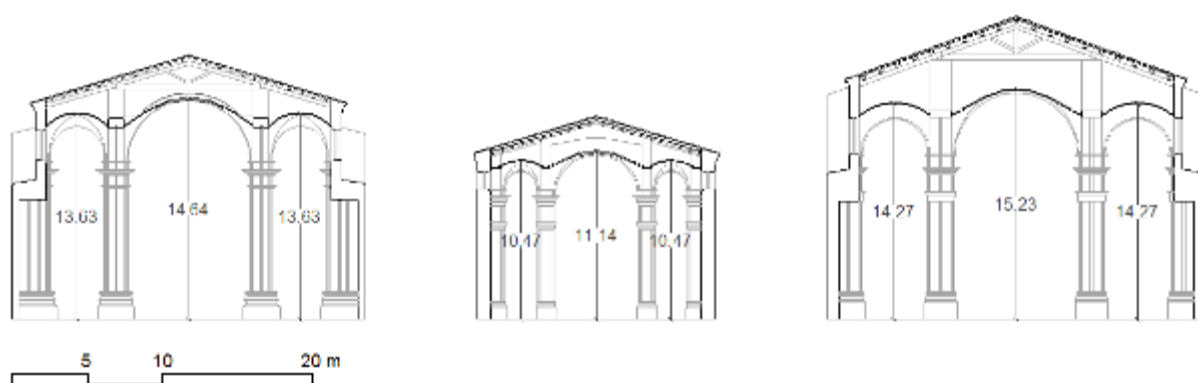


**Fig. 40** Seccions de la nau. D'esquerra a dreta Capella de la Universitat de Cervera, Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat, Església de Sant Miquel del Port.





**Fig. 41** D'esquerra a dreta. Interiors de la Capella de la Universitat de Cervera, del Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat i de Sant Miquel del Port.

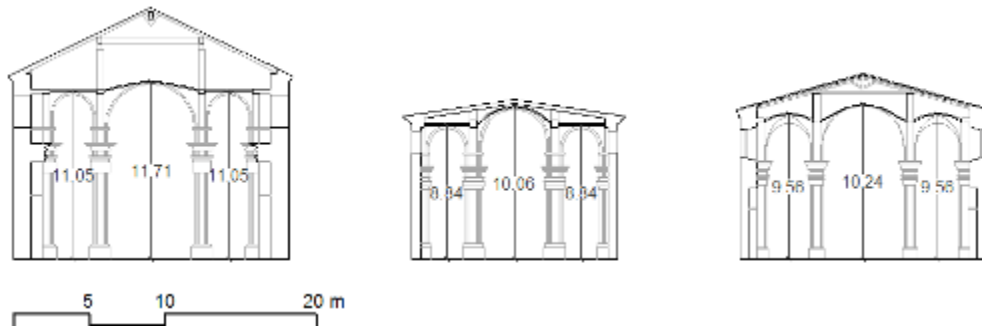


**Fig. 42** Seccions de la nau. D'esquerra a dreta església parroquial d'Aitona, església parroquial de El Cogul, església parroquial de Maials.



**Fig. 43** D'esquerra a dreta. Interiors de l'església parroquial d'Aitona, l'església parroquial de El Cogul, l'església parroquial de Maials. Fotografies preses el juny de 2014.

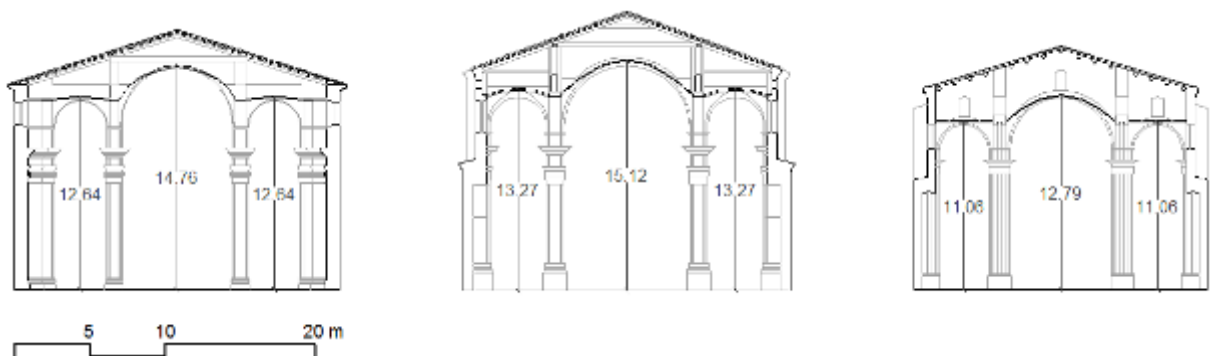




**Fig. 44** Seccions de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de Montán, església parroquial de Vallat (Font: Beatriz Saez Riquelme), església parroquial de La Sorollera.



**Fig. 45** Interiors de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de Montán, església parroquial de Vallat (Font: Beatriz Saez Riquelme), església parroquial de La Sorollera, l'agost de 2015.



**Fig. 46** Seccions de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de La Palma d'Ebre, església parroquial d'Alcarràs, església parroquial de Vinyols i els Arcs.



**Fig. 47** Interiors de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de La Palma d'Ebre, església parroquial d'Alcarràs, església parroquial de Vinyols i els Arcs. Fotos juny i maig de 2014 respectivament.



**Fig. 48** Seccions de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de Vinaròs, església parroquial de Benifarló de les Valls (Font: Beatriz Saez Riquelme), església parroquial de Calaceit.



**Fig. 49** Interiors de la nau. D'esquerra a dreta: església parroquial de Vinaròs, església parroquial de Benifarló de les Valls (Font: Beatriz Saez Riquelme), església parroquial de Calaceit, l'agost de 2015.

## 2.3 Procés constructiu

“El procés constructiu d’aquestes esglésies s’explica a les tabes, una espècie de plec de condicions on de forma enumerada s’especificava quins passos calia que seguís l’empresari per a executar l’obra i quins materials havia d’emprar. La taba s’utilitzava a mode de contracte i la signaven el batlle, el representant eclesiàstic, el contractista i altres membres de la corporació i representants municipals. Sovint també hi apareixien els delmes que la població hauria de sufragar per poder fer front al cost de les obres.

En alguns casos les tabes són poc aclaridores, però en altres s’exposen força detalladament els materials emprats, les dimensions, l’ordre del procés constructiu i les qüestions econòmiques.” (Garganté)

Les tabes que s’han pogut consultar s’han extret de diversos articles i/o tesis d’historiadors i algunes han estat consultades als Arxius Diocesans de Solsona, Lleida i Tarragona i a l’Arxiu Parroquial de Tàrrrega.

Les tabes generalment fan repetides referències a “la traça”, és a dir, els plànols de l’obra. Normalment s’insisteix en construir “comforme assenyala la trasa <sup>(44)</sup>”.

La majoria de traces s’han perdut. Les traces podien constar d’un únic plànol o ser molt més extenses, de fins a nou o deu plànols. L’estructura de les traces podia ser la següent:

“ (...) al contracte de l’església de la Riba, a la Conca de Barberà, les diferents parts representades als plànols o la resta de dibuixos s’assenyalen amb lletres, com per exemple “*señalat en lo pla vertical de la mateixa trassa ab lletra K*” o bé “*las paredes del campanar deuen regularse a las líneas notadas ab lletra Y*”. (...) La Real Academia de San Fernando rebutja un projecte del mestre de cases lleidatà Miquel Batiste i Miquel no tan sols per la *disformidad* dels dibuixos, sinó “*por la extravagancia de señalarse en ellos con notas por escrito: tal grueso ha de ser mayor, tal puerta ha de ser como la otra, tales ventanas han de caer a plomo etc, todo lo qual es contra la exactitud con que desde luego deben fixarse en los dibujos las medidas y proporciones de la obra*”. Paradoxalment, Miquel Batiste i Miquel, era un dels tracistes de més prestigi a Lleida, el requerien expressament des de moltes poblacions (...) ” <sup>45</sup>

El codi de colors no diferia gaire del que s’utilitza actualment, ja que, per exemple “als plànols del santuari de Sant Magí les obres que s’hi havien de fer estaven marcades amb color vermell per diferenciar-les de l’obra feta, marcada amb color groc.” <sup>46</sup>

---

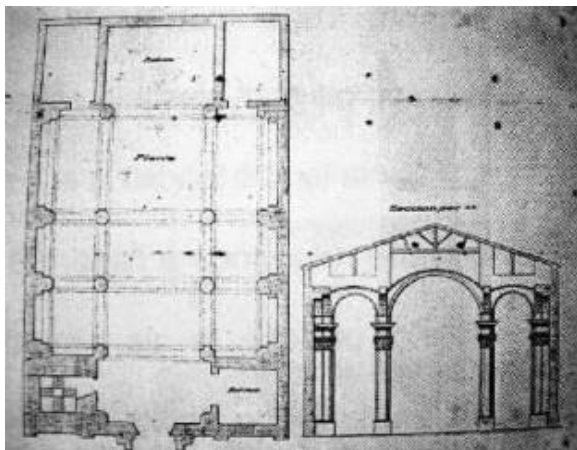
<sup>44</sup> TABA DE BUFAGRANYA, (1732), contracte entre els comissionats i Francesc Gaudier i Marc Gaudier i Pau Gaudier, mestres de cases.

<sup>45</sup> GARGANTÉ, M., (2006). “Arquitectura religiosa s XVIII a la Segarra i Urgell”. Tesi Doctoral. p. 193.

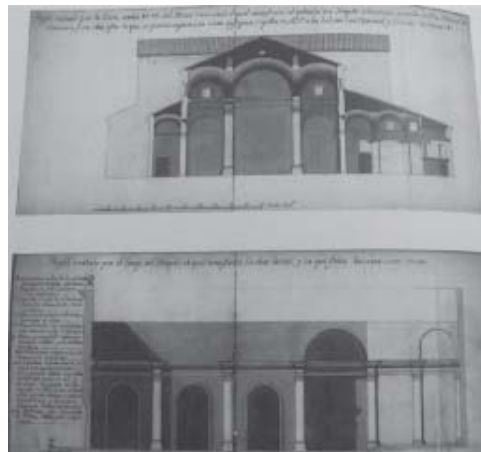
<sup>46</sup> GARGANTÉ, M., (2006). “Arquitectura religiosa s XVIII a la Segarra i Urgell”. Tesi Doctoral.

Hi ha documentació que demostra que també es realitzaven maquetes dels temples, fetes de fusta. Un exemple documentat d'aquest fet és la maqueta que es va realitzar el 1701 per la capella del Claustre de la catedral de Solsona. La capella es va construir segons el projecte del dominic fra Mateu i el “modelo” o maqueta de fusta del fuster de Solsona Francisco Nadal.<sup>47</sup>

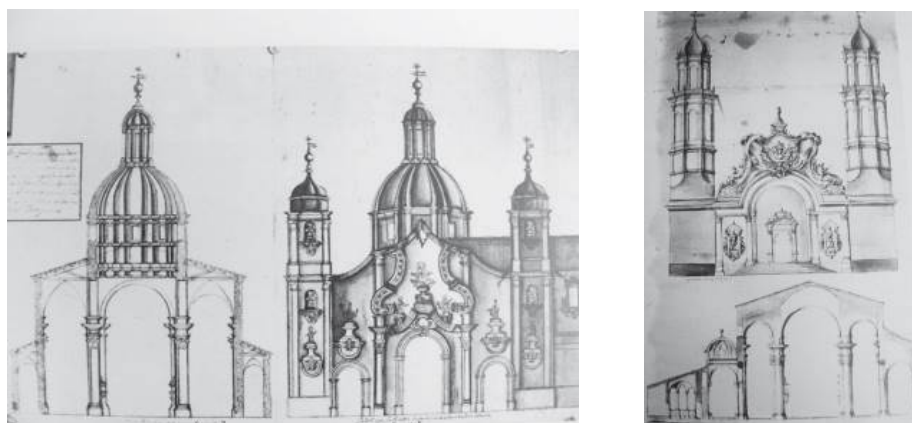
També a la taba de Les Olugues s'esmenta que els mestres de cases construiran l'església “segons la forma, planta y modelo que per la fàbrica referida se formà y està present, de la qual quedan ben enterats y noticiosos dits Cassan y Casals.”<sup>48</sup>



**Fig.50** Traça de Rocafort de Qüeral. Font: Arxiu Diocesà Tarragona.



**Fig.51** parroquial de Guissona. Font: Garganté, M.



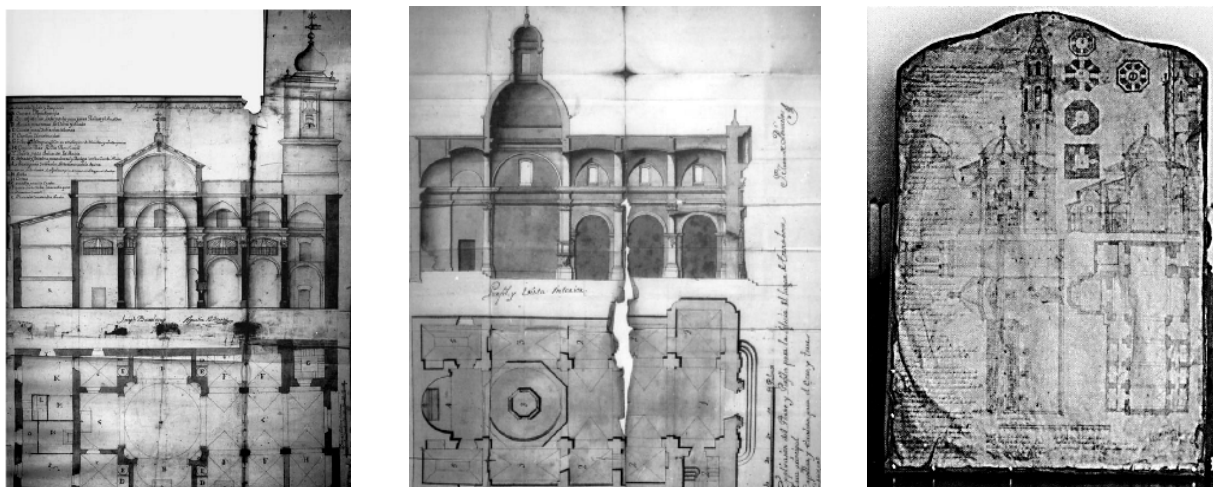
**Fig.52** D'esquerra a dreta: projecte de Josep Burria i projecte de Francesc Melet, mestres de cases, per al concurs de la Catedral de Lleida. Font: Vilà, E. La catedral de Lleida: Pagès Editors, 1991.

La traça de l'església parroquial de Tàrraga, de Fra Josep de la Concepció, tot i ser d'una església classicista del segle XVII, és un clar antecedent de les esglésies objecte d'estudi. Les esglésies del XVIII presenten filiació amb les obres del tracista Fra Josep de la Concepció, sobretot pel què fa a les voltes

<sup>47</sup> GARGANTÉ, M., (2006). “Arquitectura religiosa s XVIII a la Segarra i Urgell”. Tesi Doctoral..

<sup>48</sup> TABA DE L'ESGLÉSIA DE LES OLUGUES (1756). contracte entre els comissionats i Josep Casals i Anton Cassan, mestres de cases. Arxiu

d'aresta i les voltes de canó amb llunetes construïdes amb volta a la catalana. Les filiacions es fan extensibles a altres obres del mateix autor, com el Santuari de Sant Ramon. La traça de la parroquial de Tàrrrega projecta una idea de com devien ser aquests documents.



**Fig.53** D'esquerra a dreta: Planta i secció de l'església de Fuliola. Projecte de Josep Burria i Agustí Biscarri, 1770. Planta i secció de l'església de Tornabous. Projecte de Josep Burria i Agustí Biscarri, 1773. Font: Garganté, M. A la dreta: Traça de l'església parroquial de Tàrrrega. Arxiu parroquial de Tàrrrega.

La majoria d'esglésies es construïen en un paratge fora del poble, en substitució de l'església medieval que havia quedat petita (ja que havia augmentat la població) o es trobava en estat de ruïna, sovint a causa de la guerra de successió o de la manca de manteniment. Per construir la nova església s'aprofitaven les pedres de l'església romànica o gòtica que s'havia d'enderrocar.

Altres vegades la nova església es construïa al mateix emplaçament on hi havia l'anterior temple medieval, aleshores solien aprofitar-se part dels murs ja existents. Sovint, però, es realitzaven actuacions urbanístiques de més transcendència, com ara l'enderroc d'edificis adjacents per tal de poder fer el nou temple més gran. Mentre es construïa el temple es realitzaven "visures", consistents en el control de l'execució realitzat per mestres de cases aliens a l'obra que en ponderaven la qualitat i l'avinença amb la traça, la taba i el model.

En total s'han consultat 44 tabes de les 88 esglésies visitades. D'acord amb les tabes consultades i a mode de compendi, el procés constructiu es desenvolupava de la manera següent:<sup>49</sup>

1. En primer lloc es donaven alguns consells al constructor "arrendatari", com ara que l'obra s'havia de regir per la traça "sapia lo arrendatari, que per a fer dita obra se ha de regir, y governar per la planta feta per mestre seguint lo ordre della en tot", o "primerament ha de saber lo impressari que ha de

<sup>49</sup> Compendi de les diverses tabes estudiades.

observar construir la dita obra de la Iglesia ab lo modo y forma, que demostrarà la planta y corte se li entregará executant-la tota dels materials o menobras se anirà notant en lo discurs o esta tabba”.

2. Després calia construir una bassa a prop de l'església per a poder amarrar la calç “se farà amarrar la calç en la bassa que a est fi se ha fet en lo terreno de dita obra”.
3. Primer calia obrir els fonaments de l'església. Els fonaments havien d'arribar fins “la roca” o “tapas solido” o “ferm” i s'havien d'omplir de “pedra y argamassa ben bona ben massisats”; i o es donen les mesures exactes que havien de tenir en pams, o s'especifica que “dits fonaments degan tenir un palm més de ample que las parets per quedar mitg palm de retreta per part”.
4. Un cop construïts els fonaments calia anivellar-los i “tornar a plantejar dita Iglesia, donant a totas las parets, y columnas los gruixos que demostra lo Plano”. Ja es podien construir els sòcols de les parets i les columnes. Els sòcols havien de ser de pedra picada “a aquella alçada que segons regles del art deuran tenir”. S'observa com s'aplicaven “regles” succinctes per tots conegudes.
5. Després es construïa la “Portalada” de l'església, és a dir la façana principal amb “pedra ben atallantada, y espironejada ab tots los adornos de arquitectura”
6. Posteriorment, o ahora, es construïen la resta de parets de “pedra y argamassa ben treballada donant a totes lo gruix que demostra la Planta, quals deuran ser de manposteria, menos las cantonades que deuran ser de pedra treballada a punta escoda”.
7. Després es construïen les columnes “y pilastras de pedra debastada de dos pedres cada filada crusant las juntas de totas las filadas”, es construïen així fins a l'arrancada dels arcs.
8. Els arcs que “han de néixer de les pilastres” havien de ser de “piso o rajola” això és de maó pla. Generalment els arcs de la “Nau” i els de la “mitja taronja” serien a sardinell “de un mahó de cap i un de través”, mentre que els de la resta de l'església serien “tabicats de tres farfas”. Els de la nau però sovint són de tres voltes de maó pla, i les voltes descansen sobre ells com si es tractés de nervis gòtics però construïts amb maó pla, són els anomenats “falsos arcs”.
9. Sobre aquests arcs es construïen parets “fins a buscar lo nivel de la tardosa del arch” i aquestes parets es feien “igualet de pedra y argamassa construinthi un pilar al mitg y al printo della se posaran unes llambordes per a que lo pilar tinga major abrigh y tinga mes força la encavallada y pilars”. Aquestes parets eren els estreps: “y fets que tindran los archs deuran pujar sobre ells los corresponents estribos fins a arribar als tersos dels archs de la Nau major”.

10. Un cop fets els arcs, es procedia a cobrir l'església "posant escisores (encavallades), com demostra lo perfil, y los trabeses de sinch en sinch palms, y sobre estos las llatas clavadas ab bona clavassó de ferro y sobre las llatas se ha de assentar la teula en sech, menos sobre la bolada dels rafechs que se haurà de assentar ab argamassa". Encavallades de "fusta bona que baixa del Segre".
11. Un cop coberta la nau, el creuer i el presbiteri de l'església, es construïen les petxines "en los angulós que causen los quatre archs torals y sobre las pechinas, y archs degan fer una cornisa circular que forme lo anell de la mitja taronja y sobre dita cornisa lo banquillo degan pujar de piso y argamassa (maó pla) la mitja taronja, formant un ochavado y en cada costat de dit ochavat degan fer una finestra coberta ab archs de piso". Sobre els murs del cimbori vuitavat s'hi construïa un ràfeg i s'hi recolzava "un telar de fusta per a subjectar las parets y per assentar los bolons de la coberta e la mitja taronja".
12. Un cop coberta tota l'església es procedia a construir les voltes, es començava per la cúpula: "sera de la obligació de dits fabricants cuberta que sigue tota la obra de dita Iglesia de fer la bobeda de la mitja taronja com demostra lo perfil, deixanthi en tota la circumferencia vuit finestres, y vuit lunetos ab ses divisions de pilastrejat". Després es cobria la resta de la nau: "Ittem despres de concludida la mitja toronja, sera de la obligacilo dels fabricants lo fer las bobedas de las capellas, presbiteri, brasos del crusero, Nau de la Iglesia y sagristias, havent de ser aquestos, es a saber las del cas de la Iglesia de mitja aresta, y las dels claustros de aresta, y ab dos farfas (dues voltes de maó pla)".
13. Tota la fusta necessària per a les cindres d'arcs i voltes anava a càrreg de l'empresari "tota la fusteria que serà necessària per a los archs y boveda del encendriat, y les encavellades, enllatats, bastiments per lo llanternó, finestres de sotallanetes, bastiments de llunetescorrerà a compte de la vila y el donar la fusta, y la sogueria necessària tant per las bastides. Sovint però no s'utilitzaven cindris, ja que les voltes de maó pla permetien prescindir-ne.
14. L'última volta era la del cor: "sobre la porta de dita Iglesia una bobeda rebaixada per bolta de cordell tabicada de dos farfas de mitja aresta ab sos lunetos terraguixada y blanquejada de ges blanch, com tots los demes de la Iglesia; per lo piso del cor".
15. També es construïa una "cornisa ab son friso, y alquitra ben ressaltat per totes las pilastras , com ab lo perfil se demostra, y tant en las finestras de la mitja taronja, com en las del cos de la Iglesia degan posarhi claraboyas de alabastro".
16. Tot l'interior de l'església es "terraguixva" i es blanquejava "de ges blanch". Tant sols es ressaltaven les arestes amb algun color "faixes blaves que baixen per las arestas de las pilastras y lunetos,...". Es

pavimentava “de quadrons de dos pams en quadro un quart de gruix” però “tot lo que mira de la porta fins al Altar Major, de cap a cap de Iglesia un passadís, o caminal de lloses que fessen vuit pams de ample, mes als bressos del crusero que facie dit caminal una creu que arribe de una part de Iglesia al altre”. Altres vegades el paviment era enrajolat.

El termini per concloure l’obra variava des dels 18 mesos (Aitona) fins els 3 anys (Barberà de la Conca) i fins els 6 anys (Batea).

Les visures dels comissionats anaven a càrrec de l’empresari, i aquests podien fer modificacions durant el transcurs de l’obra “Ítem sàpia lo impresari que si antes de empesar la obra o en lo decurs de ella apareix als comicionats ajustar, variar o disminuir alguna cosa de lo que conté la planta y tabba, ho deurà executar, contant lo més o descontant lo menos”.

El contractista cobrava a terminis, a l’inici, mitjans i final de l’obra “Ítem sàpia lo impresari que se li entregaran sinch centas lliuras pera comensar la obra, y després se li pagarà per mesos a proporció del preu, del treball y temps se aseñalarà per fer dita obra”.

Les esglésies Valencianes i del Baix Aragó es construïen de la mateixa manera. Al Baix Aragó s’han aconseguit les tabes de l’església de La Sorollera i de la col·legiata d’Alcañiz, les quals s’han estudiat i també s’incorporen a la present tesi. Pel què fa a València, la tesi de l’arquitecta Beatriz Sáez Riquelme, si bé no proporciona cap taba, sí que fa una interpretació constructiva, contrastada amb la realitat, de les esglésies d’aquesta zona, que demostra que es tracta del mateix tipus de construcció.

Ni el procés constructiu ni els materials emprats no es diferenciaven massa de les esglésies d’una nau respecte les de saló. A continuació s’analitza una taba de cada tipus. S’han escollit dues tabes complertes que especifiquen molt clarament el procés de construcció dels temples i els materials emprats. Per a les esglésies d’una nau s’analitza la taba d’Alcoletge, per a les de saló s’analitza la taba de Torres de Segre.

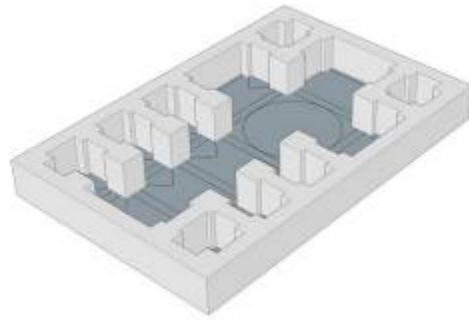
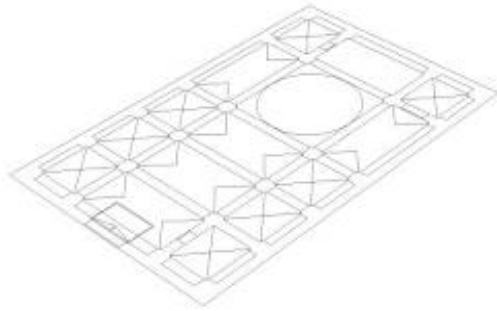
Posteriorment es tipifiquen els detalls constructius generals per a erigir aquests temples. Els detalls estan basats en l’informació extreta del recull de tabes que es dugué a terme (Annex...) i de les inspeccions “in situ” dels monuments.

Procés constructiu de l’església d’Alcoletge. Basat en la Taba de 1763 entre el Comissionat de l’obra i Miquel Batiste i Porta i Miquel Batiste i Miquel, mestres de cases:<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup> Taba de l’església d’Alcoletge, 17463, contracte entre el Comissionat de l’obra i Miquel Batiste i Porta i Miquel Batiste i Miquel, mestres de cases.





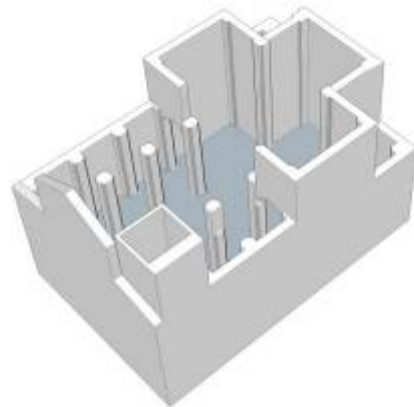
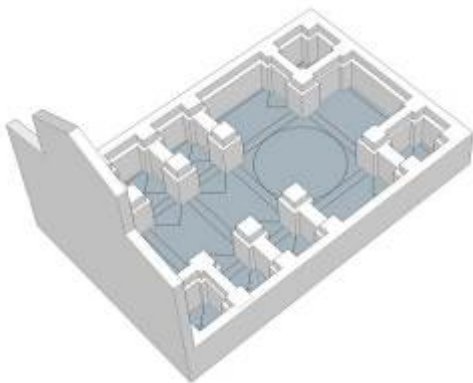
### 1er. Preparació dels terrenys i bassa.

“ (...) sapie lo asentiste, que deura fabricar la dita Iglesia claustrada ab crusero, capellas, sagristia, presbiteri, y campanar dins lo dit Poble al entrar lo Portal dit de Lleyda tenint obligació de recumplir a las sitjas que sien en lo indret de las parets, o dels sòcols de las pilastras masisant aquellas be de cal, y canto.”

“ (...) se farà amerar la calç en la bassa que a est fi se ha fet en lo terreno de dita obra.”

### 2on. Fonaments.

“ (...) obrir los fonaments de dita Iglesia, donantlos sinch palms y mitg de ample y de fondo fins a arribar a la Roca, o tapas solido, quals fonaments deura complir de pedra, y argamassa bona ben massisats, y los fonaments de las columnas de la dita Iglesia deuran tenir nou palms en quadro ab la profunditat queda dalt dita de las parets.”

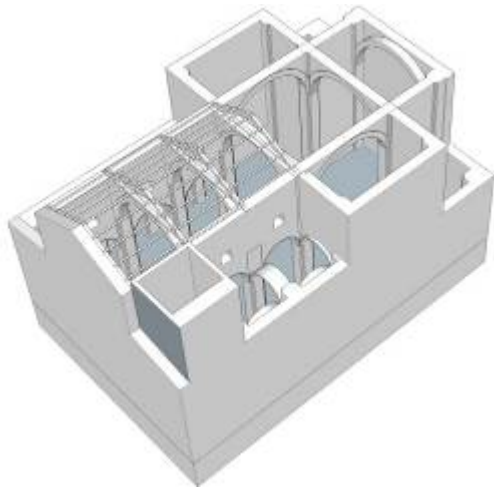


### 3er. Sòcols i portalada.

“ (...) conluits tots los dits fonaments, deura tornar a plantejar dita Iglesia, (...) y anivellats dits fonaments ab lo paviment deura assentar una filada de socols de pedra atallantada, en las pilastras arimadas en las parets interiors com en las columnas sueltas. (...) y fabricar la Portalada per a entrar a dita Iglesia de pedra del esto ben atallantada, y espironejada ab tots los adornos de arquitectura.

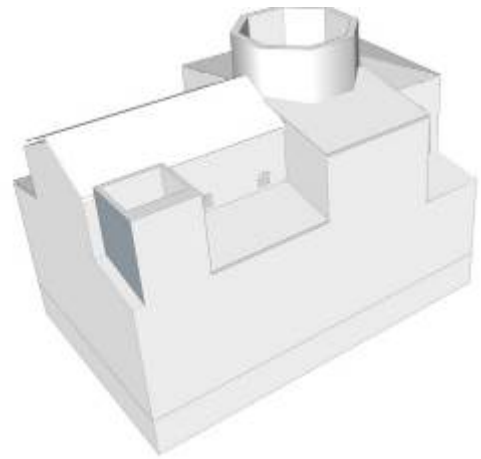
### 4rt. Murs i pilars.

“ (...) alsar totes las parets de dita obra de pedra y argamassa ben treballada donant a totes lo gruix que demostra la Planta, quals deuran ser de manposteria, menos las cantonadas que deuran ser de pedra treballada a punta de escoda. (...) fer las columnas, y pilastras, quals columnas, y pilastras deuran pujar aixis fins al arrencament dels archs.”



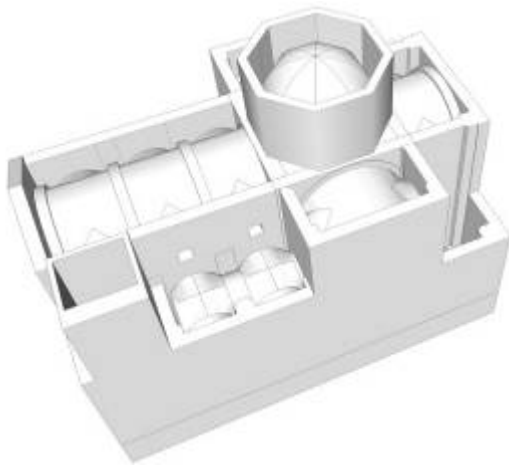
### 3er. Arcs i encavallades.

“ (...) los quals archs deuran tenir tres palms de rosca, y los torales, quatre palms de rosca, los altres empero archs aixis de la Nau, com los que han de estar arrimats a les parets de las capellas han de ser tabicats de tres farfas, deuran pujar sobre ells los correponents estribos fins a arribar als tersos dels archs de la Nau major. (...) luego que los fabricants tingan fets los archs, estribos, y rafechs predits deuran cubrir de dita Iglesia, posant tres escisores, com demostra lo perfil.”



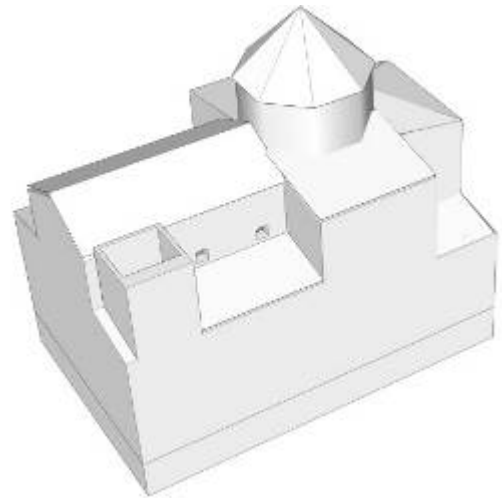
### 4rt. Coberta i cimbori.

“ (...) y sobre las llatas se ha de assentar la teula. (...) cubierta que siga la Nau, crusero, y presbiteri deuran fer quatre pechines en los angulos que causen los quatre archs torals, y sobre las pechinas, y archs degan fer una cornisa circular que forme lo anell de la mitja toronja y degan pujar la mitja taronja, formant un ochavado y en cada costat fer una finestra.



### 5è. Mitja taronja i voltes.

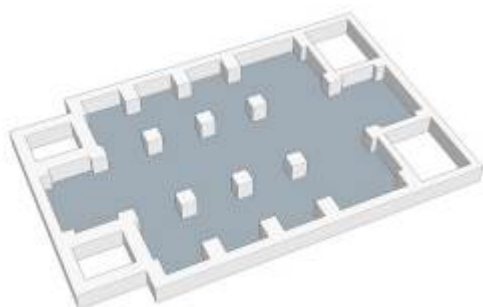
“ (...) cubierta que sigue tota la obra de dita Iglesia de fer la bobeda de la mitja taronja com demostra lo perfil, (...) Item despres de concluida la mitja toronja, sera de la obligacilo dels fabricants lo fer las bobedas de las capellas, presbiteri, brazos del crusero, Nau de la Iglesia y sagristias, havent de ser aquestos, es a saber las del cas de la Iglesia de mitja aresta, y las dels claustros de aresta, y ab dos farfas (...) correrà per compte de la vila y el donar la fusta, y sogueria necessària tant per las bastidas, com per lo demás.”



### 6è. Acabats.

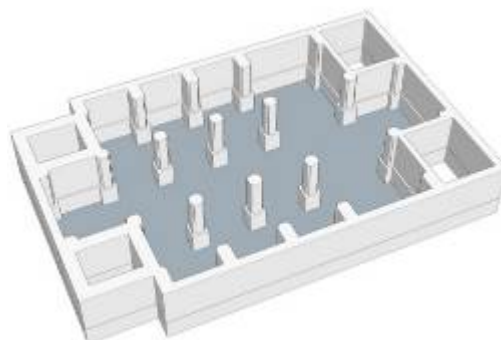
“ (...) havent de baixar per totas las arestas dels archs, y lunetos aixis en la Nau major, com en los claustros unas faixas blavas, essent tambe de sa obligació lo terraguixar, y blanquejar de ges blanch no sols las ditas bobedas, si que tambe totas las pilastras. (...) y enrajolar de disons quadrats ben ajustats tot lo pabiment de la Iglesia (...)”

Procés constructiu de l'església de Torres de Segre. Basat en la Taba de 1747 entre el Comissionat de l'obra i Josep Burria, mestre de cases:<sup>(51)</sup>



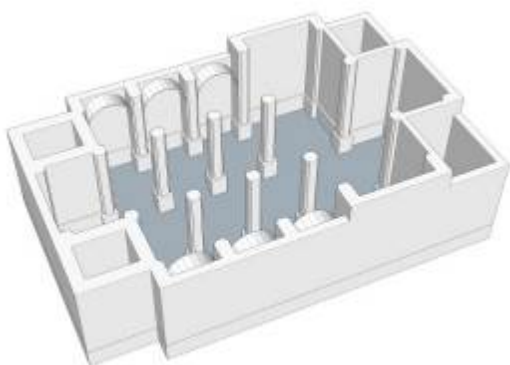
1er. Fonaments.

“...fundamentos de toda la fabrica los hayan de abrir los vezinos del lugar a sus expensas dandoles de profundidad hasta hallar el terreno solido y firme.”



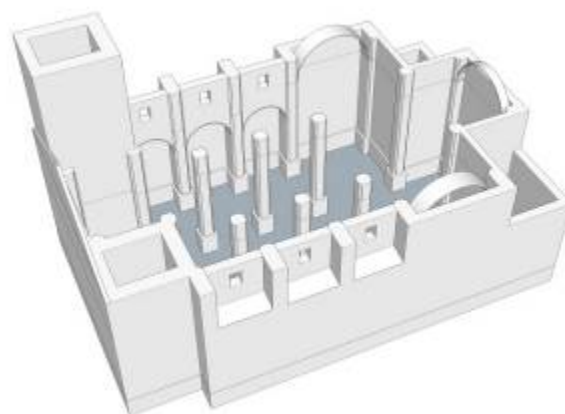
2on. Replanteig i començar a pujar murs i pilars.

“...llenos todos los fundamentos hasta el nivel de el piso de la Iglesia haya de plantear nuevamente el maestro que hiziere la obra, observando todos los movimientos que demuestra la planta sin faltar en cosa alguna en todas sus medidas. comenzando a lebanantar las paredes de toda la obra.”



3er. Arcs de les capelles i cornisa interior.

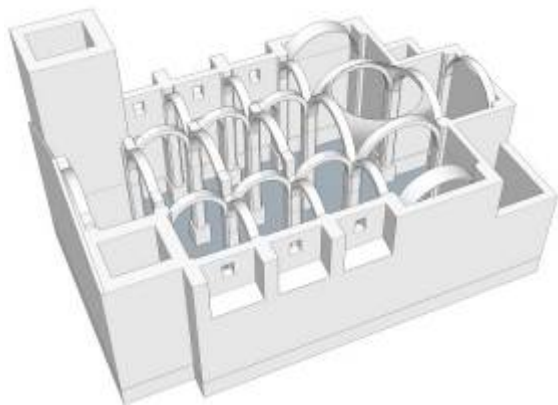
“Que en todas las capillas se deban bolver sus arcos de ladrillo sentado con yeso ... Que deba sarjear una corniza con yeso y ladrillo y tendrá de alto con su alquitrabe y friso y cornissa, seis palmos y medio de altura por lo interior de la obra y por toda su circunferencia.”



4rt. Murs sobre els arcs de les capelles, cornisa exterior, campanar i frontis de l'església.

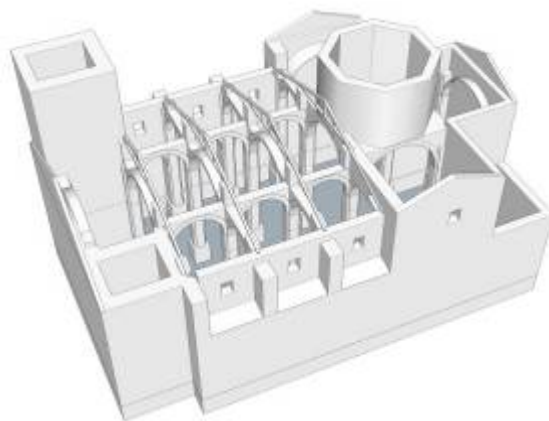
“Que sobre la corniza deba lebanantar una bara de banquillo...Que sobre el banquillo deba dexar sus ventanas. Que concluhidas de lebanantar las paredes haya de sentar una corniza de piedra picada por todo el resinto de la fabrica. Que en todo el frontis de la Iglesia deba lebanantar dos torres de piedra picada. Que deba el maestro lebanantar el frontis de la Iglesia.

<sup>51</sup> TABA DE L'ESGLÉSIA DE TORRES DE SEGRE, (1747), contracte entre el Comissionat de l'obra i Josep Burria, mestre de cases.Arxiu



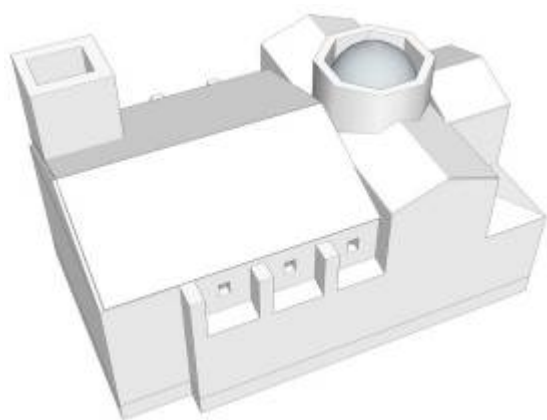
5e. Arcs formers, faixons i torals. Petxines.

“Que concluido el frontis de la Iglesia deba bolver los quatro arcs torales que han de mantener la media naranja y antes (...) volverá todos los arcs de las nabes de yesso y ladrillo de dos palmos de rosca y con esso la restribación de los arcs torales no benzaran las columnas. Que bueltos todos los arcs y enrasados, deberá bolver las quatro pechinas.”



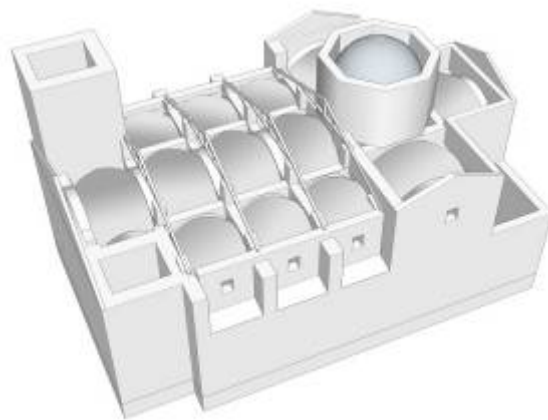
6e. Enrasar els arcs, construir el cimbori, i col·locar les encavallades i les bigues.

“...todos estos arcs los deberá enrasar asta la corona de ellos. Enrasadas que estén las pechinas con los arcs torales sarjeará la cornisa de la media naranja lebantando al mesmo tiempo las paredes de la caja de la media naranja formando su ochabo (...) y planteará ocho bentanas en la media naranja. (...) Que lebantada la caja de la media naranja cubrirá todas las nabes de la Iglesia, con tijeras de maza la nabe mayor, y las nabes menores con ranpantes.



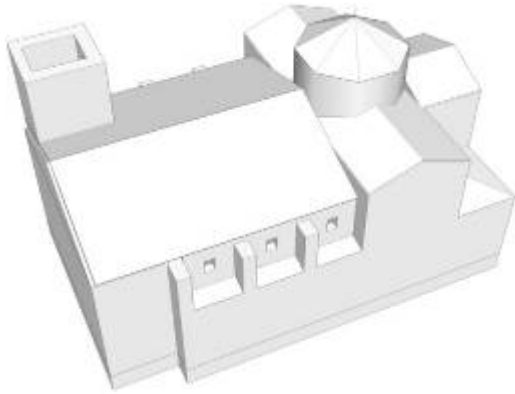
7è. Cobertes i mitja taronja.

“Que lebantada la caja de la media naranja cubrirá todas las nabes de la Iglesia, (...) y la madera buena, dándole a los tejados el pendiente que demuestra el perfil, (...) y, cubierto todo el cuerpo de la Iglesia, cubrirá la media naranja. Que concluidos todos los tejados (...), tabicará lo primero la media naranja formando ocho lunetos sobre las ocho ventanes... y la media naranja ha de ser esfèrica (...), y ha de ser de dos farfas con sus lenguetas a la parte conbexa hasta los tercios para su restribación...”



8è. Voltes a la catalana i alabastre a les finestres.

“...Que, concluhida la media naranja, haya de tabicar todas las bobedas de la Iglesia de dos farfas de ladrillo (...), y en las bobedas de las nabes menores han de ser bobedas baidas (...) y, passadas todas las bobedas de raspado, se passaran de yesso blanco y se pondran claraboyas en todas las bentanas de el cuerpo de la Iglesia y que todas las aristas de los arcs correspondan bien con los bibos de las pilastras.”



L'obra podia patir modificacions, com en aquest cas:

“en la predita primera obligacio per dit Burria firmada, les bovedes de les naus menors havian de ser baydes, ara de nou se ha convingut entre nosaltres, dits particulars, y lo dits pare y fill Silue, que aquelles haigen de ser de arista, com y tambe es convingut entre ditas parts que tots los archs se haigen de fer de pisó sentat de argamasa, sens llevarlos del gruix que expresse la tabba predita del primitiu acte. (...)”

Les voltes d'aquesta església foren destruïdes durant la guerra civil, a causa d'això, Regiones Destruïdas, va procedir a reconstruir-la. S'observa que en la reconstrucció no es realitzen les encavallades. Si les unions de les encavallades no estan molt ben executades, aquestes poden transmetre empentes als estreps, que sumades a les empentes de les voltes i els arcs, no afavoririen l'estabilitat de l'església. A més, les encavallades són més cares. És clar que la solució per a la reconstrucció de l'església buscava abaratir l'obra i intentar pal·liar les empentes que la coberta inclinada pot transmetre als estreps.



**Fig.54** Interior del sota-coberta de l'església de Torres de Segre, maig de 2014.

Les pilastres intenten transmetre una càrrega gairebé contínua sobre els arcs. De totes maneres s'augmenta l'empenta dels arcs sobre els pilars i els estreps, però almenys s'aconsegueix que aquesta empenta s'origini en un punt més baix, escurçant el braç de palanca, i per tant, fent-la més controlable.



“ cubrir de dita Iglesia, posant escisores, com demostra lo perfil, y los trebeses, de fusta bona de la montanya.”

“ las llatas de un quart de doble, y mitg palm de ample, clavadas ab bona clavassó de ferro y sobre las llatas se ha de assentar la teula en sech, menos sobre la bolada dels rafechs que se haura de asentar ab argamassa, y las carenes deuran ferlas de teula mestra assentada tambe ab argamassa y que todas las teules tant de las canals, com de las cubiertas degan solapar unas sobre altrás mitg palm.”

“ lo rafech que ha de cubrir ditas parets que deura també esser de piso, y argamassa (...)”

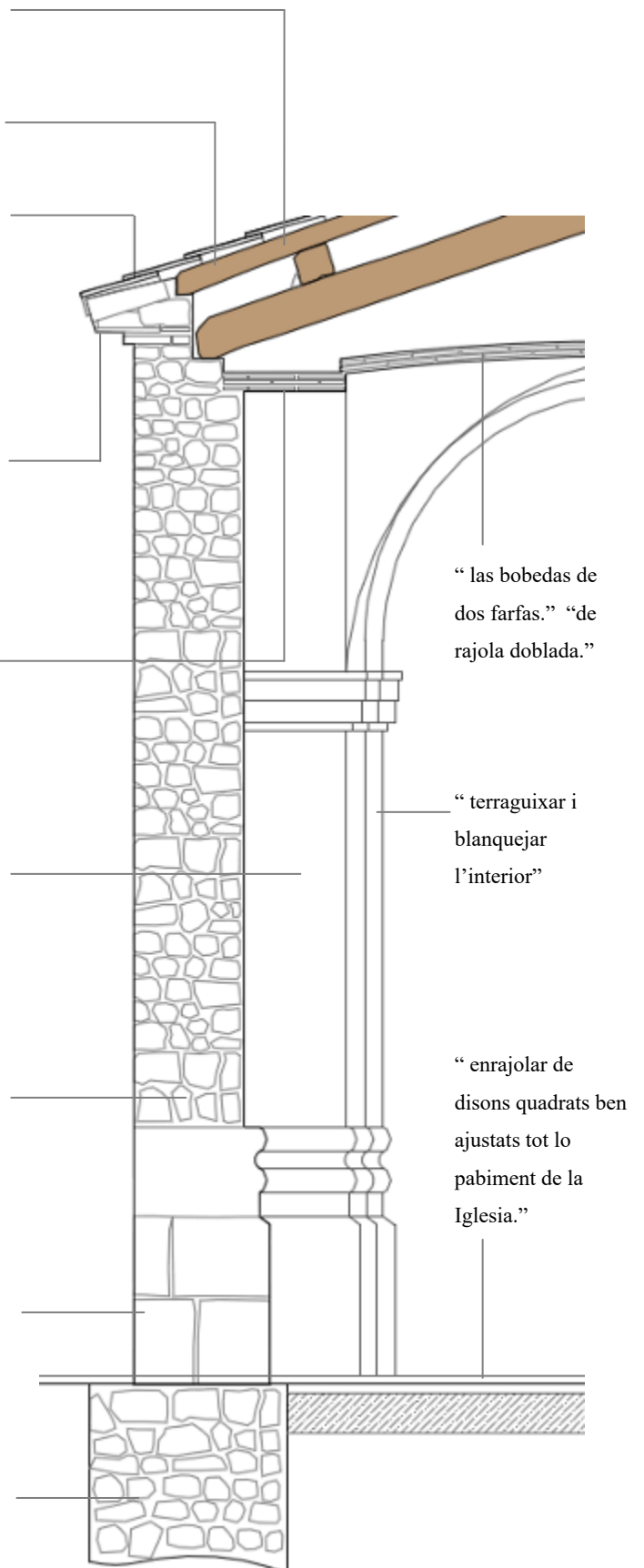
“ los quals archs deuran tenir tres palms de rosca, y los torales que son los que mantindran la mitja taronja, quatre palms de rosca, los altres empero archs aixis de la Nau, com los que han de estar arrimats a les parets de las capellas han de ser tabicats de tres farfas”

“ las columnas, y pilastras de pedra debastada de dos pedres cada filada crusant las juntas de totes las filadas, quals columnas, y pilastras deuran pujar aixis fins al arrencament dels archs aixis de las capellas, com de la Nau (...)”

“ totes las parets de dita obra de pedra, y argamassa ben treballada donant a totes lo gruix que demostra la Planta, quals deuran ser de manposteria, menos las cantonadas que deuran ser de pedra treballada a punta de escoda (...)”

“ anivellats dits fonaments ab lo paviment deura assentar una filada de socols de pedra atallantada (...)”

“ los fonaments de dita Iglesia, de fondo fins a arribar a la Roca o tapas solido, de pedra y argamassa bona ben massisats.”

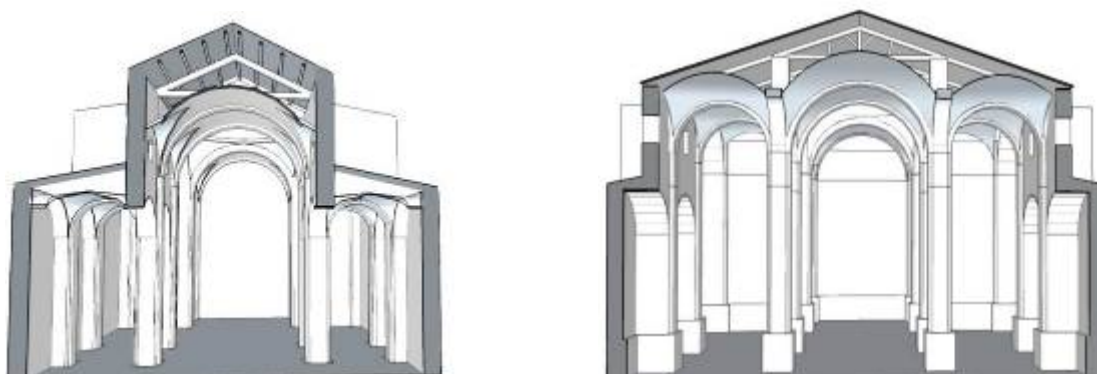


**Fig.55** Anàlisi constructiu genèric de les esglésies.

## 2.4 Conclusions del capítol

Malgrat que el procés constructiu és el mateix per als dos tipus, els resultats espacials són molt diferents, tal com evidencia la Figura 56. L'anàlisi constructiu que mostra la Figura 55 és vàlid per als dos tipus.

Aquest anàlisi és genèric, i recull les dades constructives de la majoria de traces. Tot i així hi poden haver variants, com que els arcs en comptes de ser de maó pla siguin a sardinell, o que el paviment en comptes de ser de rajola siguin de pedra, almenys a la zona de l'altar, etc.

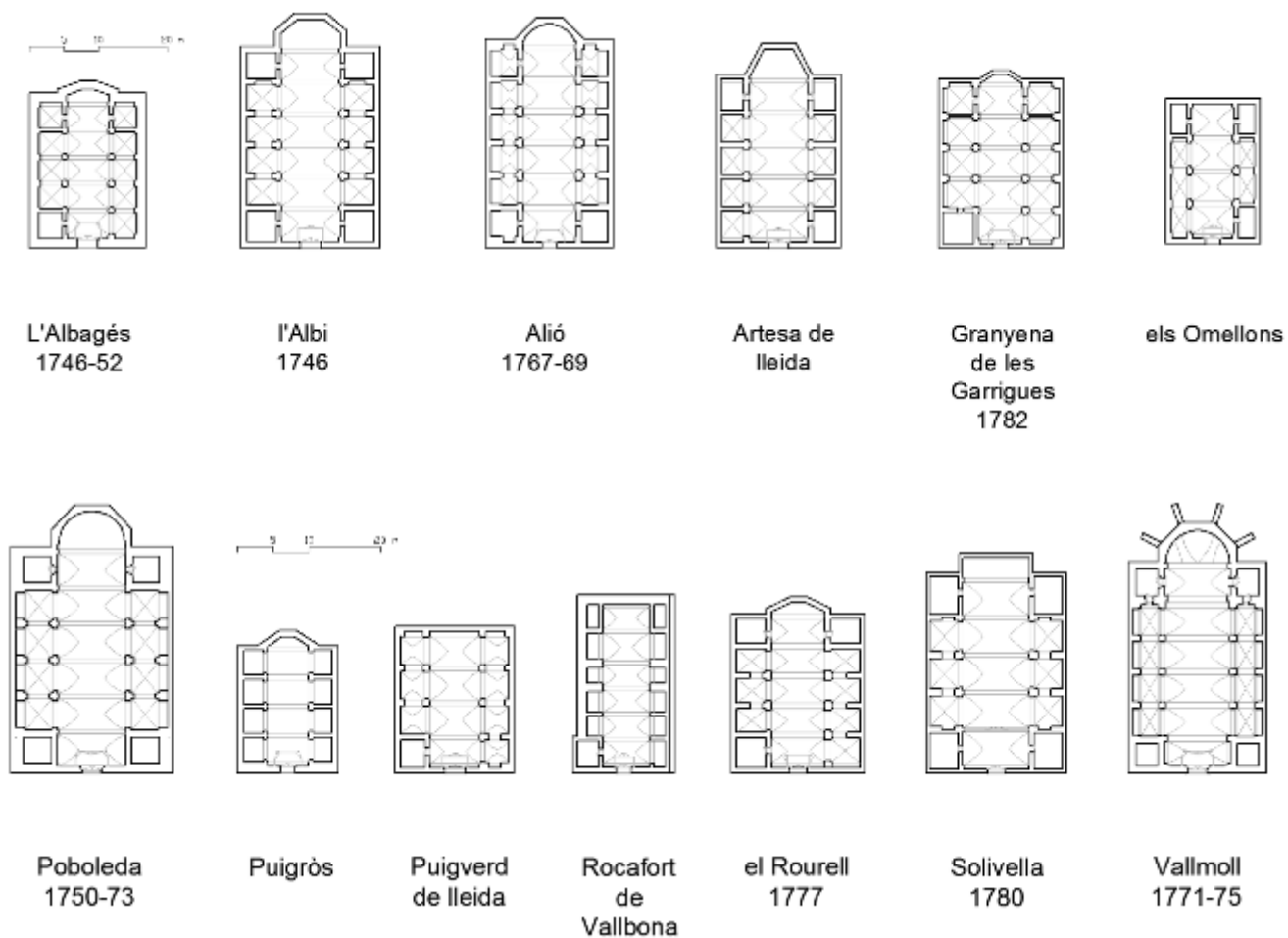


**Fig.56** A l'esquerra església amb les naus laterals més baixes, a la dreta església de saló.

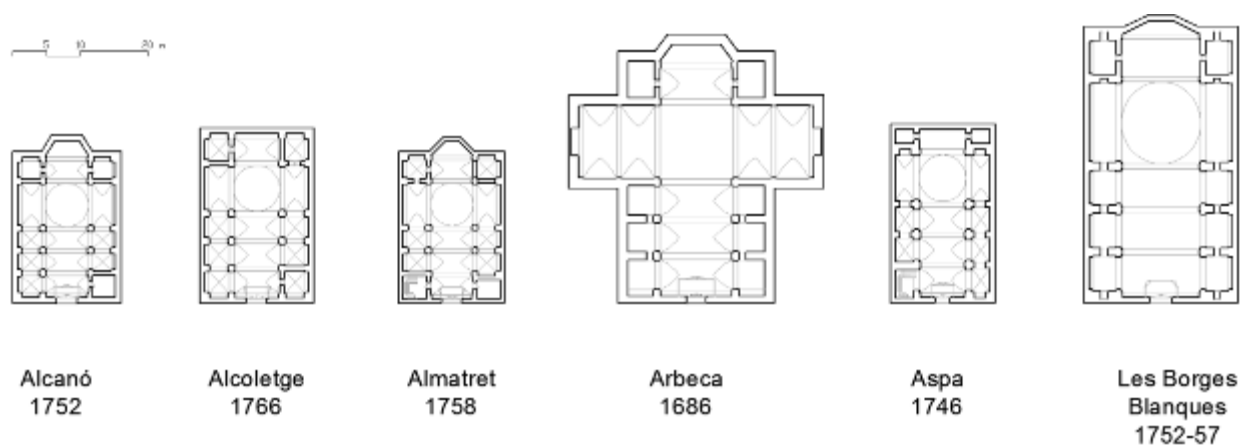
A l'inici del segle XVIII les esglésies que es construeixen a Catalunya són de tres naus, una nau central més elevada i capelles laterals més baixes o naus laterals més baixes, aquestes esglésies estan influenciades per les obres de Pere Blai i Jaume Amigó, artífexs de l'Escola del Camp de Tarragona.

A partir de mitjans del segle XVIII es va introduir l'ús de la planta de saló. L'ús de la planta de saló a Catalunya només s'havia emprat durant l'edat mitjana. Entre el període de temps que va des del seu ús en èpoques medievals fins a la reparició d'aquest tipus al segle XVIII, es construeix un únic edifici amb planta de saló a Catalunya: el Saló de Sant Jordi del Palau de la Generalitat. Ideat com a capella dins la gran reforma que Pere Blai realitza al Palau de 1597 a 1619.

Les esglésies de saló primerenques construïdes a la zona de Lleida i Tarragona troben els seus referents a l'Aragó, en temples com el de Calaceit (1694), La Cerollera, Mas de las Matas, Luna (1733-34) o la col·legiata d'Alcañiz (1738).

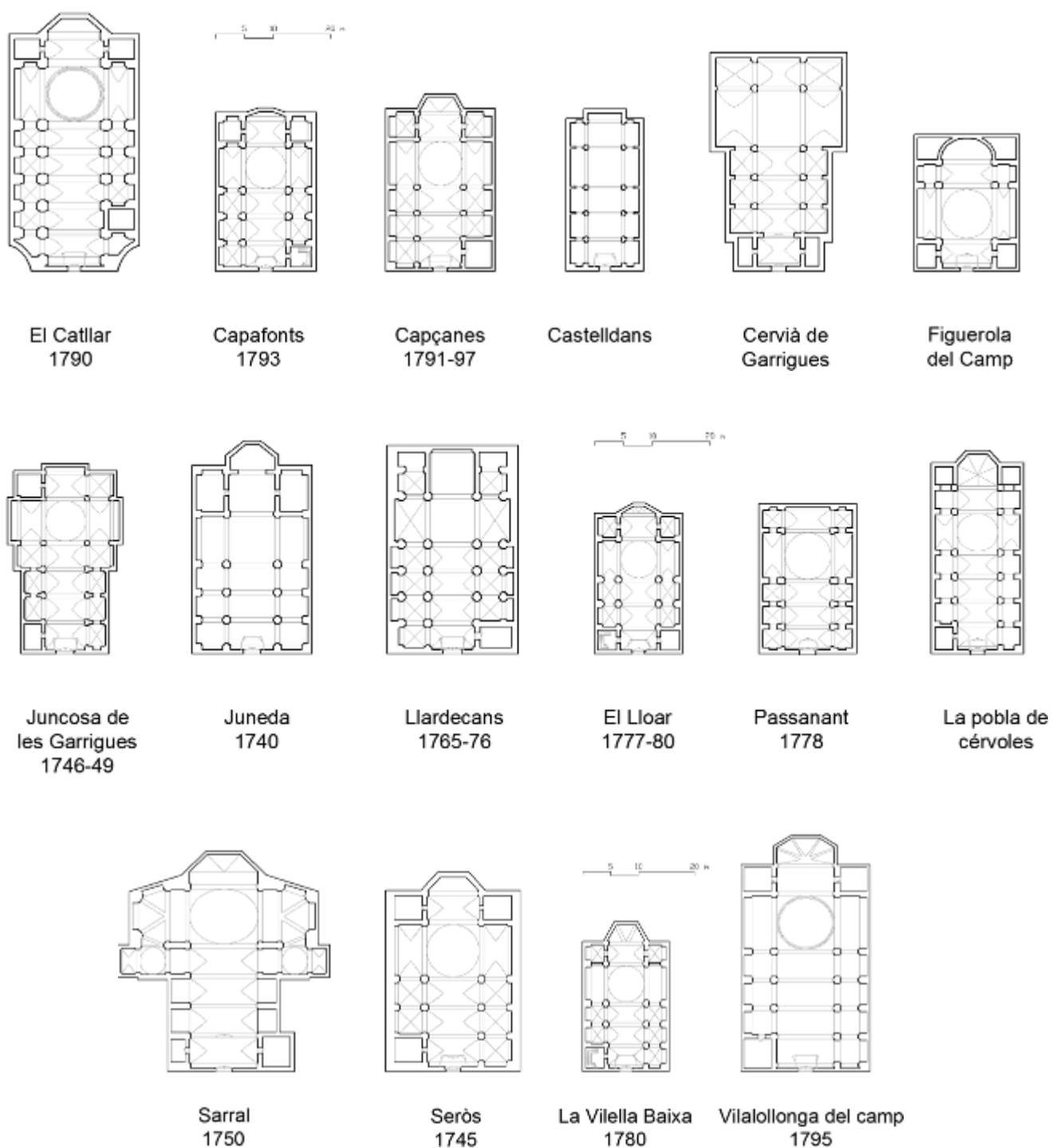


**Fig.57** Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona de tres naus, la central més elevada, i sense cúpula.

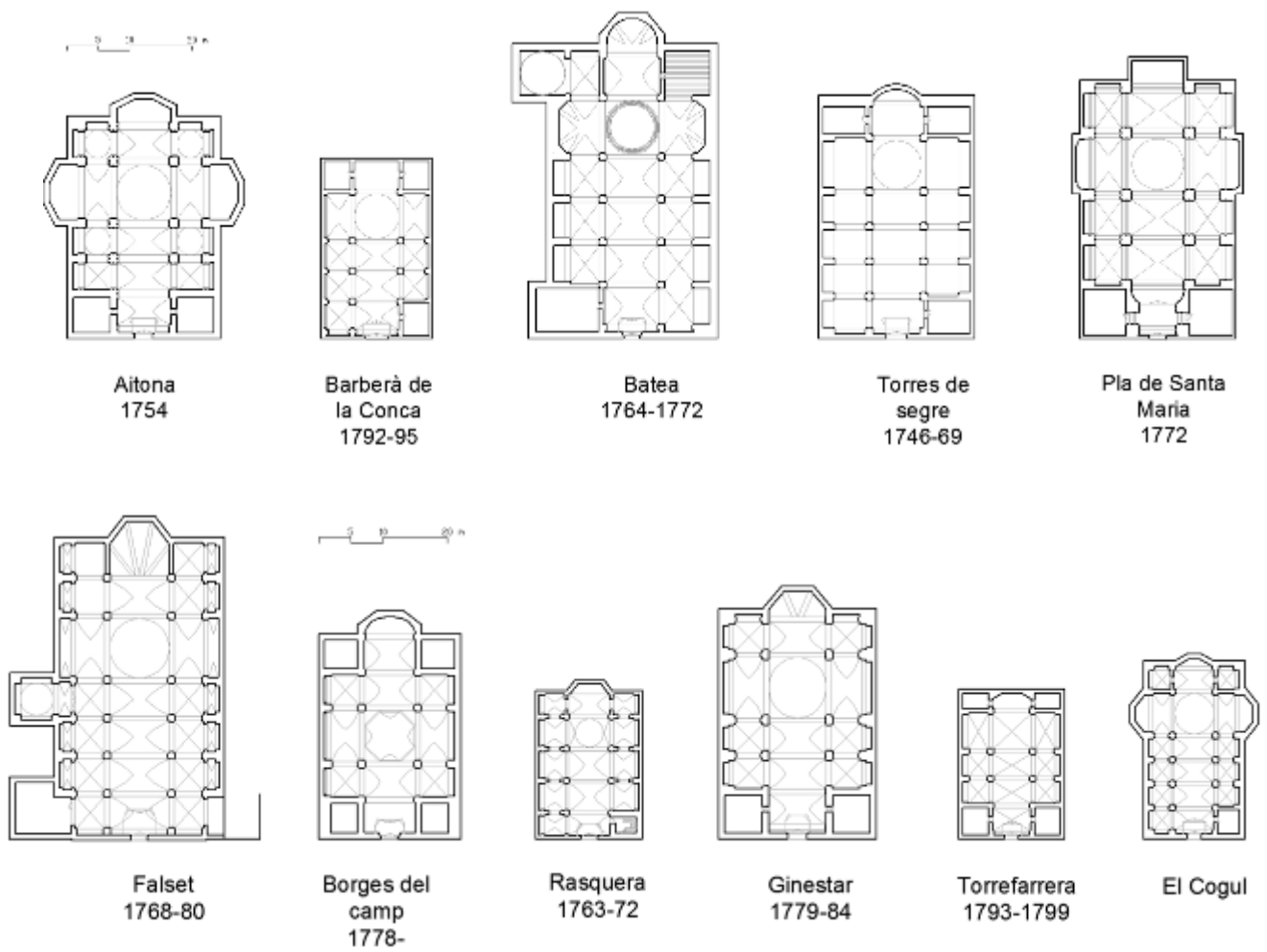


**Fig.58** Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona de tres naus, la central més elevada, i amb cúpula.

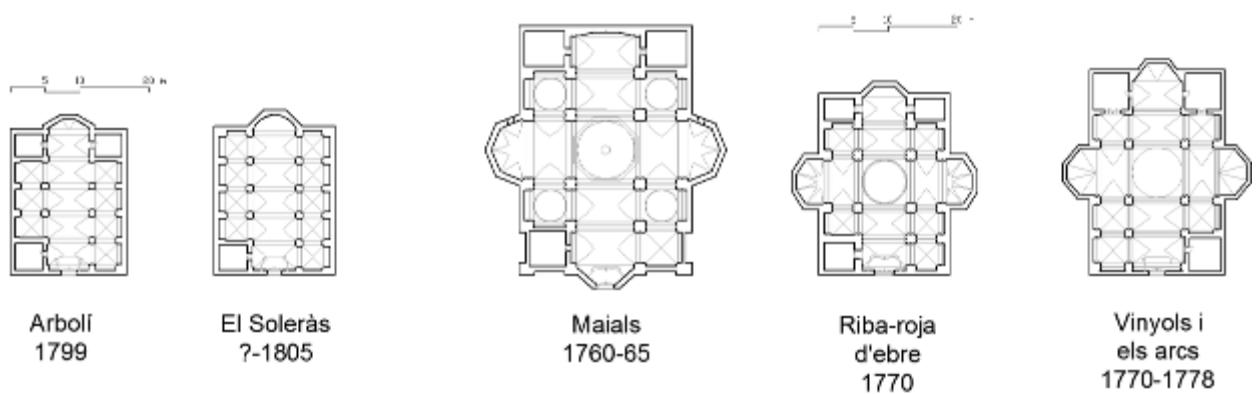




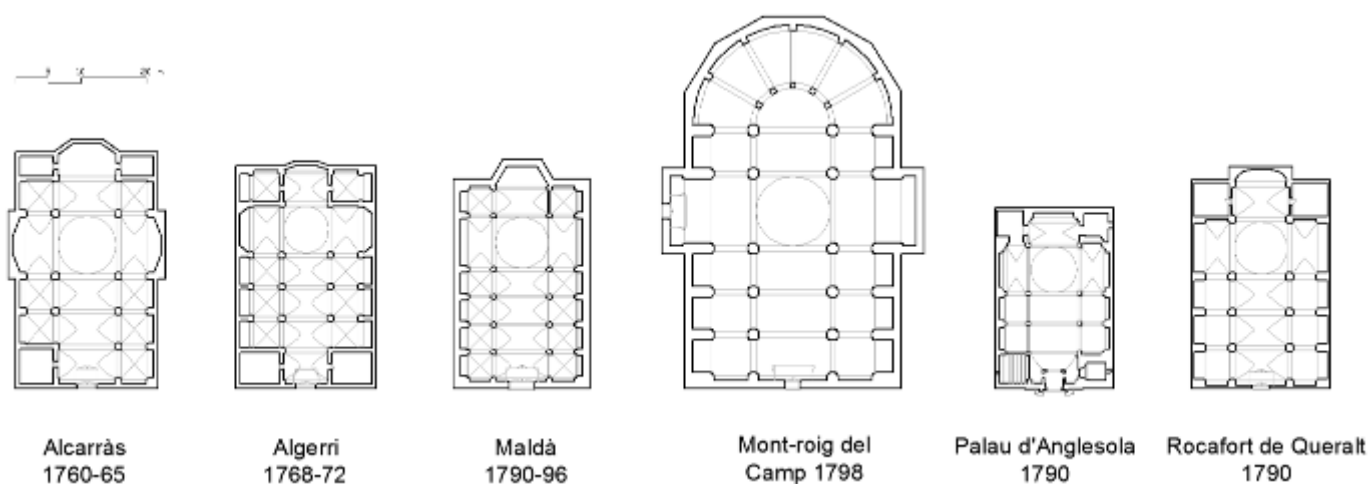
**Fig.59** Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona de tres naus, la central més elevada, i amb cúpula.



**Fig.60** Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona de saló filiació Aragó.



**Fig.61** Esquerra: Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona sense cúpula. Dreta: Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona simultànies a la construcció de la Catedral de Lleida.



**Fig.62** Esglésies del XVIII de la zona de Lleida i Tarragona amb filiació a la Catedral de Lleida i a la Universitat de Cervera.

Totes les voltes d'aquestes esglésies són de “rajola doblada” com diuen les tabes.

Les tabes han revelat que en no necessitar cintra per a la construcció de les voltes a la catalana, aquestes es construïen un cop l'església ja tenia col·locada l'estructura de la coberta i les teules. Això permetia treballar des de dins i a recer de la intempèrie, assegurant que les voltes a la catalana, molt sensibles als efectes nocius que els produeix l'aigua, es mantinguessin sempre a recer. D'altra banda els arcs havien d'estar construïts abans de rebre les voltes. L'ordre de construcció, a grans trets, era el següent:

- primer: es construïen els fonaments, els murs i els pilars,
- segon: es construïen els arcs,
- tercer: s'acabaven d'alçar els murs per tal que actuessin com a estrep allà on fos necessari,
- quart: es construïa l'estructura de la coberta i es col·locaven llates i teules al damunt,
- cinquè: es construïen les voltes,
- sisè: es realitzaven els acabats interiors.

### 3 ELEMENTS DE LES ESGLÉSIES BARROQUES CATALANES I LES SEVES RELACIONS (AMB UNA EXTENSIÓ A AMÈRICA)

#### 3.1 Les voltes de rajola doblada

Les voltes i cúpules són voltes a la catalana de dues fulles, amb uns gruixos totals de 5 cm a 7 cm aproximadament (uns 1,5-2cm de gruix per rajola). El seu pes específic<sup>52</sup> és de 0,8 kN/m<sup>2</sup>. Per fer-nos una idea, una volta de 6 m de llum per 4 m d'ample pesa tant sols 1.900 Kg.

Un cop executada la coberta, es cobria l'interior de l'església amb les voltes treballant des de dins, no calia cintra. Aquest fet demostra la rapidesa d'execució, l'amabilitat del sistema amb la resta d'obra ja executada, la seva lleugeresa, i el coneixement dels mestres de cases en el disseny de l'estructura per a aconseguir l'equilibri adequat que hauria de compensar l'empenta de les voltes.

#### *Voltes de canó amb llunetes*

Normalment es cobria la nau central i els braços del creuer amb volta de canó amb llunetes. La seva geometria està formada pel moviment directriu d'un arc de mig punt en sentit longitudinal a la nau (volta de canó), al qual s'hi insereixen les llunetes. Aquestes voltes són pròpies del Renaixement, i segons els historiadors, van ser introduïdes a Catalunya per Pere Blai i l'Escola del Camp.

Els arcs generats per un pla vertical que talla el canó longitudinalment per la imposta en cada tram són de mig punt, i la seva clau sempre està més baixa que la dels arcs faixons. En la majoria d'esglésies es compleixen les directrius que donava Fray Lorenzo de San Nicolàs per al disseny de les llunetes<sup>53</sup>, el qual recomanava que el "forat per obrir llums" tingués un radi igual a la meitat del radi de la volta de canó, aleshores la projecció de la lluneta en planta és un triangle isòsceles rectangle, en el qual els dos catets formen un angle de 45° amb la hipotenusa, que és la imposta de la volta<sup>54</sup>. Aquestes llunetes tenen molt pendent.

Segons Fray Lorenzo: " Otros traçan la luneta, formando de su ancho un quadrado y de los angulos tiran cordeles, que se cruzan por la diagonal y hasta el tocamiento que hazen en la cruz, tienden la luneta. (...) mas es de advertir, que en bobedas de medio punto sube poco esta luneta y en bobedas rebaxadas tiende

---

<sup>52</sup> FUENTES, P., IBÁÑEZ, J., FRANCO, L., PERMÁN, M., HUERTA, S., (2011). " Forma, construcción y estabilidad del cimborio de la Seo de Zaragoza". Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción.

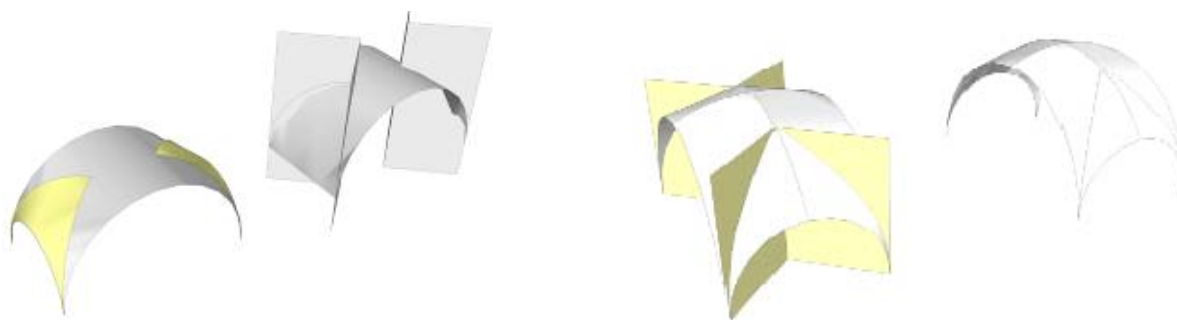
<sup>53</sup> DE SAN NICOLÁS, FL., (1639). " Arte y Uso de Arquitectura".

<sup>54</sup> CALVO LÓPEZ, J., (2000). " Lunetas y arcos avanzados. El trazado de un elemento constructivo en los siglos XVI y XVII". Actas del Tercer Congreso Nacional de la Construcción, Sevilla.

mucho.” El resultat són llunetes “capialçades”, que simplifiquen l’execució de l’aresta i tenen una superfície geomètricament poc regular, però fàcil en la pràctica de la paleta<sup>55</sup>. Sovint aquest arc lateral es peraltava, alçant-lo més i creant una lluneta més plana, altres vegades el dos catets de la lluneta s’allargaven sobre la curvatura de la volta fins a tocar gairebé la clau. (Fig.130)



**Fig. 63** Volta de canó on es formen les llunetes mitjançant plans verticals. L’arc former pot ser més o menys rebaixat, fet que genera diferents geometries de llunetes.



**Fig. 64** A l’esquerra volta de canó on es formen les llunetes mitjançant plans verticals i prenen una forma lleugerament bombada. A la dreta les llunetes gairebé arriben a la clau de la volta.



**Fig. 65** A l’esquerra (Barberà de la Conca) s’observa com la lluneta és cònica i recta. Al centre (Algerri) s’observa com la lluneta és bombada. En el cas d’Algerri (dreta) els arcs formers es troben més elevats. A la dreta llunetes de El Cogul vistes des de l’extradós, s’observa com són molt rectes i gens inclinades. Fotografies de maig, juny i juny de 2014 respectivament.

<sup>55</sup> HUERTA, S., RABASA, E., (2010). “Estereotomia y cálculo de estructuras en la reconstrucción de una bóveda del siglo XVIII”. Pazo de Antequera (A Coruña)

D'altra banda, Pere Blai, en la construcció de l'església de La Selva del Camp (1581)<sup>56</sup>, parlant de les llunetes manifesta "que la punta d'elles arriba a la tercera part de la volta llisa a punt rodó". (fig.12)

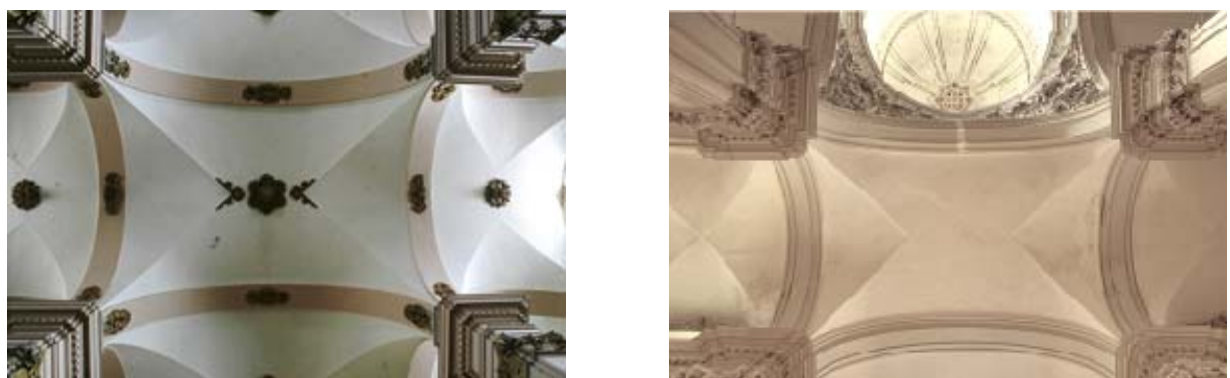
En aquest sentit, moltes de les llunetes d'aquestes esglésies segueixen la tradició del renaixement a Catalunya, impulsat per l'Escola del Camp gairebé dos segles enrere.



**Fig.66** Església de Barberà de la conca, les llunetes ocupen la tercera part de la volta. Fotografies aig de 2014.



**Fig. 67** Esquerra Aitona, agost de 2014. Dreta Algerri, juny de 2014. Les llunetes d'Algerri són lleugerament bombades, mentre que les d'Aitona no.



**Fig. 68** Batea i Alcañiz, maig de 2014 i agost de 2015 respectivament. S'observa com a Batea les puntes de les llunetes estan molt més properes, gairebé a tocar de la clau de la volta, mentre que a Alcañiz són molt més tímides.

<sup>56</sup> Taba de l'església de La Selva del Camp.



**Fig.69** A l'esquerra volta de canó amb lluntes al creuer a l'església de Calaceit, s'observa com les lluntes són molt tímides i els arcs formers molt baixos. Les lluntes gairebé no trenquen la continuïtat del canó. Al centre volta de canó amb lluntes a l'església de l'Espluga Calba. Les lluntes gairebé no trenquen la continuïtat del canó. A la dreta volta de canó amb lluntes de El Cogul, on els arcs formers estan situats una mica més alts fent que el carener de les lluntes tendeixi més cap a la horitzontalitat. Fotografies preses l'agost de 2015, el juliol de 2015 i el juny de 2014 respectivament.



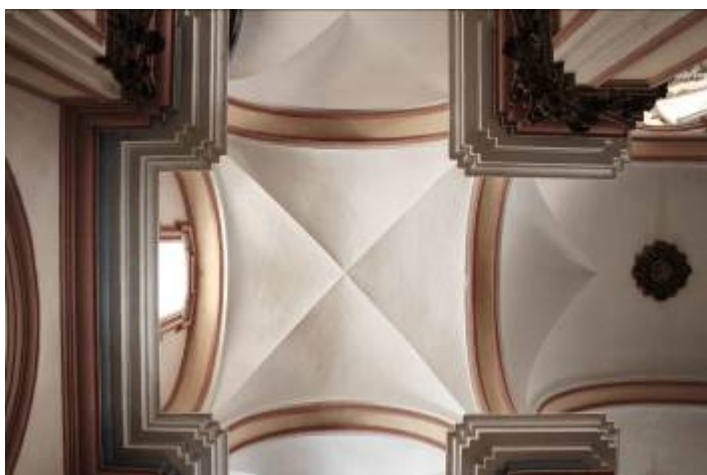
**Fig.70** volta de canó amb lluntes a l'església de Rasquera (esquerra), el juny de 2014, i a l'església de Batea., el maig de 2014. S'observen les voltes de canó amb lluntes situades també a la nau lateral, les lluntes són molt avançades i fa la impressió de voltes d'aresta.

En alguns casos a les naus laterals també hi ha voltes de canó amb lluntes col·locades en sentit transversal (Figura 70).



## *Voltes d'aresta*

Formades per la intersecció de dues voltes de canó iguals i que es creuen perpendicularment. Les línies d'intersecció o arestes són arcs d'el·lipse que es troben en el vèrtex superior. Suposada la igualtat de les voltes assecants, l'espai que cobreix una volta d'aresta és un quadrat. Es formen sobre la base d'un arc de mig punt.



**Fig. 71** Model de volta d'aresta i imatges de la volta d'aresta de l'església de la Cerollera, agost de 2015.



**Fig. 72** Volta d'aresta a les naus laterals de el Pla de Santa Maria, El Soleràs i a Palau d'Anglesola. Maig i agost de 2014.



La majoria d'esglésies es resolen amb voltes d'aresta a les naus laterals, i voltes de canó amb llunetes a les naus centrals.



**Fig. 73** Volta d'aresta a les naus laterals i de canó amb llunetes a les centrals de La Palma d'Ebre, Maldà i Vinyols i els Arcs. Octubre i maig de 2014.



En alguna casos també es combina la volta d'aresta a les naus laterals amb volta de mocador a la nau principal.

Pere Blai, al Saló Sant Jordi també va utilitzar les voltes d'aresta. I també la volta de mocador (fig.) que també servirà per a cobrir bona part d'aquestes esglésies.

**Fig. 74** Interior del Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat. En primer terme s'observa una volta d'aresta i al fons una volta de mocador.

## Volta de mocador

Resulta de seccionar l'hemisferi d'una cúpula esfèrica amb quatre plans verticals que delimiten un quadrat (o polígon) inscrit en la circumferència base d'aquest hemisferi, és a dir la base de la cúpula (Fig). Rep també el nom popular de "volta de mocador" per la seva semblança amb la forma inversa que adquireix un mocador mullat penjant dels seus vèrtexs. En alguns casos la volta queda tallada per a encaixar-la en els trams rectangulars de la nau. (Fig.129)



**Fig. 75** Model de volta de mocador (esquerra). Dreta: Volta de mocador encaixada en tram rectangular i formació de llunetes.

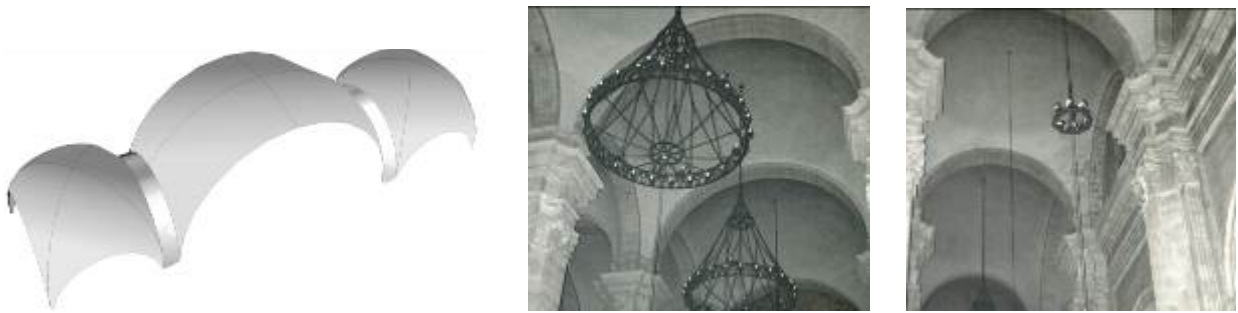


**Fig. 76** Volta de mocador per a cobrir els trams de la nau central a les esglésies de Mont-roig del Camp i Guissona. Maig de 2014 i juliol de 2015 respectivament.



Aquesta versatilitat, permet que aquest tipus de volta s'utilitzi a la zona del creuer com una cúpula (fig.130), o per a cobrir els trams de la nau (fig.131). Ja siguin els de la nau central (rectangulars) o els de les laterals (quadrats).

**Fig. 77** Volta de mocador per a cobrir el creuer de l'església de Rocafort de Queralt el maig de 2014, emprant-la com una cúpula.



**Fig. 78** Esquerra: model de nau coberta amb voltes de mocador. Dreta: voltes de mocador de la Catedral de Lleida, juliol 2015.

Les voltes de mocador, sovint fan de cúpula.



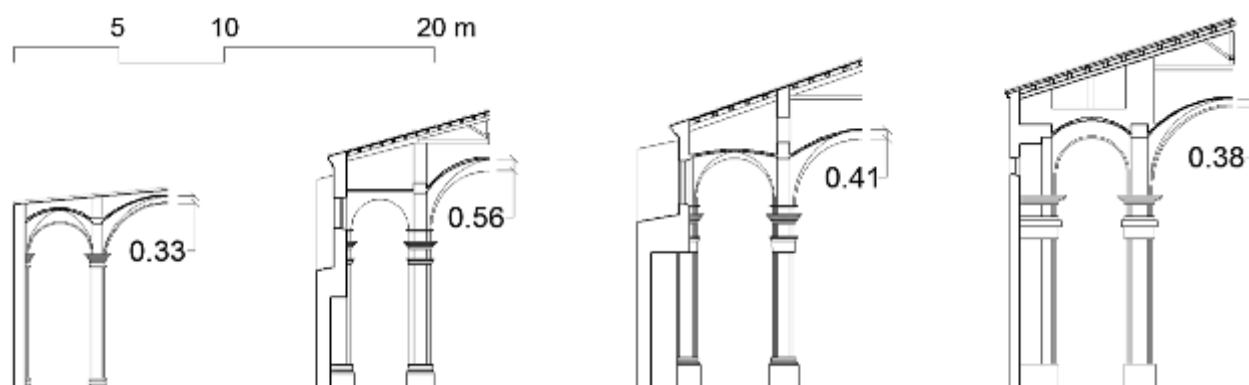
**Fig. 79** Model d'una volta de mocador fent de cúpula. Extradós de la cúpula de mocador de Granyena de Segarra, juny de 2015.



**Fig. 80** Cúpula de l'església de Palau d'Anglesola. A la dreta, cúpula de l'església de Maldà, octubre de 2014.

## Volta peraltada

En moltes d'aquestes esglésies, es produeix una combinació de volta de canó amb llunetes i volta de mocador. Són voltes de canó amb llunetes de doble curvatura. En aquestes voltes la clau central està més alta que la clau dels arcs laterals. Dit d'una altra manera, la corba de la volta té més alçada que la corresponent al semicercle, tal com passa amb les voltes de mocador. La corba de la volta està peraltada. Per tant, aquestes voltes híbrides entre una volta de mocador i una volta de canó amb llunetes, es podrien anomenar *peraltades*.



**Fig. 81** Volta de mocador a l'església de Rocafort de Queralt La volta està col·locada al creure i funciona com una cúpula. A la dreta, volta de mocador del Saló Sant Jordi.

Són voltes de geometria composta, formades per la intersecció de diverses figures senzilles o primàries però que són de doble curvatura. Son voltes de geometria com les anomenades “voltes extremenyas”:

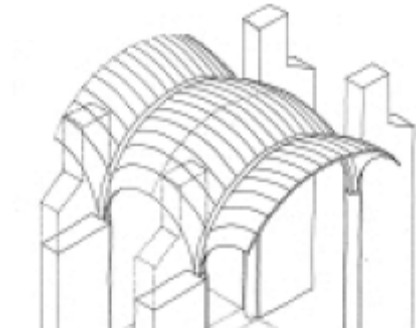
“Por lo tanto la bóveda de arista con retumbo está má pròxima a una cúpula, o una bóveda baída, que a una bóveda de arista propiamente dicha (intersección de dos bóvedas de cañón).”<sup>57</sup>

“Tales bóvedas, en lugar de ser engendradas por dos semicilindros que se encuentran en ángulo recto, están formadas por cuatro arcos de medio punto que unen los cuatro machones, y por dos arcos diagonales, también de medio punto, y en consecuencia de mayor radio que los cuatro primeros,... Así las claves de encuentro de las cimbres diagonales se encontraron situadas a un nivel mas alto que las claves de los arcos generadores..., y la bóveda quedó compuesta por unes superficies sin nombre, però se asemejaba a una cúpula”<sup>58</sup>

<sup>57</sup>FORTEA, M., LÓPEZ, V., (2001). “Bóvedas de Ladrillo”. Editorial de los Oficios SL.

<sup>58</sup>VIOLLET-LE DUC, EE., (1996). “La construcción medieval”, Madrid, Cheopu, Moptma, Instituto Juan de Herrera, p. 16-17.

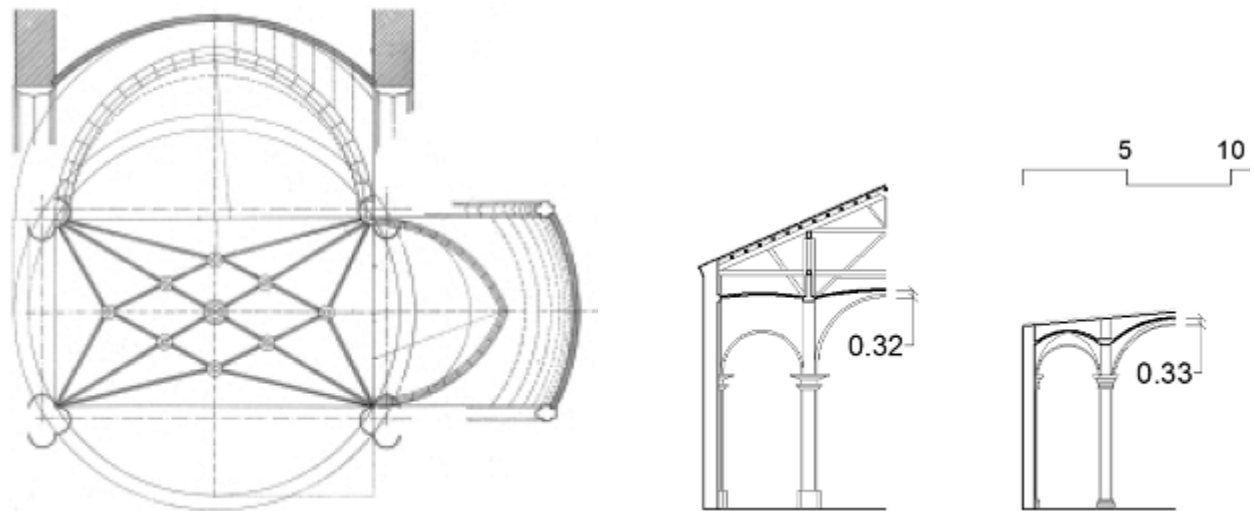
De fet, Santiago Huerta<sup>59</sup> es referix a la geometria de les voltes del gòtic tardà de la següent manera: “las bóvedas de crucería del gótico tardío español donde los nervios, muy aproximadamente, están situados sobre una semiesfera cuyo diámetro es la diagonal del tramo. Esto es, la forma es la de una bóveda vaída, obtenida por la intersección de una semiesfera con cuatro planos verticales.”. I, parlant de la simplificació del càlcul afegeix:



“ (...) podemos sustituir la bóveda real por una bóveda vaída con un espesor algo mayor (digamos un 10%) para considerar el peso de nervios y claves. (...) ”

**Fig. 150** Volta de creueria del gòtic tardà assimilada a una volta de mocador. Font: Huerta, Santiago: Arcos, bóvedas y cúpules. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan Herrera. 2004.

S’observa que el que s’ha anomenat *volta peraltada* és molt similar a una volta de creueria del gòtic tardà. La diferència és que la volta peraltada està col·locada sobre arcs de mig punt, i que les llunetes no arriben a la clau de l’arc formant una creu, sinó que queden més o menys reculades.



**Fig. 82** A l’esquerra, volta de creueria del gòtic tardà. Font: Huerta, Santiago: Arcos, bóvedas y cúpules. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Instituto Juan Herrera. 2004. (p. 483). A la dreta, secció de la Capella de la Universitat de Cervera i del Saló Sant Jordi, amb la mida de la peralta.

<sup>59</sup>HUERTA, S., (2004). “Arcos, bóvedas y cúpules. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan Herrera. p. 482.

Les voltes de creueria del Saló Sant Jordi, són perfectament assimilables a les voltes de canó amb llunetes peraltades i a les volta de mocador<sup>60</sup>, com les de la majoria de les esglésies que ens ocupen.

De fet, tal com s'ha vist, al Saló Sant Jordi Pere Bali també va construir voltes d'aresta i de mocador. Això demostra la semblança en el comportament i en la construcció d'aquestes voltes. Són voltes d'aresta que s'assemblen molt a una volta de mocador, i en aquestes esglésies poden ser de canó amb llunetes, però també amb gran semblança a les de mocador. El fet de ser voltes a la catalana i peraltades, permet als esforços trobar diversos camins, de manera que segons variïn les condicions de contorn els esforços poden arribar als pilars a través dels arcs o a través del replè dels ronyons o de diverses maneres, conferint al conjunt molta estabilitat.



**Fig. 83** Evolució de la volta peraltada de creueria sobre arcs de mig punt, cap a una volta peraltada de maó amb llunetes (permetent col·locar les llunetes a diverses alçades), fins a arribar a una volta de mocador.

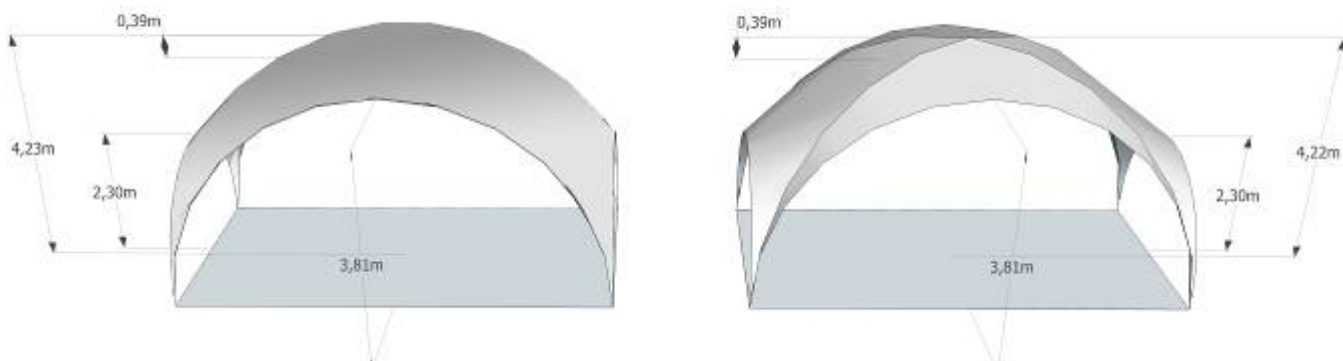


**Fig. 84** A l'esquerra, volta e creueria peraltada sobre arcs de mig punt al Saló Sant Jordi. Al centre, volta de canó amb llunetes de l'església de Barberà de la Conca, maig 2014. A la dreta, volta de mocador de Rocafort de Queralt, juliol 2015.

Les similituds de les voltes són evidents, i demostren la influència que el saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat degué exercir sobre aquests edificis malgrat estar construït un segle enrere. També ens aproxima a la hipòtesi que l'Escola del Camp de Tarragona tingué relació amb l'origen de la construcció d'aquestes esglésies en la parroquial de Calaceit.

<sup>60</sup>HUERTA, S., (2004). "Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica". Instituto Juan Herrera. p. 482.





**Fig. 85** Esquema de volta de mocador i volta de creueria peraltada.



Model. Volta de canó amb llunetes peraltada



Saló Sant Jordi



Maldà, octubre 2014.



Borges del Camp, maig 2014.



Mont-roig, maig 2014.



Calaceit, agost 2015.



La Cerollera, agost 2015.



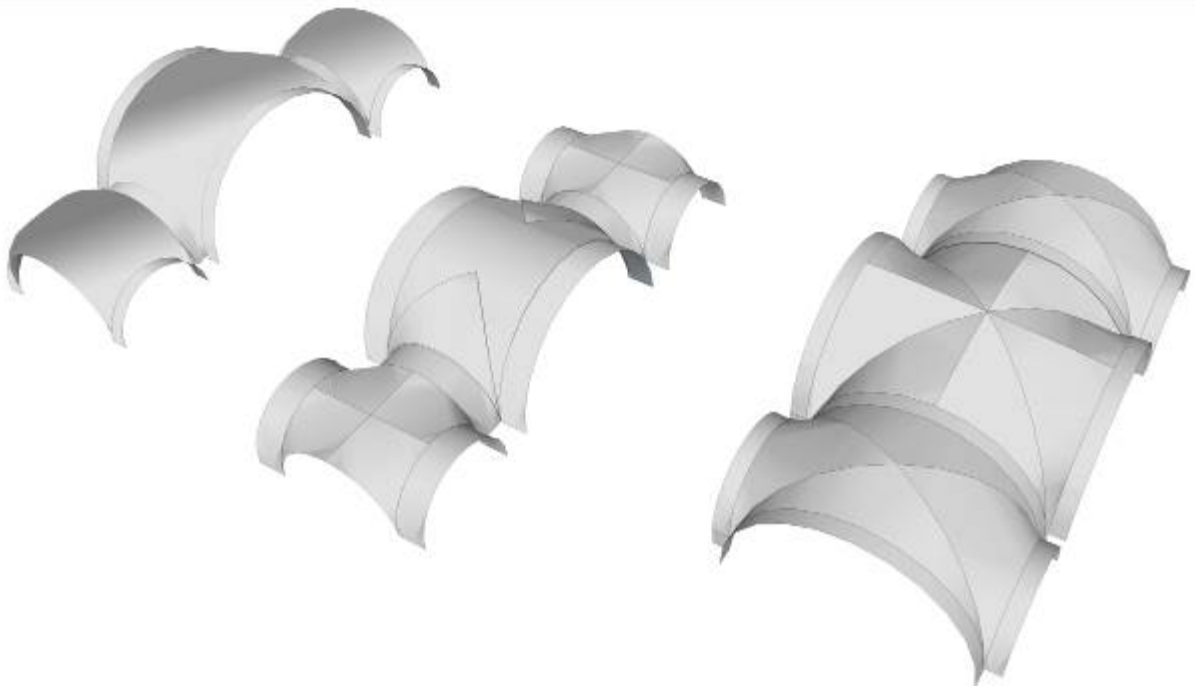
Mas de las matas, agost 2015.



Riba-roja d'Ebre, maig 2014.

**Fig. 86** A dalt a l'esquerra, model de volta de canó amb llunetes lleument peraltada. A dalt a la dreta Saló Sant Jordi del Palau de la Generalitat. Després voltes de canó amb llunetes de diverses esglésies de saló barroques.

Normalment les naus centrals, que solen ser de planta rectangular, estan cobertes amb voltes de canó amb llunetes, peraltades o no. Les naus laterals, que solen ser de planta més o menys quadrada, estan cobertes amb voltes d'aresta, peraltades o no. De vegades l'església està coberta totalment amb voltes de mocador (Catedral de Lleida, Guissona, Alcañiz, el Port de Barcelona). Les naus laterals també poden estar cobertes per una petita cúpula. Les combinacions d'aquestes voltes que cobreixen les naus de les esglésies ofereixen un ampli ventall de possibilitats.

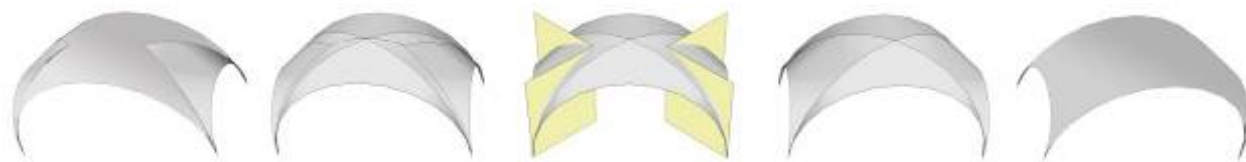


**Fig. 87** Diverses combinacions de voltes en el tram d'una nau. D'esquerra a dreta: voltes de mocador, volta de canó amb llunetes a la nau central i d'aresta a les laterals, volta de creueria a la nau central i de creueria peraltada a la laterals.



### *Funcionament estructural de les voltes*

Les voltes tenen la propietat de poder trobar diversos camins pel pas de les pressions (Heyman, 1995). Els mestres de cases ho sabien, i per això, en funció de la geometria de la volta que construïen adoptaven uns sistemes de falca o no.



**Fig.88** De dreta a esquerra: Esquema del pas d'una volta de mocador, a una volta d'aresta peraltada, a una volta de canó amb llunetes peraltada (amb les llunetes més o menys altes), i finalment a una volta convencional de canó amb llunetes.

Els mestres de cases sabien que una volta de mocador podia actuar com una cúpula, per això en el cas de voltes de mocador, sobretot quan es troben sobre bases quadrades i no rectangulars, empraven sistemes de falca com si es tractés d'una cúpula. Els mestres de cases aplicaven les regles de Fray Lorenzo per a les voltes a la catalana d'aquestes esglésies de saló.

A les voltes de canó amb llunetes el replè està situat a les cavitats conoidals que forma la volta, fins a 1/3 en la majoria dels casos. Quan la volta és de mocador s'apliquen solucions com la construcció d'envanets fins als terços de les voltes.



**Fig.89** Envanets a la Catedral de Lleida, juliol 2015, i a Rocafort de Queralt, juliol 2015.

D'altra banda els mestres de cases també sabien que les arestes són zones de concentració d'esforços i que una manera de fer encara més efectiva la seva seguretat, és regruixant-les. Per això moltes esglésies presenten un regruixat de l'extradós de les arestes.

El regruixat també pot servir per a rigiditzar les cúpules o les voltes de mocador construïdes com a closques molt fines, tal com passa a la Catedral de Lleida.



**Fig.90** El Cogul, juny 2014, i Granyena de Segarra, juny 2015.



**Fig.91** Església d'Algerri, juny 2014, i Església de Vinyols i els arcs, maig 2014, nervis de la lluneta regruixats per l'extradós.



**Fig.92** Església del Pla de Santa Maria, maig 2014, nervis regruixats per l'extradós.

Tal com afirmen Manuel Fortea i Vicente López, referint-se a les “bóvedas tabicadas extremeñas”:

“su forma de trabajar, el sistema de transmitir las fuerzas de la bóveda al muro, ofreciéndole múltiples posibilidades, pudiendo escoger la más conveniente según las cargas aplicadas y las condiciones

impuestas. (...) le confiere un coeficiente de Seguridad añadido difícil de superar, a menos que se cometa una gran barbaridad.”<sup>61</sup>

La versatilitat de les voltes de rajola doblada confereix un grau més de seguretat al conjunt estructural, oferint diverses possibilitats de recorregut a la línia d'esforços.

Algunes voltes de rajola doblada d'aquestes esglésies han estat “reforçades” amb una capa de compressió de formigó armat.

Tal com explica el professor Jose-Luis González, moltes vegades les voltes a la catalana es reforcen amb mètodes inadequats pel desconeixement que es té del seu comportament real.

L'adició del formigó representa l'afegit d'uns pesos que no són els adequats pel disseny i les dimensions d'aquests edificis, que treballen com un conjunt de pesos perfectament col·locats en equilibri.

“La conclusión no puede ser otra que las bóvedas tienen una capacidad portante que en realidad solo viene limitada por la deformación de los muros en los que están apoyados, y que son siempre superiores a las cargas reales de servicio a las que están sometidas. Quede, en consecuencia, esta ponencia como una comprobación de la inutilidad de los muchos refuerzos que se hacen en bóvedas precisamente por el hecho de conocer su capacidad portante real.”<sup>62</sup>



**Fig.93** Voltes Algerri, juny 2014, amb capa de formigó **Fig94** Voltes de Falset, juny 2014, amb una capa de compressió de formigó.

<sup>61</sup> FORTE, M., LÓPEZ, V., (2001) “Bóvedas de ladrillo. Proceso constructivo y análisis estructural de bóvedas de arista”. Editorial de los Oficios SL.

<sup>62</sup> GÓNZÁLEZ MORENO-NAVARRO, JL., (2000). “Configuración constructiva y comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas. Estudio de dos edificios abovedados del siglo XIX en el Baix Llobregat (Barcelona)”. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción.

### 3.1.1 Lesions

Es distingeixen els tres tipus d'esquerdes habituals:

#### a. *Esquerdes a la clau dels arcs faixons*

Aquestes esquerdes es poden prolongar cap a la volta si aquesta és molt solidària amb l'arc.



**Fig. 95** Interior de la nau d'Alcañiz, agost 2015. Esquerdes a la clau de l'arc que es prolonguen lleument cap a la volta.

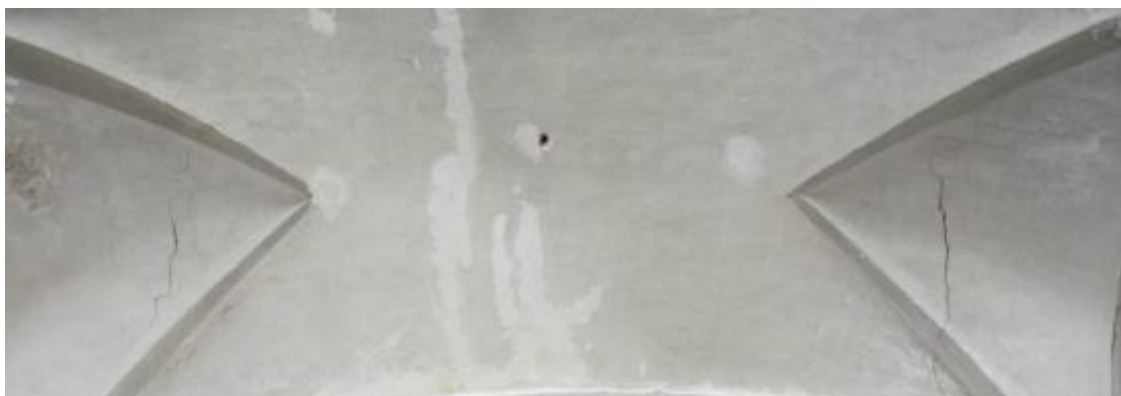


**Fig. 96** Esquerdes a la clau de l'arc que es prolonguen cap a la volta. Extradós d'Alcañiz, agost 2015 (esquerra) i de Falset, juny 2014 (dreta).

Sovint les voltes de canó són contínues o gairebé contínues per l'extradós, al llarg de tota la nau. Quedant els arcs per sota o quedant un mínim relleu superficial.

#### b. *Esquerdes a les voltes paral·leles als arcs formes (Sabouret)*

També apareixen esquerdes de Sabouret, aquestes aïllaran una porció de la volta que aleshores podrà funcionar com un arc simple que salva la llum entre cavitats contigües.



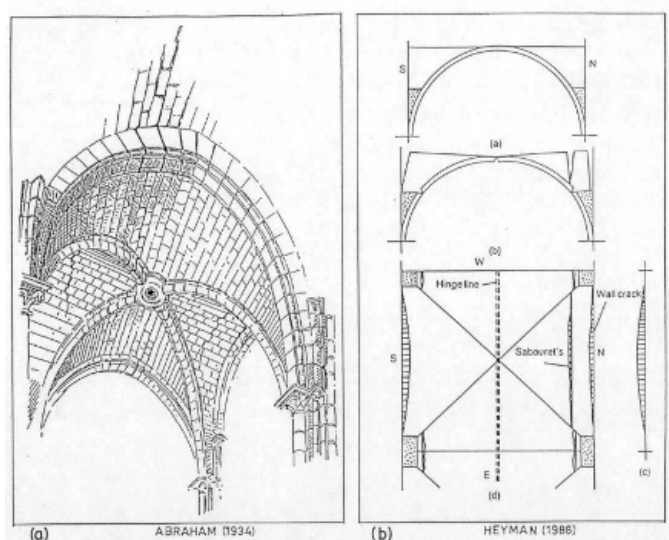
**Fig. 97** Esquerdes de Sabouret a la nau de Maldà, octubre 2014.

*c. Esquerdes paral·leles als arcs faixons però a certa distància d'ells*



**Fig. 98** Esquerdes paral·leles als arcs faixons però a certa distància d'ells a Falset, juny 2014.

Les esquerdes són de manual. A la Figura 99 es representen les esquerdes típiques en un dibuix de Pol Abraham i la interpretació de Heyman<sup>63</sup>. La Figura 100 mostra un esquema de fissures segons Barthel.<sup>64</sup>

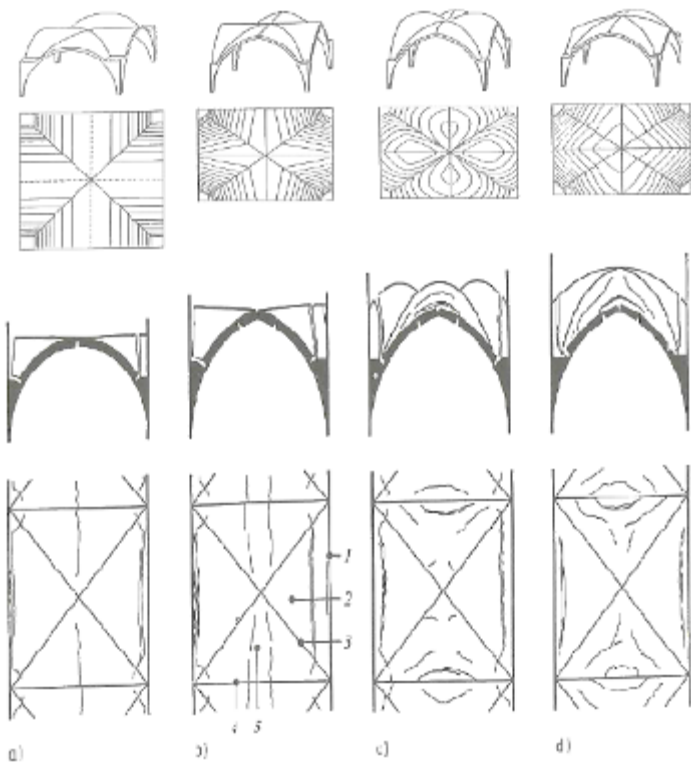


**Fig.99** Esquerdes en una volta quadripartida (Abraham, 1934). Dreta: esquerdes típiques segons Heyman.

<sup>63</sup>HUERTA, S., (2005). "Mecánica de las bóvedas de fábrica: el enfoque del equilibrio". Escuela T.S. de Arquitectura. Universidad de Madrid.

<sup>64</sup>BARTHEL, R., (1994). "Tragverhalten gemauerter Kreuzgewölbe". Aus Forschung und Lehre 34. Karlsruhe, Germany: Institut für Tragkonstruktionen





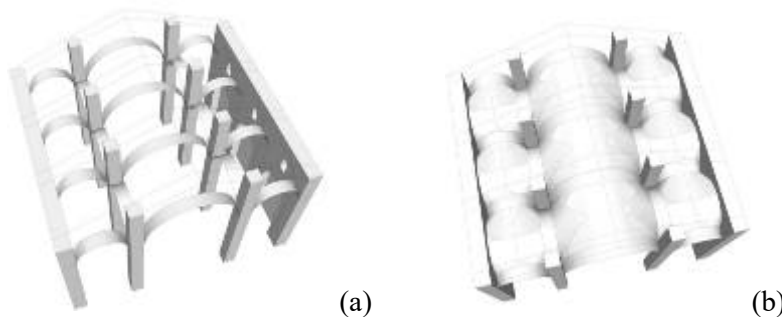
**Fig.100** Esquema de les fissures que s'observen en diferents voltes

- a. Volta formada per la intersecció de dos cilindres d'igual radi
- b. Volta formada pel creuament de dues voltes de canyó apuntat amb una llum que l'altra i amb l'aresta superior d'intersecció plana.
- c. Volta igual que l'anterior però amb curvatura de les arestes superiors.
- d. Volta cupiliforme, on la clau es troba per sobre d'arcs formers i feixons.

### 3.2 Solucions de coberta

Tal com s'ha exposat anteriorment, aquestes voltes lleugeres es construïen sense cintra i des de sota, un cop la coberta del temple ja estava executada.

Es podria parlar de dues fases estructurals en la construcció del temple (Fig.101). L'estructura (a) formada per pilars, murs, arcs i coberta, es podria anomenar *estructura primera*, ja que s'executava en una primera fase. L'estructura (b) seria la suma de l'estructura primera més les voltes, i es podria anomenar *estructura última*.



**Fig. 101** (a) Conjunt estructural d'una nau preparada per a rebre les voltes, s'ha executat tota l'estructura primària i la coberta. (b) La mateixa nau un cop executades les voltes, a les cavitats entre les voltes hi va el replè.

Per a què el sistema funcionés, calia que els pilars, els murs i els arcs suportessin adequadament l'empenta de la coberta inclinada, i després també l'empenta de les voltes. Per tant, una preocupació

constant que tenien aquests mestres de cases, era com solucionar la coberta per tal que assegurés l'equilibri dels estreps i dels pilars, i posteriorment de tot el conjunt amb les voltes.

Existeixen diverses maneres de solucionar la coberta, que responen a circumstàncies varies. Els mestres de cases construïen aquestes esglésies amb els mitjans que tenien a l'abast. Tal com s'observa a les tabes, es procurava construir les cobertes amb fusta de bona qualitat. Però aquesta fusta era molt reclamada, a l'època, per a la construcció de vaixells, i no sempre era fàcil aconseguir-la. Altres vegades l'emplaçament de l'església es trobava massa allunyat de les zones geogràfiques on es podia adquirir fusta amb facilitat. (La fusta normalment procedia de zones boscoses o del transport fluvial).

“...que hage de fer les teulades de la nau crusero teulades de mitja taronja, y capelles de fusta de la montanya”<sup>65</sup>

“...sepa el asentista que deberá construir el texado con buena madera de la que baja por el río Noguera y Segre.”

“...habiendo de ser dicha madera de buena calidad, de la que baja por el río Noguera y Segre”

“...ser dicha madera de la que baja por los ríos Segre o Noguera por ser de la mejor calidad”.

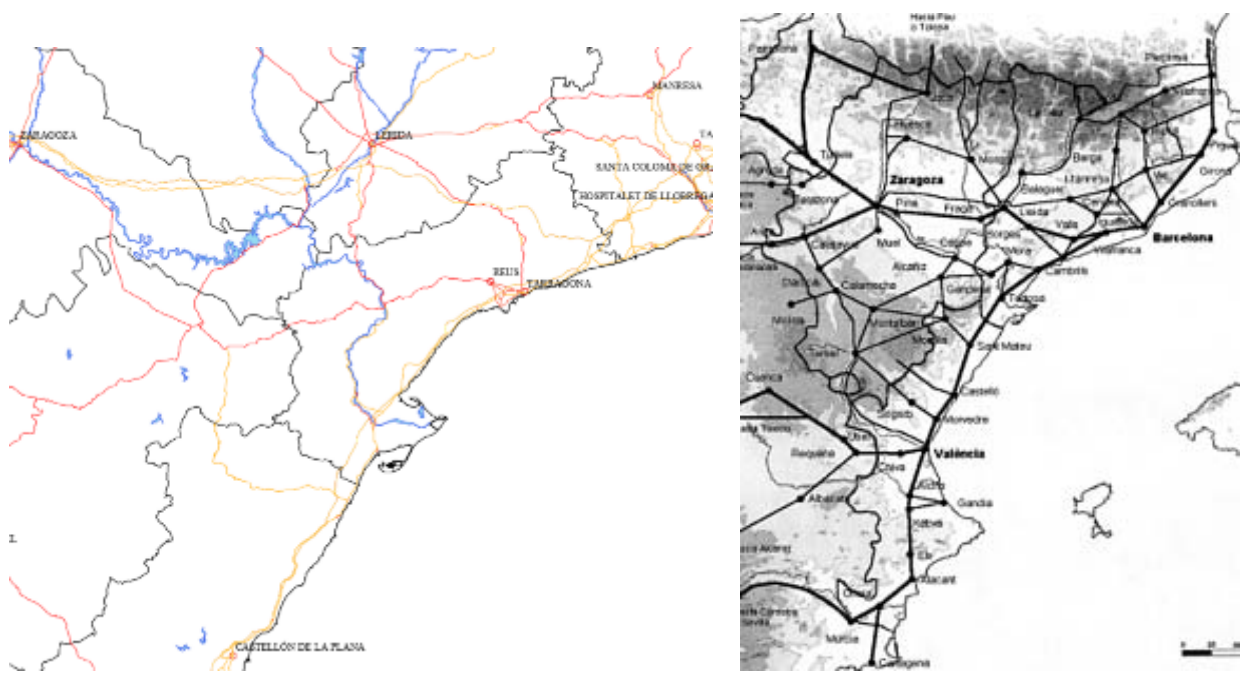
“...lo que toca la fusta, que aja de ser de la millor calitat de pi bort o melis de la que y a en dit territori, lo més lluny de cosa de una ora y mitja de distància, advertint que a de ser tallada de lluna de agost o de advent, y [a] dita fusta s'i aura de posar mà, luego, al tallar-la, perquè sia ben exuta quant se aya de esmersar en dita obra. ítem tota la fusta que-s posarà a las taulades y demás puestos se auran de treballar y pasar-les per aixà, y adresar-les les que an de estar en la mitja taronja perquè-s pujan ajustar millor en lo armament del ochavat. Lo que toca las llatas, se an de posar totas a[b] una galga, en quant a la amplària, com se acostuma, perquè vâjan los recles de la taulada drets y rectas.

A la Figura 102 es mostra el plànol de la Figura 14 sobreposat a un plànol de camins de rodes del segle XVIII.<sup>66</sup> Les esglésies es concentren majoritàriament en la zona de major confluència de camins entre Lleida i Tarragona. A la Figura 103 també s'observa com en aquest àmbit de major concentració conflueixen el pas dels rius Segre i Ebre; i les antigues vies de la corona Catalanoaragonesa.

---

<sup>65</sup> GARGANTÉ LLANES, M. (2006). “Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell”. Tesi Doctoral.

<sup>66</sup> Guia de caminos de Pedro Ponton 1705. Font: [http://www.adurcal.com/mancomunidad/guia/carreteras/historia/18\\_a.htm](http://www.adurcal.com/mancomunidad/guia/carreteras/historia/18_a.htm)



**Fig.102** A l'esquerra: Principals vies terrestres i fluvials de la zona. A la dreta: Xarxa viària de la corona Catalanoaragonesa a la Baixa Edat Mitjana. La línia gruixuda correspon a les rutes internacionals, i la línia més prima a les rutes secundàries. Font: Antoni Ribera Melis: La red viaria de la corona Catalanoaragonesa en la baja Edad Media.



**Fig.103** Superposició del plànol inicial de la Figura x sobre un plànol de camins de rodes del segle XVIII.

L'ús de la fusta no era evident, i això feia que els mestres de cases haguessin d'enginyar solucions alternatives que els aportessin resultats tant acceptables com una solució realitzada amb encavallades de fusta ben executades, i també que es plantegessin reaprofitar-la:



“...Item sapie lo impressari que serà de sa obligació lo posar la fusta faltará per las bastidas, y después de acabada la obra se lan retornará, donantli a més de aquella tota la que vuy se encuentre a dita obra de la Iglesia, y per dit fi previnguda, tornantla esta lo impressari a la mateixa obra.”<sup>67</sup>

A més, calia disposar d'un bon fuster que la sabés treballar adequadament, i calia seguir tots els passos correctes per al seu assecatge, fet que seria possible sempre que el termini de construcció de l'obra ho permetés.

Tot i així, sembla que els mestres de cases consideraven que la solució de la coberta amb encavallades de fusta era la més idònia:

“ A las teuladas seran de esta manera, enrassats los archs ab son vertent com demostra lo corte y sobre si posan unes pessas de fusta dites soleras y estas se posaran esteses des de lo mes alt fins al més baix del vessant encadenadas y clavadas a fi de resistir lo emputx de las teuladas y sobre de las soleras se clavarán los cayrats per escala, tot expressat en la traza, las teulas seran posadas de teula ple, los caps de las teulas se perfilaran, las llatas se passaran las tres caras per ribot y los cayrats per la ayxa, las soleres tingran un palm y mitg de alt y sinch quarts de ample y los cayrats seran de tres quarts en quadro. **Però si lo impressari vol cubrir las teuladas majors ab tirans y estisora com està en Porrera y altres del Priorat podrà pues es lo modo més segur** y en tal cas deurà elevar las parets y teuladas uns dos palms més y continuar las columnas per poder assentar los tirans o cavalls y no tindrà que fer ningun arch doble sinó lo del cubrir lo cascaró del presbiteri.”<sup>68</sup>

Però realment aquesta és l'opció més segura per a garantir l'equilibri estructura? La gamma de solucions que s'han trobat és molt diversa, podent-se detectar almenys 7 tipus de sota-coberta per a les esglésies de saló, que són els que tot seguit s'exposen. Les esglésies de tres naus tenen més limitada la seva diversitat en les solucions de coberta, ja que aquesta no s'acostuma a plantejar unitària. Segons Huerta:

“ (...) la obtención del equilibrio deseado mediante una adecuada colocación de elementos de contraresto (arbotantes, arcos perpiaños trasdosados con muros) y pesos muertos. Dichos pesos se van disponiendo a un lado y otro del muro de la nave, como una balaza. Muchas veces estas disposiciones están ocultas y la adecuada comprensión del sistema de equilibrio requiere visitar el bajocubierta.”<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup> GARGANTÉ LLANES, M. (2006). “Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell”. Tesi Doctoral.

<sup>68</sup> SERRA, AI., (2013). “L'església parroquial de Vilanova de Prades a final del segle XVIII: aspectes econòmics i constructius”. Aplec de Treballs (Montblanc), 31. P. 157-178. Apèndic Documental: Contracte de l'església parroquial de Vilanova de Prades.

<sup>69</sup> HUERTA, S., (2004). “Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan Herrera. P. 512.

1. Murs sobre tots els arcs

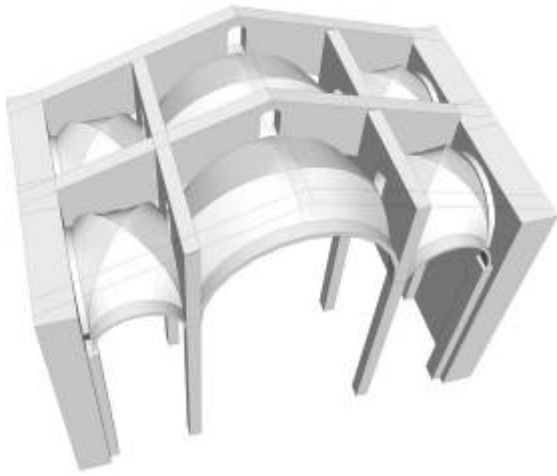


Fig.104 Sant Miquel del Port



Fig.105 Vinyols i els Arcs, maig 2014.

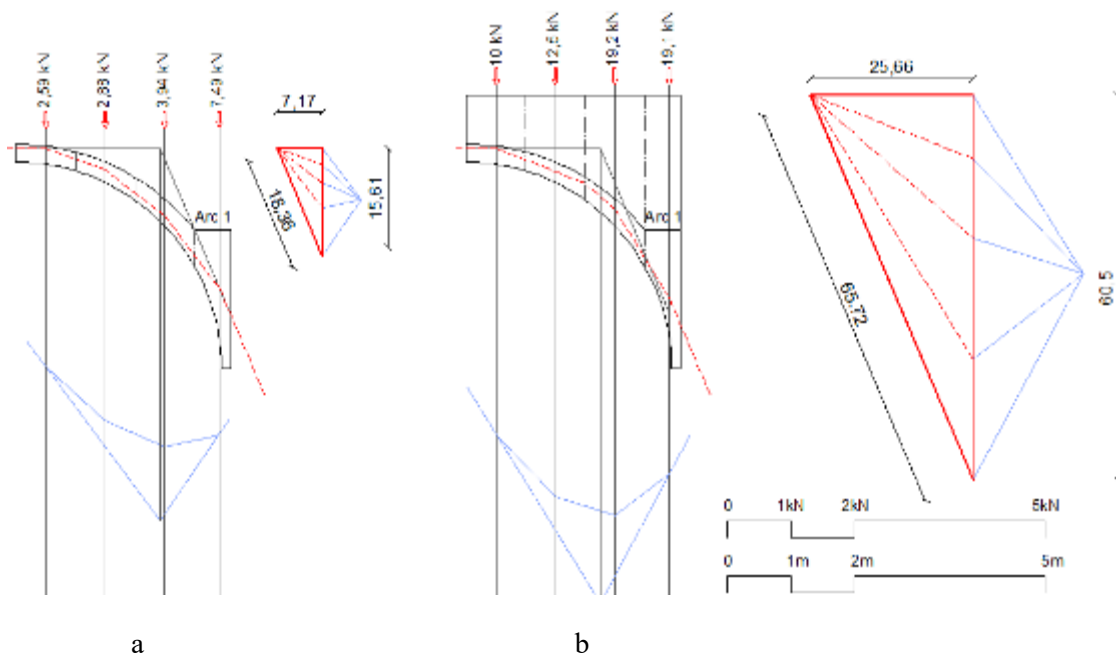
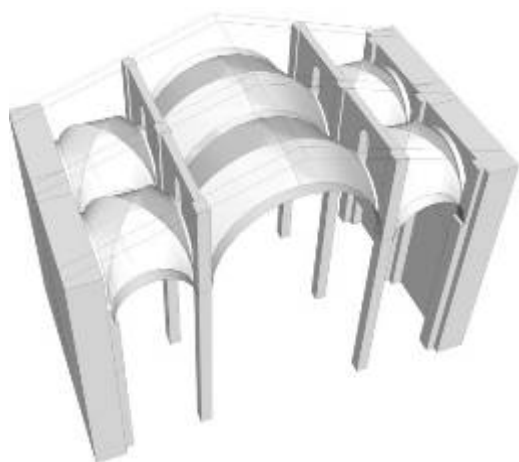


Fig.106 Arc de l'Església de Palau d'Anglesola.. Estàtica gràfica sobre el mateix arc. a) arc isolat que només aguanta el seu pes propi. b) arc carregat amb un mur.

La línia de pressions en b s'eleva i pren més inclinació a la zona dels ronyons augmentant la verticalitat. La seguretat de l'arc augmenta en b, i a mesura que la càrrega creixi la línia pot sortir de la secció de l'arc i passar pel mur, creant-se un arc de descàrrega.

## 2. Murs sobre els arcs formers



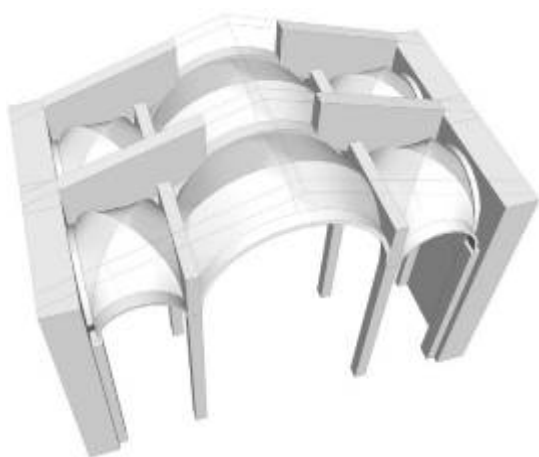
**Fig.107** Algerri, juny 2014.



**Fig.108** Barberà de la conca, maig 2014.

La major empenta de la nau central es contraresta també en aquest cas mitjançant l'increment del pes sobre els pilars centrals. En aquest cas, però, el pes s'incrementa mitjançant carregar els arcs formers. L'estructura suporta menys pes que en el cas anterior. Sobre els arcs faixons pot haver-hi o no murets que poden arribar fins a la clau dels arcs o fins els dos terços del seu extradós.

## 3. Murs sobre els arcs faixons només a les naus laterals i murets sobre els arcs formers



**Fig.109** Rasquera, juny 2014.

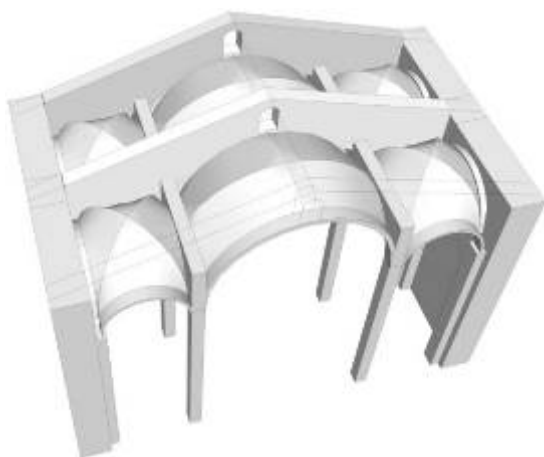


**Fig.110** Cervià de Garrigues, octubre 2014.

Aquesta és la solució aplicada a la catedral de Palma de Mallorca i la l'església de Landshut, tal com explica Santiago Huerta:

“La nave central tiene doble luz que las laterales; por tanto, el empuje de sus bóvedas será doble y, como se ha señalado, el intervalo de variación de los empujes de una bóveda gòtica es bastante estrecho. El problema se resuelve, de nuevo, disponiendo unos gruesos muros de sillería sobre los arcos perpiños de las naves laterales. Sobre el centro de estos muros carga, además, parte del peso de la enorme techumbre. Como demuestra el análisis de equilibrio de Zorn (1933), el incremento del empuje de la nave lateral puede, ahora, contrarrestar el empuje de la nave central de manera que la carga que baja por los pilares sea prácticamente vertical.”<sup>70</sup>

#### 4. Murs sobre els arcs faixons a tota l'amplada de la nau

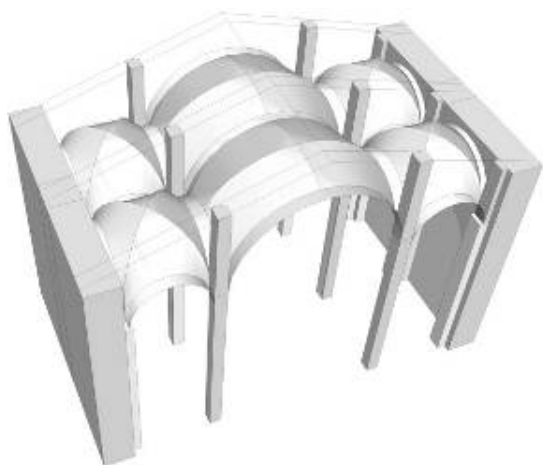


**Fig.111** Pla de Santa Maria, maig 2014.

En tots els casos 3, 4 i 5 els arcs formers poden anar carregats amb pilastres. De vegades es col·loquen pilastres per a sostenir les bigues o les encavallades de cobeta que fletxaven.

<sup>70</sup>HUERTA, S., (2004). “Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan Herrera.

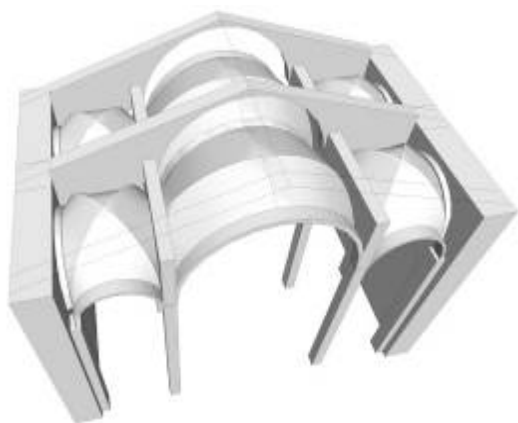
### 5. Pilastres en continuïtat amb els pilars



**Fig.112** Granyena de Segarra, juny 2015.

Aquest havia de comptar amb unes envacallades molt ben executades per a què la horitzontal actués com a tirant. L'estalvi de pedra era considerable. Els arcs tenen murets als ronyons en alçades que varien de  $\frac{1}{2}$  de l'extradós a fins a trobar la clau.

### 6. Doble entramat d'arcs



**Fig.113** Falset, juny 2014.



**Fig.114** A l'esquerra Falset. A la dreta secció de Vilareal. (J. Nadal. 1753. Font: Beatriz Saez Riquelme).



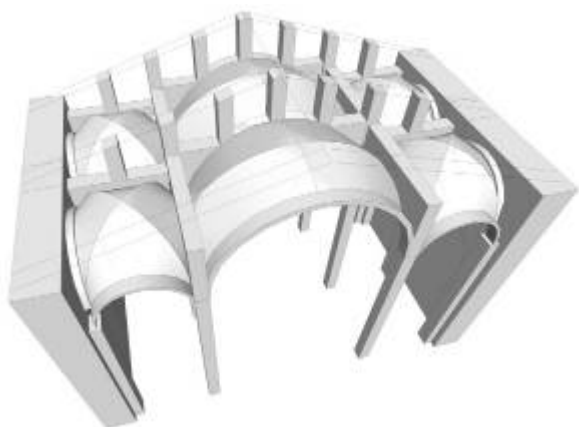
Aquesta solució possiblement s'emprava quan no hi havia possibilitat d'obtenir fusta o quan es temia per la seva durabilitat.

A la taba de Vilanova de Prades s'especifica que es construirà l'església amb doble entramada d'arcs, però que, a ser possible, es farà amb encavallades de fusta perquè assegurin que és la millor solució.

A l'església de Batea, població més allunyada dels rius Segre i Ebre, i zona gens boscosa, la taba planteja una solució com la de Falset o Vilareal:

Taba de Batea: "...Mas, concluido lo dicho y levantada la caja en la forma referida devera bolver todos los arcos de ladrillo y iesso dandoles toda la rosca que demuestra el dissenyo; y para cubrir dicha fabrica se crearan **mosaicos apuntados**, dandoles el correspondiente estribo, moviendo los anexos con las mismas zepas de los arcos de las naves levantandoles hasta la altura que necesita el texado, dandoles un tercio como demuestra el perfil. **Y los dichos arcos son a fin de escusar tixeras y mayor permanencia de dicha obra.** Y sobre dichos arcos enrasaran sus ijadas para sentar el maderaje del texado, formando en ella el vertiente de los maderos, ...".

#### 7. *Pilastres també sobre els arcs*



**Fig.115** Palau d'Anglesola



**Fig.116** Torres de Segre, maig 2014.

Aquestes diverses solucions estaven plantejades intentant aconseguir l'equilibri de forces pertinent per a assegurar l'estabilitat de l'estructura. Tot i així, l'ampli ventall d'opcions no responia tant sols a

l'optimització del funcionament estructural, sinó també a situacions conjunturals, com l'escassetat o no de fusta o la proximitat de les vies de transport de material.

D'altra banda, algunes tabes apunten que la solució d'encavallades era la considerada més segura. També les tabes de les primeres esglésies de saló, les de l'Aragó, parlen totes de construir pilastres per a sostenir la coberta. Per tant, apunten a solucions més lleugeres i resoltes amb encavallades de fusta:

“Bolteados y enrasados los referidos arcos, tendrá obligación el maestro de hazer la plantación de pilares para el cargamento de las tixeras para formar los batientes de aguas de los texados” (taba d'Alcañiz)



**Fig.117** Extradós de la Col·legiata d'Alcañiz, agost 2015. S'observen les pilastres sobre les quals recolzen les encavallades de la coberta. Aquestes encavallades tenen tornapuntes que recolzen al replè dels ronyons. Per a la formalització de la cúpula, que és una volta de mocador, es construeix una doble entramada d'arcs sobre els arcs torals.

També cal destacar que les esglésies referents en l'època construïdes per militars, com la Universitat de Cervera i la Catedral de Lleida també presenten solucions amb pilastres. (Fig.118-119) En aquests edificis, com a Alcañiz, les encavallades de fusta tenen uns tornapuntes que condueixen part dels esforços als ronyons dels arcs. O estan dotats d'uns bons tirants, com és el cas de la Catedral de Lleida.





**Fig.118** Extradós de la Universitat de Cervera, juliol 2015.



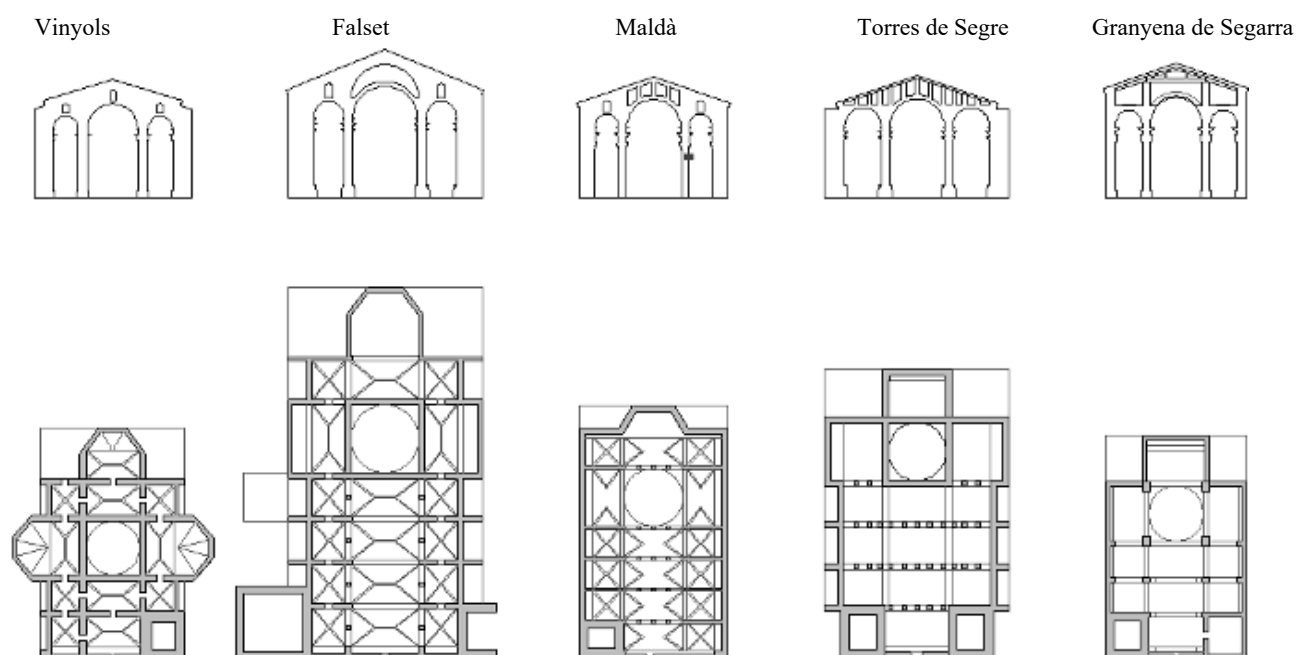
**Fig.119** Extradós de la Catedral de Lleida, juliol 2015.

El disseny de la coberta per a les esglésies de saló sembla fonamental per a la seva estabilitat. El fet de suprimir pesos morts, d'eliminar envanets que falquen, o de suprimir tirants de les encavallades, pot representar un perill per a l'estabilitat de les esglésies si no s'actua amb criteri. Cal conèixer el comportament estructural d'aquests temples per a actuar en conseqüència.

Cal tenir present que la coberta de moltes d'aquestes esglésies es troba en molt mal estat. Per tant, el primer element on s'intervindrà en cas de rehabilitació és en la substitució de la coberta. Cal dissenyar les noves cobertes d'acord amb el comportament estructural d'aquestes esglésies.

S'ha demostrat que en funció de les possibilitats d'aconseguir fusta, en funció del temps i en funció de poder treballar o no amb un bon fuster; les solucions de la coberta no sempre podien ser encavallades.

El fet de disposar de tabes (Batea) i traces (Vilareal) de l'època on apareix explicada i grafiada la solució amb arcs, posa de relleu la voluntat dels metres de cases per a no sobrecarregar excessivament l'estructura de la nau, buscant solucions alternatives a les encavallades però que evitessin excedir-se en el sobrepès.



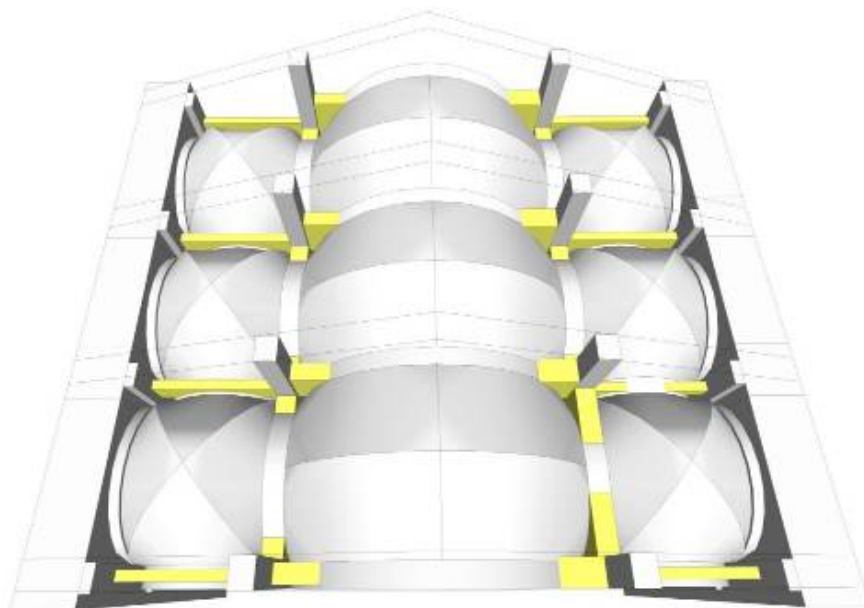
**Fig.120** Diverses solucions per al sota-coberta. Secció per la zona dels pilars i contraforts i planta sota-coberta. Des de la càrrega de tots els pilars amb murs, fins a l'ús de pilastres exemptes situades sobre els pilars i com a continuïtat d'aquests.



**Fig.121** D'esquerra a dreta: secció de Rocafort de Queralt, secció de l'església de Cinctorres i secció de Vila-real. Les seccions mostren com s'intenta no carregar excessivament l'estructura de l'església per a intentar evitar les empentes excessives.

Els mestres de cases aplicaven la teoria de Fray Lorenzo, segons el qual:

*“Conserua a un cuerpo, segon sienten los Phisicos, una mediana en el sustento; porque la abundancia la acaba, y la falta le destruye; assiento que passa en los edificios, que mucho peso, o grueso les haze abrir quiebras, y falta de grueso les hace perecer: assi, que conviene que guarde una mediana para conseruarse”*



**Fig.122** Col·locació de pesos morts en una coberta de pilastres amb encavallades.

Els arcs faixons i formers actuaven com a guia en la construcció de la volta i esdevenien estructurals quan, entrant tota l'església en càrrega, algunes parts del les voltes, per adequació de l'equilibri dels esforços, recolzaven en part sobre d'ells. Així hi ha una combinatòria de solucions d'equilibri, on per exemple, cal esperar que arcs formers i faixons puguin actuar com a suports per als casquets de les voltes de mocador, i també que les "potes" d'aquestes voltes actuïn com a conductores de les tensions fins als pilars com si es tractés d'una volta amb arestes (plecs de les llunetes o de les arestes).



**Fig.123** Rasquera, juny 2014. L'encavallada es recolza sobre els murs que hi ha damunt els arcs de les naus laterals.

En el moment de construir-se l'església, els arcs formers i faixons no sostenen el pes de les voltes (excepte en el cas de la cúpula on, hi hagi cimbori o no, els arcs torals han d'aguantar-la). En aquest inici els arcs ajuden a l'estabilitat del conjunt de murs i pilars per a sostenir la coberta d'encavallades de fusta, cabirons i llata per teula. Els arcs poden carregar part del pes de la coberta, en cas que l'equilibri global estigui pensat perquè sigui així- Un cop construïdes les voltes, però, l'equilibri de forces del conjunt pot variar, i donar-se el cas en què els arcs han d'aguantar també l'empenta de les voltes, aleshores cal que d'inici la seva dimensió i el seu disseny siguin els adients per a acomplir aquest fi.

Els arcs sovint són, tal com els mateixos mestres de cases els anomenen: "falsos arcs". Són arcs construïts amb tres voltes de rajola doblada que serveixen de guia per a la construcció de les voltes. Les voltes cavalquen sobre ells, primer sense transferir-hi esforços, però sempre podent-ho fer, i per tant, augmentant la seguretat de l'estructura, ja que s'estableixen diverses vies per on poden descendir les càrregues. Les voltes de rajola doblada permeten als esforços trobar vies alternatives segures per a arribar al terreny.

Les esquerdes també demostren el comportament versàtil d'aquestes voltes. Per exemple, les esquerdes murals i de sabouret aïllen part dels canons que funcionen aleshores com a arcs. Les vores de la volta poden considerar-se arcs bidimensionals i sovint si les esquerdes són visibles poden haver-se transformat en aquests arcs.

Perforacions en les voltes deixen intactes altres trams de volta i també els arcs i la resta de l'estructura, una perforació de la volta propera al centre d'aquesta pot ser perfectament estable, igual que si es perforen zones properes als arcs, la resta de la volta pot ser estable.



És possible que les voltes bufades o de mocador actuïn com un casquet i per tant amb comportament esfèric tridimensional, però el fet de descansar sobre una base quadrada, fa que aquest casquet cilíndric allargui els quatre extrems corresponents a un quadrat inscrit a la circumferència (que coincideixen amb l'arribada dels pilars) per a conduir les pressions fins als pilars.



**Fig.124** El Cogul, juny 2014. Amb “falços arcs” faixons.



**Fig.125** Catllar, maig 2014. Amb “falços arcs” faixons.



**Fig.126** Església de Gaià. Les voltes i els arcs són estables malgrat les perforacions.

### 3.3 Tipus, proporcions i estabilitat

Els historiadors parlen d'esglésies “d’una sola nau amb capelles laterals” <sup>(71)</sup>. Però durant l’estudi d’aquestes esglésies es nota que aquesta afirmació no és del tot precisa, podent diferenciar-se clarament dos subtipus dins el tipus d'esglésies “d’una sola nau amb capelles laterals”.

A les filiacions que s’han exposat, ja es detecten els dos subtipus. Així, a Cornudella de Montsant (Fig.1), al Jesús (Fig.2), a la Selva del Camp (Fig.5), i a l’església de la Ciutadella (Fig. 7), s’evidencia l’existència d’una nau central més elevada, i que als laterals d’aquesta nau hi ha capelles, que poden estar o no comunicades entre si. En cas d’haver-hi comunicació, aquesta s’efectua a través d’un petit pas, de dimensions similars a un pas de porta.

En canvi, a l’església estreta del tractat de Fray Lorenzo de San Nicolás (Fig.4), sembla que aquestes “capelles laterals comunicades entre si” esdevenen naus laterals més baixes, ja que la comunicació entre elles és a través d’un espai més ample i gairebé tant alt com l’alçada de la capella lateral. Això es fa encara més evident a l’església de Santa Maria de l’Alba, de Fra Josep de la Concepció (Fig.3).

S’obtenen dos grups clarament diferenciats:

- Esglésies de tres naus amb la nau central més elevada i amb capelles laterals.
- Esglésies de tres naus amb la nau central més elevada i naus laterals més baixes.

La diferència entre *capelles laterals* i *naus laterals* és la següent:

*Capella lateral*: Espai situat entre murs, que s’estén al llarg dels laterals de la nau central d’una església.

*Nau lateral*: Espai situat entre arcs, que s’estén al llarg dels laterals de la nau central d’una església.

La Figura 127 mostra la planta i la secció per l’estrep de diverses esglésies de tres naus amb la nau central més elevada i capelles laterals més baixes. S’observa com l’estructura disposa d’uns estreps molt generosos per sostenir l’empenta de les voltes de rajola doblada.

La Figura 128 mostra més esglésies del mateix tipus, però en aquests casos les capelles estan comunicades entre si per un pas de dimensions reduïdes. Per tant, es pot considerar que segueixen sent *capelles laterals*.

A la Figura 129, esglésies de tres naus amb la nau central més elevada i naus laterals més baixes. En aquests casos la comunicació entre les naus laterals s’efectua a través d’un pas molt generós que permet una relació visual completa de la longitud de tota la crugia. Per això són *naus laterals* i no pas *capelles*.

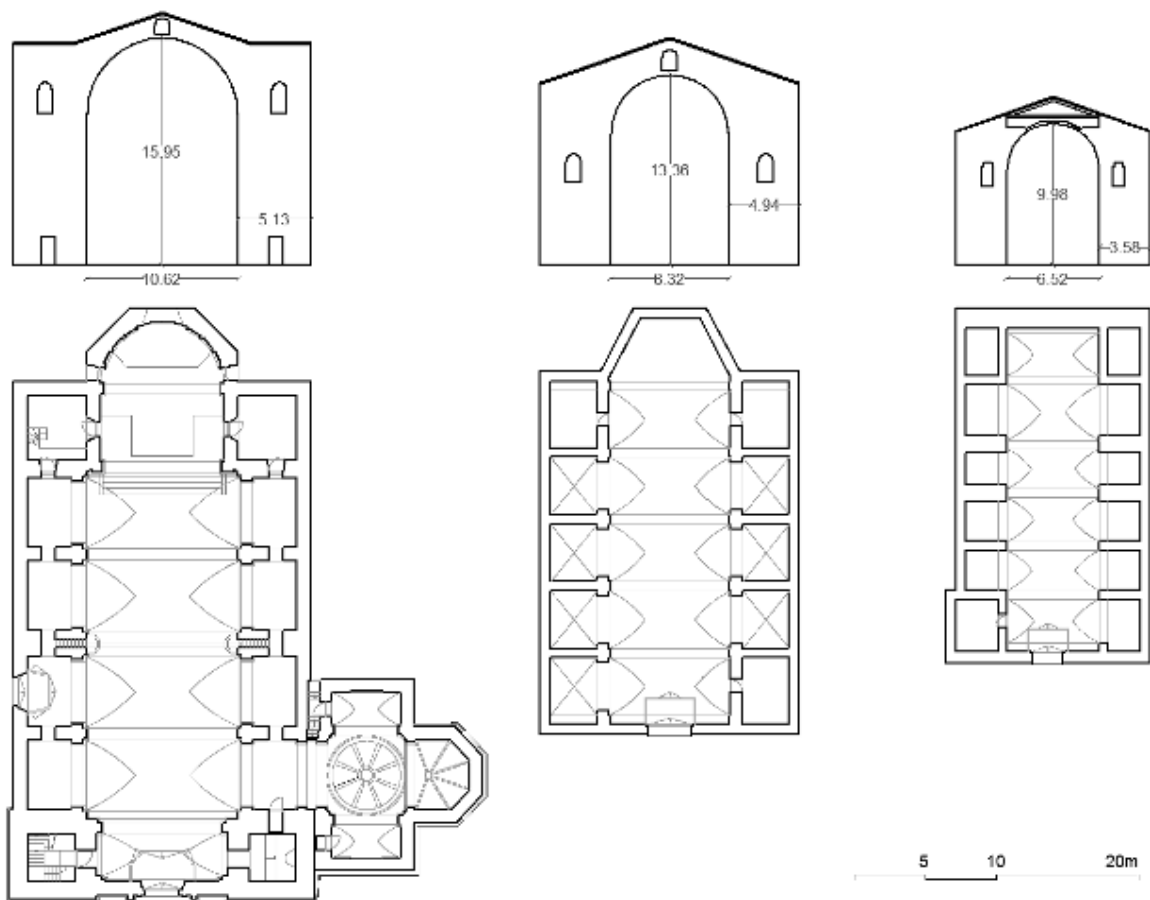
---

<sup>71</sup>GARGANTÉ LLANES, M. (2006). “Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l’Urgell”. Tesi Doctoral. p. 124

- Reben il·luminació a través dels murs que s'alcen sobre la nau central.
- Als laterals hi ha "capelles". Això és petites estances d'alçada molt inferior a la nau principal, cobertes generalment amb una volta d'aresta, situades entre murs i que s'obren cap a la nau central a través d'un arc.
- L'amplada dels estreps és de l'ordre de 3,00 a 6,00.
- Les capelles poden estar comunicades entre si a través d'un pas de les dimensions d'una porta.

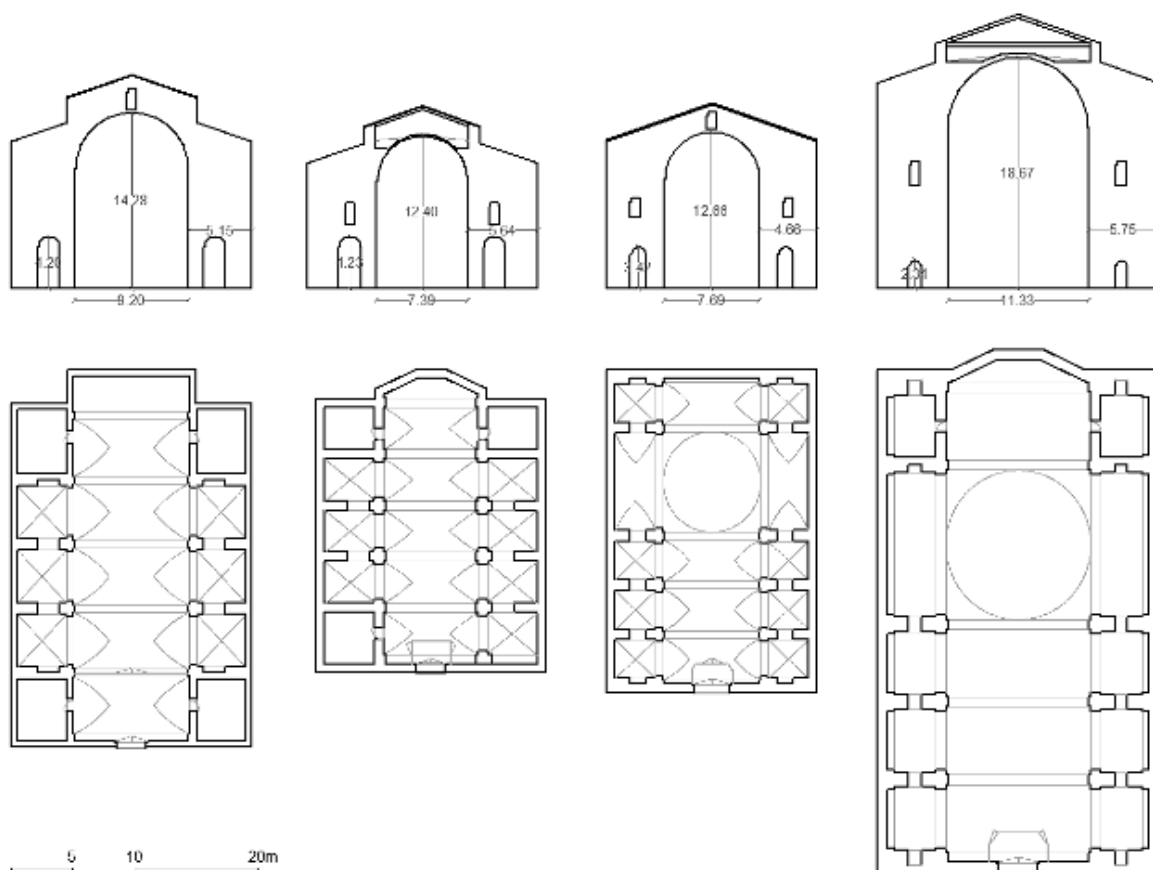
- Reben il·luminació a través dels murs que s'alcen sobre la nau central.
- Als laterals hi ha "naus". Aquestes naus són més baixes que la nau central, però es tracta se'ns dubte de "naus" ja que són espais que s'estenen al llarg dels laterals de les esglésies, entre rengleres d'arcades.
- L'amplada dels estreps és de l'ordre de 1,30 a 2,90.
- Hi ha continuïtat espacial al llarg de la concatenació d'arcs i voltes.

**Taula 5** Diferències entre les *capelles laterals* i les *naus laterals*.

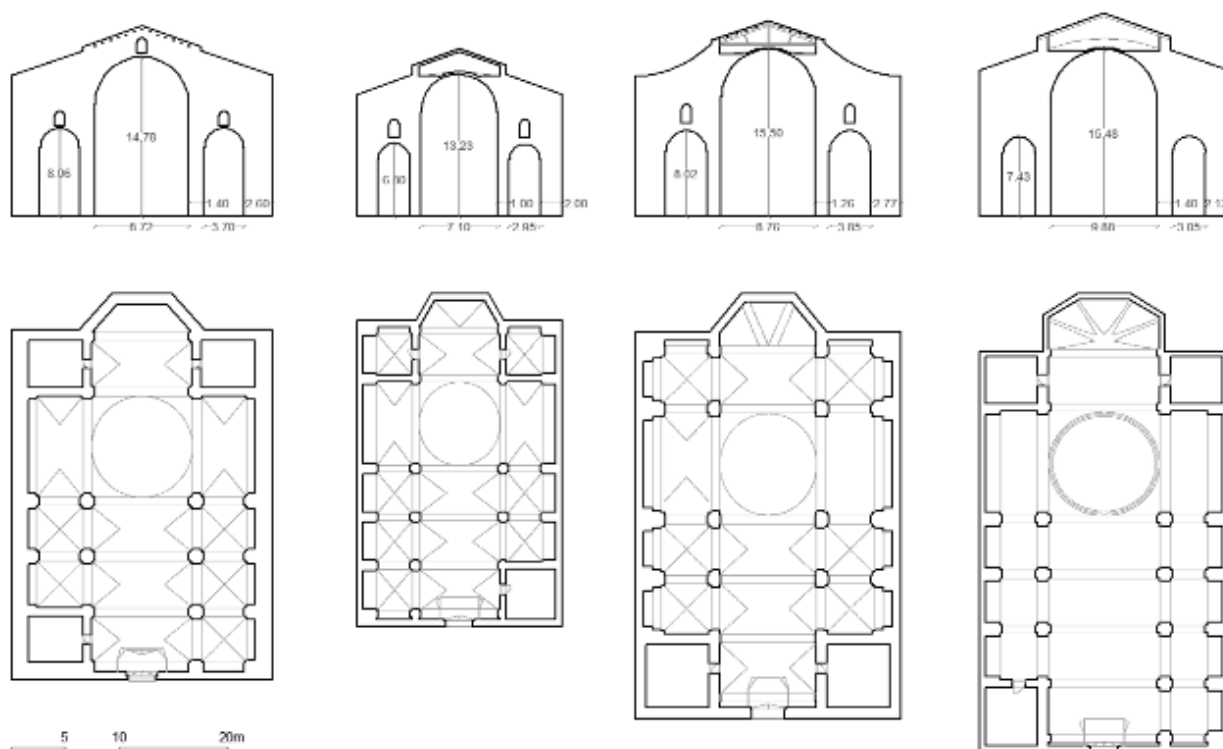


**Fig.127** D'esquerra a dreta: Cornudella de Montsant, Artesa de Lleida, Rocafort de Vallbona.



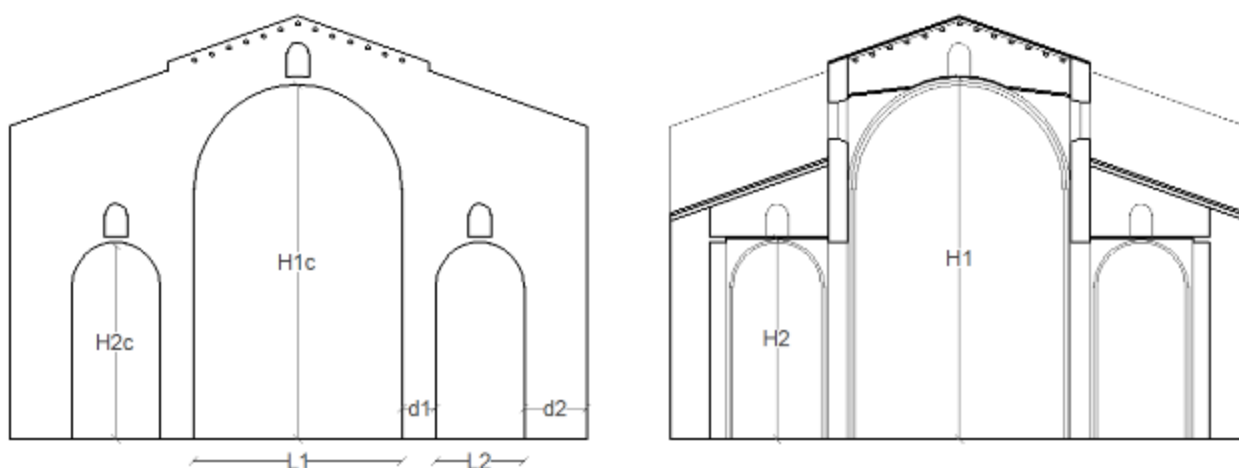


**Fig.128** D'esquerra a dreta: Solivella (1780), el Rourell (1777), Passanant (1778), Les Borges Blanques (1757)



**Fig.129** D'esquerra a dreta: Seròs (1745), Capçanes (1797), Ginestar (1784), Vilallonga del Camp (1795)

S'estableixen les mesures bàsiques per a les esglésies de tres naus, amb capelles o naus laterals:

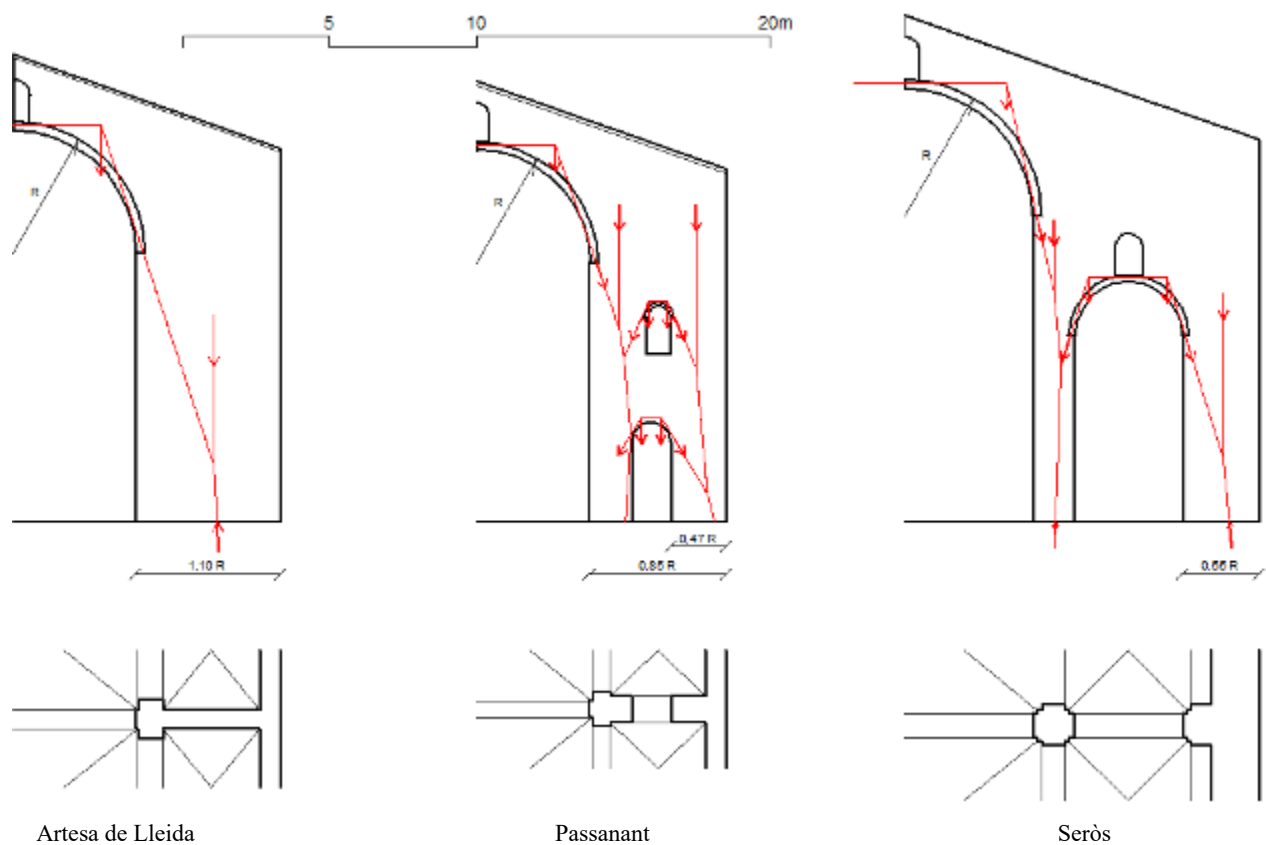


**Fig.130** Paràmetres

S'estableixen les mesures bàsiques per a les esglésies de tres naus, això és l'alçada de la nau central (H1), l'alçada de la nau lateral o capelles (H2), alçada dels arcs faixons de la nau central H1c, alçada dels arcs faixons de les naus laterals (H2c), l'alçada de la cúpula (HC) si n'hi ha, la llum de la nau central (L1), la llum de la nau lateral (L2), el gruix dels pilars centrals (d1) i el gruix dels estreps (d2). (Fig.56)

En el cas de capelles laterals, d1 i d2 són el mateix.

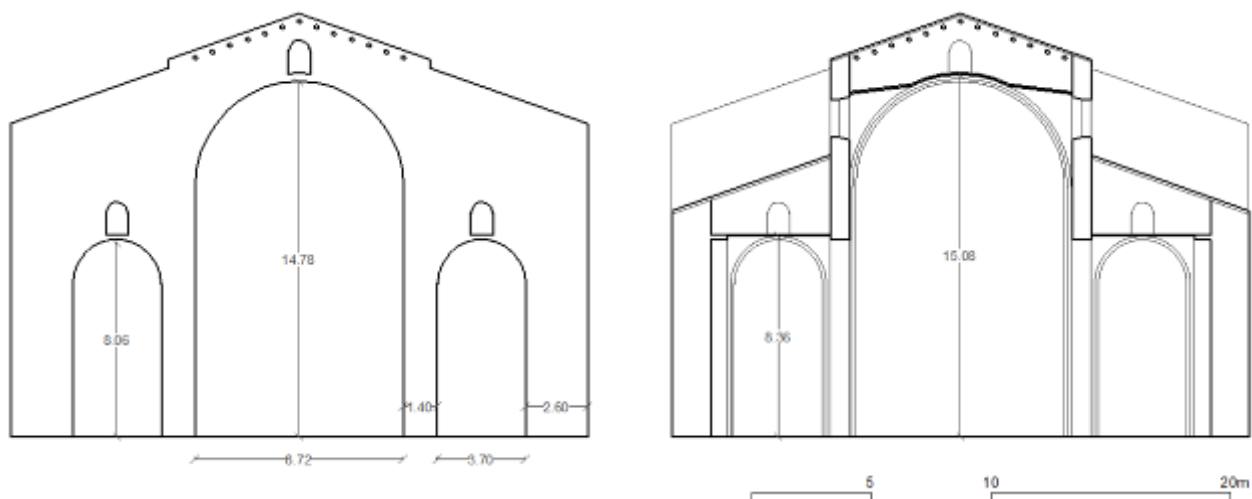
La Figura 28 mostra la possible evolució del tipus, des d'una església de tres naus amb la nau central més elevada i capelles laterals sense comunicació entre si (Artesa de Lleida), començant a "trencar" els murs que separen les capelles mitjançant l'obertura de passos entre elles, encara que de reduïdes dimensions (Passanant); fins a arribar al tipus de nau central més elevada i naus laterals, on la concatenació d'espais és del tot diàfana (Seròs), sense arribar a ser una església de saló.



**Fig.131** D'esquerra a dreta: Possible evolució del tipus, del pas de l'església d'una nau central més elevada i capelles laterals (Artesa de Lleida i Passanant 1778), al pas d'una església d'una nau central més elevada i capelles laterals (Seròs 1745). Les esvelteses dels elements estructurals de suport cada vegada són majors.

L'església de Seròs és clarament d'una nau central més elevada amb capelles laterals més baixes. Tot i així, la historiadora Maria Garganté afirma que "la construcció de la nova església de Seròs (1745) suposa la introducció de la planta de saló setcentista a Catalunya. Seròs serà el primer d'una sèrie d'esglésies ubicades a la zona del Pla de Lleida, limítrof amb terres aragoneses, i que adoptaran l'esquema o tipologia de les hallenkirchen per tal de configurar el seu espai."<sup>72</sup>

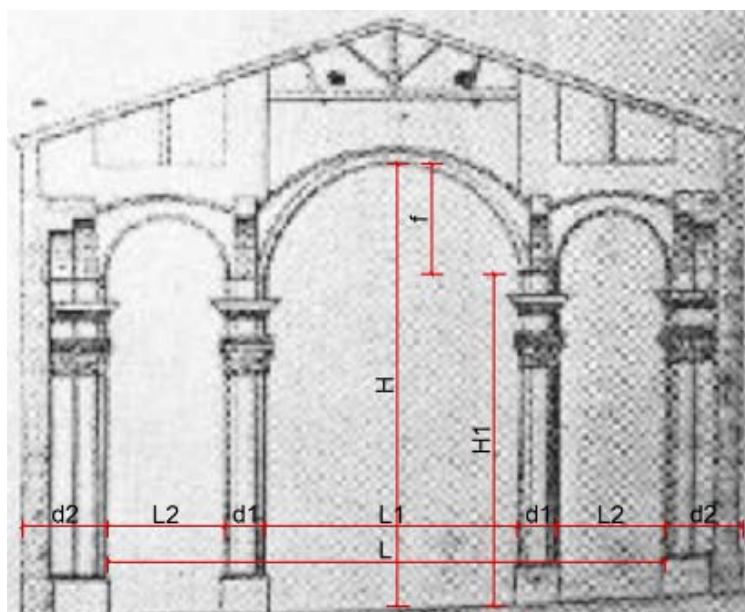
<sup>72</sup>GARGANTÉ LLANES, M., (2008). "La planta de saló a la Segarra: de la capella de la Universitat de Cervera a la irradiació de la catedral de Lleida". Miscel·lània Cerverina 18, 11-54.



**Fig.132** Seccions de l'Església de Seròs. A la dreta s'observa com es tracta d'una església d'una nau central més elevada i naus laterals més baixes.

Malgrat la cohabitació de les variants del tipus al llarg del segle XVIII, si que es pot afirmar que sorgeix el tipus saló a partir de la segona meitat del segle. Es tracta del model de tres naus de gairebé la mateixa alçada, amb il·luminació de tot l'espai a través de les obertures situades sobre els murs del perímetre exterior de les naus laterals. El model de *saló* s'imposa a la zona de lleida i tarragona a partir de la segona meitat del segle XVIII.

S'estableixen les mesures bàsiques per a les esglésies de saló, això és l'alçada de la nau central ( $H_1$ ), l'alçada de la nau lateral ( $H_2$ ), l'alçada de la cúpula ( $H_C$ ), la llum de la nau central ( $L_1$ ), la llum de la nau lateral ( $L_2$ ), el gruix dels pilars centrals ( $d_1$ ) i el gruix dels estreps ( $d_2$ ).



**Fig.133** Paràmetres de les esglésies a comparar grafats sobre la traça del XVIII de l'església de Rocafort de Queralt.

	<b>Tipus de volta</b>	<b>Estrep necessari</b>
<b>Fray Lorenzo</b>	Tabicada sense contraforts	L/5
	Tabicada amb contraforts (mur)	L/8
	Tabicada amb contraforts (contrafort)	L/4
<b>Renart</b>	Mig punt amb llunetes	L/11

**Taula 6** Relació llum/gruix de l'estrep segons Fray Lorenzo i segons Renart

<b>Església</b>	<b>Tipus de volta</b>	<b>Estrep</b>
Palau d'Anglesola	Mocador i mig punt amb llunetes	L/11
Maldà	Mig punt amb llunetes	L/8
Falset	Mig punt amb llunetes	L/7
Rocafort de Queralt	Mocador i mig punt amb llunetes	L/6
Borges del Camp	Mig punt amb llunetes	L/6

**Taula 7** Relació llum/gruix de l'estrep de diverses esglésies ade saló analitzades

	<b>Tipus de volta</b>	<b>Estrep necessari</b>
<b>Fray Lorenzo</b>	sense contraforts	L/5
	amb contraforts (mur)	L/8
	amb contraforts (contrafort)	L/4

	<b>Tipus de volta</b>	<b>Estrep necessari</b>
<b>Renart</b>	mig punt sense llunetes	L/10
	mig punt amb llunetes	L/11
	rebaixada (f=L/6) sense llunetes	L/9
	rebaixada (f=L/6) amb llunetes	L/10
	mitja taronja de mig punt	L/10
	mitja taronja rebaixada	L/9
	volta de mocador i d'aresta	L/10
	esquifada de mig punt amb llunetes	L/12
	esquifada rebaixada	L/9
	esquifada rebaixada amb llunetes	L/11
	el·líptica rebaixada (f=L/7)	L/12

Les esglésies de tres naus presenten relacions llum/gruix de l'estrep més conservadores que no pas les esglésies de saló.

Les esglésies de tres naus amb nau central més elevada i capelles laterals, tenen relacions llum/estrep més conservadores que les que tenen naus laterals.

Les esglésies de tres naus presenten proporcions assimilables a les proposades per Fray Llorenzo, fins i tot, en cas de disposar de capelles laterals, encara més conservadores.

Les esglésies de saló, presneten relacions assimilables a les que estableix Renart. Fins i tot Renart encara assumeix un grau d'esveltesa superior. L'església de Palau d'Anglesola és la que es troba al límit de la relació, complint L/11 que estipulava Renart.

Les esglésies de saló estan dins la mitjana de L/6. Mentre que les de tres naus amb la nau central més elevada i capelles laterals estan a L/2. I les que tenen naus laterals el promig és L/4

	Any	H1	H2	H1c	H2c	L1	L2	d1	d2	d2/(L1)	
Omellons	175?	11,28	6	11,18	5,85	5,85	2,13	0,9	0,98	0,17	proporció 1/6
Vallmoll	1771-75	14,23	6,88	14,23	6,48	8,91	2,38	1,1	1,7	0,19	proporció 1/5
Vilall. Del Camp	1795-?	16,43	8,38	15,48	7,43	9,88	3,05	1,4	2,12	0,21	
Alcoletge	1763-67	11,5	5,52	11,4	5,42	6,39	2,65	1,09	1,45	0,23	
Cervià de G.		13,89	7,68	13,67	6,7	7,27	2,68	1,26	1,74	0,24	
Almatret	1753-58	9,9	4,88	9,73	4,29	5,92	2,49	0,94	1,43	0,24	
Juneda	1740-47	13,23	7	13,1	6,66	7,49	3,51	1,32	1,85	0,25	proporció 1/4
Granyena G	1763-82	10,91	6,16			6,15	3,37	1,11	1,54	0,25	
Granyena de G.	1782	10,92	6,16	10,78	6	6,15	3,37	1,14	1,54	0,25	
Albi	1746	14,79	6	14,59	5,29	8,45	2,06	1,48	2,13	0,25	
Alcanó	1752-57	10,66	4,53	10,51	4,36	6	2,49	1,01	1,52	0,25	
Poboleda	1750-73	15,98	5,97	15,98	5,4	9,39	2,97	1,26	2,42	0,26	
Vilella Baixa	1780	11,22	5,4	11	4,92	6,1	1,99	1,07	1,64	0,27	
Albagés	1746-52	11,42	6	11,24	5,91	5,92	2,96	0,92	1,64	0,28	
Capçanes	1791-97	13,43	7	13,23	6,8	7,1	2,95	1	2	0,28	
Catllar, el	1776-90	15,88	6,7	15,68		9	2,25	2	2,54	0,28	
Capafonts	1793	12,94	5,58	12,82	5,46	6,82	2,16	1,26	1,93	0,28	
Lloar, el	1777-80	10,99	5,73	10,79	4,96	5,91	1,86	1,15	1,7	0,29	
Seròs	1735-45	15,08	8,36	14,78	8,06	8,72	3,7	1,4	2,6	0,30	
Ginestar	1779-84	15,6	8,4	15,5	8,02	8,76	3,85	1,26	2,77	0,32	proporció 1/3
Saral	1748-57	17,21	8,32	17,11		11,79			4,1	0,35	
Cornudella		16,18	8,74			11,08			5,13	0,46	
Llardecans	1766-76	13,38	6,83	13,18	6,63	7	3	1,57	3,3	0,47	
Borges Bl.	1752-57	19	7,93	18,67		11,33			5,75	0,51	proporció 1/2
Rocafort V	1775-?	10,15	5,21	9,98		6,52			3,58	0,55	
Solivella	1780	14,38	7,83	14,28		9,2			5,15	0,56	
Artesa de Lleida		13,58	5,73	13,36		8,32			4,94	0,59	
Arbeca	1686	16	7,97	15,27		10,57			6,31	0,60	
Passanant	1770-78	12,85	5,68	12,66		7,69			4,66	0,61	
Juncosa G.	1746-49	11,25	5,65	11,06		6,76			4,25	0,63	
P. Cérvoles		11,9	5	11,54		6,9			4,57	0,66	
Castelldans		8,53	5,23	8,35		5,71			3,9	0,68	
Puigverd de Lleida		11,4	6,16	11,3	3,25	7			4,81	0,69	
Aspà	1746-52	11,38	6	11,18		6,47			4,5	0,70	
Alió	1760-67	14,12	5,97	14		7,6			5,55	0,73	
Puigròs		9,85	5,21	9,67		5,66			4,25	0,75	
Rourell, el	1777-?	12,5	5,12	12,4		7,39			5,64	0,76	

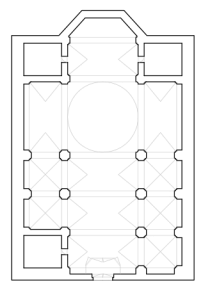
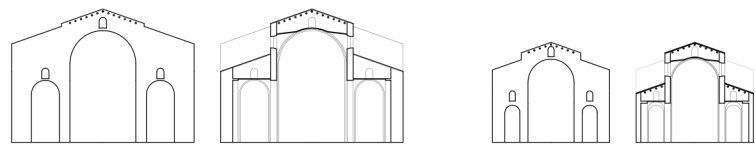
**Taula8** Esglésies de tres naus amb la nau central més elevada i capelles laterals (requadre blau) o naus laterals (requadre vermell).

	Any	H1	H2	HC	L1	L2	d1	d2	d1/L1	
Palau Angl.	1790-1802	12,2	10,79	13,75	7,14	2,95	0,66	1,94	0,09	relació 1/11
Capella st Jordi	1597-1619	8,88	7,9	13,25	6,08	3	0,61	0,67	0,10	relació 1/10
Coves de Vinromà	1774-93	14,06	12,12		7,99	4,12	0,81	2,65	0,10	
Vilar de Canes	1781-86	9,28	7,9		5,65	2,75	0,6	1,56	0,11	relació 1/9
Portell de Morella	1742-50	10,25	8,93		5,93	2,57	0,65	2,07	0,11	
Maldà	1790-96	13,27	11,32	15,63	7,59	3,31	0,91	2,15	0,12	relació 1/8
Univ. Cervera	1750-62	10,2	8,49	14,51	6,62	3,73	0,81	0,92	0,12	
Falset	1774-80	15,08	12,97	21,99	8,78	4,1	1,19	3,51	0,14	relació 1/7
Corbera	1780-1827	16,2	14,3		8,4	4,6	1,15	3	0,14	
La Palma d'Ebre		14,67	12,45	23,42	7,35	3,48	1,01	2,65	0,14	
Alcarràs	1760-65	14,9	12,75	22,54	8,4	3,73	1,16	1,81	0,14	
Culla	?-1781	7,97	6,98		5,31	2,13	0,75	0,8	0,14	
Rasquera	1763-72	11,71	10,3	13,05	6	3,02	0,85	1,45	0,14	
La Sorollera	1734	10,17	9		5,41	2,93	0,77	1,75	0,14	
Castell de Cabres	1750-63	9,14	8,39		5,51	3,57	0,79	1,02	0,14	
Montàn	1781-87	11,61	10,95		5,88	2,72	0,85	2,59	0,14	
Biosca	17??	12,61	10,81		6,5	2,45	0,94	1,2	0,14	
Batea	1764-72	16,68	15,45	26,43	8,24	4,37	1,2	4,01	0,15	
Guissona	1776-97	16	13,79		8,28	3,94	1,22	1,52	0,15	
Vilafranca del Cid	1773-94	8,07	7,25		4,41	1,97	0,65	1	0,15	
Sant Vicenç de Pedrahi	1770-81	12,01	10,05		6,44	2,55	0,95	2,24	0,15	
Alguaire	1774-83	13,38	11,5		8	4,23	1,24	3,05	0,16	relació 1/6
Cinctorres	1763-82	17,49	15,4		8,96	4,38	1,4	3,12	0,16	
Roc. Queralt	1792-98	13,5	12,01	15,26	7,62	3,38	1,2	2,18	0,16	
Algerri	1768-72	11,97	11	15,86	6,4	3,65	1,01	2,79	0,16	promig 0,17
Borges del C.	1777-86	14,55	12,2	21,56	7,48	3,92	1,2	2,17	0,16	s'acosta a 1/6
Sudanell		12	10,54	19,27	6,85	3,15	1,11	2,63	0,16	
Vinaròs	1780-99	8,77	7,66		4,75	2,42	0,77	1,55	0,16	
Torres de S.	1749-59	13,29	12,14	20,55	7,4	4,9	1,2	2,7	0,16	
Montroig d Camp	1798-?	17,94	15,4	29,38	10,4	5,13	1,7	4,47	0,16	
Granyena S.	1786-	13,53	11,79	15,34	6,97	3,56	1,14	1,39	0,16	
Esplugua Calba	1772	13,49	12	19,74	7,38	3,35	1,24	2,19	0,17	
Mas de las Matas		15,61	13,76		8,55	4,42	1,44	2,95	0,17	
Càlig	1773-85	12,37	10,69		6,15	2,85	1,07	2,05	0,17	
Soleràs, el	?-1805	12,31	10,79		6	2,84	1,07	1,83	0,18	
Arbolí	1799	11,19	9,83		5,8	2,9	1,04	1,57	0,18	
Vilareal	1752-54/1765	24,27	22,31		11,22	7,15	2,02	6,05	0,18	
Suera	1773-97	13,44	11,96		6,48	3,37	1,18	1,89	0,18	
Barb. Conca	1792-96	11,51	10,19	13,8	6,48	3,28	1,2	1,17	0,19	
Torrefarrera	1796-99	10,44	9,1	11,5	5,53	2,77	1,03	1,64	0,19	
Aitona	1745-54	14,52	12,81	24,43	8,15	3,61	1,53	3,04	0,19	
Cogul, el		11	9,8	14,78	5,64	2,21	1,06	1,78	0,19	
Vinyols	1761-72	12,69	10,95	18,63	6,85	3,4	1,3	2,54	0,19	
Ribesalbes	1766-81	11,6	10,12		5,75	2,37	1,1	1,4	0,19	
Tivissa	1773	10,95	9,36	16,57	6,05	2,99	1,16	1,91	0,19	
Calaceit	1734	16,55	14,1		8,81	3,91	1,72	4,9	0,20	relació 1/5
Quart de les Valls	1776-95	14,06	12,58		7,51	2,32	1,47	1,35	0,20	
Alcañiz		23	21		10	7,11	2	6,62	0,20	
Maials	1760-65	15	13,31	23,96	8,15	4,36	1,76	2,33	0,22	
Pla Sta Maria	1773-79	15,74	14,27	23,72	8,26	3,99	1,8	2,98	0,22	
Benifarló de Valls	1773/68-90	14,12	12,19		6,83	3,08	1,5	2,58	0,22	
Catedral de lleida		21,2	19,55	23,75	9,99	6,57	2,23	7,25	0,22	
Riba Roja	?-1770	12,02	10,6	19,99	6,13	2,98	1,5	1,96	0,24	
Vallat	1753-?	9,91	8,69		4,3	2,47	1,07	1,11	0,25	relació 1/4
el Port Barcelona	1753-55	10,41	9,73	14,65	5,91	4,04	1,63	1,45	0,28	

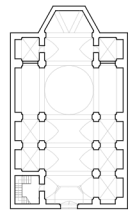
**Taula 9** Esglésies de saló. Relació de paràmetres. En requadre negre les esglésies analitzades més endavant. En groc les esglésies d'Aragó, en salmó, les esglésies del País Valencià.



### **3.4 Classificació de les esglésies segons el tipus i la solució de coberta**

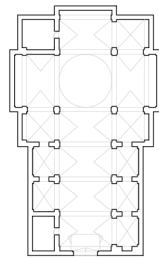
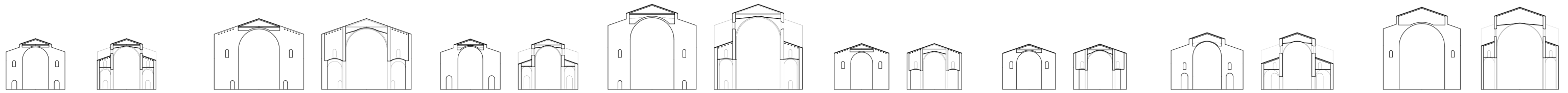


Seròs  
1745

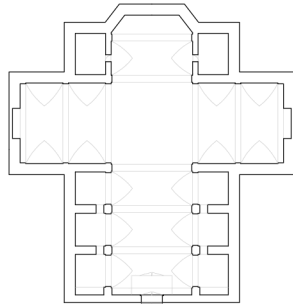


La Vilella Baixa  
1780

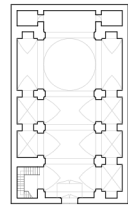
NAUS LATERALS 01.2  
Murs sobre nau central i laterals  
e: 1:1000



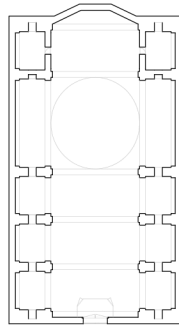
Juncosa de  
les Garrigues  
1746-49



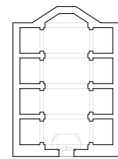
Arbeca  
1686



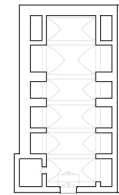
Aspa  
1746



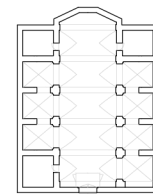
Les Borges  
Blanques  
1752-57



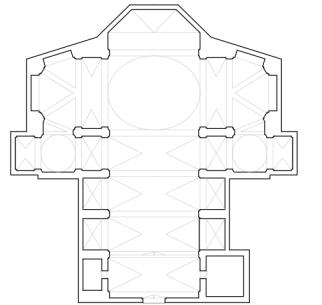
Puigròs



Rocafort  
de  
Vallbona

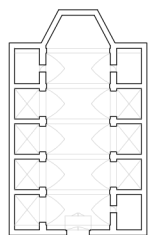
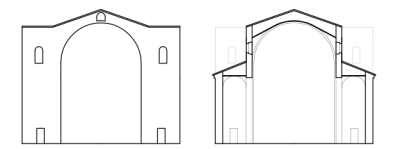
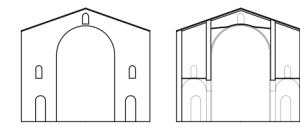
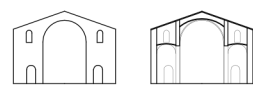
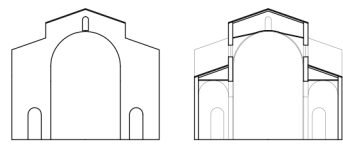
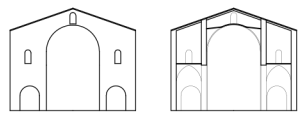
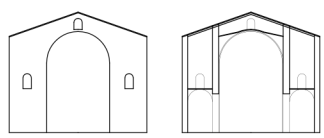


el Rourell  
1777

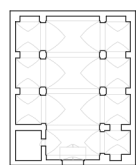


Sarral  
1750

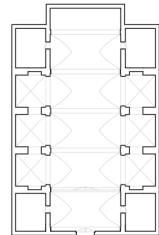
CAPELLES LATERALS 02.1  
Murs sobre capelles i nau central lliure  
e: 1:1000



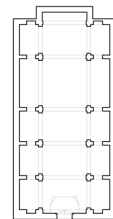
Artesa de  
lleida



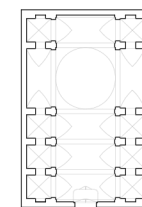
Puigverd  
de lleida



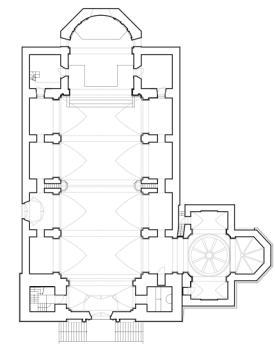
Solivella  
1780



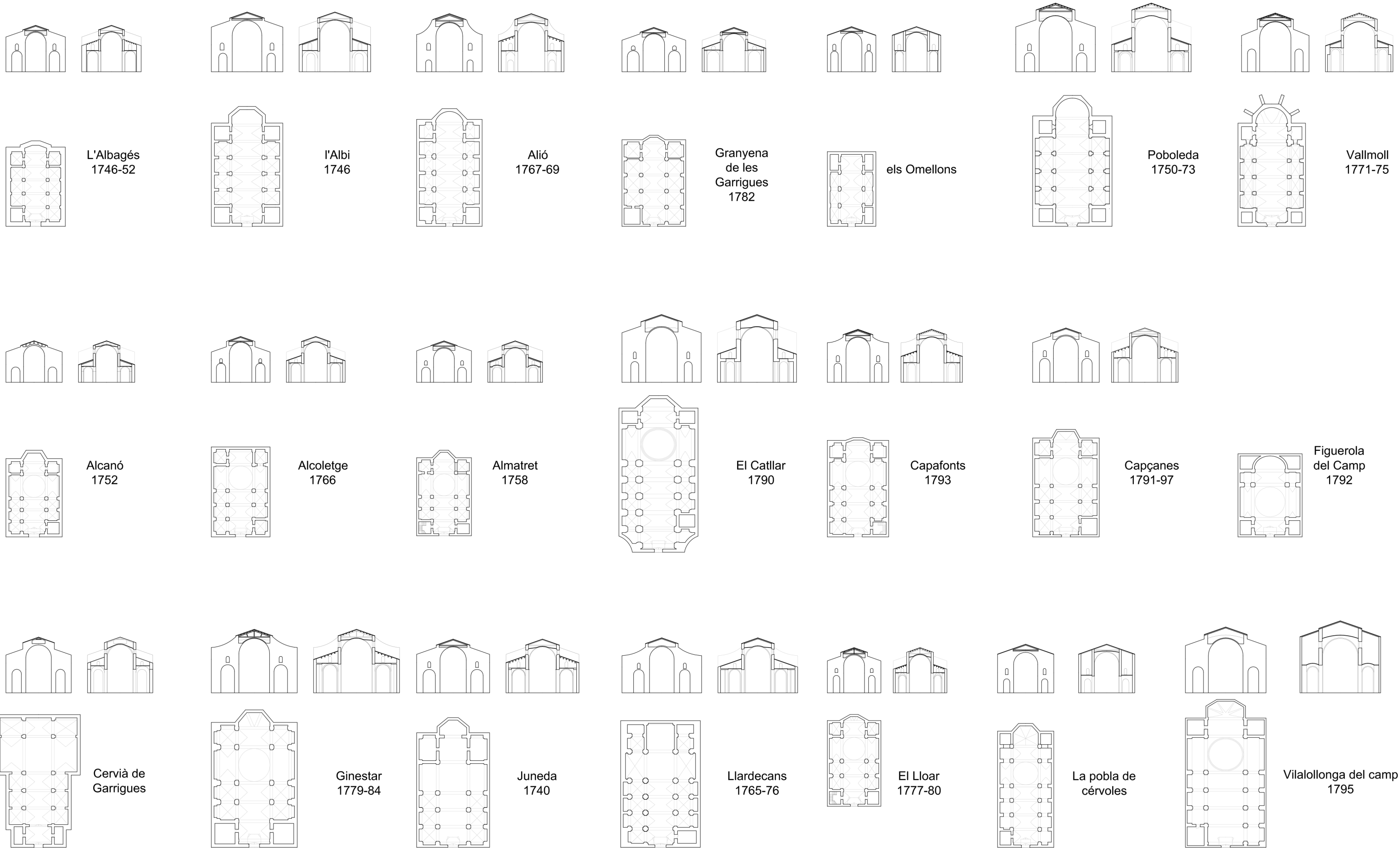
Castelldans

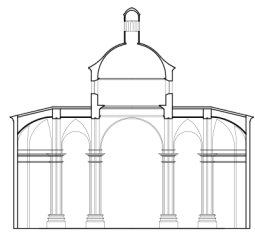


Passanant  
1778

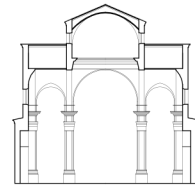


CAPELLES LATERALS 02.2  
Murs sobre capelles i nau central  
e: 1:1000

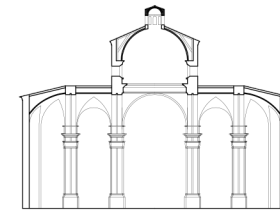




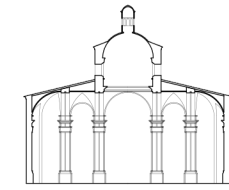
Aitona  
1745-54



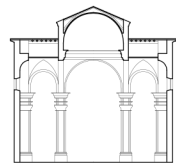
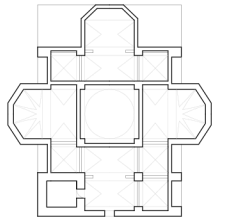
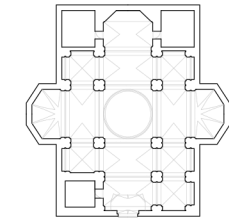
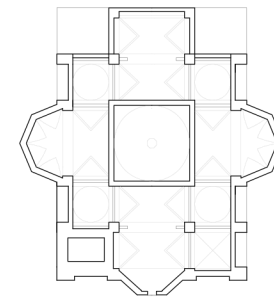
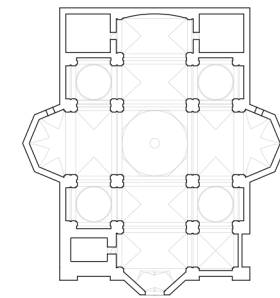
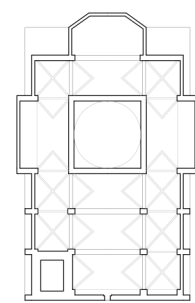
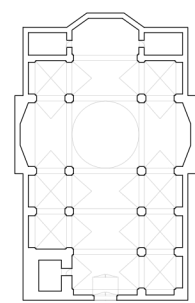
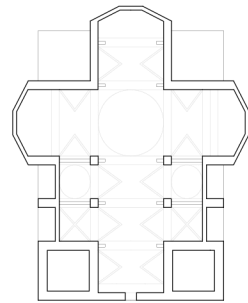
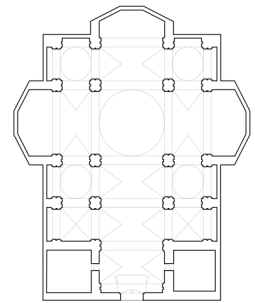
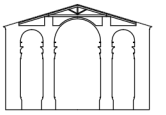
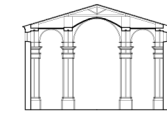
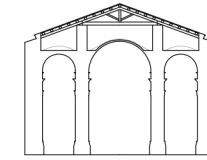
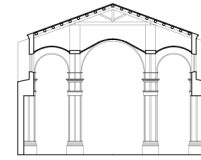
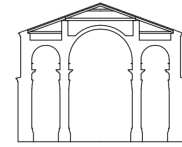
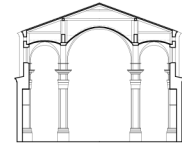
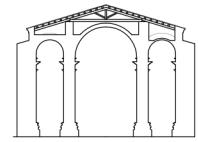
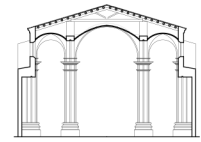
Alcarràs  
1760-65



Maials  
1760-65



Riba-roja d'ebre  
?-1770

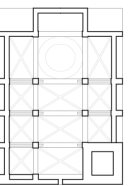
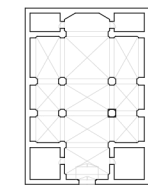
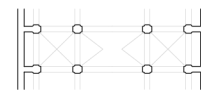
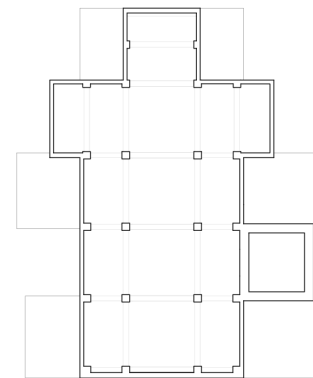
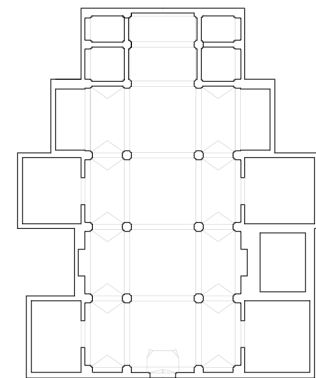
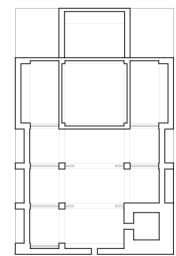
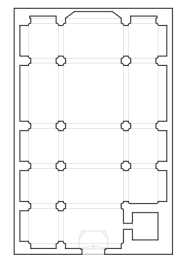
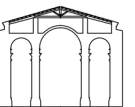
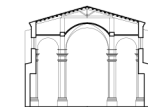
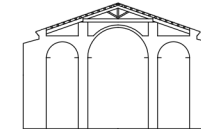
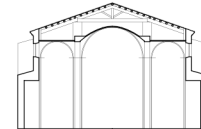
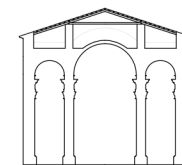
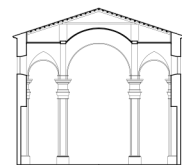
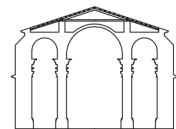
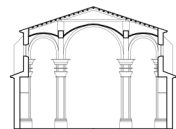


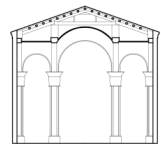
L'Espluga Calba  
1772-1786

Guissona  
1776-1797

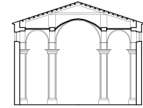
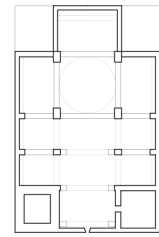
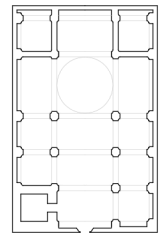
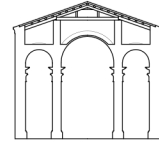
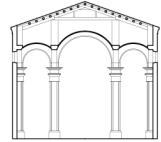
Alguaire  
1774-83

Torrefarrera  
1793-1799

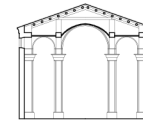
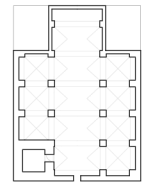
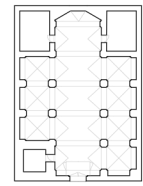
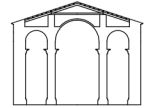




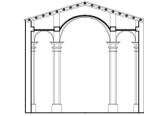
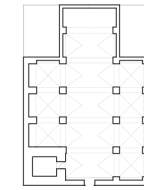
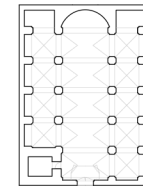
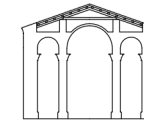
Granyena de Segarra  
1786-1804



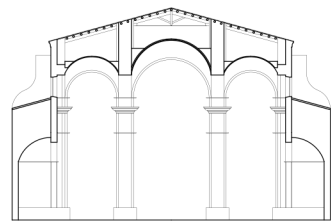
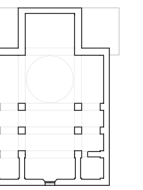
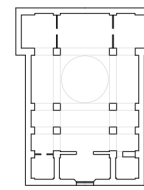
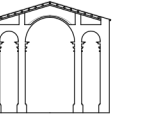
Arbolí  
?-1799



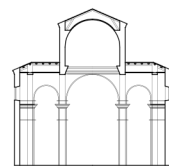
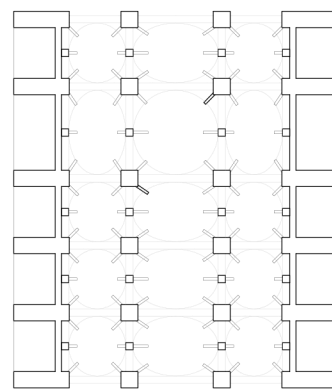
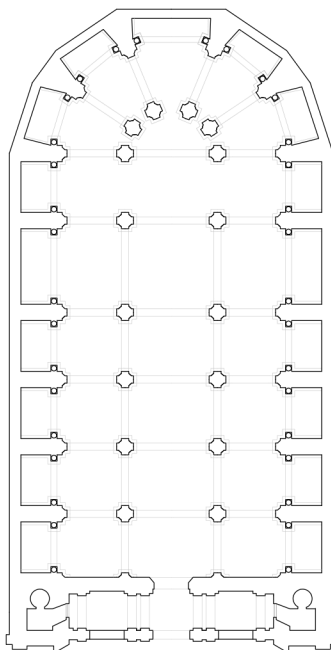
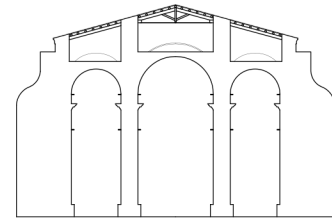
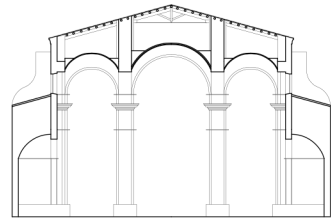
El Soleràs  
?-1805



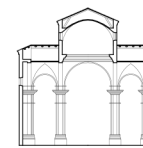
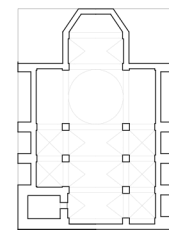
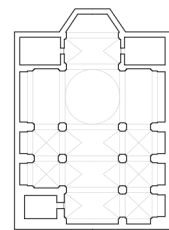
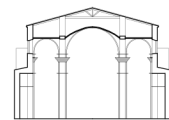
Biosca  
175?



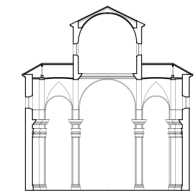
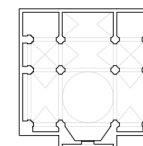
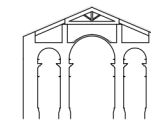
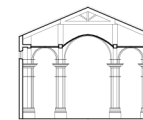
Catedral de Lleida



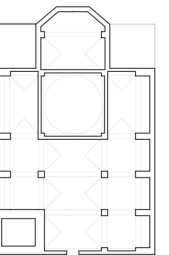
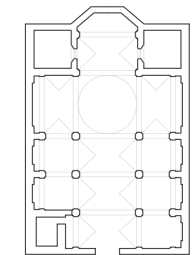
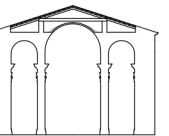
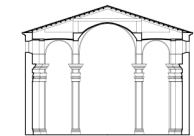
Sudanell



Tivissa  
1773



La Palma d'Ebre



### 3.5 Esglésies del XVIII catalanes a Amèrica

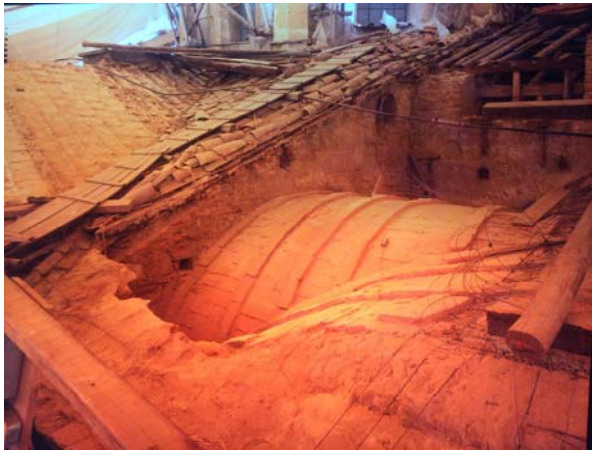
Per a verificar la filiació de les esglésies de saló catalanes amb Amèrica es va realitzar una visita a la Catedral de Bogotà, Fra Domingo Petrés (1807), on es va comprovar in situ que les voltes són de rajola doblada.

També es va consultar al Arxivo Histórico Diocesano documentació de la rehabilitació de la coberta que es va dur a terme recentment, i es va comprovar que les voltes es van “reforçar” amb una malla d’acer i formigó projectat.



**Fig.135** Diverses fotografies de la rehabilitació de l’extradós de la Catedral de Bogotà. Arxivo Histórico Diocesano de Bogotà.

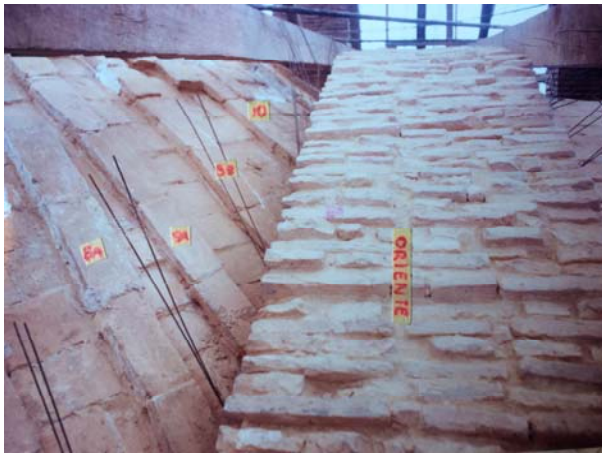




**Fig.136** Diverses fotografies de la rehabilitació de l'extradós de la Catedral de Bogotà. Arxivo Histórico Diocesano de Bogotá

La solució de coberta, amb encavallades i tornapunts, recorda les solucions de temples com la mateixa Catedral de Lleida, la Universitat de Cervera o la Col·legiata d'Alcañiz. Les voltes tene més “nervis”.





**Fig.137** Diverses fotografies de la rehabilitació de l'extradós de la Catedral de Bogotà. Arxivo Histórico Diocesano de Bogotà



**Fig.138** Diverses fotografies de l'extradós de les voltes de la Catdral de Bogotà. Desembre de 2015.



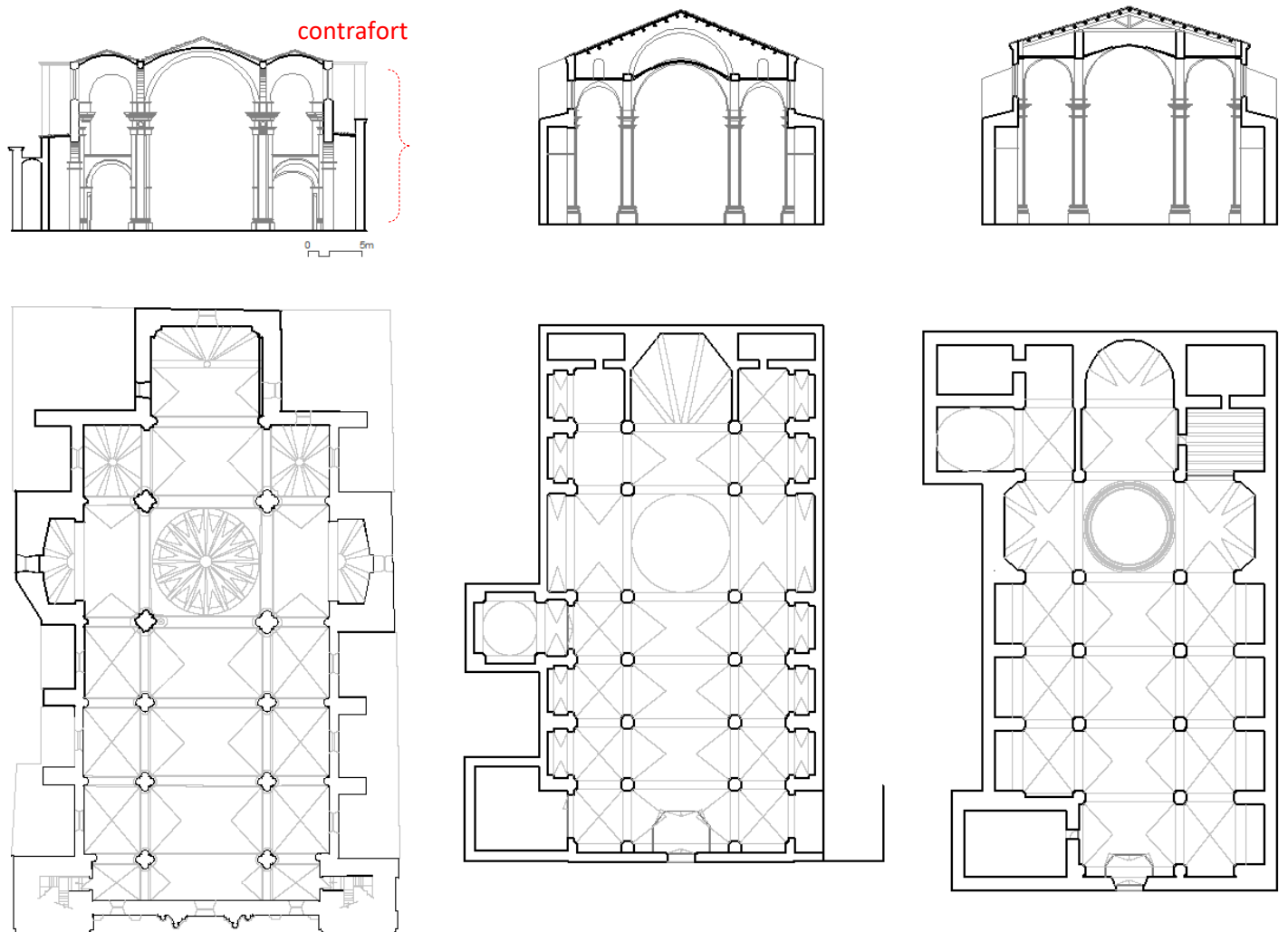


**Fig.139** Diverses fotografies de l'extradós de les voltes de la Catedral de Bogotà i interiors del temple. Desembre de 2015.

No ha estat possible comprovar in situ si la Catedral de Potosí està executada amb volta de rajola doblada.

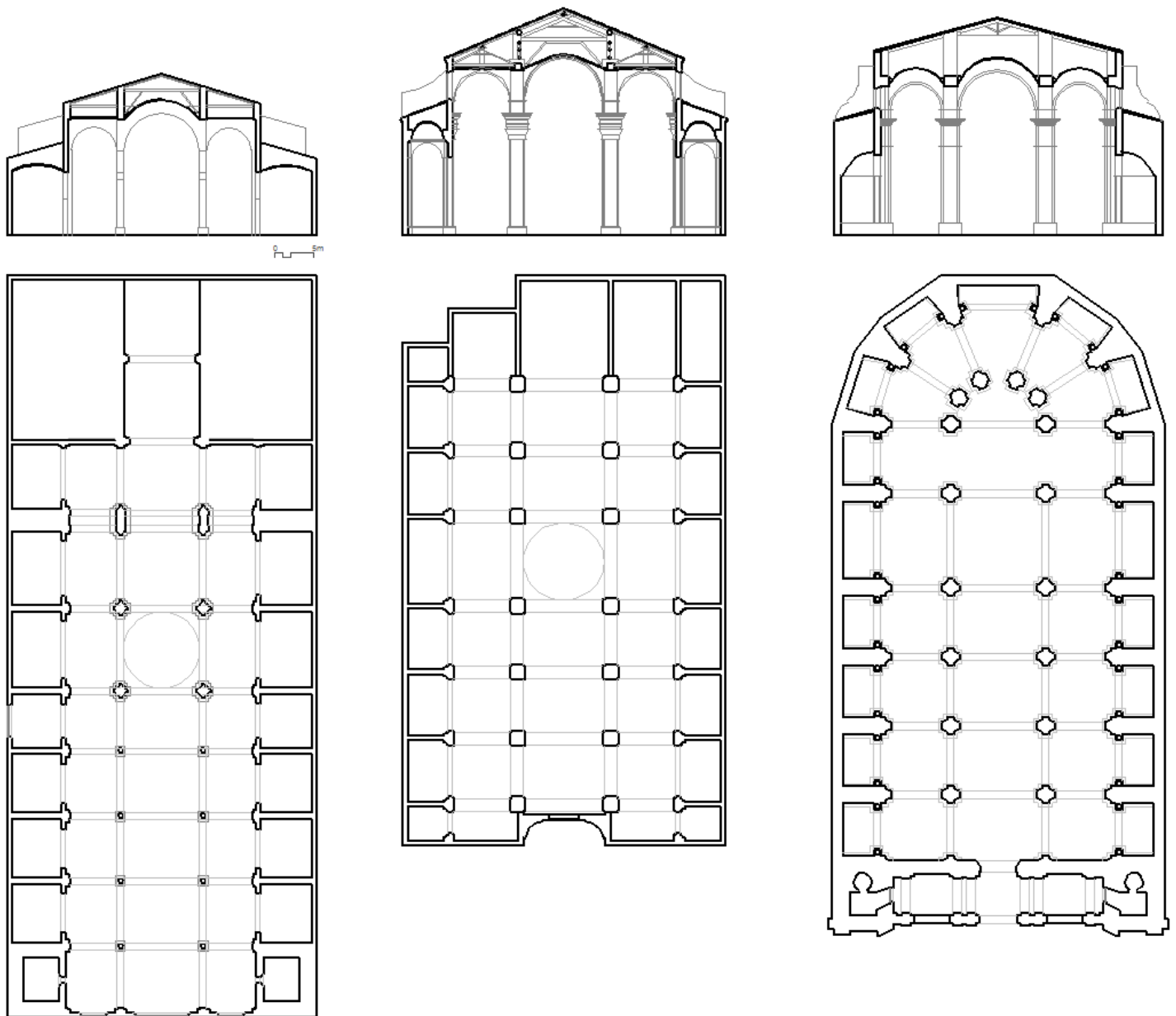
De totes maneres es va contactar amb tècnics de la ciutat que van facilitar informació planimètrica de l'església en Cad. Segons els plànols, les voltes de la Catedral estan executades amb “ladrillo gambote en forma de bóvedas” això és amb maó massís, que molt possiblement pot ser del gruix d'una rajola. Per tant, la catedral executada per Fra Manel Sanahuja el 1809, fàcilment estigui construïda amb volta de rajola doblada.

Tant Fra Domingo Petrés, com Fra Manel Sanahuja van construir altres esglésies a Colòmbia i a Bolívia respectivament abans de construir les citades Catedrals. Per això, és molt possible que diverses esglésies d'aquests països, obres d'aquests artífers, siguin de rajola doblada.



**Fig.140** Catedral de Potosí, Falset i Batea.

S'observa com la Catedral de Potosí disposa d'uns majors contraforts ja que no té pesos a la coberta que ajudin a equilibrar les empentes.



**Fig.141** Catedral de Bogotà, Col·legiata d'Alcañiz i Catedral de Lleida.

La fascinació de Rafael Guastavino per la planta de saló<sup>73</sup> és reconeguda per diversos autors. De fet Guastavino va construir una planta de saló presumptament inspirada en l'edifici de la Llotja de València per al Pavelló Español de Chicago, el 1893.

Se sap que Guastavino va estudiar a l'Acadèmia de Matemàtiques de Barcelona, on segurament va conèixer també l'obra de Pere Blai al Saló Sant Jordi.

<sup>73</sup> VEGAS, F.,

També, fascinat com estava per la planta de saló, és possible que conegués algunes d'aquestes esglésies que es construïen a la zona de Lleida i Tarragona, i fins i tot potser en visità algunes emparentades amb l'Escola del Camp de Tarragona.

Els seus lligams amb València i la seva coneixença amb Josep Nadal, fan possible que conegués també les esglésies de saló de València.

Tal com afirma John Oschendorf al seu llibre "Les voltes de Guastavino"<sup>74</sup>:

"El que diferenciava Guastavino d'altres arquitectes formats a Europa a mitjan segle XIX era el seu nexa amb les antigues tradicions constructives espanyoles, il·lustrades en l'obra de Joan Franch a València i de Domingo de Petrés a Amèrica. En contrast amb els arquitectes sorgits de les institucions de l'academicisme francès, on es prioritzaven els coneixements teòrics, la formació de Guastavino a l'Escola Especial de Mestres d'Obres de Barcelona versava sobre aspectes pràctics i íntimament lligats a la construcció".

El Hall d'accés de la Biblioteca de Boston és una planta de saló que s'assimila molt a les esglésies de saló que es construïren a la zona de Lleida i Tarragona al segle XVIII. Seria possible que Guastavino, com van fer altres tracistes en temps pretèrits, exportés aquest tipus estructural en la realització del seu primer edifici a Boston? És evident que les plantes s'assemblen molt a algunes de les esglésies estudiades. Fins i tot sembla que Guastavino col·loqui les escales del Hall ascendint cap a la "llum del coneixement" en clara al·legoria amb l'ascensió cap al cel de les cúpules d'aquestes temples. En una clara voluntat de convertir el Hall en l'accés a un temple del coneixement.

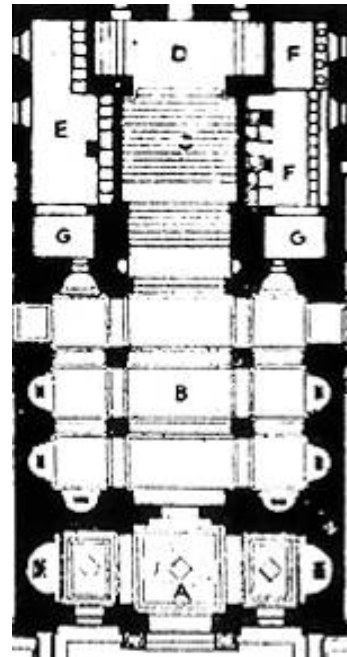
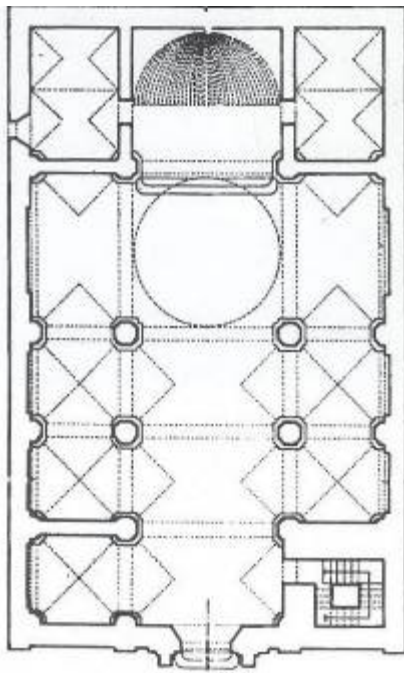
Tal com afirma Manuel Fortea<sup>75</sup> : "Guastavino construía unas cúpulas de sección mínima, exageradamente delgadas, Aparentemente un desafío a la gravedad. En realidad es una técnica evolucionada de las cúpulas valencianas. En el dibujo de la sección de la St. Paul Chapel de la universidad de Columbia de Nueva York, de los arquitectos Howell & Stokes se aprecia la esbeltez de la fábrica y el recurso de la doble hoja".

---

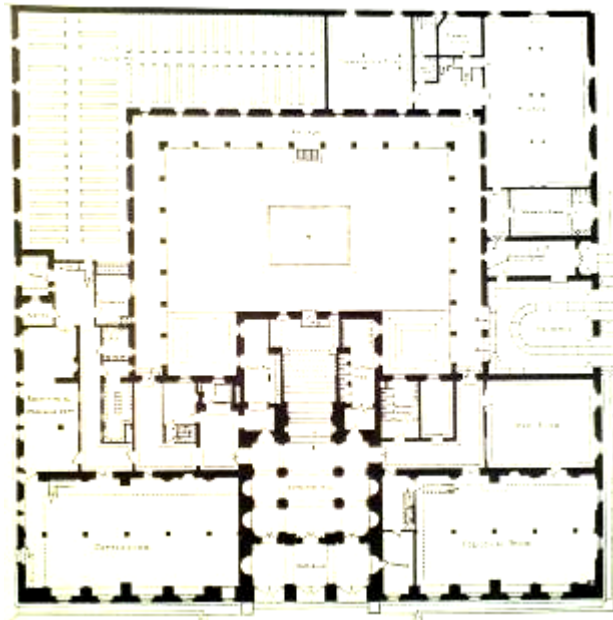
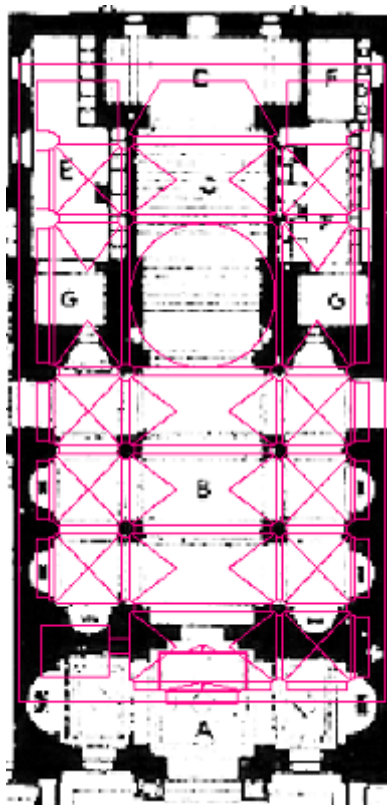
<sup>74</sup> OCHSENDORFF, J., (2014). "Les voltes de Guastavino". Papersdoc ed.

<sup>75</sup> FORTEA, M., (2013). "Análisis estructural de bóvedas de fábrica. La eficacia de la geometría". Tesi doctoral. P. 53





**Fig.219** Barberà de la conca i Hall de la Biblioteca de Boston.



**Fig.220** Maldà sobre el hall de la Biblioteca de Boston i recinte de la Biblioteca de Boston en planta baixa.



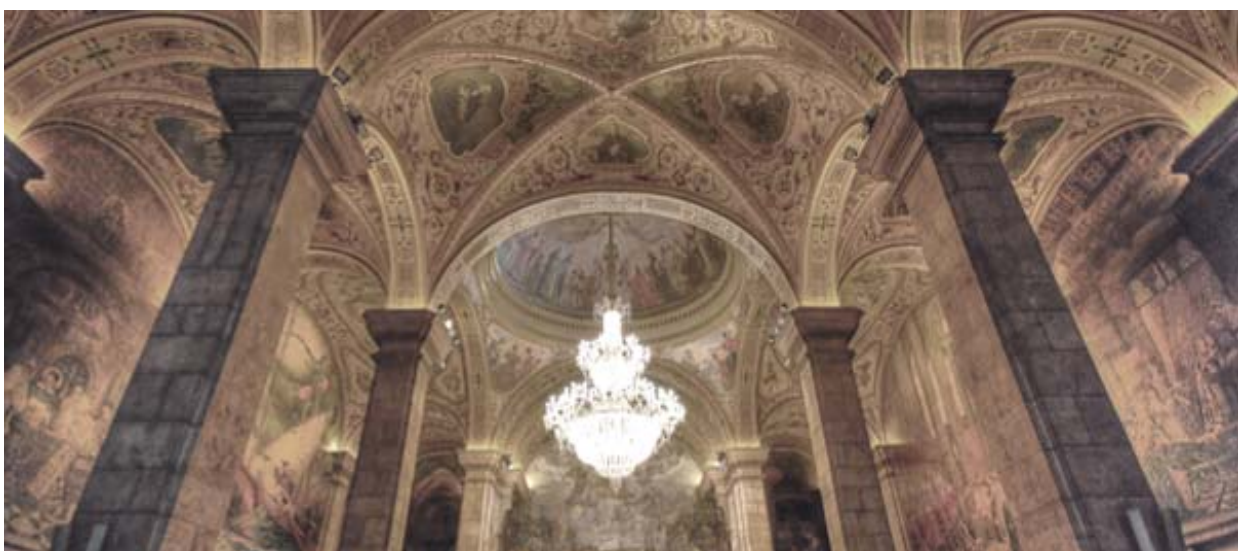
**Fig.221** Hall Biblioteca Boston



**Fig.222** Batea



**Fig.223** Alcañiz



**Fig.224** Saló Sant Jordi



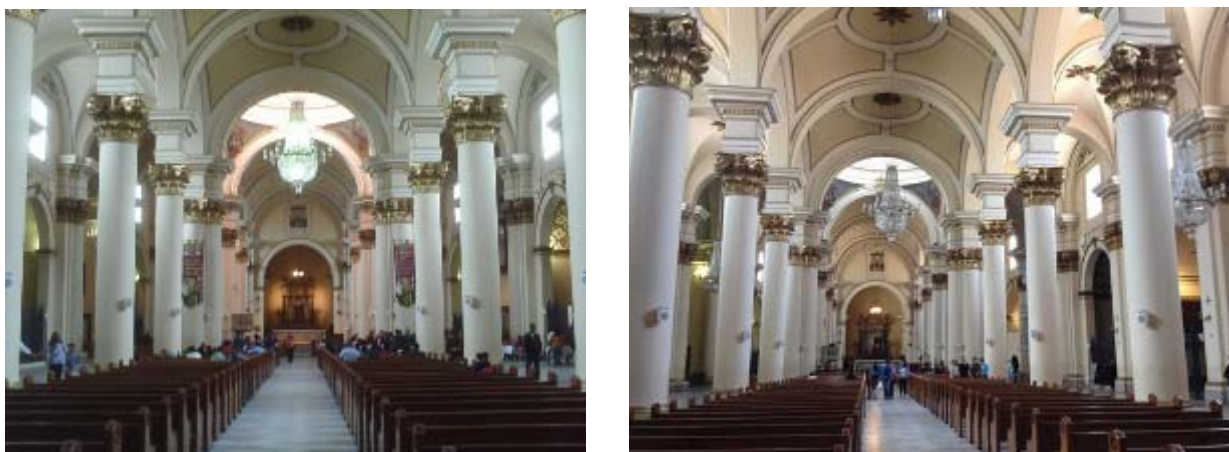
De fet, al segle XVIII, va ser Fra Manuel Sanahuja qui va exportar també el model d'aquestes esglésies de saló al nou món<sup>76</sup>. A la Catedral de Potosí (1809-1838), Fra Manuel, que era originari de la població de Les Voltes a Tarragona, va construir la Catedral en clara semblança amb les esglésies que es construïen a la zona d'on era originari i on aprengué a fer de frare tracista i constructor.

Al voltant de la població de Les Voltes, poc abans de la partida de Sanahuja cap a Potosí, es construïren les esglésies de saló de Barberà de la Conca 1796 (a 50 km), Vinyols i els Arcs 1772 (a 15 km), Montroig del Camp 1798 (a 15 km), Falset 1780 (a 17 km), per citar-ne algunes d'entre moltes altres esglésies de saló de l'entorn.

No seria possible doncs, que Fra Manuel exportés aquestes esglésies i el sistema constructiu que coneixia per a construir la Catedral de Potosí?

No s'ha visitat la Catedral de Potosí, i es desconeix si està construïda amb volta a la catalana. Però si que se sap que la Catedral de Bogotà, iniciada el 1792 per Fra Domingo Petrés, procedent de València, ja va exportar aquest sistema constructiu amb la construcció de la Catedral de Bogotà<sup>77</sup>.

Tal com mostren les fotografies, la Catedral de Bogotà és de saló. Aleshores, no seria possible que Fra Domingo Petrés hagués conegut les esglésies de saló que es construïren a la zona de València i de Lleida i Tarragona, i del Baix Aragó, i hagués exportat aquest tipus constructiu amb les seves voltes al nou món?

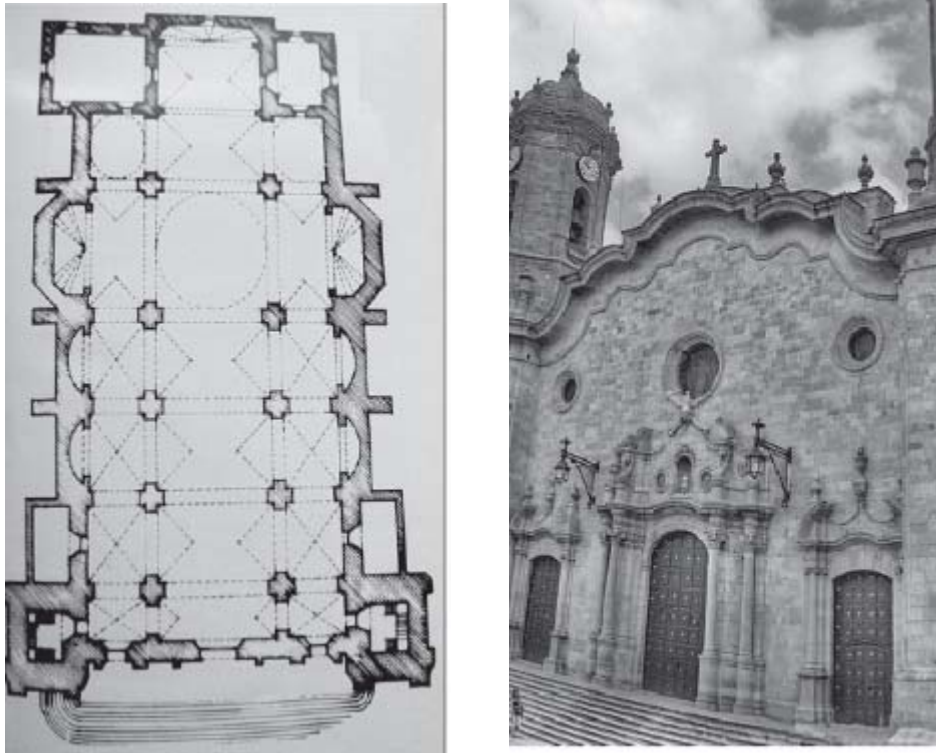


**Fig.225** Interior de la Catedral de Bogotà. S'aprecia el tipus saló amb voltes de mocador.

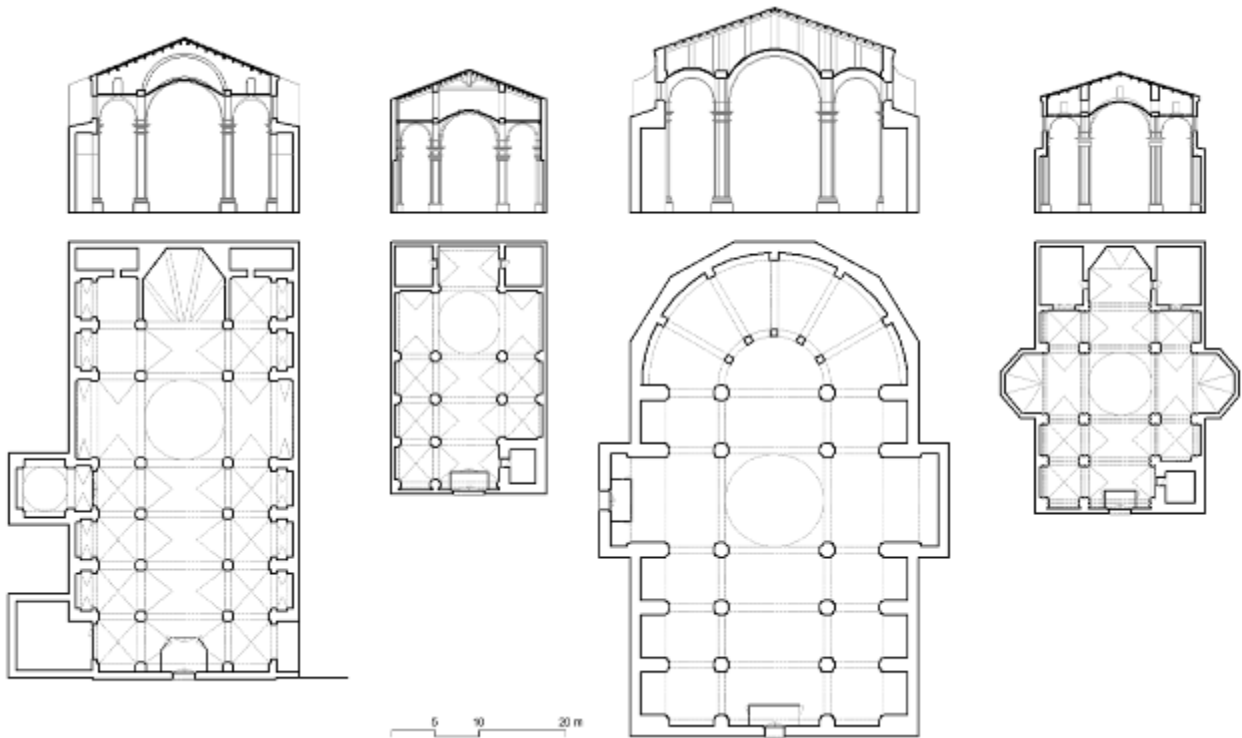
---

<sup>76</sup> GARGANTÉ LLANES, M. (2006). "Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell". Tesi Doctoral.

<sup>77</sup> GARGANTÉ LLANES, M. (2006). "Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell". Tesi Doctoral.



**Fig.226** Catedral de Potosí (Bolívia). Fra Manuel Sanahuja. Font: Garganté, M.



**Fig.227** D'esquerra a dreta: Falset, Barberà de la Conca, Mont-roig del Camp, Vinyols i els arcs.



**Fig.228** D'esquerra a dreta: Catedral de Bogotà i Catedral de Potosí



**Fig.229** D'esquerra a dreta: Mont-roig del Camp i Vinyols i els arcs.



**Fig.230** D'esquerra a dreta: Barberà de la Conca i Falset.





Catedral de Potosí



Alcarràs (Segrià)



Vinyols i els Arcs (Baix Camp)



Riba Roja d'Ebre (Ribera d'Ebre)



Maials (Segrià)



Torres de Segre (Segrià)



Catedral de Potosí



**Fig.231** Diverses façanes d'esglésies de saló que guarden clares similituds amb la façana de la Catedral de Potosí. Font: Garganté.



**Fig.232** Fotografies de la Catedral de Potosí en obres. S'evidencia l'existència de maons.

## 4 ANÀLISI ESTRUCTURAL DE CASOS REPRESENTATIUS

### 4.1 Anàlisi estructural i casos

Per a establir la seguretat de la geometria de les esglésies analitzades s'aplica l'Anàlisi Gràfica i l'Anàlisi de la Membrana. Amb l'Anàlisi Gràfica s'analitza l'estabilitat de les voltes i les seccions de les esglésies aplicant la teoria de l'Anàlisi Límit d'Estructures de Fàbrica, tal i com el desenvolupa Heyman (1995, 1999). Els avantatges d'aquest mètode són la simplicitat i la necessitat de dades molt bàsiques (geometries i càrregues puntuals) que proporcionen una resposta intuïtiva.

El mètode considera l'estructura formada per un material rígido-unilateral, que resisteix compressions però no traccions. S'interpreta la fàbrica com un conjunt de blocs indeformables en contacte sec i directe que es sostenen pel seu propi pes. Les hipòtesis de partida pel material són:

- Es considera que la fàbrica no resisteix traccions. En realitat, si la secció no està fisurada pot resistir traccions de poca magnitud, que es deprecien en favor de la seguretat. En cas d'haver-hi fissures aquesta premissa és realista.
- Es considera la resistència a compressió infinita. Òbviament la resistència a tracció de la fàbrica és limitada, però diversos estudis demostren que les tensions amb què treballa normalment estan molt per sota de la seva resistència a compressió.
- Es considera impossible el lliscament entre elements. Es considera, doncs, que el fregament entre les juntes és suficientment elevat com per impedir que llisquin.

Si una estructura falla sota el compliment d'aquestes premisses, es produirà per formació de mecanismes. Per a determinar l'estabilitat de l'estructura cal comprovar que la "línia d'empentes" està continguda dins dels contorns de l'element. La "línia d'empentes" és el lloc geomètric de la resultant d'esforços que mantenen en equilibri cada part de l'estructura. Si la resultant de les forces es troba a l'interior dels contorns de l'element estructural aleshores és possible trobar un estat de tensions que compleixi les premisses anteriors. La seguretat està determinada, a cada secció, per la distància relativa de la resultant amb els seus límits. El coeficient de seguretat és geomètric, i definirà la posició que l'empenta mai no ha de sobrepassar dins de cada secció.

A les estructures hiperestàtiques (com les voltes i els arcs en general), aplicant els teoremes de plasticitat es pot assegurar que si és possible trobar una solució, de les infinites que existeixen, que estigui en equilibri i que sigui compatible amb les càrregues i hipòtesis del material, aleshores l'estructura serà



estable. La visió d'equilibri estava implícita en les regles geomètriques i va ser emprada per grans enginyers del segle XVIII i XIX.

D'acord amb el teorema plàstic de la seguretat “si s'aconsegueix una manera en què l'estructura pugui suportar la càrrega, aleshores l'estructura real també la pot trobar.” Encara que la manera “real” de l'estructura no sigui la mateixa que s'obtingui en l'anàlisi, i tenint en compte a més que amb el pas del temps l'estructura pot canviar. Cal aconseguir una distribució raonable de les forces interiors en equilibri amb les càrregues exteriors.

Per abordar l'anàlisi d'aquestes voltes és necessària la transformació de la volta tridimensional en una sèrie d'arcs de direccions principals que poden realitzar-se de diverses maneres.

Per a l'anàlisi de les cúpules s'aplica el mètode de Wolfe que fonamentalment és simular l'anàlisi de la membrana. S'aplica aquest mètode per a cúpules que no suporten traccions.

Diversos autors han demostrat que l'anàlisi gràfica d'equilibri és el més adequat per a analitzar l'estabilitat d'aquestes estructures. L'anàlisi gràfic pot determinar la magnitud de les forces, i a més il·lustra el recorregut de la càrrega dins de l'estructura, fent comprensible el comportament de les voltes. Completar: (Megan Reese demostra millor mètode voltes Guastavino)

Es realitza un estudi més aprofundit de diverses esglésies que per la seva particularitat constructiva o estructural, per l'estat de les lesions o per la singularitat de les intervencions que s'hi han realitzat.

Aquests exemples que s'analitzen il·lustren sobre la manera d'afrontar situacions comunes que s'esdevenen en aquestes esglésies i aporten coneixements i conclusions sobre les lesions i la seguretat estructural d'aquests temples.

Per al maó es considera un pes específic de  $16 \text{ kN/m}^3$ , el pes d'una superfície de rajola doblada es valora en  $0,8 \text{ kN/m}^2$ . Per als murs i/o pilars de pedra es considera un pes específic de  $24 \text{ kN/m}^3$ . Per a les cobertes de bigues de fusta s'estima un valor de  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .<sup>78</sup>

Les esglésies que s'analitzen i les conclusions a les quals es pretén arribar són:

- L'església de Maldà (saló), per treure conclusions sobre la seguretat d'arcs i voltes deformats.

---

<sup>78</sup> FUENTES, P., IBÁÑEZ, J., FRANCO, L., PEMÁN, M., HUERTA, S., 2011. Forma, construcción y estabilidad del cimborrio de la Seo de Zaragoza.

- L'església de Falset (saló), per treure conclusions sobre la seguretat de diverses configuracions de la coberta.
- L'església de Rocafort de Queralt (saló), per treure conclusions sobre la seguretat de voltes esquerdades.
- L'església de Palau d'Anglesola (saló), per treure conclusions sobre la seguretat de situacions extremes d'esveltesa.
- L'església de Borges del Camp (saló), per treure conclusions sobre la capacitat de càrrega i la seguretat de les voltes carregades.
- L'església d'Almacelles (tres naus (capelles laterals)), per treure conclusions sobre la seguretat de les esglésies de tres naus davant els canvis en la coberta.
- L'església de Fonollet, per treure conclusions sobre com pot comprometre la seguretat un cor de rajola doblada en un temple romànic que no el preveia (l'empenta de les voltes de rajola doblada no és inofensiva).
- L'església de Castelló de Tor, per treure conclusions de com una reforma de la coberta plantejada amb les solucions del segle XVIII pot comprometre l'estabilitat de la nau d'una església romànica.
- La Catedral de Bogotà, per treure conclusions sobre com pot comprometre la seguretat actuacions de rehabilitació inapropiades de les voltes de rajola doblada.
- La Catedral de Potosí, per treure conclusions sobre la importància del disseny de la coberta i entendre una altra solució possible.

## 4.2 Maldà

L'església parroquial de Santa Maria de Maldà és una església de saló construïda entre el 1790 i el 1796. És obra del mestre de cases Francesc Albareda.

L'església va ser objecte de rehabilitació recentment. Durant la visita realitzada per al desenvolupament de la tesi es va advertir que la coberta s'havia substituït per una de nova formada per encavallades metàl·liques i que els arcs de l'església estaven suspesos d'uns tensors connectats a aquestes encavallades (Figura 15). Aquestes recolzen sobre els pilars i els estreps, verticalitzant les càrregues.

La singularitat de l'actuació planteja diverses qüestions. En primer lloc l'encert o no de penjar els arcs de les encavallades i els motius que van originar aquesta decisió. L'estabilitat de la nau estava tant compromesa que no existia una solució d'equilibri vàlida?

L'església presenta diverses esquerdes i desploms. Els desploms no s'han pogut mesurar perquè no es disposa d'un aixecament topogràfic, però s'han realitzat hipòtesis raonables de les possibles deformacions basades en la lectura de les esquerdes existents al temple.

### 4.2.1 Recerca històrica d'actuacions

S'ha realitzat una recerca d'actuacions històriques realitzades al temple. Les fonts que disposaven d'informació rellevant per al present apartat han estat l'Arxiu Diocesà de Tarragona i l'Arxiu Gavín.

La primera carta referent a les necessitats d'intervenció al temple és de 1828, on s'explica que l'església es va executar *“sin dinero y sin la inteligencia y precaución en el Impresario, que es de menester: y sin haber tenido la mas mínima desgracia (...)”*.

No existeix documentació referida a l'església fins un segle després, el 1921, on una carta del rector de la parròquia dirigida al Cardenal Arquebisbe de Tarragona explica que la volta del presbiteri i sagristia es troba en estat d'ensorrament imminent, i que l'hi cal una reparació.

El 1922 el rector insisteix en la necessitat d'intervenir també en la teulada, que es troba en estat ruïnós. La carta narra el deteriorament de les biguetes i les llates a la zona de la sagristia que causa goteres, el trencament d'una *“biga principal actualmente apoyada en la medida de un metro sobre la bóveda delgada del templo”*. Segons el rector *“A consecuencia de esto el tejado de quince a veinte centímetros y con su peso ha echo ceder la bóveda unos centímetros abriéndose en la misma diferentes grietas una de*

*las cuales es tamaño de dos dedos de la mano, y bastaria una nevada o lluvia regular para que con el peso añadido, el tejado se derrombase arrastrando consigo la bóveda (...)*”.

El febrer de 1923 s'emet una Instància de la Junta Diocesana sol·licitant l'inici de les obres, certificada per l'Alcalde de Maldà i el Mestre d'Obres, per a reparar el temple. Es qualifiquen d'urgents les obres “*para aligeramiento y consolidación de la bóveda y reparación del tejado*”. L'informe tècnic assenyala que “*no ofrecia peligro la bóveda del templo parroquial*”, però es dóna curs a la instància presentada.

El 1923, a l'octubre, un tècnic inspecciona la zona de la volta afectada, comentant que la teulada de la sagristia es troba en molt mal estat “*a consecuencia del deterioro ocasionado por las lluvias a causa de la goteras, que han llegado hasta horadar la bóveda de la sacristía; a si mismo se comprueba que a consecuencia de haberse roto una viga, que sostenia unos caballos, el tejado correspondiente al presbiterio ha hecho mas descenso, de unos veinte centímetros; la quebrada viga se apoya en una extensión de un metro cincuenta sobre la bóveda, que es muy fràgil, la que a consecuencia del peso se va aplanando, la boveda, formando un desnivel de dos a tres centímetros, habiéndose agrietado en varios sitios, en uno de ellos hay una abertura por la que se vé ya la iglesia (...)*”. Es demana el desmuntatge de la volta.

El mateix any el “*maestro albañil*” dirigeix una carta al Cardenal Aquebisbe de Tarragona insistint en el mal estat de la coberta sobretot a la zona de la sagristia, segons diu: “*a consecuencia de haberse deteriorado muchas latas que sostienen las tejas formando, cuando llueve, el agua goteras que horadan la bóveda de la sacristia. Que a consecuencia de haberse quebrado una viga o caballo, el tejado correspondiente al presbiterio del templo ha descendido unos veite centímetros apoyándose dicha viga en la medida de un metro y medio sobre la fràgil bóveda que se ha aplanado dos o tres centímetros formando diferentes grietas por una de las cuales pueden pasar los dedos de la mano, todo lo cual ofrece serio peligro de derrumbamiento si una nevada o lluvia regular añada al tejado el correspondiente peso al que ya tiene*”.

El 1928 el rector de la parròquia escriu a l'Arquebisbe insistint que “*observando se desprendian partículas de yeso y de cal de la bóveda de este templo parroquial, temiendo...fuese inminente el derrumbamiento que hace años amenaza al tejado y bóveda correspondiente al altar Mayor y presbiterio, hice inspeccionar el tejado y bóveda por los maestros albañiles (...)*”. El dictamen que aquests “*maestros albañiles*” en fan és el següent:

- La volta de l'altar i del presbiteri, i els arcs que sostenen el cimbori, “*presentan grietas de tres, cuatro y cinco centímetros con varios ladrillos aplastados, motivado todo por un falso estribo en que se apoya la bóveda*”. Cal notar que parla d'un cimbori i no n'hi ha, per tant potser hi era i es

va eliminar construint la volta rebaixada actual, o potser es refereix als recolzaments de la volta de mocador (sense murs de cimbori), quan parla del “*falso estribo*”.

- “*Que la viga gruesa (en catalán cavall) que sostiene el tejado hace una curva de veinte centímetros partiendo del extremo de la viga hacia el centro de la bóveda que está aplanada por la misma viga en la longitud de dos metros*”.
- “*Que en varias partes del tejado aparecen vigas carcomidas particularmente en la parte del cimborio, en el de los ... del órgano i en la sacristía habiéndose desplomado parte del techo de estos (...) interesando la humedad de la lluvia a la planta baja del templo*”.

I insisteixen en la necessitat d’una intervenció d’urgència.

El mal estat de la coberta del temple fa que l’Alcalde també adrexi una carta a l’Arquebisbe accentuant que les voltes de l’Altar major i el presbiteri es troben en “*extremo peligro, amenazando con un próximo derrumbamiento*”.

El 1929 el rector insisteix a l’Arquebisbe sobre l’estat “*sumamente peligroso*” de la coberta i volta corresponent a l’altar major i presbiteri del temple. Reclama la reparació i finançament.

No és fins el 1967, és a dir, gairebé 50 anys després, que no apareix una pòlissa de préstec i els documents d’unes obres de reparació de la coberta del temple parroquial de Maldà. El 1969 s’executen les obres, ja que existeix un pressupost per a la renovació de la coberta “*Cuvierto con metxembrats y teja, aprovechando la teja buena y combinando los maderos que hagan falta. Reparación de canales y bajadas con tuvos uralita*”.

Sembla que la reparació va servir per calmar els ànims durant uns anys, però no s’ha trobat cap document que indiqui que les voltes més afectades es refessin.

El 1993 es signa un conveni entre quatre institucions, Bisbat, Diputació, Consell Comarcal i Ajuntament, per a restaurar l’església de Maldà. El més rellevant d’aquest document és que esmenta que el temple estava tancat al culte feia tres anys. Per tant, les esquerdes de les voltes i els arcs es consideraven un perill de ruïna.

La coberta actual del temple respon a aquesta darrera actuació, i l’estat en què es degueren trobar els arcs i algunes voltes devia determinar l’actuació realitzada, consistent en penjar els arcs de les encavallades de la nova coberta.

Malgrat les consultes realitzades no s'han obtingut fotografies e l'estat de l'església abans de la intervenció, però de les cartes resumides s'extreuen algunes aproximacions a les deformacions sofertes.

Així, la zona del presbiteri era la més afectada, les voltes han sofert deformacions causades per l'entrada d'aigua i el recolzament de bigues i elements de coberta deformats i deteriorats. Aquestes deformacions també van produir esquerdes a les voltes i als arcs. Sembla que els arcs del cimbori també estaven deformats a causa de què la volta es recolzava sobre un "fals estrep" (com s'ha dit, actualment l'església no té cimbori). Es desconeix a què feia referència el mestre d'obres amb aquesta afirmació, però és probable que es referís a l'inexistència de cimbori pròpiament dit, ja que la cúpula està formada per una volta de mocador rebaixada que recolza sobre els arcs torals directament, com en moltes d'aquestes esglésies. Potser es refereix als recolzaments de la volta de mocador (sense murs de cimbori), quan parla del "falso estribo en que se apoya la bóveda".

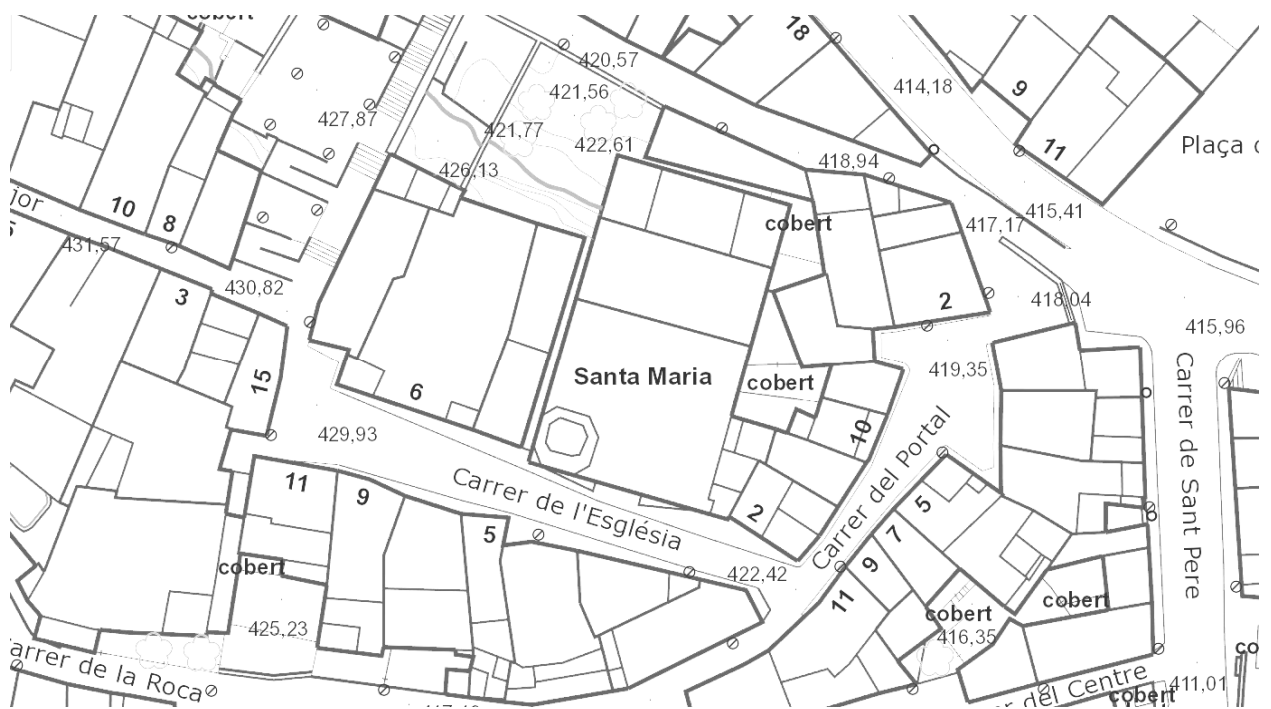


Fig.1 Topogràfic. Font ICC.



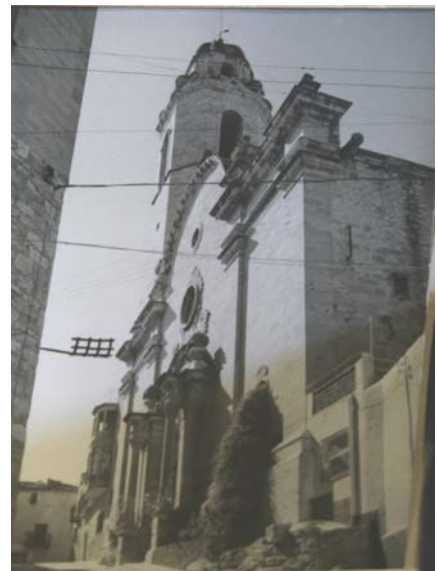




**Fig.2** Testera de l'Església, 1965. Arxiu Gavín.



**Fig.3** Portalada, 1973. Arxiu Gavín.



**Fig.4** Campanar i portalada, 1978. Arxiu Gavín.



**Fig.5** Campanar i portalada, 1978. Arxiu Gavín.



**Fig.6** Volta de mocador del creuer i volta del presbiteri, 1978. Arxiu Gavín.



**Fig.7** Volta de mocador del creuer i volta de canó amb llunetes del presbiteri.



S'observen esquerdes al centre de les voltes i els arcs. També humitats als ronyons, precisament on les voltes estan més esquerdades.



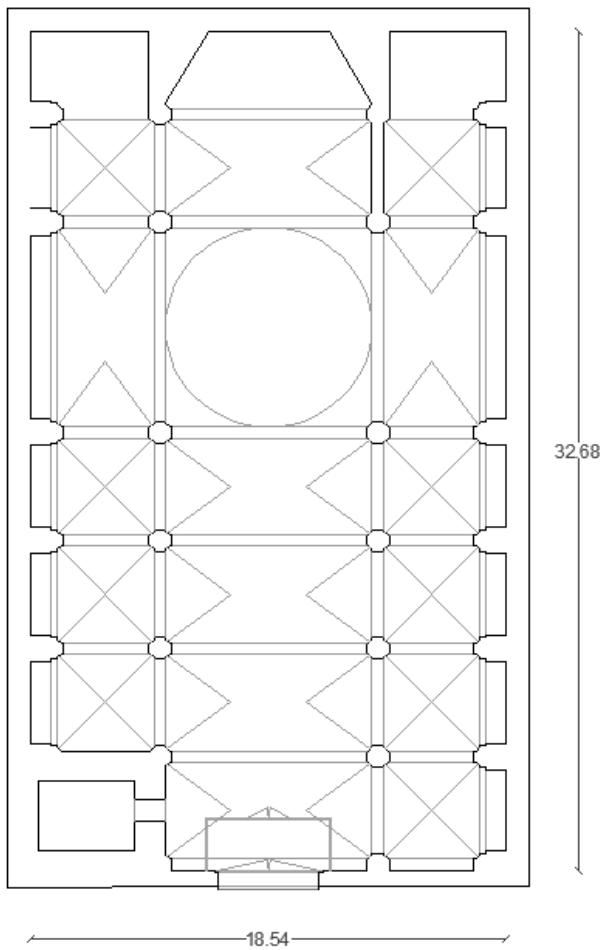
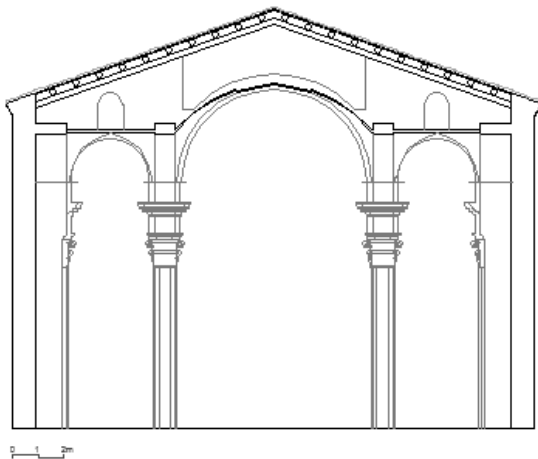
**Fig.8** Retaule de l'altar major i voltes de la nau, 1978. Arxiu Gavín.

És possible que la volta del presbiteri es refés, ja que el 1978 no presentava grans deformacions ni esquerdes. Tot i així s'haurien pogut rejuntar i tapar, però la deformació, a jutjar pels textos consultats, hauria de ser més evident a simple vista. Tampoc la cúpula (volta de mocador) presenta esquerdes evidents el 1978, fet que evidencia la intervenció descrita realitzada el 1969 que realitzava reparacions en coberta i rejuntava i pintava voltes i arcs.



**Fig.9** Detall de la volta del presbiteri el 1978. Arxiu Gavín. S'observa una esquerda a 45° al mur .

## 4.2.2 Geometria del temple i lesions



**Fig.10** Geometria de la nau sense deformar. Presa amb làser distanciómetre i cinta mètrica.

**Fig.11** Esquerdes de les voltes i arcs de la nau. Les humitats també hi són evidents. L'arc toral està molt deformat.



**Fig.12** Esquerdes a les voltes de la nau.

Les voltes de canó amb llunetes presenten esquerdes de Sabouret i esquerdes a la clau. La volta de mocador del creuer té esquerdes meridians.





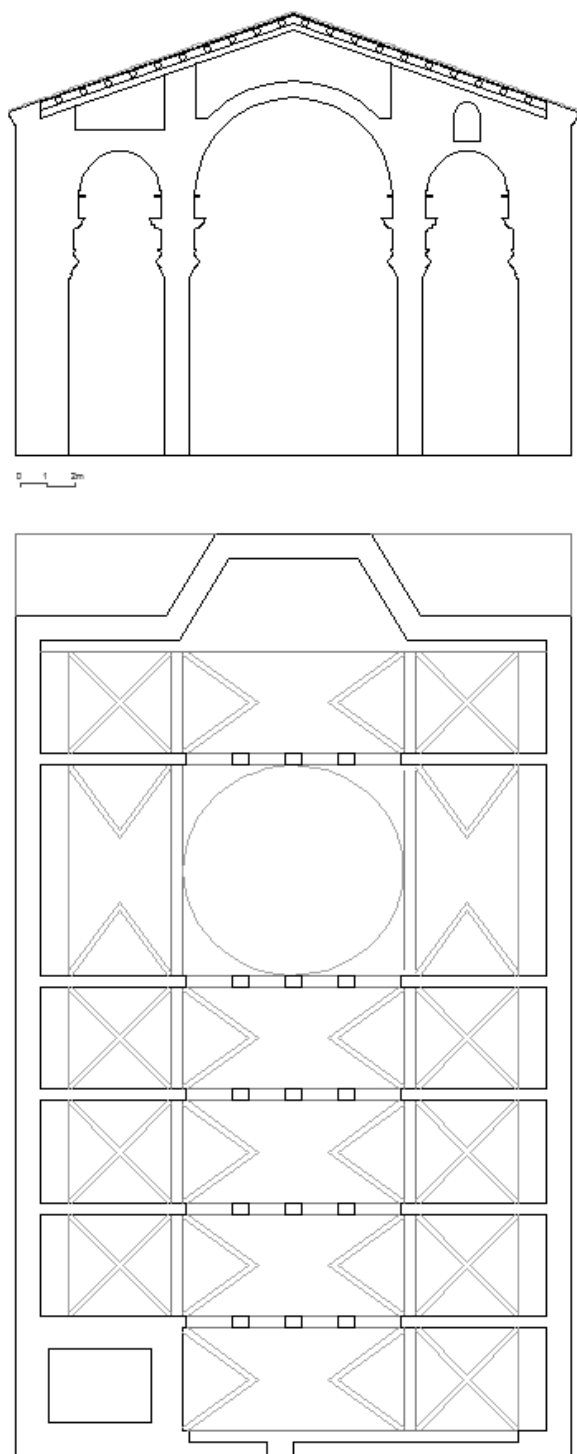
La pèrdua de geometria de l'arc toral indicat a la Figura 11 s'observa a simple vista. En cap de les fotos històriques apareix una visual d'aquest arc, possiblement les fotografies volien transmetre una imatge idealitzada de l'església, ja que a jutjar per la documentació històrica i la deformació que s'aprecia a la Figura 11, la deformació es correspon amb les descrites ja el 1922.



**Fig.13** Esquerdes i humitats a les voltes i arcs de la nau. S'aprecia l'arc més deformat i les esquerdes derivades.



**Fig.14** Esquerda a 45° del mur que es va tancar en la darrera intervenció, i el gran testimoni de quix no ha tornat a esquerdar.



**Fig.15** Geometria sense deformar de la nau, planta sota-coberta, amb les possibles pilastres i murs de recolzament de la coberta. Les fotografies mostren la solució de “penjar” els arcs a les encavallades.

La solució proposada pels tècnics per tal de mantenir els arcs i voltes existents deformats, va ser penjar els arcs mitjançant tensors d'acer, de les noves encavallades. Les noves encavallades recolzen sobre la vertical de murs i pilars.

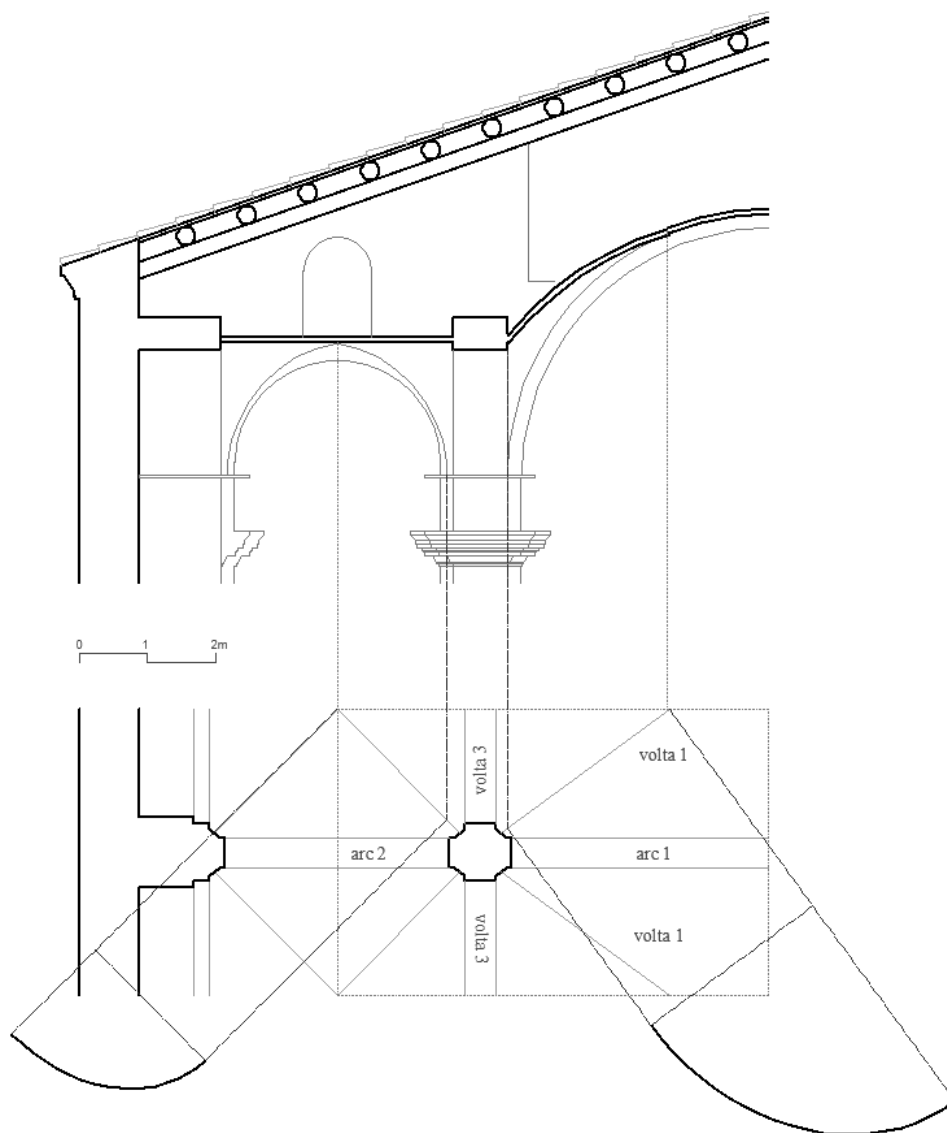




**Fig.16** Geometria de la nau, planta sota-coberta. La fotografia mostra la solució de “penjar” els arcs.

Les esquerdes i deformacions observades, així com el tipus d'intervenció plantejats, fan pensar que les voltes i els arcs mai no es van refer, i que les esquerdes són les mateixes que del 1921 al 1993 es descriuen als diversos documents estudiats.

El document de 1828 que menciona la mala factura inicial de l'església faria pensar en la possible precarietat de la coberta ja d'origen.



**Fig.17** Geometria ideal, sense deformar, de les voltes de la nau.

### 4.2.3 Avaluació de la seguretat de l'església

Com que no es disposa d'un aixecament topogràfic, no s'han pogut mesurar els desploms dels pilars i murs del temple. Tot i així, es realitza una hipòtesi de la possible deformació en base a la lectura de les esquerdes i les fotografies i s'efectua una avaluació de l'estabilitat de l'església amb la seva geometria sense deformar i amb una hipòtesi de la geometria deformada. Això permetrà establir condicions de partida de la seguretat, que amb l'entrada d'aigua i l'excentricitat de càrregues a causa del mal estat de la coberta, podrien haver-se accentuat i/o canviat. D'aquesta manera s'esgrimirà si l'estabilitat de l'església era la correcta en el moment en què es va construir i quin era l'abast de la mala factura inicial del temple segons la carta de 1828 i si afectava l'estabilitat.

L'avaluació de la seguretat amb una possible deformació dels arcs, es basa en l'obertura dels recolzaments, tal com sembla haver-se esdevingut.

També s'avaluarà la seguretat de la nau deformada, realitzant una hipòtesi de deformació a partir de les fotografies, de les esquerdes i partint de la geometria de la nau sense deformar (Figura 15).

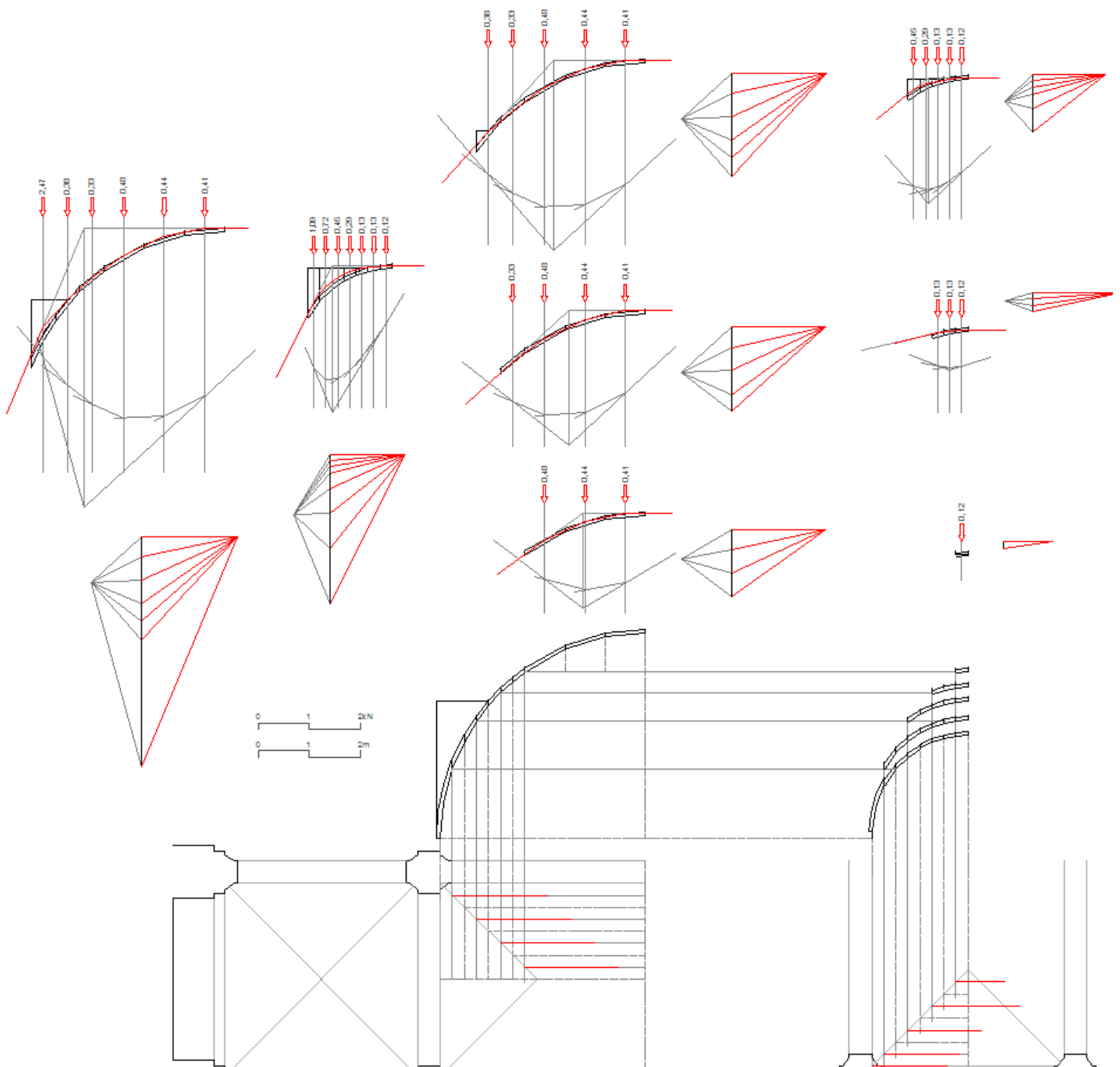
A la zona de l'extradós de les voltes i els arcs, es pot observar com aquests mostren l'arrencada de possibles pilastres que recollien el pes de la coberta.

Es realitza el càlcul per a diferents configuracions de la coberta original per a la nau ideal sense deformar. Primer suposant que hi ha pilastres que recolzen sobre els arcs faixons de la nau central i de les naus laterals, després suposant que aquestes pilastres es van afegir quan les encavallades de fusta de la coberta van començar a fallar, i per tant, es suposa un càlcul de la nau ideal sense deformar i sense pilastres sobre els arcs faixons de les naus central i laterals. Finalment, es considera que els arcs faixons de la nau lateral carregaven originalment el pes de la coberta mitjançant la continuïtat d'un mur sobre aquests arcs. Aquesta hipòtesi és possible ja que s'observa com sobre els arcs faixons de les naus laterals sembla haver-hi la continuïtat d'un mur que es va enderrocar amb posterioritat.

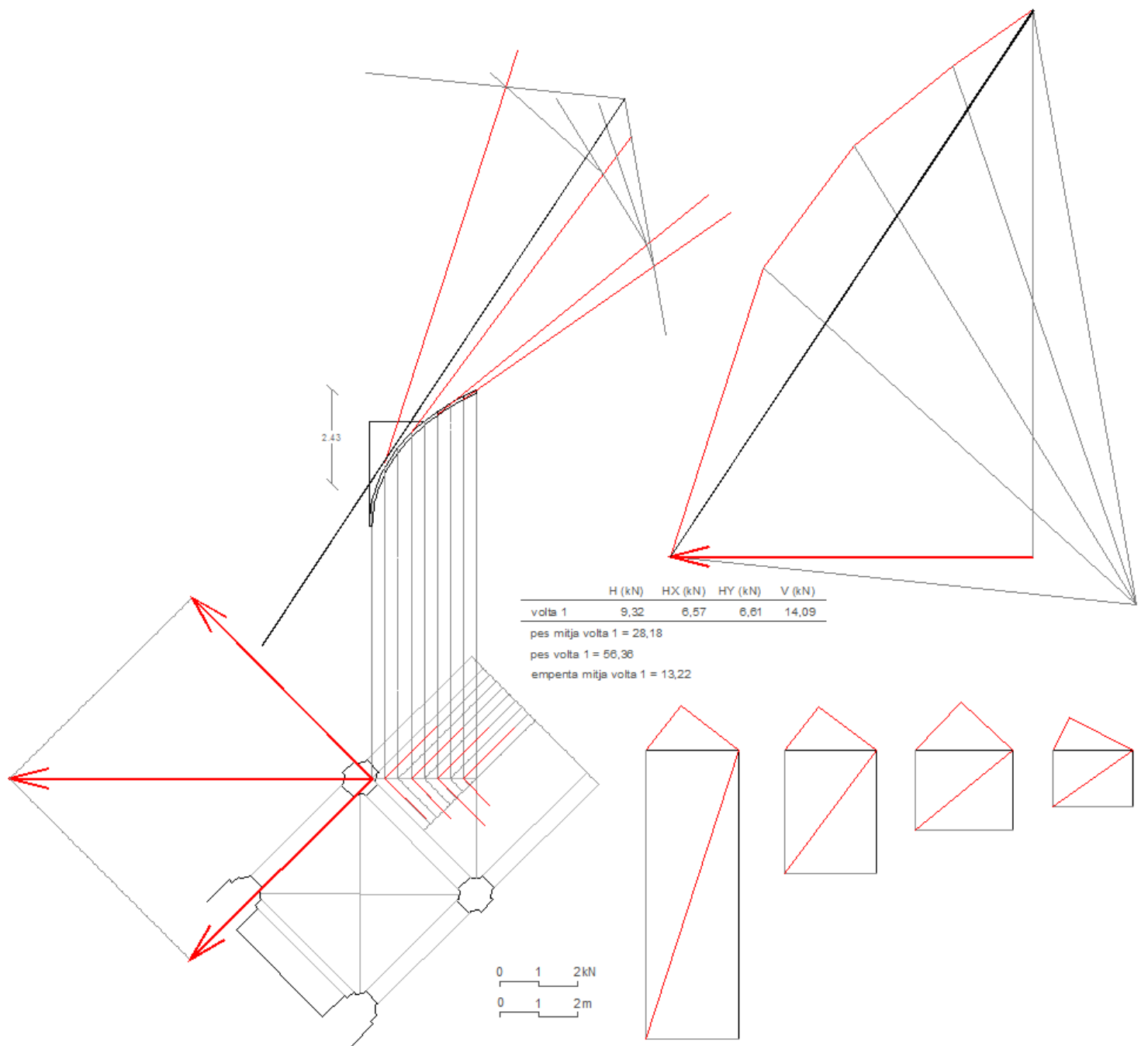
Amb aquest primer anàlisi s'obtindran dades de la possible configuració original del temple, en funció de quina de les opcions en garanteix millor l'estabilitat, sempre partint que el mestre de cases Francesc Albareda coneixia i sabia com s'havien de disposar les càrregues per optimitzar l'equilibri.

Per a poder avaluar la seguretat de la nau "tipus", s'ha realitzat un càlcul per a l'equilibri de les voltes sense deformar mitjançant el mètode dels talls. Les voltes són perfectament segures i d'aquests càlculs s'ha deduït l'empenta que efectuen sobre el pilar i l'estrep del tram analitzat.

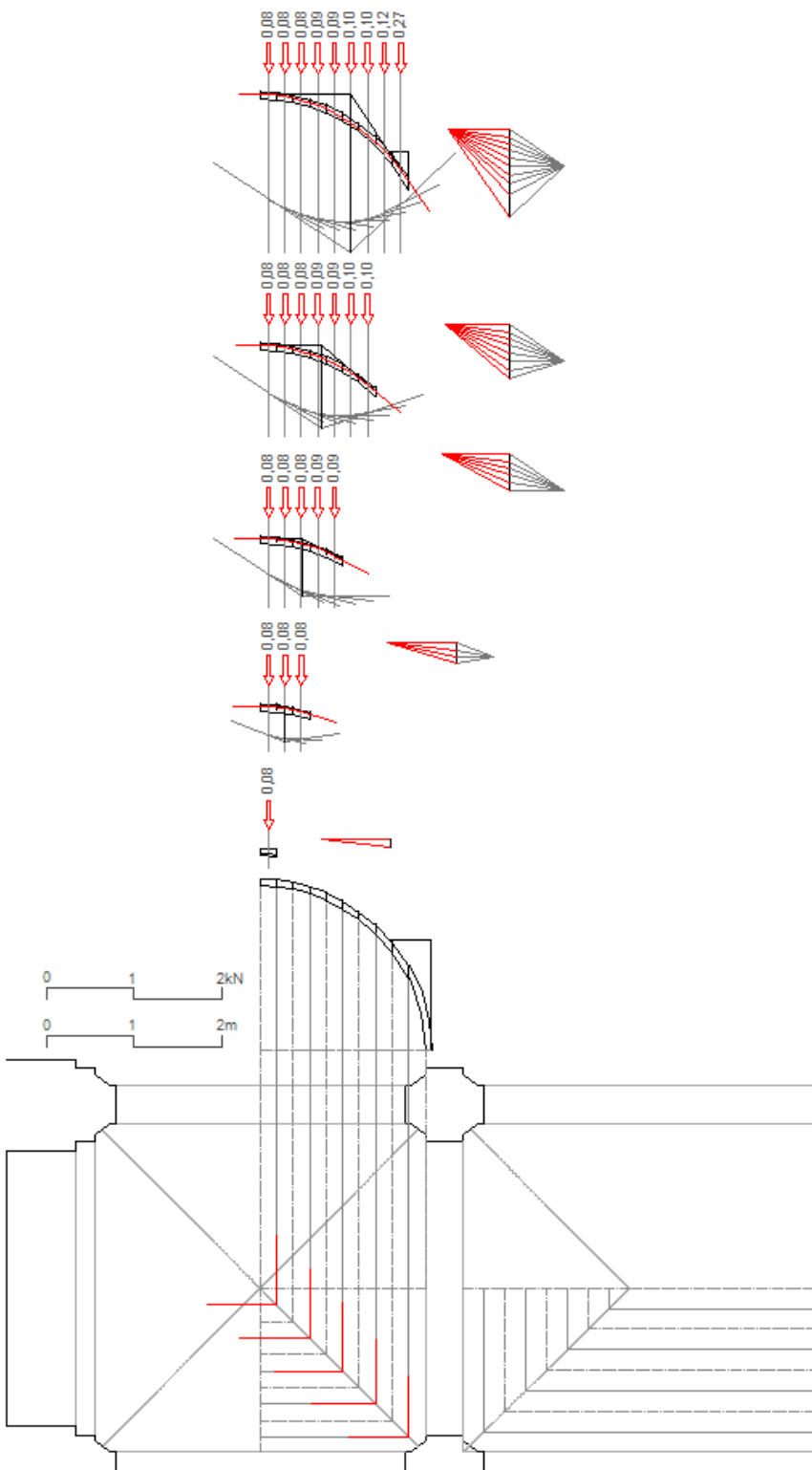
Les voltes deformades incrementaran segur la seva empenta, però el seu equilibri no es troba compromès si no caben dins la llum de la nau deformada, com sembla evident que és el cas.



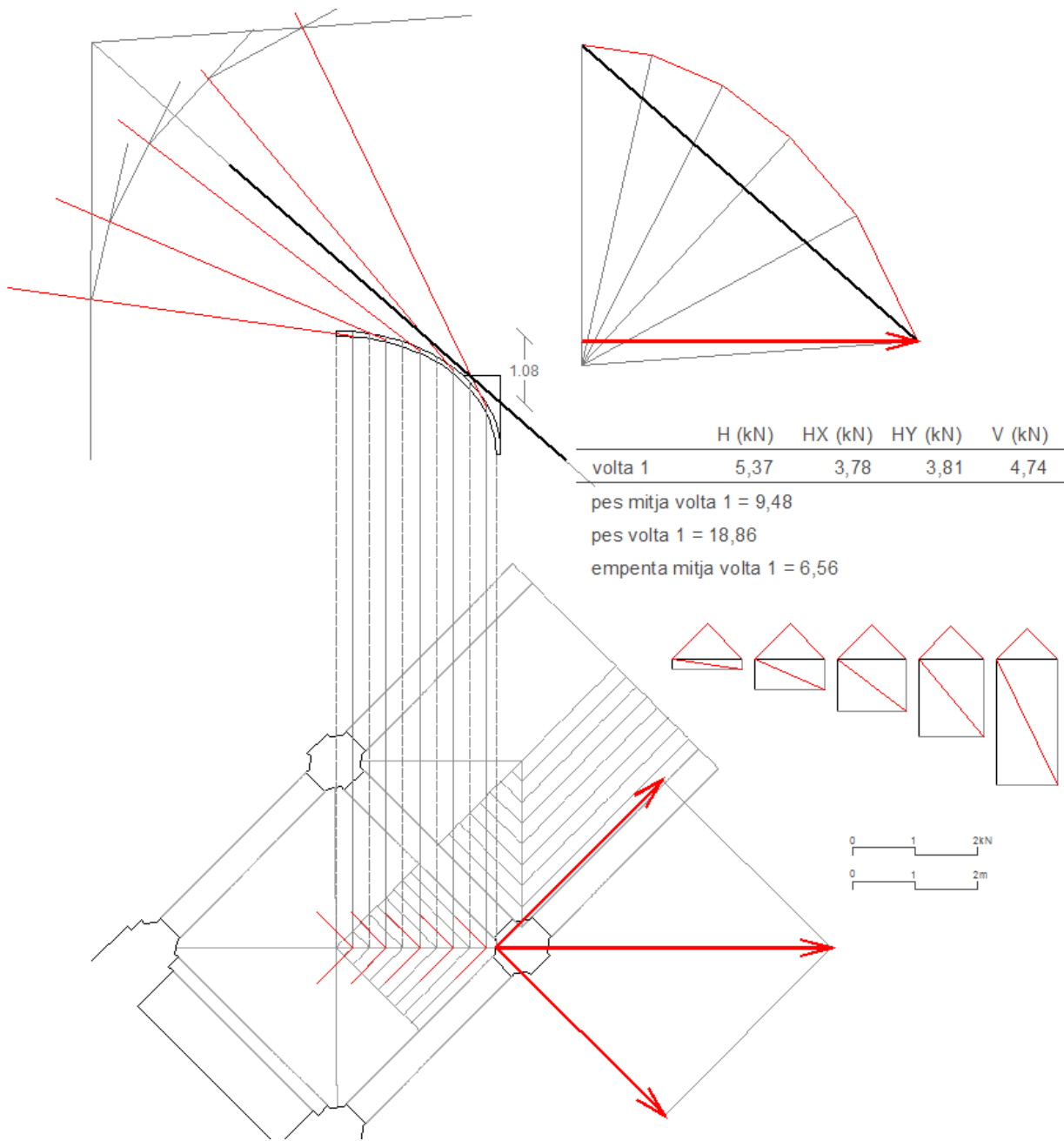
**Fig.18** Anàlisi gràfic del mètode dels tallaments aplicat a les voltes de canó amb llunetes de la nau central. Geometria ideal sense deformar.



**Fig.19** Anàlisi gràfic del mètode dels talls aplicat a les voltes de canó amb llunetes de la nau central. Geometria ideal sense deformar.

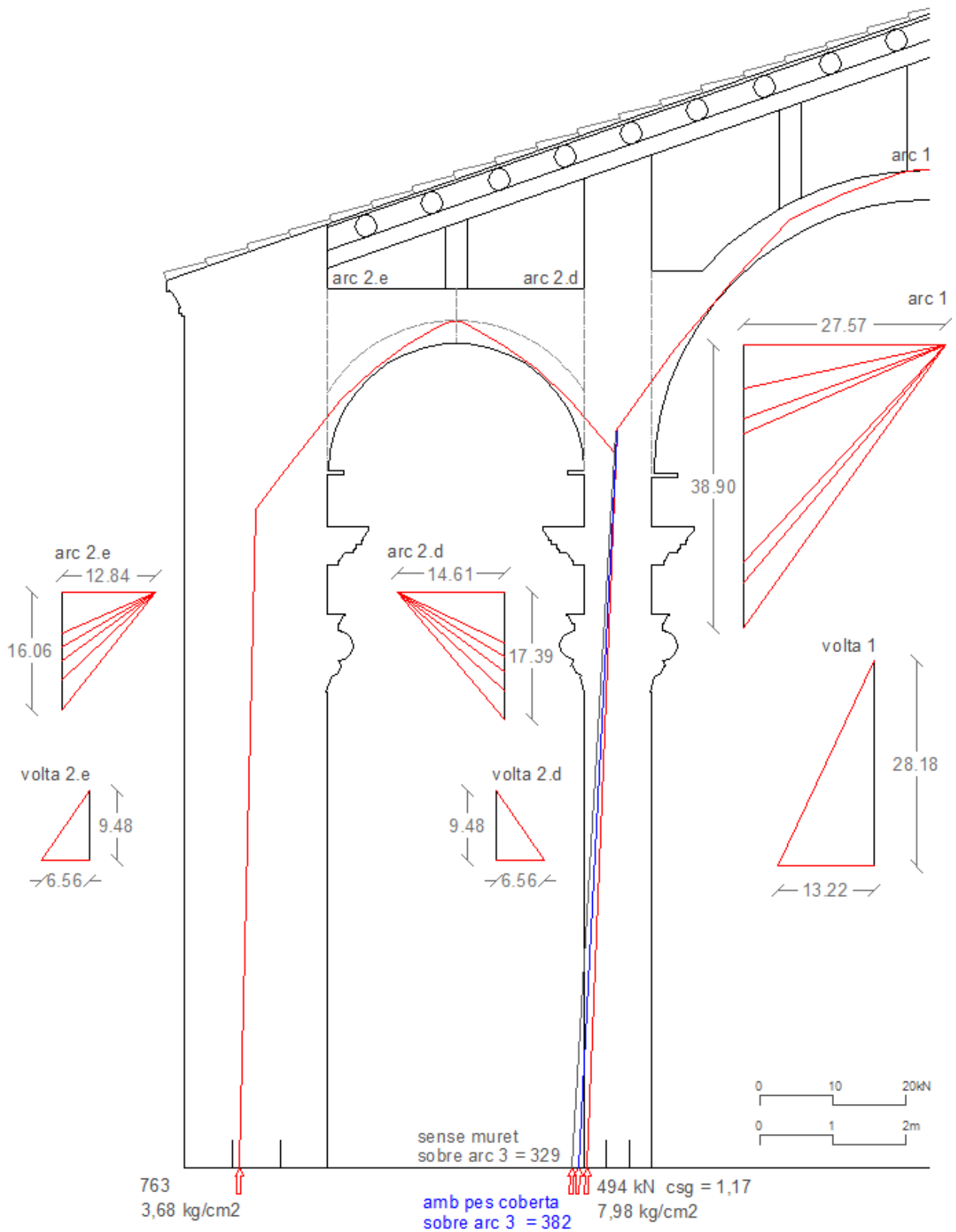


**Fig.20** Anàlisi gràfic del mètode dels talls aplicat a les voltes d'aresta de les naus laterals. Geometria ideal sense deformatar.



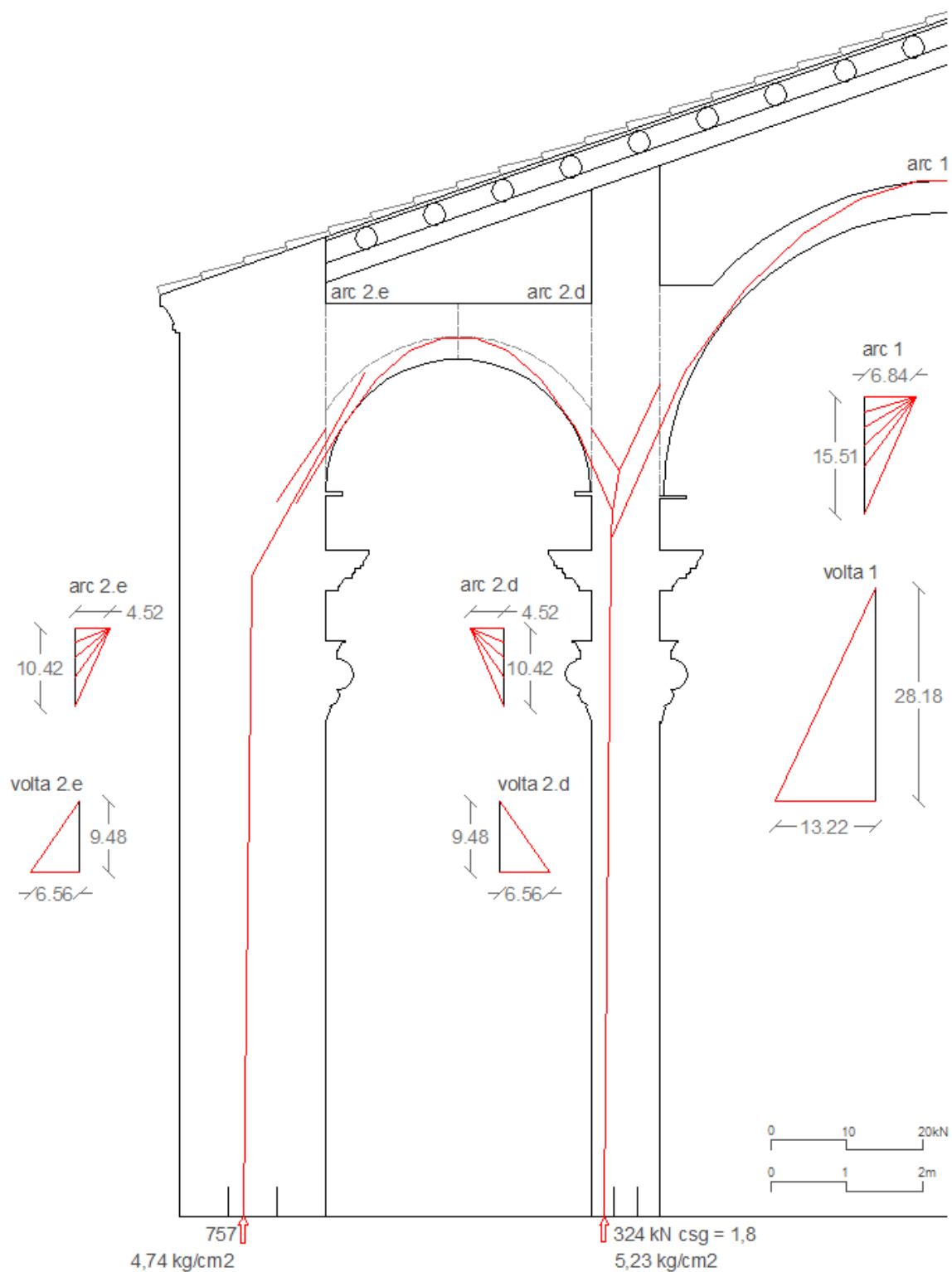
**Fig.21** Anàlisi gràfic del mètode dels talls aplicat a les voltes d'aresta de les naus laterals. Geometria ideal sense deformar.





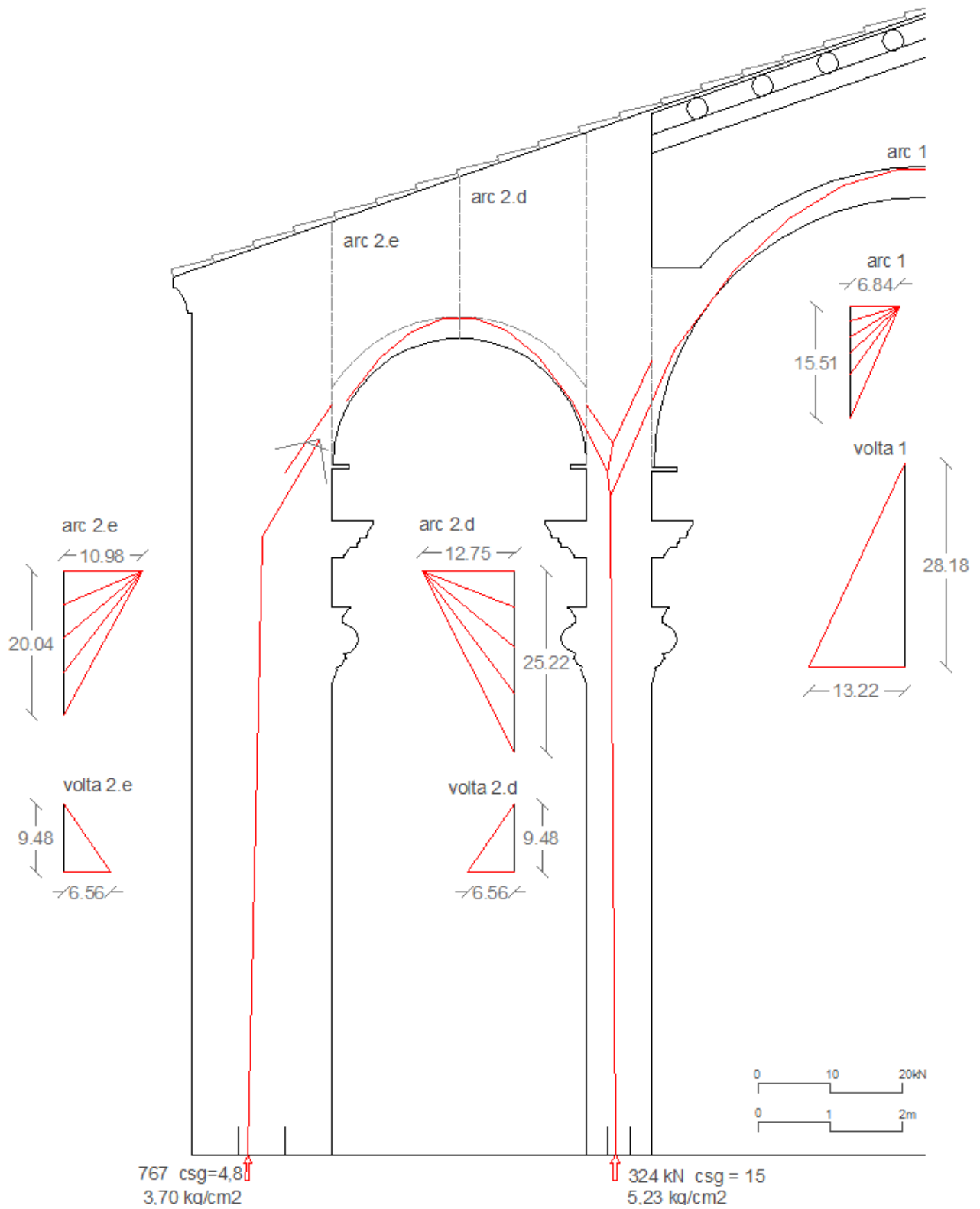
**Fig.22** Anàlisi de l'equilibri de la secció tipus de l'església amb la hipòtesi de les pilastres sobre els arcs faixons de la nau central i de les naus laterals. Geometria ideal sense deformat. Es carreguen els arcs 3 intentant trobar una solució.

Si la solució de la coberta grafiada a la Figura 22 era la solució inicial. L'excentricitat de la línia d'esforços a la base del pilar va produir que la nau s'obrís; causant el deteriorament de la coberta i l'entrada d'aigua que també afectava la geometria de les voltes preses amb guix.



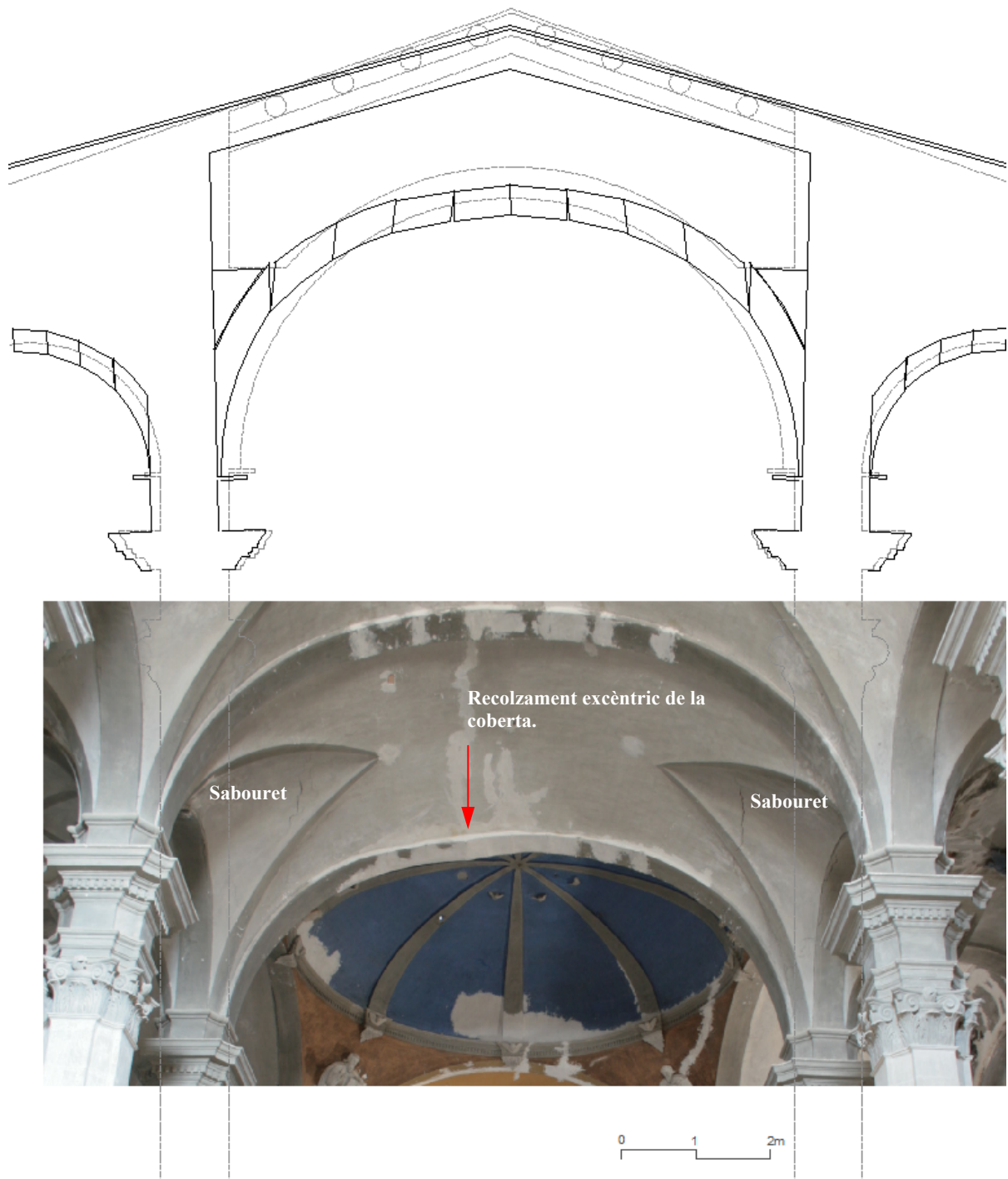
**Fig.23** Anàlisi de l'equilibri de la secció tipus de l'església amb la hipòtesi sense pilastres, amb el pes de la coberta recolzant només sobre la vertical dels pilars i dels estreps. Geometria ideal sense deformar.

La solució de la coberta grafiada a la Figura 23 tampoc garanteix l'equilibri, i hauria provocat fàcilment l'obertura de la nau i la consegüent entrada d'aigua i deteriorament de la coberta.



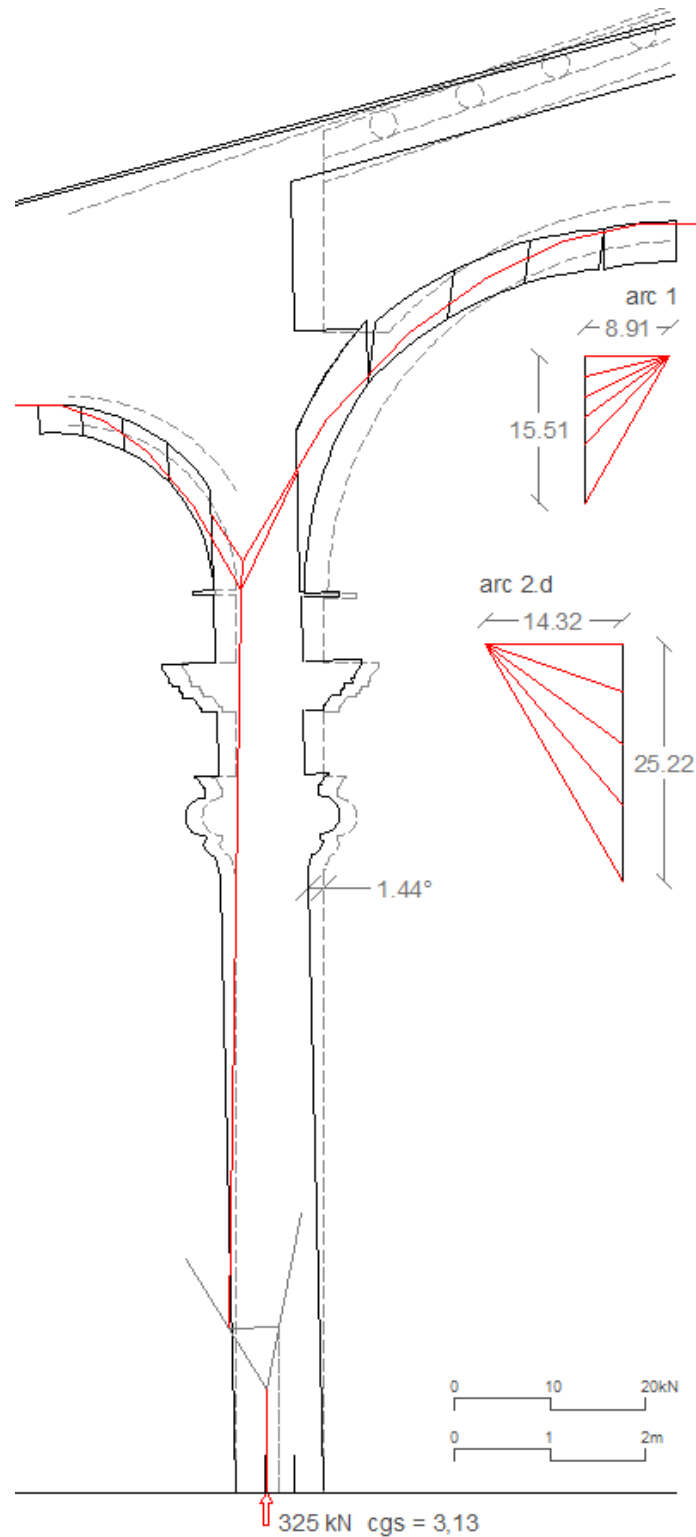
**Fig.24** Anàlisi de l'equilibri de la secció tipus de l'església amb la hipòtesi sense pilastres, amb el pes de la coberta recolzant sobre la vertical dels pilars i sobre els arcs de les naus laterals. Geometria ideal sense deformar.

El cas grafiat a la Figura 24 equilibra els pesos, de tal manera que en cas de ser aquest el disseny inicial del temple, el mestre de cases Francesc Albareda hauria dissenyat correctament l'església. En tot cas, el text històric de 1828 podria referir-se a una mala qualitat o factura de les encavallades de coberta, que podrien haver fletxat i recolzat sobre els arcs i voltes. En fletxar els tirants de les encavallades s'haurien construït les pilastres sobre els arcs faixons, i això, com es mostra a la Figura 22, hauria causat l'excentricitat de les pressions a la base dels murs i els pilars, causant els desploms actuals.



**Fig.25** Hipòtesi de deformació de la nau i fotografia de la deformació actual.

La Figura 25 mostra una hipòtesi de deformació de la nau. La Figura 26 avalua l'equilibri del pilar amb la secció deformada. S'observa que la línia d'esforços es situa dins del terç central, amb un coeficient de seguretat superior a 3 malgrat els desploms i la deformació. La hipòtesi es realitza amb els arcs de la nau central sense carregar i els arcs de la nau lateral carregats amb els murs i el pes de la coberta.



**Fig.26** Anàlisi d'equilibri del pilar amb la geometria deformada. En discontinua la nau sense deformat.

#### 4.2.4 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions

Es parteix de la base que el mestre de cases Francesc Albareda tenia els coneixements necessaris per a idear una solució d'equilibri correcta per a l'església. Per això, es suposa que la solució de coberta grafiada a la Figura 24 devia ser la original.

El mestre de cases va construir una església on els arcs faixons de les naus laterals estaven carregats amb els murs que sostenien les biguetes de la coberta, i a la nau central, encavallades de fusta recolzades sobre la vertical dels pilars, recollien les biguetes de fusta d'aquest tram.

Aquesta solució permetia trobar l'equilibri i estalviant en cavalls de fusta i aprofitant la pedra del temple antic, per exemple.

Amb el pas dels anys i la possible mala factura de les encavallades de coberta (text de 1822), els tirant de les encavallades van anar fletxant, produint la deformació de la coberta i permetent l'entrada d'aigua.

L'aigua deformaria les voltes de rajola doblada preses amb guix i les encavallades deformades recolzarien puntualment sobre arcs i voltes accentuant-ne la deformació.

Per a intentar pal·liar els desperfectes sense realitzar una gran inversió, s'hauria reparat la coberta construint pilastres sobre els arcs faixons de la nau central que ajudarien els tirant de les encavallades a no fletxar.

Aquest nou equilibri de forces no seria l'adequat per al temple, ja que els esforços s'haurien desplaçat del terç central a la base dels pilars, això hauria provocat l'obertura de la nau i la consegüent deformació.

La rehabilitació realitzada el 1993 va substituir les cobertes i va prescindir de les pilastres, però també es va prescindir del pes de sobre els arcs faixons de les naus laterals que ajudaven a equilibrar. Tal com mostra la Figura 23 l'equilibri aconseguit tampoc no és l'adequat, ja que les línies d'esforços surten del terç central.

Així, una intervenció que hagués recuperat el suposat estat original de la coberta del temple possiblement hauria estalviat l'actuació de penjar els arcs que lluny d'ajudar a l'estabilitat del temple confereix a aquests elements un funcionament estructural que no els és propi.

L'empenta de les voltes afecta l'equilibri global de l'església. Tot i que les voltes són molt lleugeres, realitzen una empenta que intervé en l'equilibri de pesos final.



Els arcs més deformats poden estar en equilibri malgrat la deformació. De fet, la Figura 26 mostra com la hipòtesi de deformació dibuixada per a l'arc més deformat troba una línia d'empentes continguda dins de l'arc. Per a assegurar la seva estabilitat caldria disposar d'un aixecament topogràfic per a conèixer els desploms i deformacions reals i comprovar que aquests s'han aturat. Tot i així, ja que a simple vista la deformació pot resultar molesta, s'hagués pogut desmuntar part d'aquest arc i tornar-lo a construir recuperant la seva geometria. Això s'hauria pogut realitzar construint una cintra que el sostingués durant l'operació de recol·locació. Les voltes no recolzen sobre l'arc i per tant, la seva estabilitat no s'hauria vist compromesa, com ja s'ha demostrat el seu comportament és independent.

El fet de penjar els arcs de les encavallades es considera una mesura excessiva i que no respon al funcionament original pel qual estava dissenyat el temple. Tot i així, tal com s'ha esmentat, caldria disposar d'un aixecament topogràfic de les deformacions i desploms per tal de poder avaluar l'equilibri de l'església correctament.

D'altra banda, les anàlisis exposades són reveladores de la possibilitat d'intervencions més adequades a les necessitats reals i menys costoses.

### 4.3 Falset

L'Església de Santa Maria de Falset és una església de saló construïda entre el 1774 i el 1780. Les voltes són de canó amb llunetes a la nau central i d'aresta a les naus laterals. Al centre hi ha un cimbori amb una cúpula de mitja taronja.

La visita realitzada al temple pel desenvolupament de la investigació va evidenciar la singularitat de la solució de la coberta i l'estat en què es troba.

La solució adoptada en aquest cas, substitueix les típiques encavallades de fusta que recolzen sobre els pilars per arcs de mig punt que recullen l'embigat de fusta.

Aquesta solució es troba descrita en algunes tabes com la més avantatjosa. Per exemple, a la taba de l'església de Batea s'especifica que es construiran arcs per a sostenir la coberta i que "*dichos arcos son a fin de escusar tixeras y mayor permanència de dicha obra*".

Durant la visita es va notar que aquest sistema d'arcs que sostenen la coberta estan apuntalats, ja que sembla que s'hagin obert i deformat. No es disposa d'un aixecament topogràfic que permeti discernir l'abast de la deformació que pateixen, per això aquest estudi es realitza en base a les dades preses in situ i a les hipòtesis extretes de la inspecció visual i les fotografies realitzades.

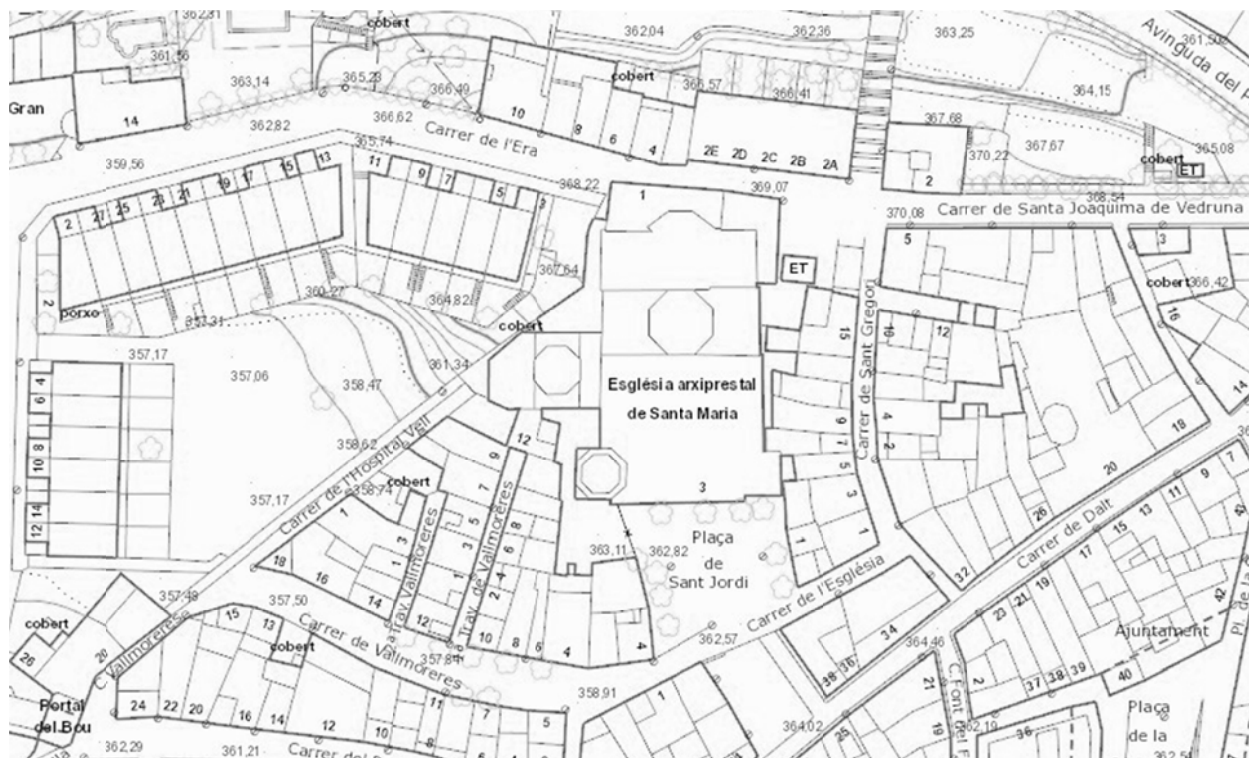


Fig.1 Topogràfic. Font: ICC.



### 4.3.1 Recerca històrica d'actuacions

S'ha obtingut informació rellevant per al desenvolupament del present anàlisi a l'Arxiu Històric Diocesà de Tarragona i a l'Arxiu Gavín.

El document aconseguït més antic data de 1859. Es tracta d'una carta del rector de la parròquia adreçada al bisbe on li exposa les necessitats de disposar d'un nou temple molt més gran i espaiós ja que l'existent ha quedat petit i *“ha de ensancharse por no ser bastante su capacidad para contener los concurrentes”*. Especifica que es pot ampliar per una capella existent al costat dret. Parla de què es va enderrocar l'*“antic temple”* per a construir-hi el què ens ocupa.

El 1863 una carta de la Junta de Construcción y Reparación de Templos Parroquiales encarrega a l'arquitecte Ignasi Jordà un pressupost, plànols i plec de condicions per a treure a subhasta pública l'ampliació del temple de Falset.

Sembla que les opcions d'ampliació no es dugueren a terme, ja que el 1865 el *“Proyecto de obras de reparacion para poner en buen estado la Iglesia parroquial de Falset”* exposa els desperfectes en que es trobava l'església després d'una nevada esdevinguda el 1864. La teulada de la nau lateral esquerra estava ensorrada *“en toda la extension que comprenden 13 metros de longitud por 6 metros de ancho”*.

Segons l'autor del projecte l'esfondrament va ser causa de la *“mala construcción de la totalidad del tejado de la Iglesia, pues ademas de estar sentadas en seco las tejas empalman muy poco entre si (...) resultando de ahí una gran filtración de aguas pluviales indicada ya por las muchas que se observan en las bovedas; cuyas filtracions mas o menos tarde acabaran por destruirlas”*. I afegeix: *“ Al mal estado del tejado contribuye también el en que se hallan algunos maderos llamados tirantes y gran numero de biguetes que creo necesario cambiar “*.

D'aquesta afirmació sembla dependre's que si hi havia tirants possiblement hi havia encavallades.

També explica que la coberta dels braços del creuer és més elevada i tira les aigües sobre la resta. Finalment parla de desperfectes al campanar per l'embat de la pluja, i proposa aixecar la meitat de la coberta i reconstruir-la juntament amb la part ensorrada.

El 26 de gener de 1865 un arquitecte de la Real Academia de San Fernando és enviat per a comprovar l'estat del temple parroquial.

El 3 de juny de 1865 la Junta de recuperación de templos de la diòcesi de Tarragona publica els plecs per licitar les obres de reparació.

El 18 d'abril de 1866 el rector envia una carta al bisbe de Tarragona sol·licitant els diners per a pagar el contractista i per poder continuar les obres que es troben mig executades.

El 26 de febrer de 1867 la Junta de Construcció i Recuperació de Temples Parroquials demana al bisbe la continuïtat de les obres de reparació de la teulada, voltes, escales de la torre i façana. Restant la coberta i la façana per a finalitzar les obres.

El 1880 es signa una acta per a la col·locació de la primera pedra de la capella projectada per ampliar l'església.

No es tenen notícies fins el 1921, que es sol·licita permís i fons per a diverses reparacions al temple parroquial de Falset. En concret per a la teulada i els baixos que s'han trobat en mol mal estat. El rector demana fons per a efectuar obres urgents.

Entre el 1880 i el 1882 s'executen obres de reparació de l'església consistents en la col·locació de teules noves.

El 1997 un article de premsa titulat "*L'església de Falset culmina la primera fase de la restauració*" relata que es va restaurar la teulada substituint l'entramat de fusta del sostre per una nova estructura de formigó i ferro. També es van renovar les teules, i "*la correcta conducció de les aigües pluvials i l'arrebossat de la part posterior de la falsa façana*". I afegeix: "*Aquests treballs s'han efectuat per aturar la degradació del temple, ja que el 8 de desembre de 1996 es va escolar l'aigua de pluja a l'interior de l'església*". L'article també explica que es preveu la rehabilitació de la cúpula del cimbori i fer una actuació de millora a la torre del campanar.

El novembre de 1998 un article de premsa titula que "*El campanario de Falset estará en obras hasta fin de año*". Diari de Tarragona. Cal destacar que segons l'article va caure un llamp a la torre el mateix any 1998.

Les Figures 2 a 8 mostren l'estat de l'església des dels anys seixanta fins el 1977. S'observen humitats a la testera, deteriorament del campanar, però no es veuen esquerdes significatives a l'interior del temple.



**Fig.2** Campanar i capcer 1930. Arxiu Gavín.



**Fig.3** Campanar i capcer 1960. Arxiu Gavín.



**Fig.4** Vista general i del campanar, 1967. Arxiu Gavín.



**Fig.7** Campanar, façana i entrada de l'església, 1977. Arxiu Gavín.





**Fig.4** Campanar i capcer, 1977. Arxiu Gavín.

Les imatges mostren en general el deteriorament del capçal de l'església i del campanar. També s'observa a la coberta. El temple pateix humitats a la base dels murs de façana. A l'interior no s'aprecien esquerdes.



**Fig.5** Interiors de l'església, 1977. Arxiu Gavín.





**Fig.6** Vista general i interiors de l'església, 1977. Arxiu Gavín.



**Fig.8** Campanar i façana, 1977. Arxiu Gavín.

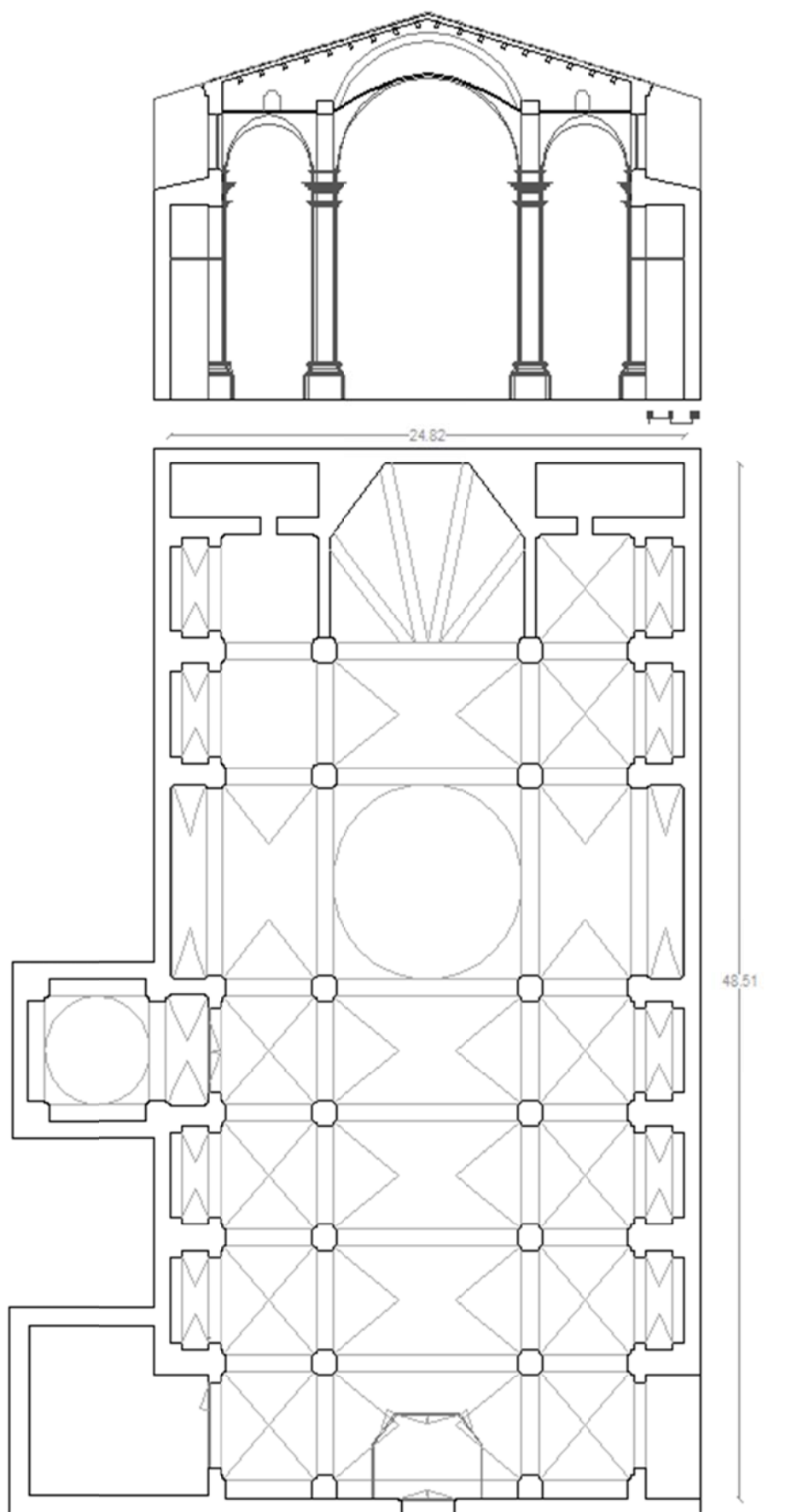
Dels documents estudiats s'extreu que la coberta presentava problemes ja el 1864 i que tenia tirants, per tant, és possible que es decidís canviar la configuració de la coberta, substituint les encavallades per un sistema d'arcs, per tal d'acabar amb els múltiples problemes que al llarg dels anys ocasionava la coberta.

#### **4.3.2 Geometria del temple i lesions**

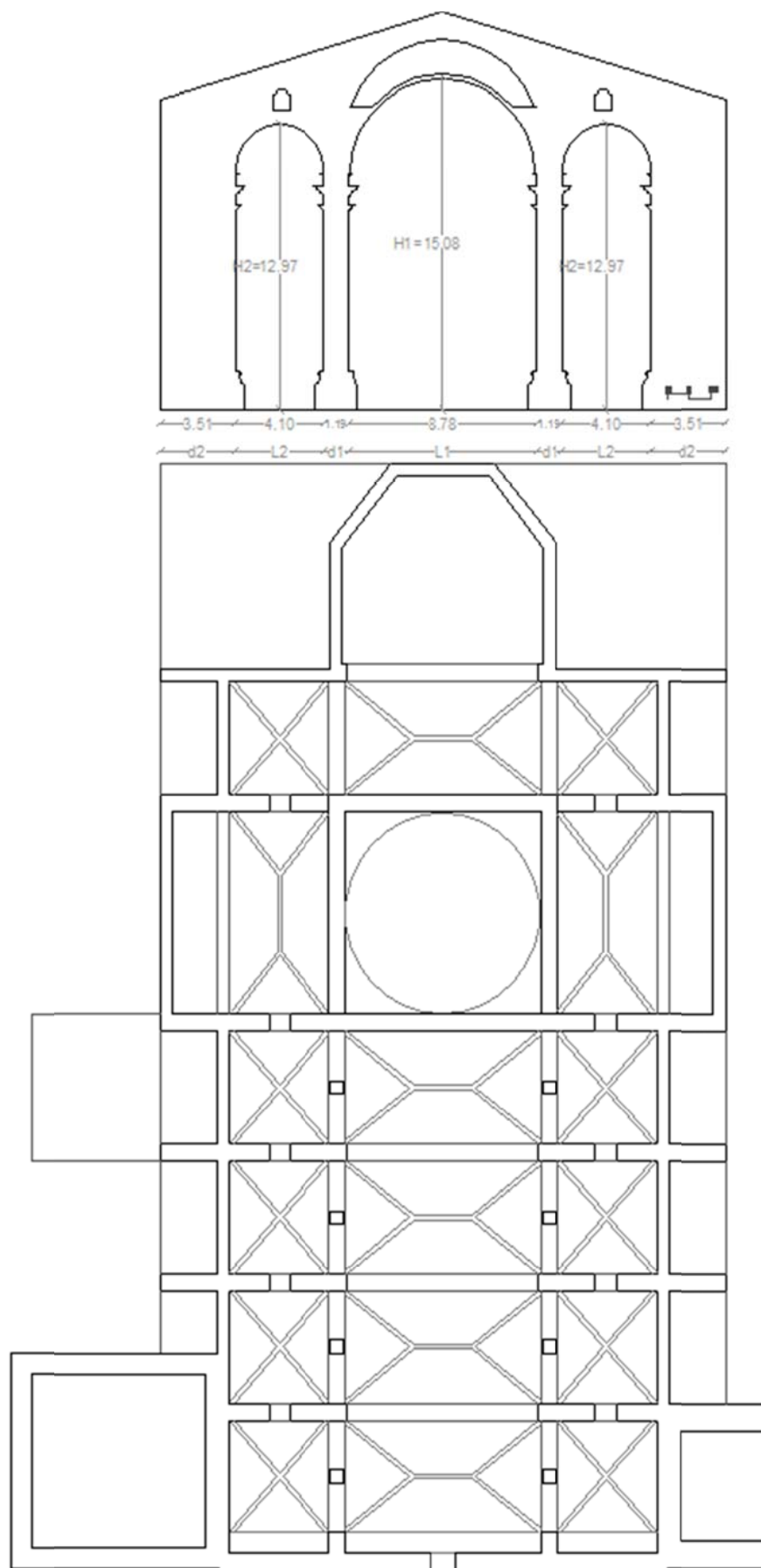
No es disposa d'un aixecament topogràfic ni tampoc de cap tipus d'informació precisa sobre les dimensions del temple.

Els arcs faixons de la nau central són de volta de rajola doblada (6-7cm). Els arcs formers són de maó a sardinell. Les voltes de l'església també són de rajola doblada. Els arcs que sostenen la coberta són de maó a sardinell. Al centre dels arcs formers de la nau central recolzen unes pilastres de maó que recullen part del pes de la coberta.

Els arcs de la coberta estan apuntalats amb puntals metàl·lics. Sembla que estiguin lleugerament deformats (Figura 12). Les biguetes de la coberta es van substituir per biguetes de formigó prefabricat sobre les quals es va col·locar un encadellat ceràmic i les teules.

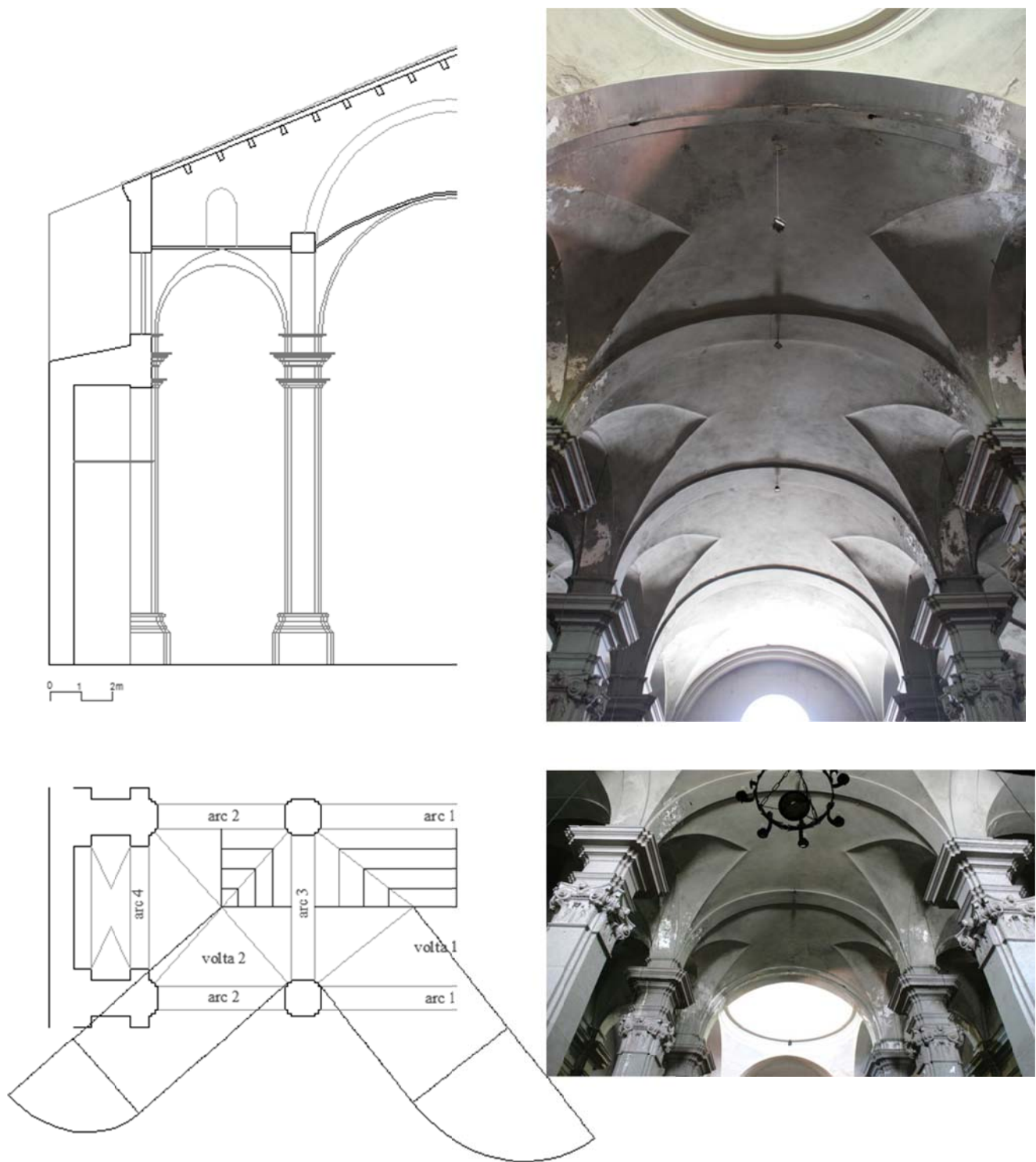


**Fig.9** Planta i secció de l'església. Geometria ideal sense deformar.



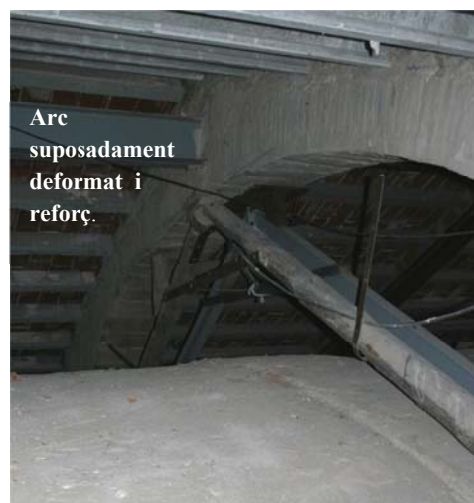
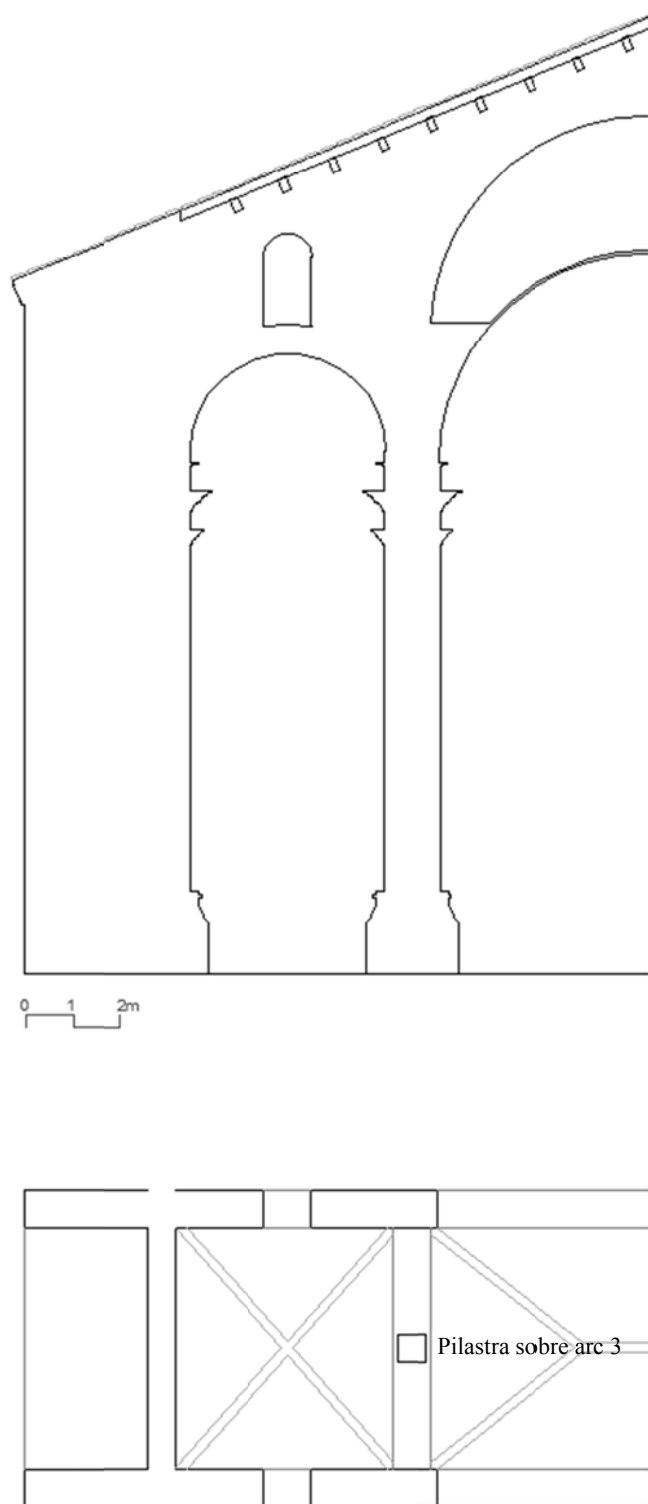
**Fig.10** Planta de l'extradós i secció de l'església. Geometria ideal sense deformar.





**Fig.11** Planta i secció de la nau tipus de l'església. Geometria ideal sense deformar. Les fotografies mostren les voltes de la nau.

Les voltes de la nau no presenten esquerdes considerables. Es desconeix si la geometria està o no deformada, a simple vista les deformacions no s'aprecien. No es disposa d'un aixecament topogràfic que facilitaria dades de les deformacions i els desploms. Per això es treballa amb la geometria ideal sense deformar.



**Fig.12** Planta per l'extradós i secció de la nau tipus. Geometria ideal sense deformar. Fotografies de l'extradós de les voltes.

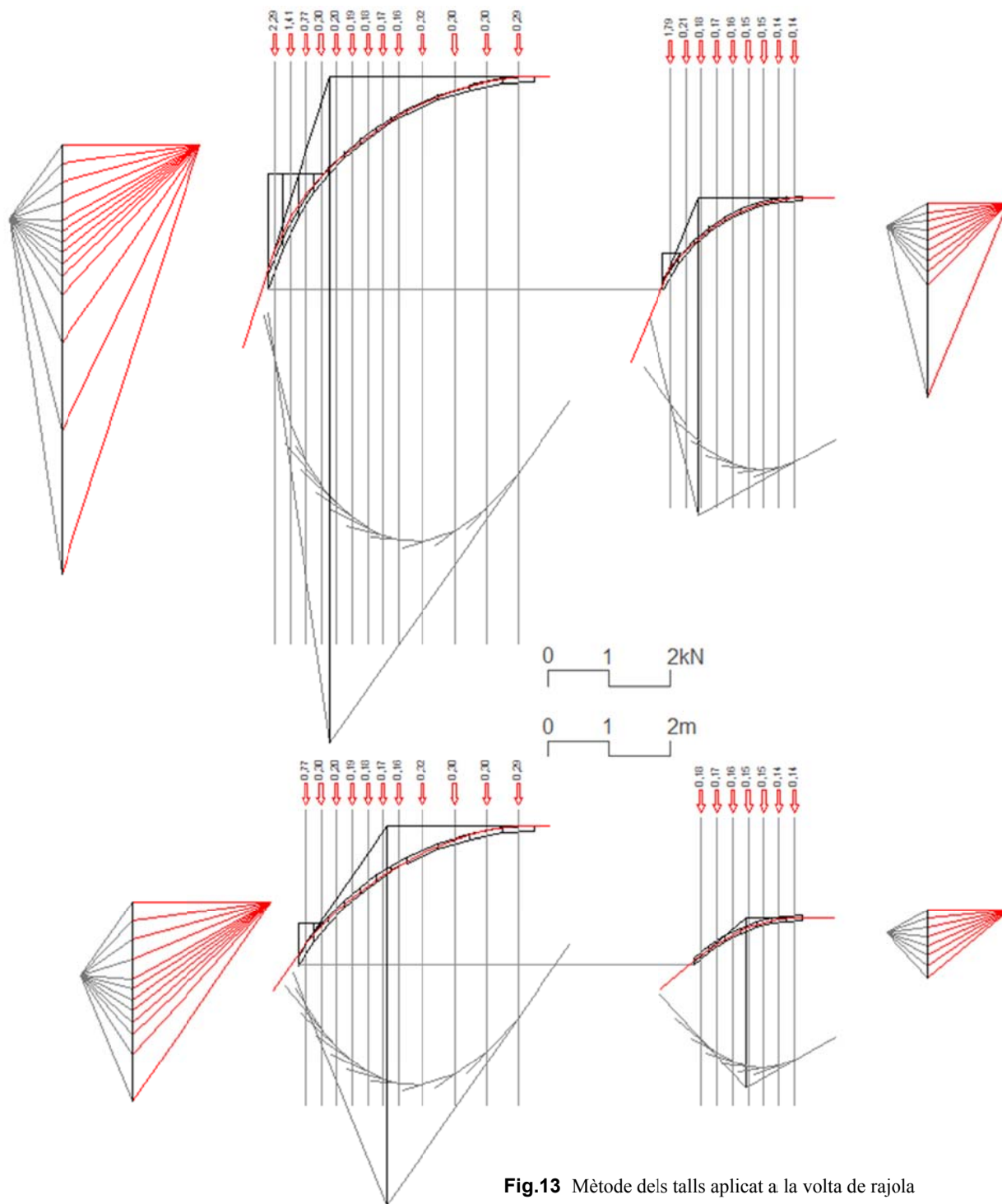
Els arcs que sostenen la coberta semblen haver deformat, caldria disposar d'un aixecament topogràfic per a discernir el grau de deformació. Un aixecament topogràfic serviria per a poder realitzar una avaluació de la seguretat del temple en l'estat actual i determinar si els puntals metàl·lics que es van col·locar són o no necessaris.



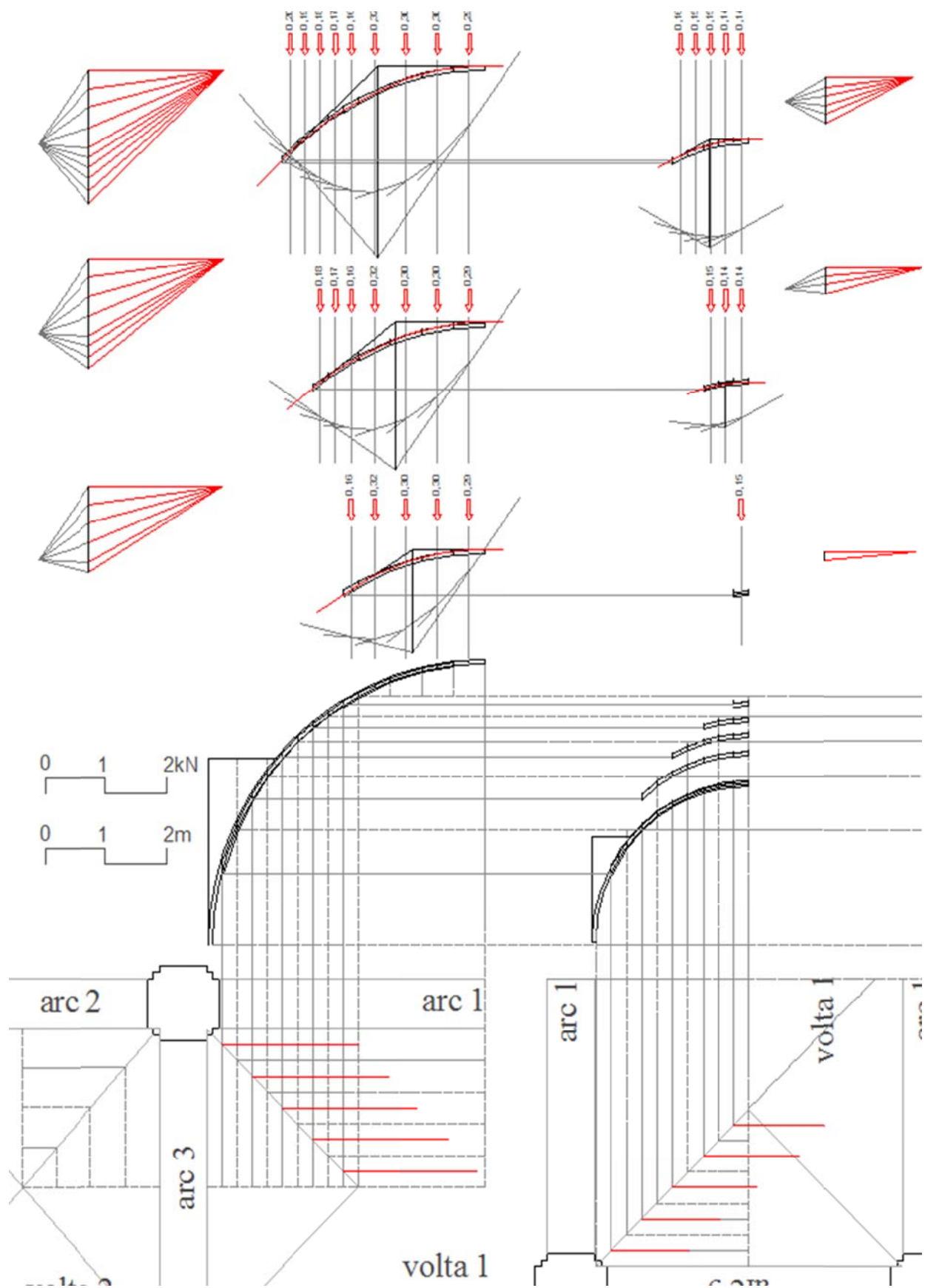
Les fotografies (Figura 12) mostren com els monjos d'aquests puntals s'han despès en diversos punts. També s'observa la pilastra situada sobre els arcs formers i que recull el pes de la coberta.

#### 4.3.3 Avaluació de la seguretat de l'església

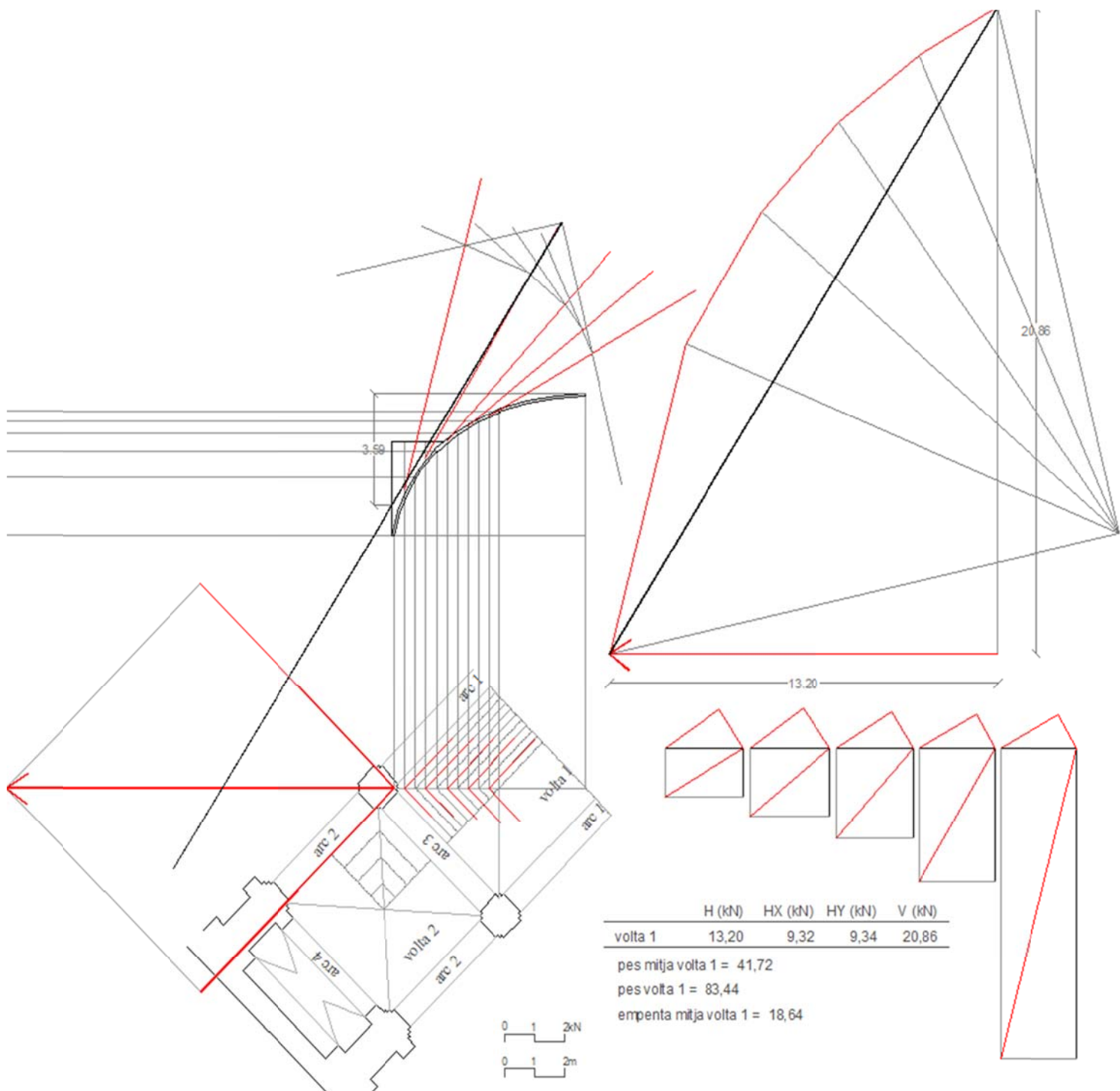
S'analitza primer l'estabilitat de les voltes. Per fer-ho s'aplica l'Anàlisi Límit amb el mètode dels talls.



**Fig.13** Mètode dels talls aplicat a la volta de rajola doblada de canó amb llunetes de la nau central.



**Fig.14** Mètode dels talls aplicat a la volta de rajola doblada de canó amb llunetes de la nau central.



**Fig.15** Mètode dels talls aplicat a la volta de rajola doblada de canó amb llunetes.

La línia d'empentes sempre es troba dins de la secció. La resultant està situada a 3,59 m per sota de la clau de la volta. La resultant es descomposa en x i y seguint el sentit transversal i longitudinal de la nau respectivament.

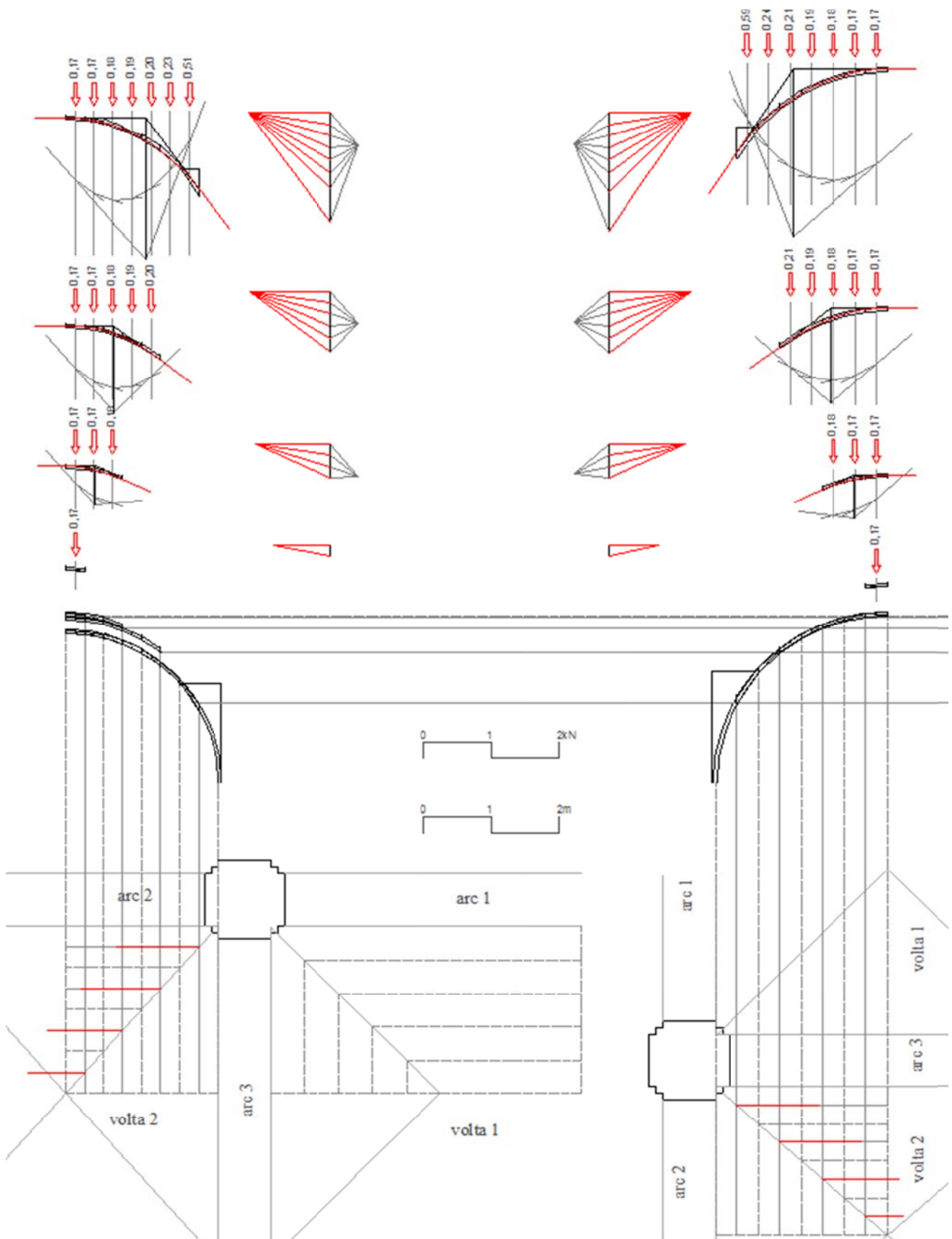
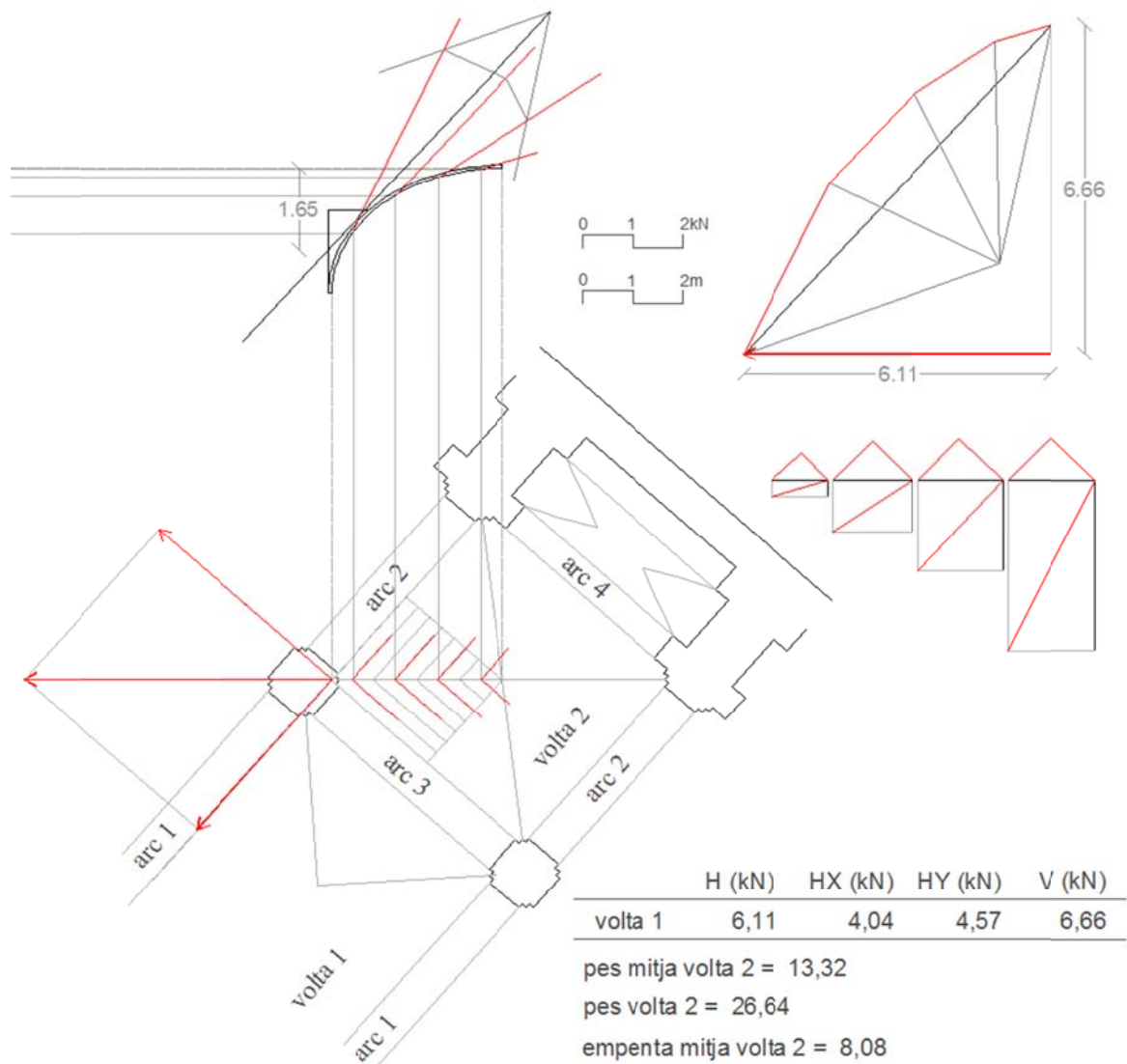


Fig.16 Mètode dels talls aplicat a la volta de rajola doblada d'aresta de les naus laterals.



**Fig.17** Mètode dels talls aplicat a la volta de rajola d'aresta de les naus laterals.

Les voltes d'aresta també es troben en equilibri, ja que la línia d'empentes està continguda dins de la secció. La resultant es situa a 1,65 m per sota de la clau de la volta i també es descomposa en x i y, segons els sentits transversal i longitudinal de la nau.

Seguidament s'avalua l'equilibri de la secció transversal. Per fer-ho s'apliquen els pesos que mostra la taula 1.

A banda d'avaluar l'equilibri de la secció resolta amb el sistema d'arcs, també interessa discernir si la pilastra col·locada sobre els arcs formers actua equilibrant els esforços. Les biguetes de formigó col·locades per a salvar la llum entre els arcs de coberta no semblen necessitar un trencallums per a una distància de 5 m entre recolzaments.

La factura de la pilastra és diferent que la de l'arc, però està construïda amb maó pla o rajols. És clar que les biguetes metàl·liques que actuen de contrallums són modernes, però es deconeix si d'origen ja existia la pilastra disposada com actualment i aquesta es va mantenir o reconstruir en la rehabilitació, o si es va col·locar com a conseqüència del mal estat de les biguetes de formigó de la coberta, que havent-se realitzat la intervenció als anys 60, podrien ser aluminoses.



**Fig.18** Pilastra sobre els arcs formers que recull pes de la coberta.

#### **PILAR**

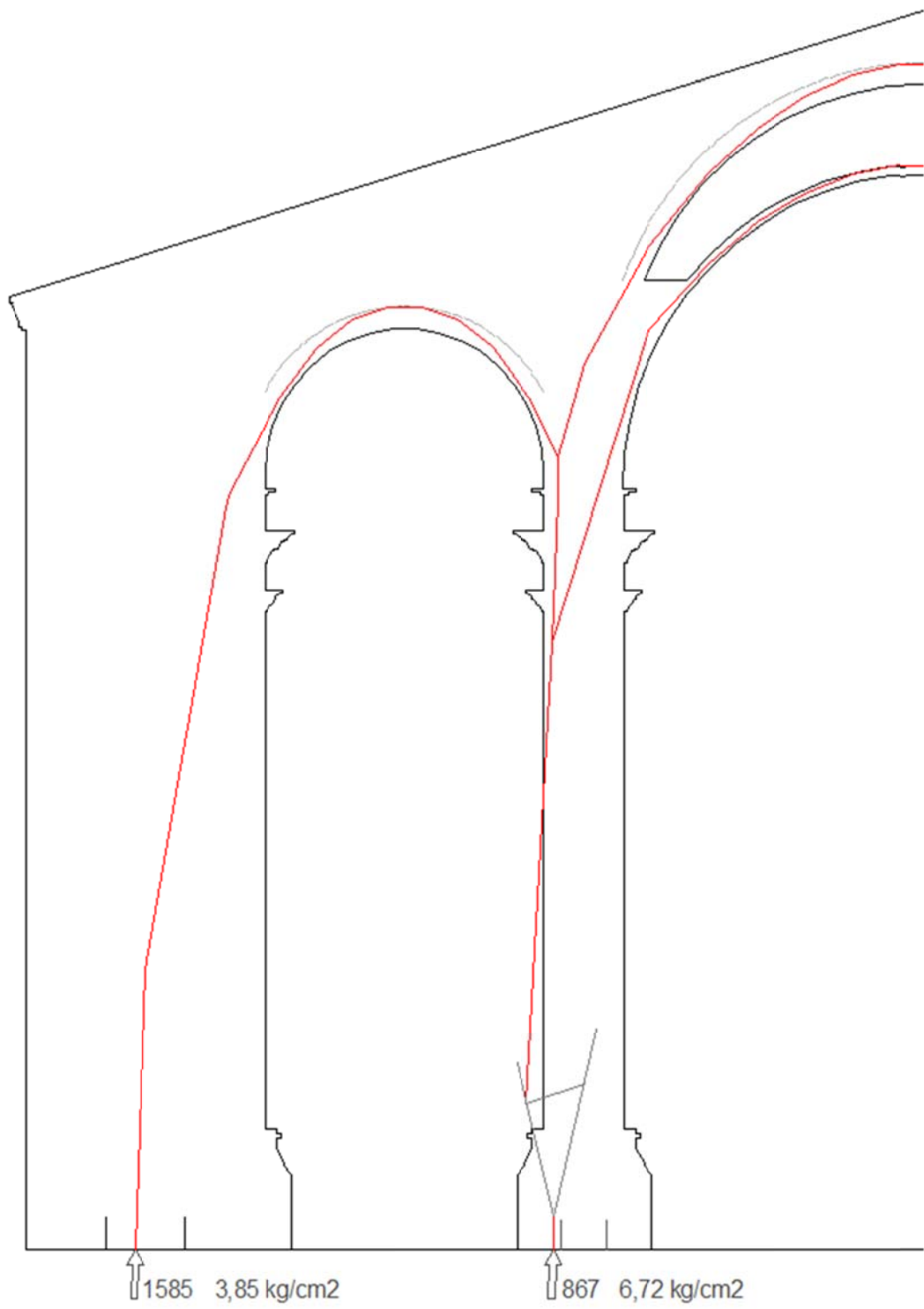
Empenta volta 1	Empenta volta 2	Empenta arc 1	Empenta arc 1.1	Empenta arc 2	Pes arc 3 sense pilastra central	Pes arc 3 amb pilastra central	Pes coberta	Pes pilar
18,64 kN	8,08 kN	64,87 kN	6,10 kN	58,30 kN	97,83 kN	122,20 kN	10,24 kN	459 KN
Pes volta 1	Pes volta 2	Pes arc 1	Pes arc 1.1	Pes arc 2				
41,72 kN	26,84 kN	112,7 kN	18,8 kN	113 kN				

#### **ESTREP**

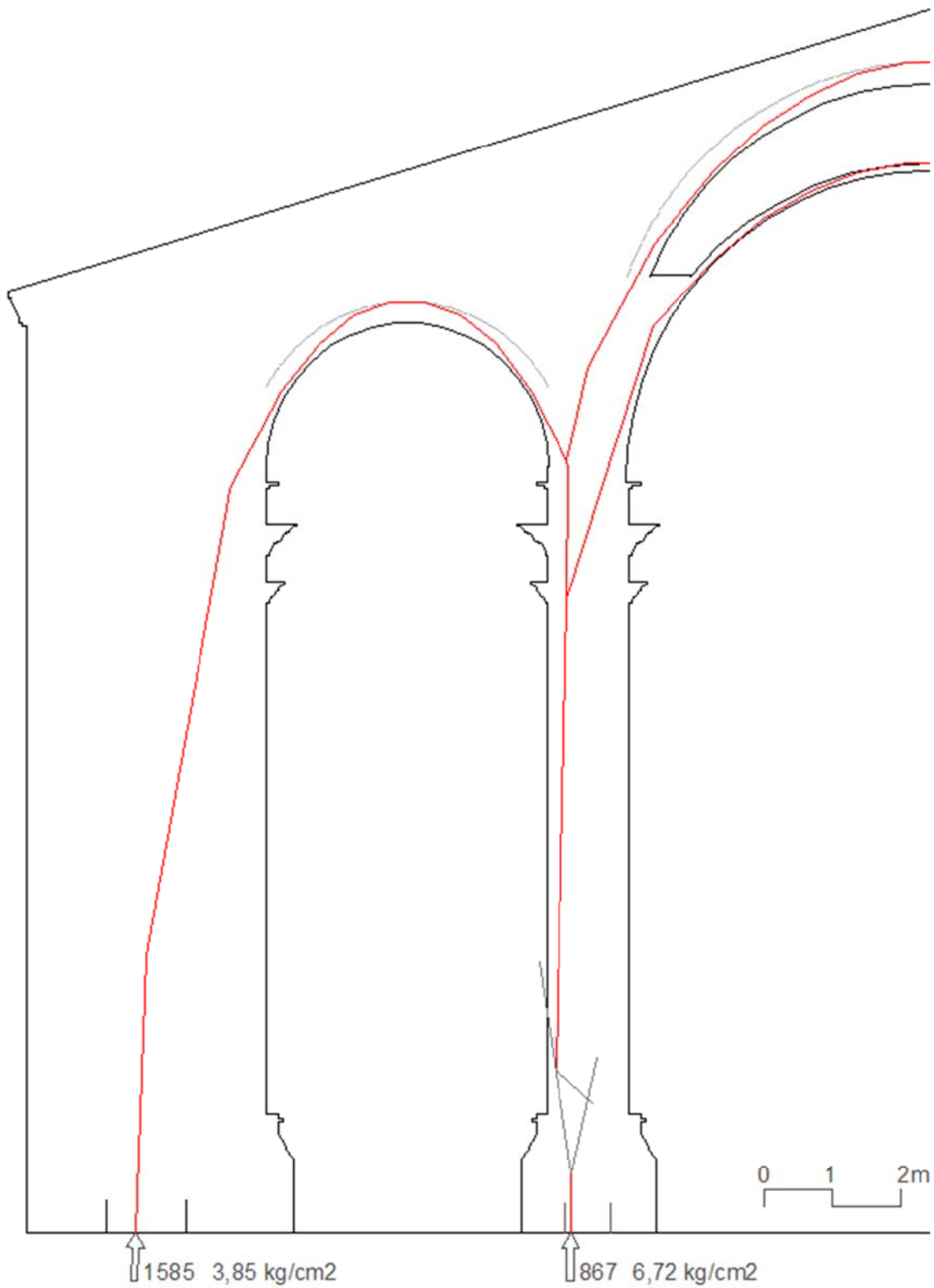
Empenta volta 2	Pes volta 2	Empenta arc 2	Pes arc 2	Pes arc 4	Pes coberta	Pes pilar
8,08 kN	26,84 kN	50,18 kN	91 kN	97,83 kN	10,24 kN	459 KN

**Taula 1** Relació de pesos aplicats a l'anàlisi de l'equilibri de la secció





**Fig.19** Avaluació de l'equilibri de la secció sense la pilastra sobre els arcs formers.



**Fig.20** Avaluació de l'equilibri de la secció considerant la pilastra sobre els arcs formers.

De l'anàlisi realitzat es desprèn que les pilastres col·locades sobre els arcs faixons són necessàries per a l'equilibri del temple.

Sense la pilastra ementada el coeficient de seguretat als pilars no compleix els paràmetres de seguretat recomanats per aquests temples. La línia de pressions surt del terç central. En canvi, l'anàlisi realitzat considerant la pilastra carregant sobre els arcs faixons permet trobar una situació d'equilibri satisfactòria per a la secció.

<b>Sense pilastra</b>	Resultant	Pressió terreny	Coeficient de seguretat
<b>Estrep</b>	1.585 kN	3,85 kg/cm <sup>2</sup>	12
<b>Pilar</b>	867 kN	6,72 kg/cm <sup>2</sup>	2,2

<b>Amb pilastra</b>	Resultant	Pressió terreny	Coeficient de seguretat
Estrep	1.585 kN	3,85 kg/cm <sup>2</sup>	13
<b>Pilar</b>	867 kN	6,72 kg/cm <sup>2</sup>	3,96

**Taula 2** Resultats de l'anàlisi

#### 4.3.4 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions

D'acord amb els textos històrics obtinguts, és possible que la coberta s'hagués construït originàriament amb un sistema d'encavallades de fusta on els tirants van començar a fallar.

Després de diversos intents infructuosos de reparació al llarg dels anys, es degué concloure que era convenient realitzar una reforma de la coberta amb un altre sistema constructiu que oferís més garanties de continuïtat. Per això es degué optar pel sistema d'arcs per a sostenir la coberta, i es devia dissenyar adequadament, a jutjar per la inexistència d'esquerdes a les voltes i als arcs del temple malgrat els repetits problemes a la coberta al llarg del temps.

També podria ser que d'origen ja s'hagués projectat la coberta amb sistema d'arcs. I que fallessin les bigues de fusta. En aquest cas es suposa que les pilastres sobre els arcs formers ja existien, sobretot perquè la llum a salvar entre biguetes seria de gairebé 6 m, i seria necessari un trencallums. També precisament per l'excés de llum entre arcs la coberta podria haver tingut continuats problemes. De totes maneres, els textos fan referència a uns tirants, que són atribuïts més aviat a encavallades de fusta. Malgrat tot enlloc no s'especifica, i les dues versions podrien ser vàlides.

Amb el temps es va decidir substituir les bigues de fusta entre els arcs per biguetes prefabricades de formigó. Atesa la dificultat pressupostària per a qualsevol intervenció en aquests temples podria ser que

aquestes biguetes estiguessin mal dimensionades de tal manera que per a estalviar, la llum de 6m que han de salvar fos massa gran. Per això s'hauria decidit col·locar la pilastra sobre els arcs faixons, per tal de col·locar el trencallums. També és possible que les biguetes de formigó pateixin aluminosi i per tant, pèrdua de resistència, tenint en compte que la reforma es va dur a terme als anys seixanta.

Sigui com sigui, la llum de gairebé 5 m entre arcs segur que sempre ha sigut un problema per a les biguetes que l'han de salvar. I amb la reforma aquest problema no sembla que minvés.

Això ha obligat a la col·locació d'una pilastra sobre els arcs faixons per a col·locar un trencallums, i l'acció d'aquesta pilastra sobre l'equilibri global de la secció resulta ser positiva, ajudant a equilibrar els esforços sobre el pilar.

En cas de rehabilitar la coberta s'hauria de fer conservant la seva configuració actual.

Caldria disposar d'un aixecament topogràfic que aportés dades sobre la possible deformació dels arcs que sostenen la coberta, ja que es desconeix si els puntals col·locats són per a evitar una possible ruïna o per desconeixement de l'èxit del seu funcionament, almenys si la secció està poc deformada.

I sembla que sigui així, a jutjar per les poques esquerdes d'arcs i voltes que no semblen haver-se refet, d'acord amb la documentació consultada.

El sistema de coberta amb arcs és vàlid i sembla que a l'època es preferia respecte les encavallades de fusta que es consideraven més problemàtiques.

## 4.4 Rocafort de Queralt

L'església de Sant Salvador de Rocafort de Queralt és una església de saló construïda entre el 1792 i el 1798, obra de l'artífex Francesc Albareda.

La visita realitzada per la tesi va evidenciar les acusades esquerdes de les voltes de la nau. Es van discernir dos tipus d'esquerdes diferents. Les corresponents al desplom cap a l'exterior del campanar, les quals es manifesten a la nau lateral adjunta al campanar. I les esquerdes corresponents a l'obertura de la nau. Esquerdes de Sabouret, a la clau d'arcs i voltes, esquerdes del mur així com esquerdes meridians en algunes voltes de mocador i a la volta del creuer.

Les esquerdes de Sabouret presenten una separació important, de tal manera que es pot observar l'església des de l'extradós de les voltes.

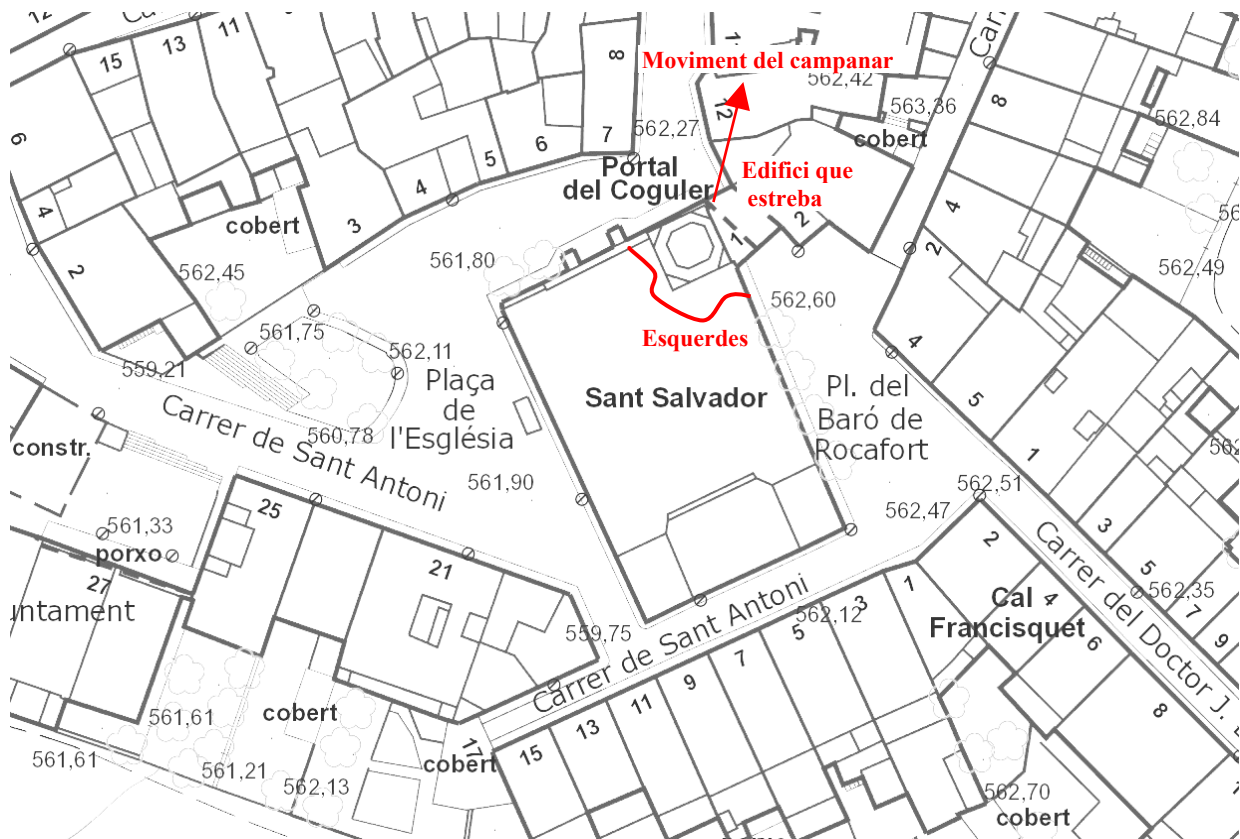
Aquestes esquerdes a les voltes i als arcs comprometen la seguretat del temple? Les voltes són segures? La nau és segura?

### 4.4.1 Recerca històrica d'actuacions

S'ha realitzat una recerca d'actuacions històriques realitzades al temple. Primer s'ha acotat l'abast de la recerca d'acord amb l'existència de documents rellevants. Un cop conegudes les possibles fonts amb informació rellevant per al present apartat, s'ha consultat l'Arxiu Diocesà de Tarragona, l'Arxiu Gavín, i veïns de la zona que posseïen documentació significativa.

Existeixen diverses cartes dels rectors de la parròquia adreçades al Bisbe sol·licitant finançament per a executar millores a l'església i explicant l'estat en què es troba.

El 1862 una carta del rector explica els problemes existents a conseqüència de les modificacions realitzades a la casa annexa al temple. Sembla ser que existien alguns edificis situats a est separats per un arc que "*estriba parte de esta iglesia*". Actualment existeix encara un edifici que llinda amb l'església formant un pòrtic que permet el pas a través (Figures 1 i 2), es desconeix però si els edificis a què es refereix el text eren més o si es van dur a terme modificacions en l'existent. El que és evident és que el campanar pateix moviments en sentit nord-est, fet pel qual l'església presenta esquerdes a les naus que envolten el campanar evidenciant aquest moviment.



**Fig.1** Topogràfic. Font ICC. En vermell s'han marcat les esquerdas de la nau formades pel moviment del campanar.



**Fig.2** Fotografies que mostren l'edifici situat a est que "arriestra" el campanar. Autor: Carlos Godoy.

També s'observen evidències de modificacions efectuades en coberta, sembla que originàriament estava situada més avall, ja que el parament dibuixa una junta horitzontal molt clara de canvi de material i/o fase.



Del 1882 data el *“Proyecto de reparación y mejora del Templo Parroquial de Rocafort de Queralt, Arzobispado de Tarragona.”* De l’arquitecte diocesà Ramon Salas. D’aquest projecte cal destacar la frase on l’autor afirma que *“(…) la reparación es urgente puesto que se notan movimientos de disgregación en las obras, que deben repararse, si es que se quiere evitar males de mayor cuantia y despues de difícil, sumo imposible remedio.”*

El projecte especifica quins són els punts ruïnosa i *“vicios de construcción”* que té l’església, entre els quals destaquen esquerdes de *“bastente consideración”* a l’angle esquerre (primera i segona nau transversal), que *“(…) por sus direcciones y longitud, dan señales de inminente ruina”*. Parla d’haver realitzat *“el analisis verificado en las diversas direcciones y magnitudes de todas las fuerzas que actuan en el edificio”* i segons diu els resultats han descobert diverses causes que han motivat l’estat en què es trobava el temple, i enumera les causes següents:

- Poc gruix de la volta de la nau central *“esta tiene mas de ocho metros de luz y consta solo de dos gruesos, sendo asi que le corresponde por su anchura tres gruesos”*.
- Utilitzar el guix com a material d’unió per a la construcció de la volta. *“El yeso es material de excelentes cualidades, empleado en sitios secos, pero cuando se usa en otros expuestos a la humedad, como en el caso presente, se descompone disrgando las fabricas que debe unir”*.
- Però el què considera el motiu principal *“proviene de la mala ejecución de las obras en la época de su construcción. En general las fabricas, estan ejecutadas, sin la observancia de los mas rigidos preceptos de la ciencia y del arte, tan necesarios en todas las obras, y muy particularmente en las Iglesias. Así es que los movimientos que se notan por la parte del campanario, han resultado del mucho espesor que tienen los muros de mismo, los cuales siendo de mamposteria han experimentado los asientos naturales, que en el presente caso, han sido pasando de los límites marcados, produciendo el principal agrietamiento de la Iglesia. (...) en los muros de la torre del campanario se observa una circunstancia rara y contraria a los buenos principios de edificación, y es que, el espesor de los muros es mayor en las partes superiores, notandose un aumento almenos de diez centímetros prueba del poco cuidado que hubo en la construcción de los muros”*.

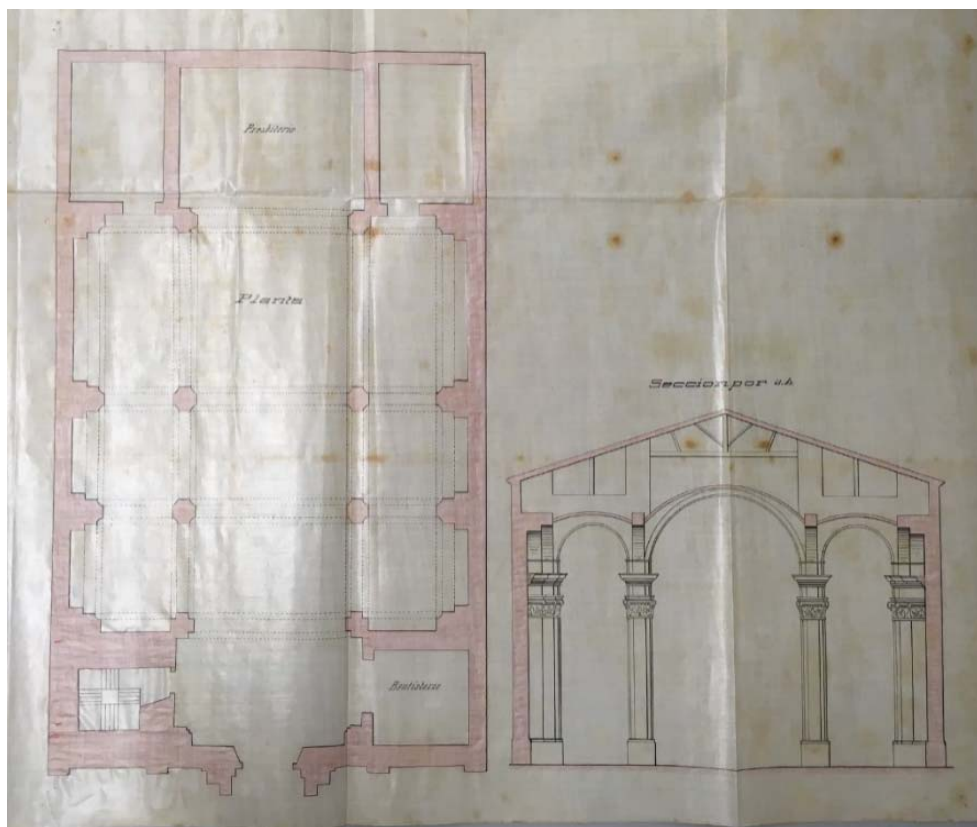
El projecte també descriu desperfectes originats al temple durant la guerra civil (guerra carlina) *“asi como algunos minados practicados por las cercanias de la Iglesia”*.

També la disposició dels pilars propers al cor *“puesto que las fuerzas desarrolladas por los arcos van algunas al vacio, sin hallar resistencia que las destruya”*.

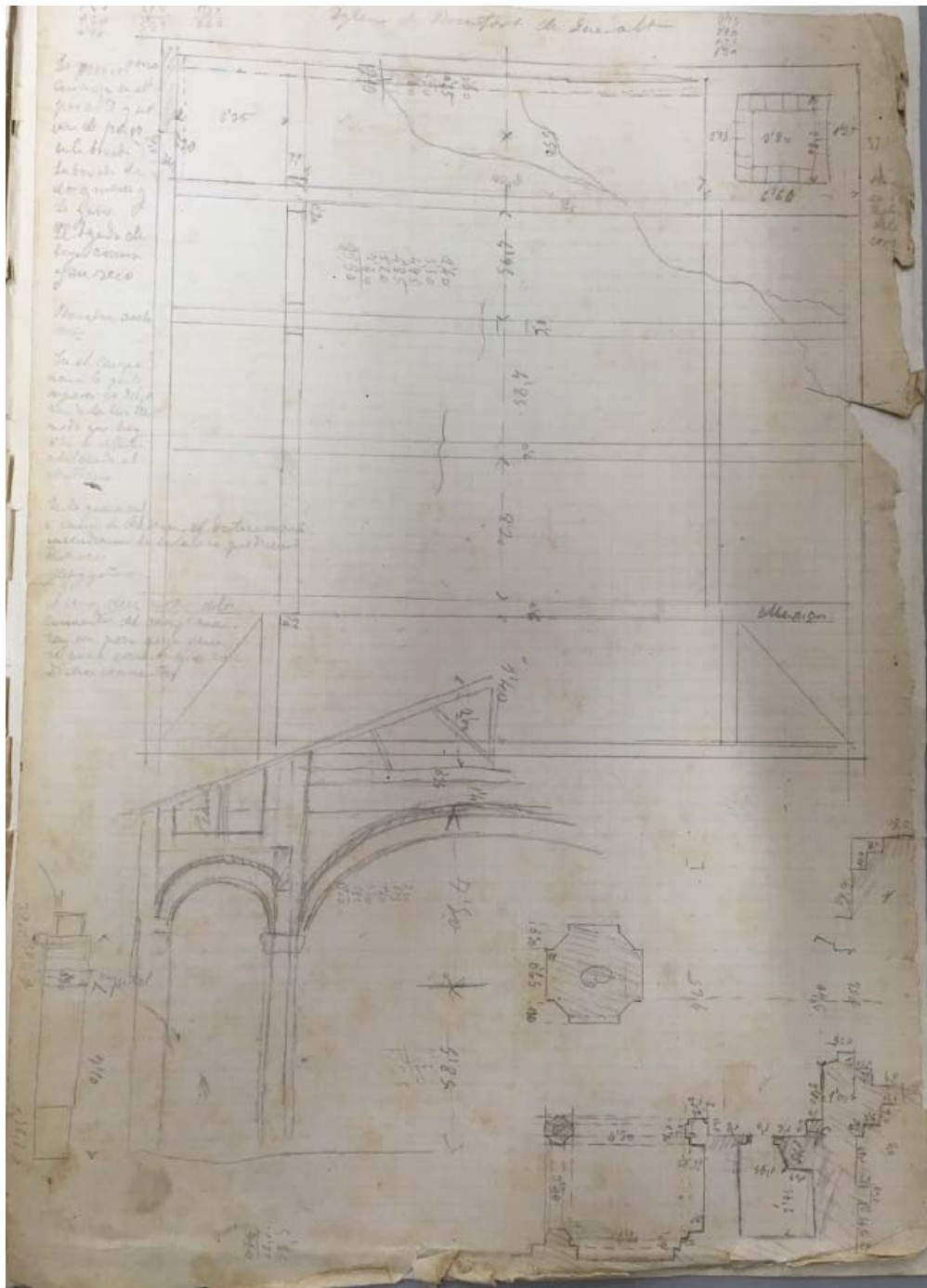
Després estableix algunes “medidas de reparación que deberán adoptarse”, que són les següents:

- Col·locar un altre gruix de maó a l'extradós de la volta de la nau central “que actualmente tiene solo dos gruesos”, es col·locarà amb barreja de ciment i arena “que reforzará notablemente la boveda dándole la unidad y debida solidez”.
- Es proposa eliminar les goteres de la coberta posant les teules sobre una “rasilla”.
- “En cuanto a la torre campanario, su reparación es mas difícil para no decir imposible. Los vicios de construcción que tiene no se quitan sino derribando y edificando otro nuevo conforme a los buenos principios de construcción”. Del campanar afegeix que “en toda la masa se observa un movimiento de inclinación hacia el exterior que ha motivado parte de las grietas que se notan en la fachada, cuyo movimiento hubiera continuado a no existir la casa proxima propiedad de D. José Mateu. Como la casa de este propietario tendra de altura el tercio de la torre campanario aproximadamente, y como sabemos que en este punto es precisamente donde existen el centro de percusion de las fuerzas, resulta que la casa del Sr. Mateu hace actualmente de oficio de puntal para el campanario. Asi es que bajo ningun concepto se debe tocar la casa del Sr. Mateu.”
- Finalment parla de diverses reparacions “con lazos y uniones por medio de zarpas o gafas ya de madera ya de hierro”.

És de gran valor també l'aixecament que ofereix de la geometria de l'església el 1882 (Figura 3).



**Fig.3** Plànols del temple segons Ramon Salas, arquitecte diocesà, 1882. Arxiu Diocesà de Tarragona.



**Fig.4** Plànols del temple segons Ramon Salas, arquitecte diocesà, 1882. Arxiu Diocesà de Tarragona.

El 1911 un document parla d'execució d'obres a l'església, però no especifica quines. Des d'aquest moment existeix un buit de gairebé 40 anys, i no és fins el 1949 que apareix un "*Anteproyecto de restauración del templo de Rocafort de Queralt, con sus retablos.*" Aquest avantprojecte descriu actuacions menors a l'església, com el pintat dels paraments i la reparació dels retaules.

D'altra banda els diferents retalls de premsa obtinguts parlen d'una restauració efectuada a l'església el 1974, que possiblement sigui la corresponent a les fotografies del desmuntatge de la coberta de 1972. Tot i que hi ha un lapse de dos anys és possible que les obres triguessin en finalitzar.

El 1995, un article de premsa titula “*Acaben l’anàlisi de l’estructura del subsòl de l’església de Rocafort*”. Segons l’article “*les prospeccions s’han fet per trobar la causa de la inclinació del campanar.*” I afegeix que “*les perforacions han mostrat la debilitat del sòl, en què hi ha cavitats d’aigua i arenes sense consistència fins a 24 metres.*” La solució proposada pels tècnics fou reforçar el subsòl de l’església amb “*ciment armat*”. El projecte de l’actuació descrita també inclou l’arranjament de les esquerdes de la façana, que “*ha cedit pel pes del campanar cap a una de les bandes. Les esquerdes de la façana són molt importants i també serà necessari reforçar-les amb ciment armat*”.

Consideracions sobre les dades obtingudes:

De les dades obtingudes, s’observa que el campanar de l’església ja presentava problemes ja el 1862, ja que s’especifica la importància de l’estrebament que sobre aquest efectuen els edificis situats a est i que lllinden amb el campanar “*arriostrant-lo*”.

Les necessitats d’actuació a l’església que daten de més antic, de les quals es té coneixement, corresponen al projecte de l’arquitecte diocesà Ramon Salas de 1882. El tècnic detecta les esquerdes causades pel moviment del campanar, que pel què sembla encara eren evidents. És interessant l’apreciació de la mala execució d’origen que fa del campanar, explicant que els murs de la zona superior són més gruixuts que els de la zona inferior. És evident que aquest fet podria causar els problemes de vinclament que el campanar ha experimentat, creant excentricitats dels esforços en arribar al terreny que, amb un terreny poc resistent com sembla el cas, fàcilment podrien produir desploms d’aquesta torre mal dissenyada d’origen, en cas de ser tal com descriu Ramon Salas.

No s’han pogut comprovar els gruixos dels murs del campanar a diferents alçades, ja que en el moment de les diverses visites realitzades aquest estava en obres. El present estudi es centra en els problemes que presenta la nau. Sembla que en cas d’existir aquesta “*distorció*” en la construcció de la torre del campanar, seria la causa evident del seus moviments.

El projecte de Ramon Salas és interessant per la descripció que fa de les lesions que considera que poden derivar en la ruïna del temple. És curiosa la consideració que fa del gruix de la volta de la nau central, que com tots els temples de l’època és de “*rajola doblada*”. El tècnic considera que cal donar-li més gruix ja que, segons ell, per la llum de 8m almenys hauria de tenir 3 gruixos de rajola.

Es realitzarà un anàlisi de la seguretat de la volta, per discernir si un segle després de la seva construcció, el sistema constructiu i estructural d’aquests temples amb volta de rajola doblada ja no formava part dels coneixements dels tècnics de l’època. També l’ús del guix com a material d’unió, es considerava

inadequat per la coberta exposada a la humitat. Òbviament no hauria d'entrar aigua a la coberta, però les voltes de rajola doblada es prenien amb guix per la rapidesa en l'execució que les caracteritzava, i es construïen amb la coberta ja tancada, des de dins l'església.

Sembla que s'aplicava l'anàlisi gràfic per a avaluar l'estabilitat, i el tècnic qüestiona la disposició dels pilars propers al cor, que segons ell no poden conduir les càrregues fins al terreny.

El tècnic grafia en un croquis (Figura 4) les esquerdes a la nau produïdes pel moviment del campanar en direcció nord-est. També esquerdes properes a la clau dels arcs de la nau central i que s'extenen lleugerament cap a les voltes. Però no esmenta, ni hi figuren, les esquerdes en el sentit longitudinal de la nau existents actualment als laterals de les voltes de la nau central (Sabouret). Esquerdes paral·leles als arcs formers i separades d'ells uns 70cm.

Això fa pensar que independentment de les lesions causades pel moviment del campanar, la nau ja s'obria però no amb l'increment de llum suficient per a produir les esquerdes que, com es veurà, es poden observar actualment.

Del 1972 daten les fotografies de les Figures 6 i 7, que mostren el desmuntatge de la coberta. Sembla que es correspon amb la coberta dibuixada per l'arquitecte diocesà Ramon Salas el 1882, ja que les encavallades coincideixen amb els plànols originals que s'han aconseguit del seu projecte. Les fotografies evidencien que existia un recrescut del mur de les façanes laterals el 1972, quan es desmunta aquesta coberta; i fins i tot el 1968 (Figura 5), la qual cosa fa possible que modificacions pretèrites realitzades augmentessin l'alçada de la coberta original.



**Fig.5** Imatges de 1968. Font Eugeni Sendra Bonet.





**Fig.6** Imatges de 1972. Font Eugeni Sendra Bonet.



**Fig.7** Imatges de 1972. Font Eugeni Sendra Bonet.



**Fig.8** Imatges de 1972. Font Arxiu Gavín.



**Fig.9** Imatges de 1974. Font Arxiu Gavín.





**Fig.10** Imatges de 1976. Font Arxiu Gavín.



**Fig.11** Imatges de 1976. Font Arxiu Gavín.



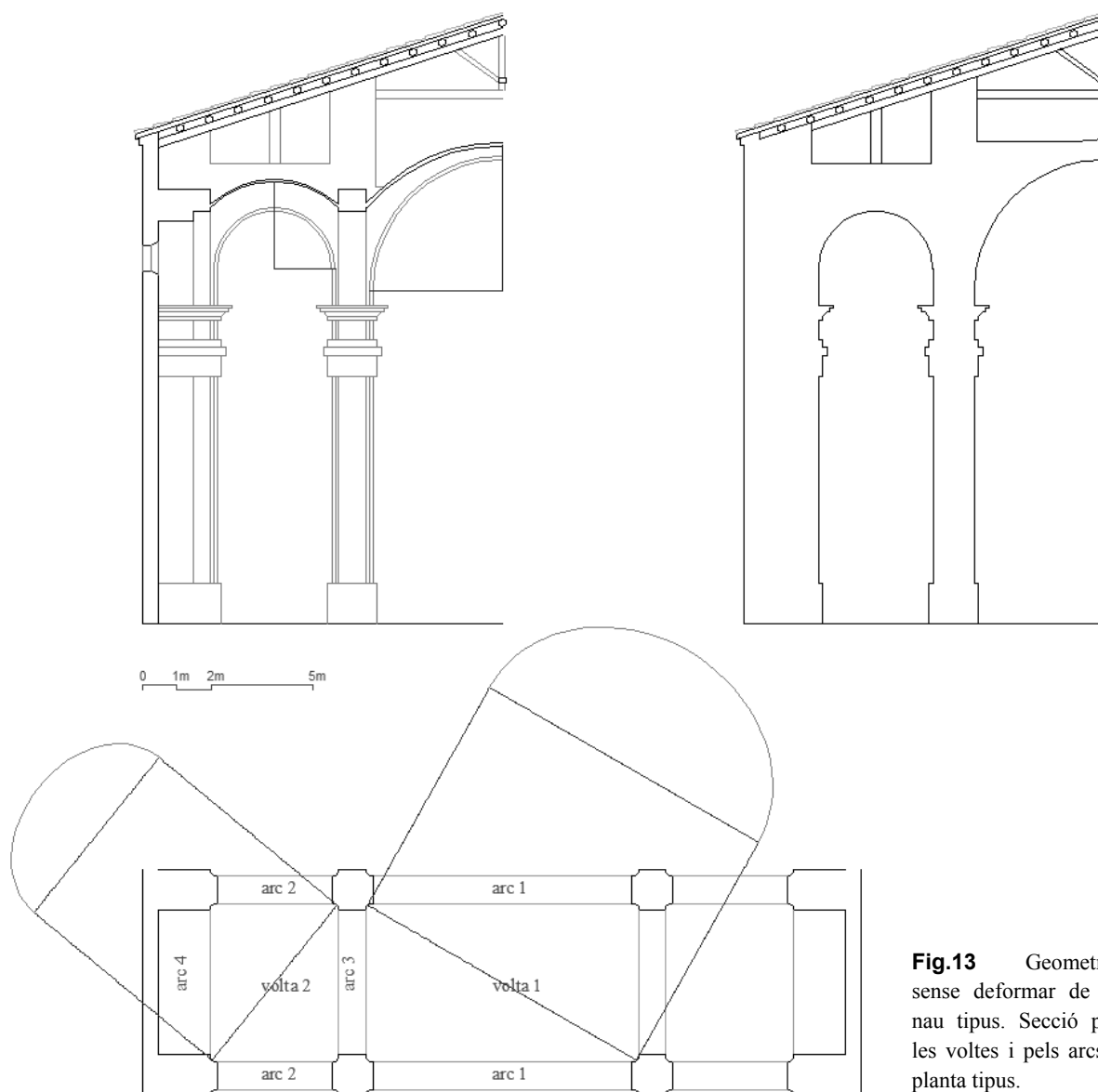
**Fig.12** Imatge en color. Font Arxiu Gavín.

#### 4.4.2 Geometria del temple i lesions

Aquest apartat exposa les lesions principals que s'observen a la nau del temple i que preocupen per la seva magnitud. La finalitat és obtenir dades que ajudin a discernir les possibles causes que les van originari determinar si les lesions comprometen la seguretat de lesglésia.

La geometria del temple s'ha obtingut mitjançant l'aixecament in situ amb làser distanciòmetre i cinta mètrica. I s'ha completat amb els plànols del projecte de Ramon Salas de 1882.

Les Figures 13 i 14 mostren la geometria ideal sense deformar, ja que no es disposa d'un aixecament topogràfic que defineixi els desploms dels pilars i dels murs. L'avaluació de l'estabilitat del temple es realitzarà per l'estat sense deformar amb les possibles modificacions de coberta que van significar canvis en l'equilibri original. Això permetrà elaborar un discurs de les possibles causes de les lesions.

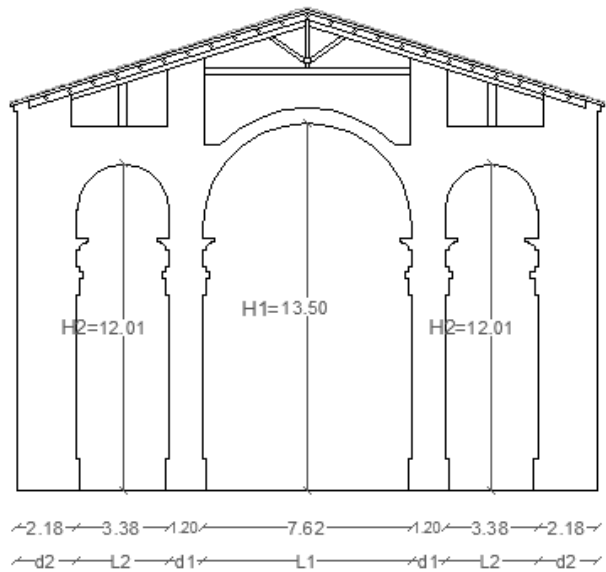


**Fig.13** Geometria sense deformar de la nau tipus. Secció per les voltes i pels arcs i planta tipus.

La Figura 13 mostra la secció per les voltes de la nau i la secció pels arcs, i una porció de la planta tipus. La Figura 14 mostra la secció pels arcs de la nau i la configuració de la planta sota-coberta i les lesions.



Esquerdas a la nau lateral est, corresponents al desplaçament del campanar en sentit nord-est.



Esquerdas meridianes a la volta de mocador del creuer.



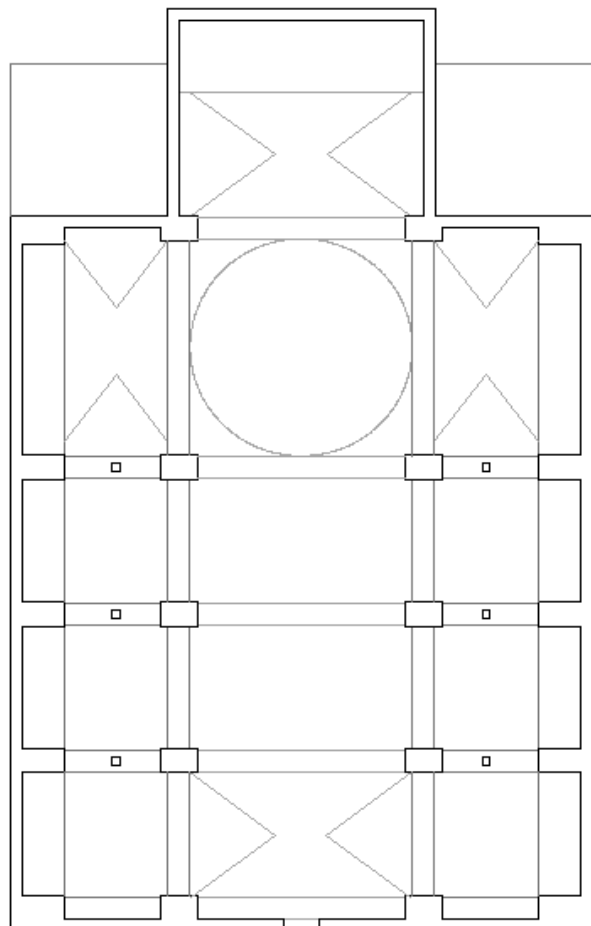
Esquerdas a les voltes de mocador.



Esquerdas meridianes

Esquerdas de Sabouret.

Esquerdas a la clau.

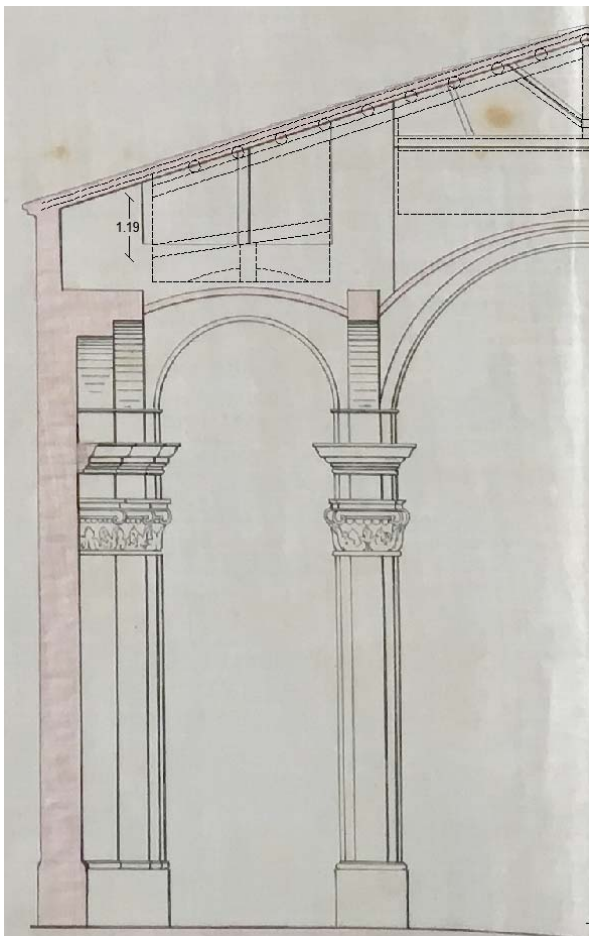


**Fig.14** Secció tipus pels arcs i planta sota-coberta. Geometria ideal sense deformar. Lesions de l'església. S'observa la combinació d'esquerdes típiques de Sabouret i a la clau, amb esquerdas meridianes.

Les voltes de la nau són de mocador, excepte la de la nau central del presbiteri i la de les naus del creuer que són de volta de canó amb llunetes. Segons Heyman, les voltes de mocador són lleugerament més segures que les de canó amb llunetes (Heyman, 1995 p. ). El comportament d'aquestes voltes és una combinació del comportament de membrana amb el d'una volta d'aresta, ja que en alguns punts poden actuar com una cúpula i en altres com una volta d'aresta o una de canó, o fins i tot com arcs de mig punt.

La coberta actual és de biguetes de formigó prefabricat i encadellat ceràmic. Les biguetes recolzen sobre encavallades metàl·liques i la coberta està acabada amb teula àrab.

L'estructura de coberta actual recolza sobre la vertical dels pilars i estreps. El projecte de Ramon Salas de 1882 mostra com l'autor contemplava un recolzament puntual sobre el centre dels arcs faixons de mig punt de les naus laterals. Actualment es pot observar la bigueta de fusta que hi havia sobre aquests arcs i restes de la pilastra enderrocada (Figura 16). La col·locació i pendent d'aquesta bigueta de fusta no coincideix amb els plànols de Ramon Salas, fet que fa pensar que aquesta bigueta és anterior i que marca l'alçada que originalment tenia la coberta, ja que més o menys es correspon amb la junta horitzontal de les façanes laterals, a partir d'on sembla haver-hi un recrescut de coberta. Ramon Salas hauria reproduït la mateixa solució per a la coberta, però elevat-la uns 110cm i accentuant lleugerament el pendent (possiblement per a intentar evitar l'entrada d'aigua).



La Figura 15 mostra la diferència d'alçades entre el que podria ser el projecte original i la intervenció de Ramon Salas de 1882, que es va desmuntar el 1972 per a executar la coberta actual de biguetes de formigó.

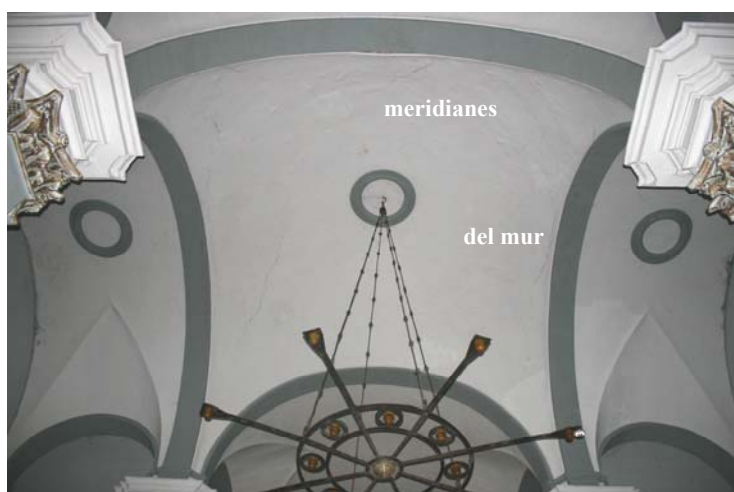
La coberta actual es diferencia de la coberta presumptament original i de la projectada per Ramon Salas en què no fa ús de la pilastra situada al centre dels arcs faixons de mig punts de les naus laterals (Figura X).

**Fig.15** Superposició de la geometria actual (en discontinua) sobre el plànol de 1882. Al 1882 es dibuixa la pilastra sobre l'arc faixó de la nau lateral però amb la coberta situada 1,2 m més elevada. La situació de la coberta actual es troba a la mateixa alçada que la del dibuix de 1882.

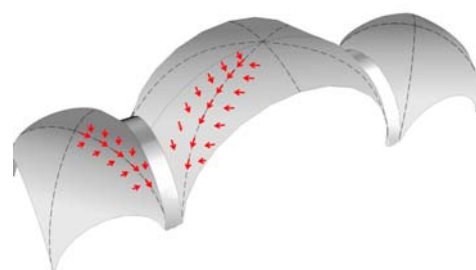
Les lesions més remarcables que s'observen a la nau de l'església són:

- Esquerdes al voltant de la torre del campanar. (Fora de l'abast d'aquesta investigació).
- Esquerdes en sentit longitudinal al centre i laterals de la nau central.

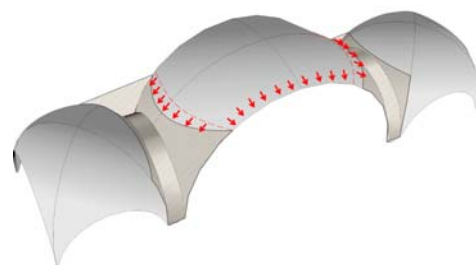
L'estudi es centrarà en aquestes darreres, ja que tot sembla indicar que es van originar més recentment i a causa de les variacions en la configuració original de la coberta.



La Figura 16 mostra les esquerdes que es poden veure a la nau central de l'església. Les voltes de mocador presenten esquerdes de Sabouret combinades amb esquerdes meridianes. Per això les voltes tenen un comportament combinat, com una volta d'aresta on els esforços seguirien les diagonals imaginàries (A) i com una cúpula, podent-se aïllar un "casquet esfèric" que funcionaria com una membrana (B).



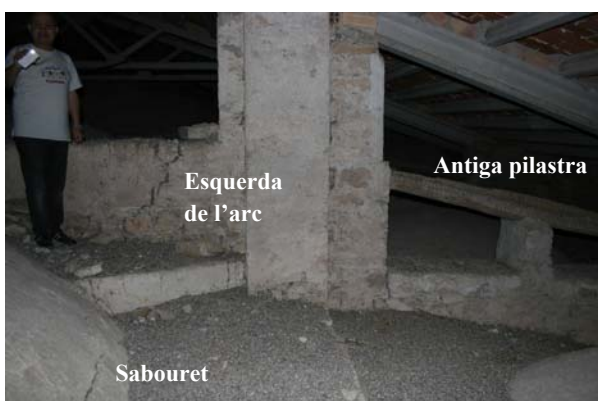
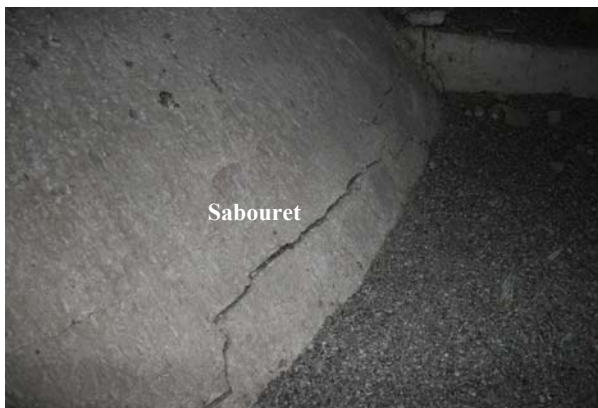
A



B

**Fig.16** Esquerdes de Sabouret, de membrana i a la clau dels arcs de les voltes de la nau central de l'església.

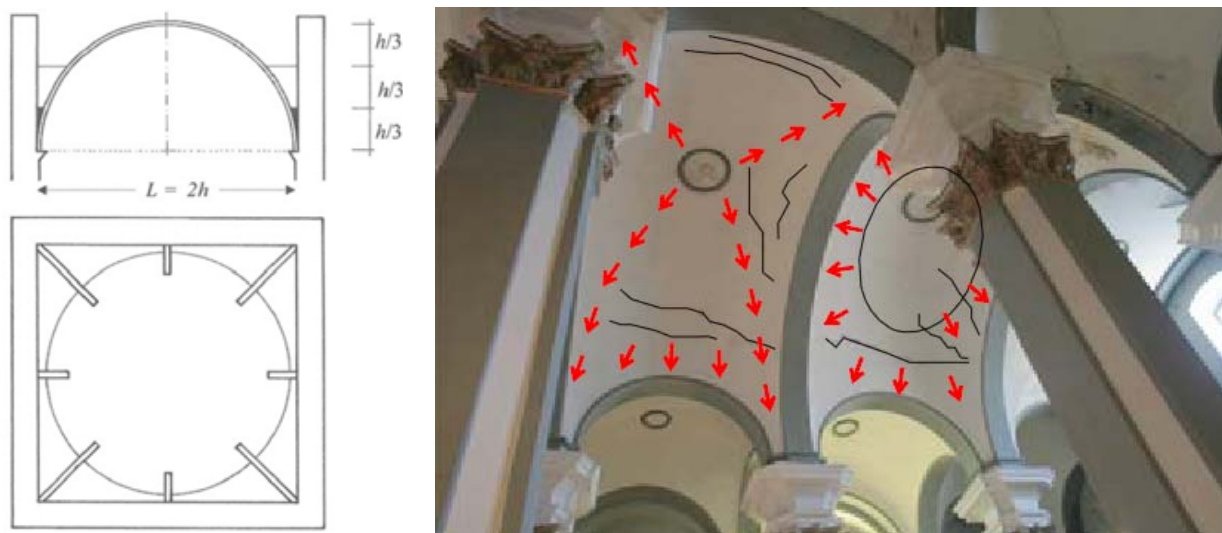




**Fig.17** Les esquerdes anteriors vistes des de l'extradós de les voltes. També s'observen les llengüetes.



El mestre de cases atorgava el comportament de membrana a les voltes de mocador de la nau. La Figura 17 mostra com es van construir llengüetes a l'extradós d'aquestes voltes, tal com aconsellava Fray Lorenzo.

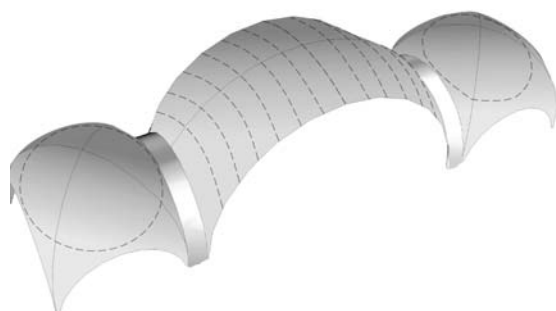


**Fig.18** Esquema de Fray Lorenzo d'una cúpula i llengüetes. Comportament combinat de les voltes de mocador de l'església de Rocafort de Queralt.

Manuel Fortea (Fortea, 2001) explica el funcionament de les voltes extremenyas. Es podria assimilar perfectament a aquestes voltes, i és el mateix que descriu Heyman (Heyman, 1995).

Si funcionen com una cúpula les esquerdes es col·loquen en el sentit dels meridians, aleshores la volta empeny radialment cap enfora. Un lleu moviment dels pilars fa augmentar la llum de la volta que funciona com una cúpula i per adaptar-se es formaran esquerdes. Com que no hi ha llanterna, les esquerdes meridians moren a una certa distància de la clau.

Però aquestes voltes també poden funcionar com una volta d'aresta, aleshores les diverses porcions de volta recolzen sobre els arcs diagonals intrínsecs, com si es tractés d'una volta d'aresta, però amb la diferència que aquestes voltes empenyen tot el contorn (Figura 18). Aquestes voltes també es podrien analitzar amb el mètode dels talls com un sistema d'arcs (Figura 19).



**Fig.19** Mètode dels talls amb sistema d'arcs.



**Fig.20** Fotografies de la volta de canó amb llunetes de la primera crugia d'accés a l'església. S'observa com el mur de façana es va estrebar per l'interior amb un cercol de formigó. S'observen les esquerdes verticals del mur.



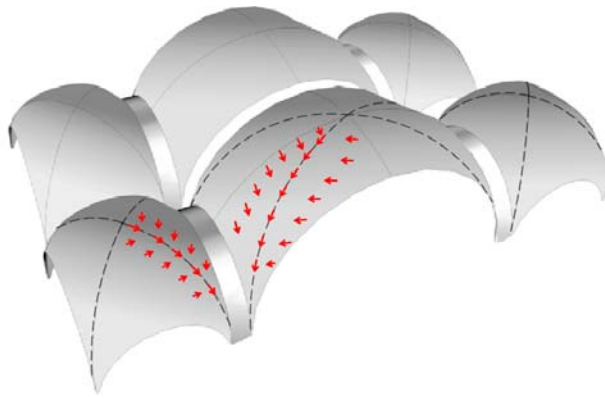
**Fig.21** Llengüeta de la volta de mocador del creuer (esquerra), a la dreta configuració de la coberta actual, amb les restes de la pilastra central que sosté una bigueta de fusta corresponent a una coberta anterior.

#### 4.4.3 Avaluació de la seguretat de l'església

Aquest apartat avalua la seguretat de les voltes de rajola doblada, posada en entredit pel tècnic diocesà Ramon Salas el 1882. També s'intentarà discernir si les modificacions en coberta van tenir alguna relació amb les esquerdes aparegudes a la nau i si aquestes esquerdes comprometen la seguretat del temple.

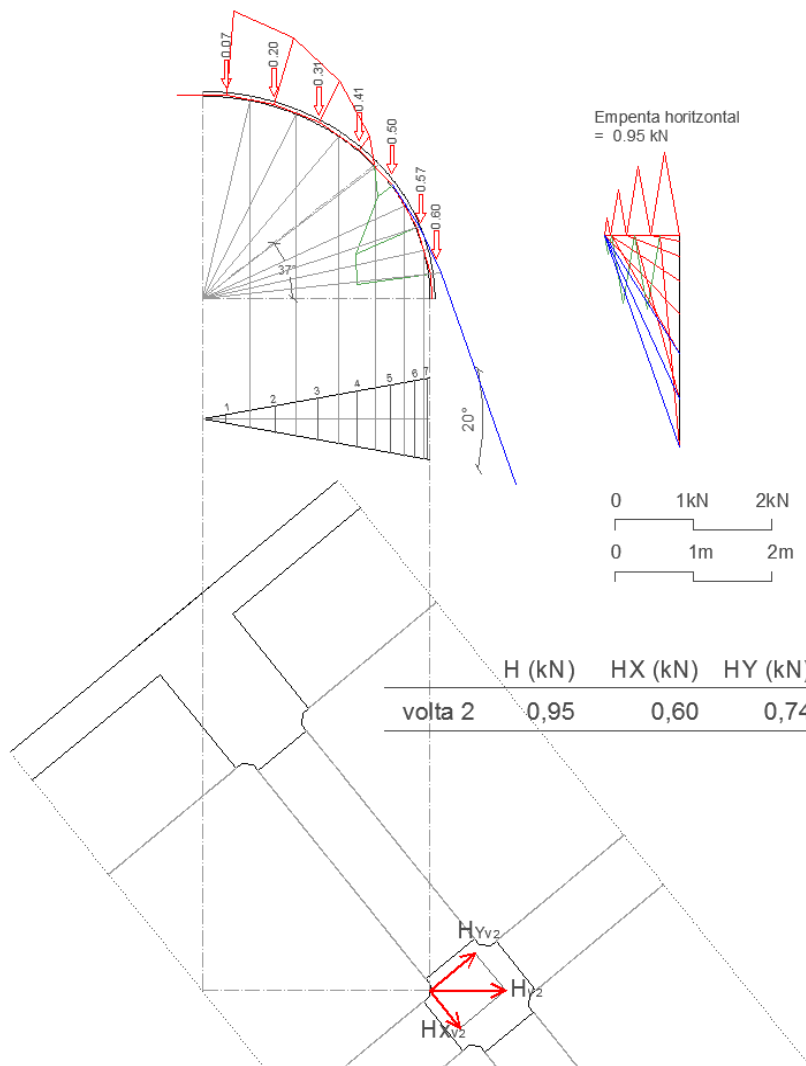
Tal com s'ha exposat a l'apartat anterior, les esquerdes existents semblen indicar diferents comportaments de les voltes de rajola doblada. En alguns casos semblen comportar-se com una membrana (esquerdes meridianes), i en d'altres com es comportaria una volta de canó de mig punt o d'aresta de doble corbatura (Fortea), o fins i tot com un arc.

El comportament de membrana minora enormement l'empenta que les voltes causen sobre els pilars i els arcs i murs de suport. Per això, les voltes s'avaluaran com si les càrregues descendissin per arcs diagonals que concentrarien els esforços (Figura 22). Així s'avalua l'equilibri de les voltes i l'estabilitat de la secció en favor de la seguretat.

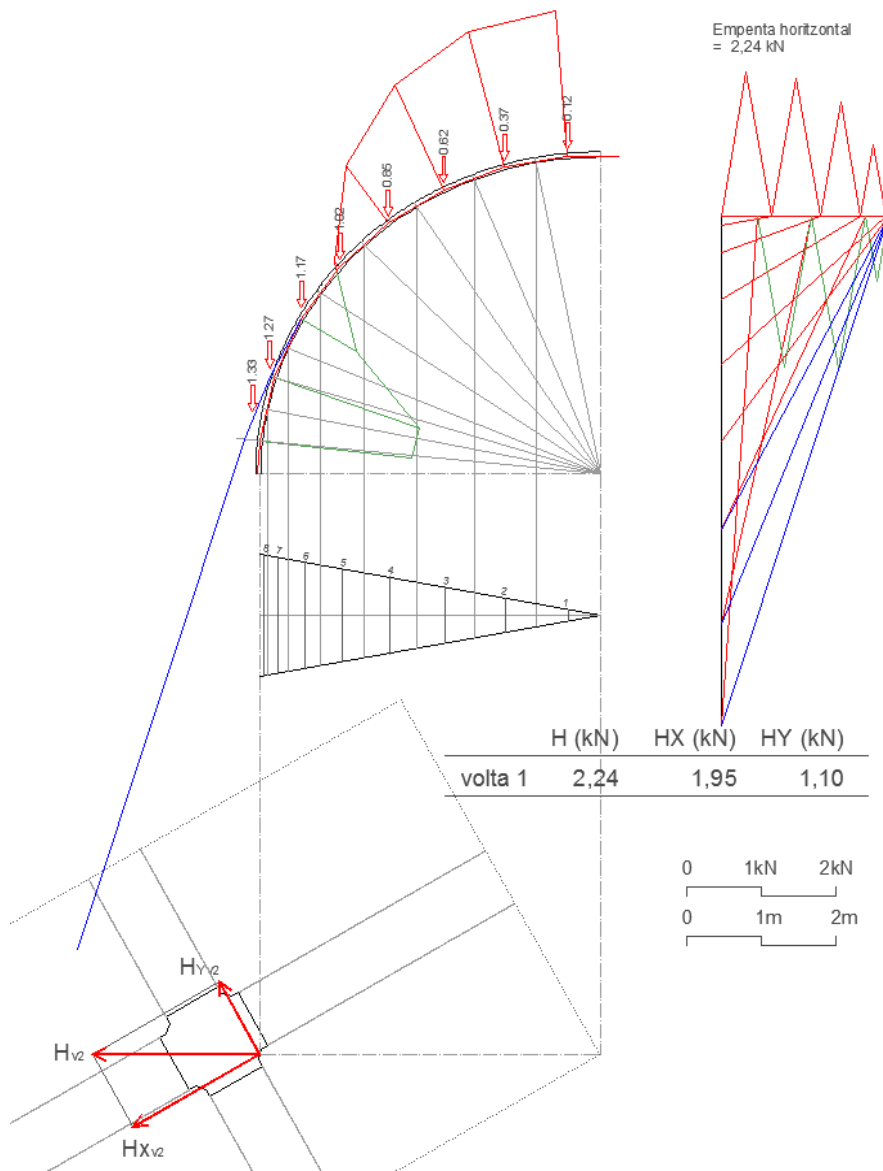


**Fig.22** Esquema del funcionament de les voltes per al seu anàlisi.

Les Figures 23 i 24 mostren l'anàlisi de les voltes de la nau tipus pel mètode de Wolfe. L'empenta que produeixen és molt inferior a la que s'obté analitzant-les com si es comportessin com una volta d'aresta.



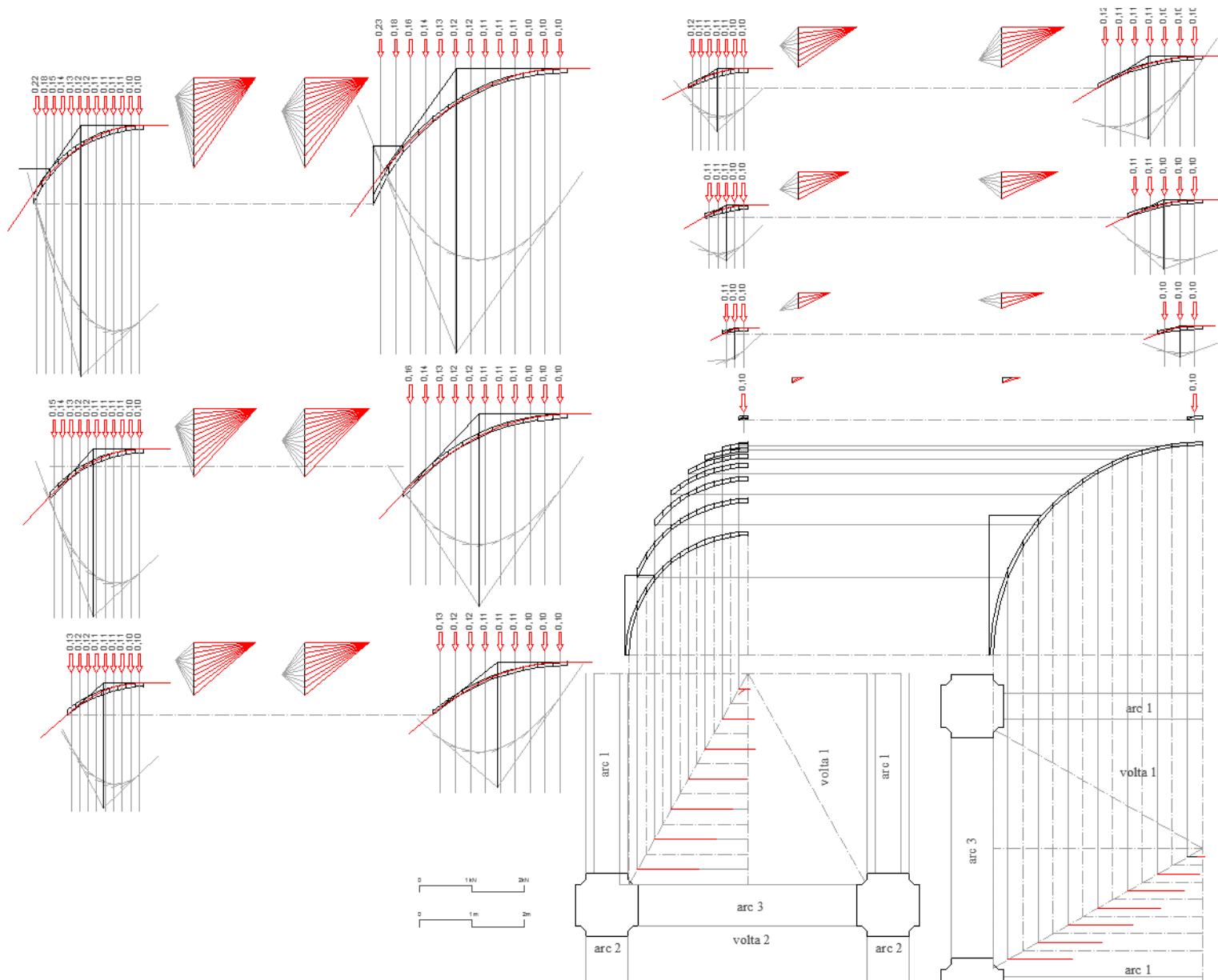
**Fig.23** mètode de Wolfe aplicat a les voltes de mocador de les naus laterals. L'empenta de les voltes és de 0,95 kN. En la direcció de la secció que s'analitzarà (x), l'empenta de les voltes és de 0,60 kN.



**Fig.23** mètode de Wolfe aplicat a les voltes de mocador de la nau central. L'empenta de les voltes és de 2,24 kN. En la direcció de la secció que s'analitzarà (x), l'empenta de les voltes és de 1,95 kN.

La Figura 25 mostra l'anàlisi pel mètode dels talls, imaginant les línies d'esforços d'acord amb la Figura 22. L'empenta és molt superior respecte l'anàlisi anterior amb el mètode de Wolfe (Taula 1).

L'avaluació de la seguretat de la nau tipus es realitzarà considerant una empenta de les voltes com en l'esquema de la Figura 22, és a dir, en les condicions més desfavorables per tal d'anar pel cantó de la seguretat. Es demostra que les voltes són estable, ja que la línia de pressions passa per dins de la secció.



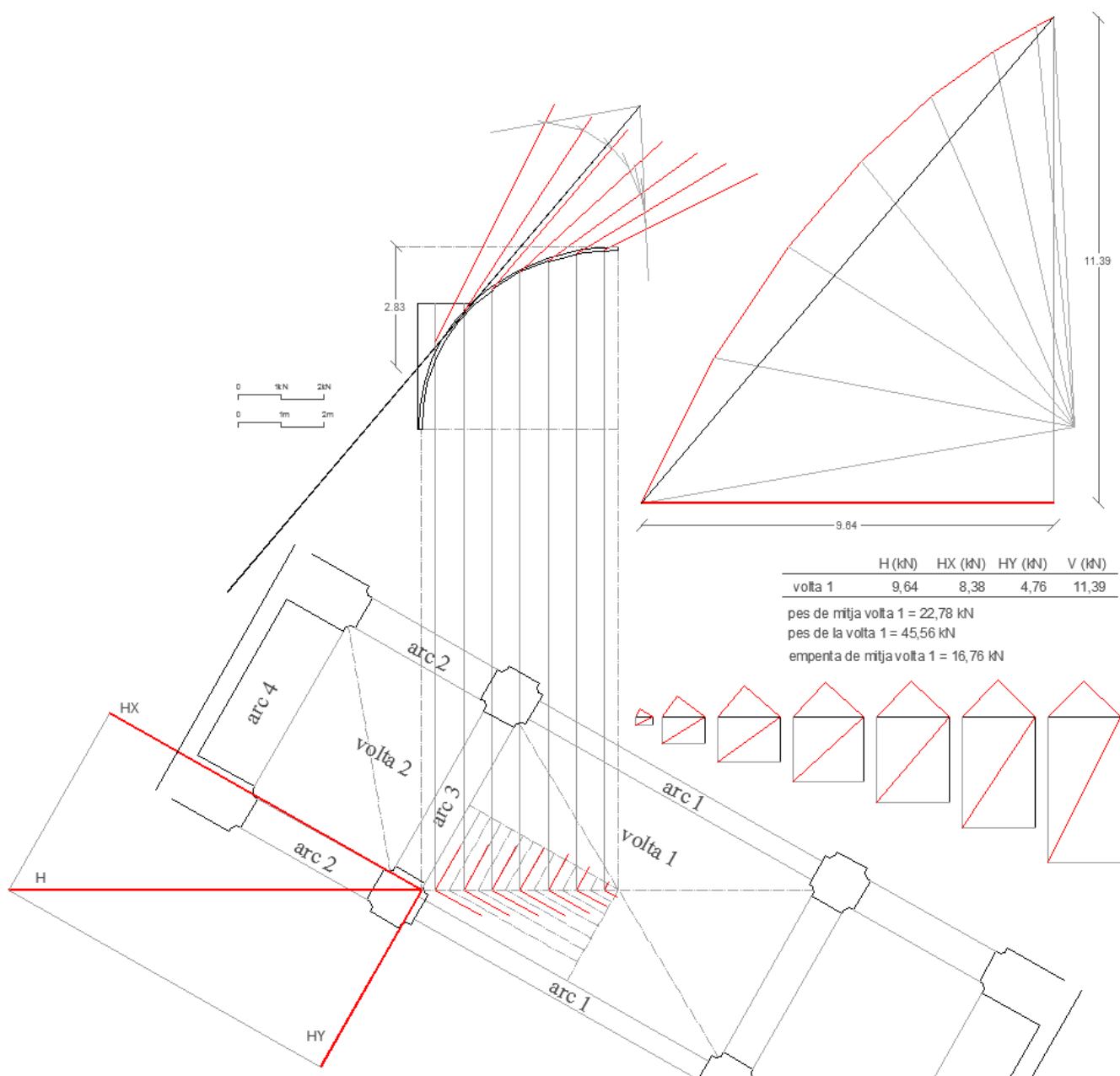
**Fig.24** Mètode dels talls aplicat a la volta de mocador de la nau central, fent una lectura del seu comportament com una volta d'aresta.

Les esquerdes de Sabouret i de la clau, mostren un comportament de les voltes assimilable a una volta d'aresta.

Les magnituds de les empentes comparant entre els dos mètodes aplicats (Wolfe i dels talls) es mostra a la Taula 1. Pel mètode dels talls l'empenta de les voltes és molt superior.

El mestre de cases Francesc Albareda possiblement va dissenyar l'església amb voltes de mocador pensant en el seu comportament de membrana, i per tant, considerant una empenta molt inferior. El fet que construís llengüetes a l'extradós d'aquestes voltes sembla corroborar-ho. La realitat, però, evidencia

que les voltes no es comporten només com una membrana, sinó que, tal com s'ha explicat, el seu comportament és combinat. Així, l'empenta pot augmentar considerablement en alguns punts.

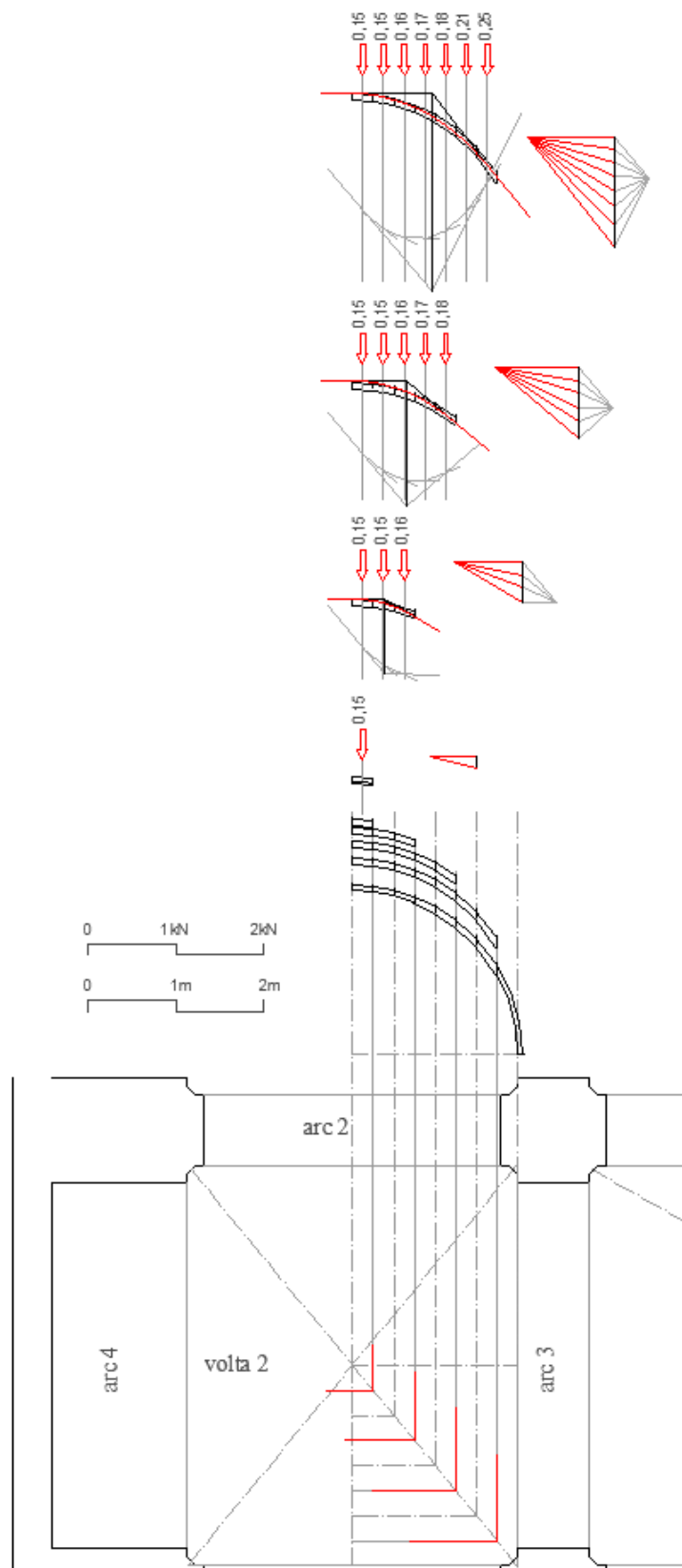


**Fig.25** Mètode dels talls aplicat a la volta de mocador de la nau central, fent una lectura del seu comportament com una volta d'aresta.

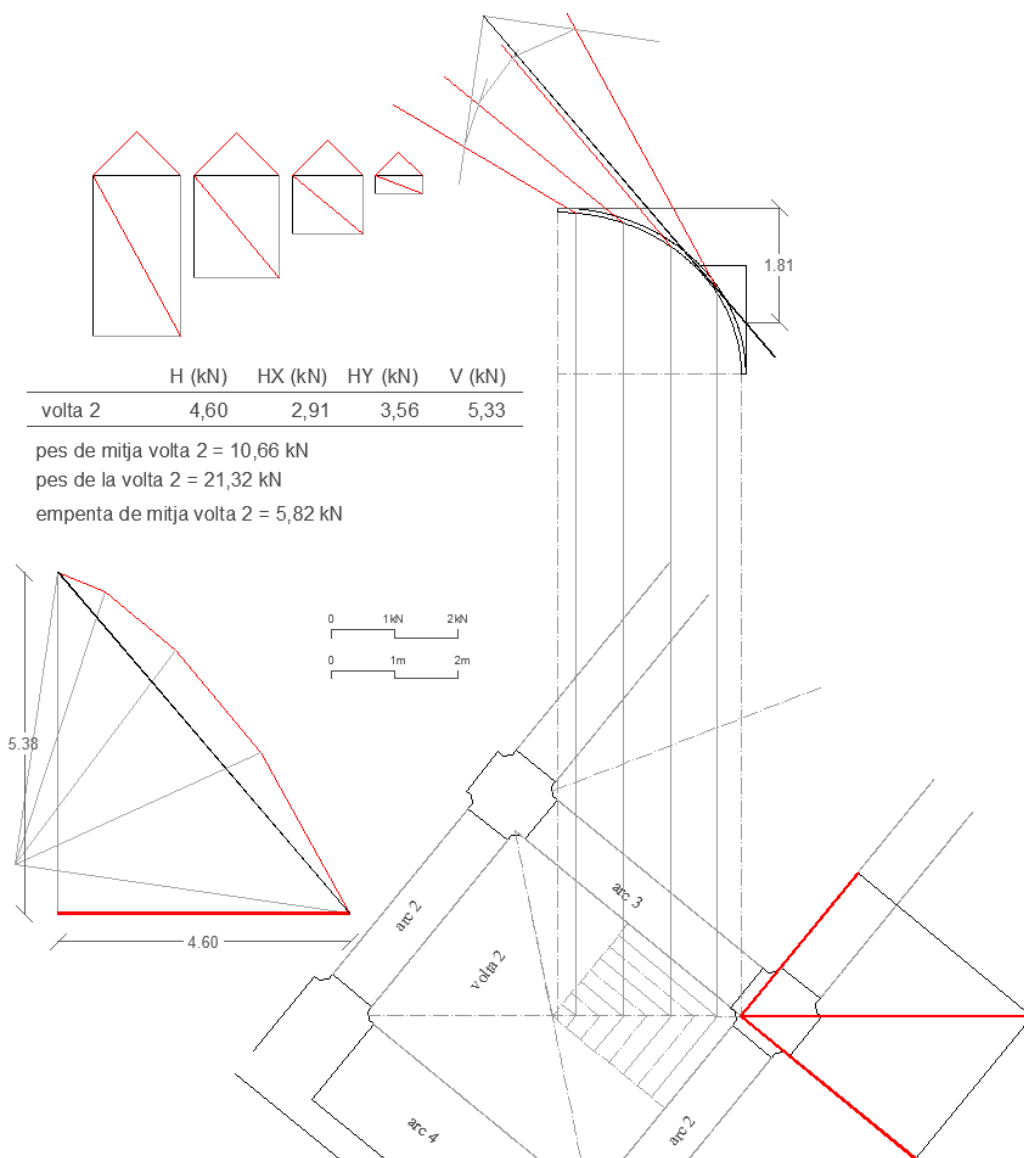
Mètode	Volta	Empenta (x)
Wolfe	Voltes de mocador de la nau central	1,96 kN
	Voltes de mocador de les naus laterals	0,60 kN
Dels talls	Voltes de mocador de la nau central	8,38 kN
	Voltes de mocador de les naus laterals	2,91 kN

**Taula 1** Comparació dels resultats obtinguts amb el mètode de Wolfe i amb el mètode dels talls per a l'anàlisi de les voltes.





**Fig.26** Mètode dels talls aplicat a la volta de mocador de les naus laterals, fent una lectura del seu comportament com una volta d'aresta.

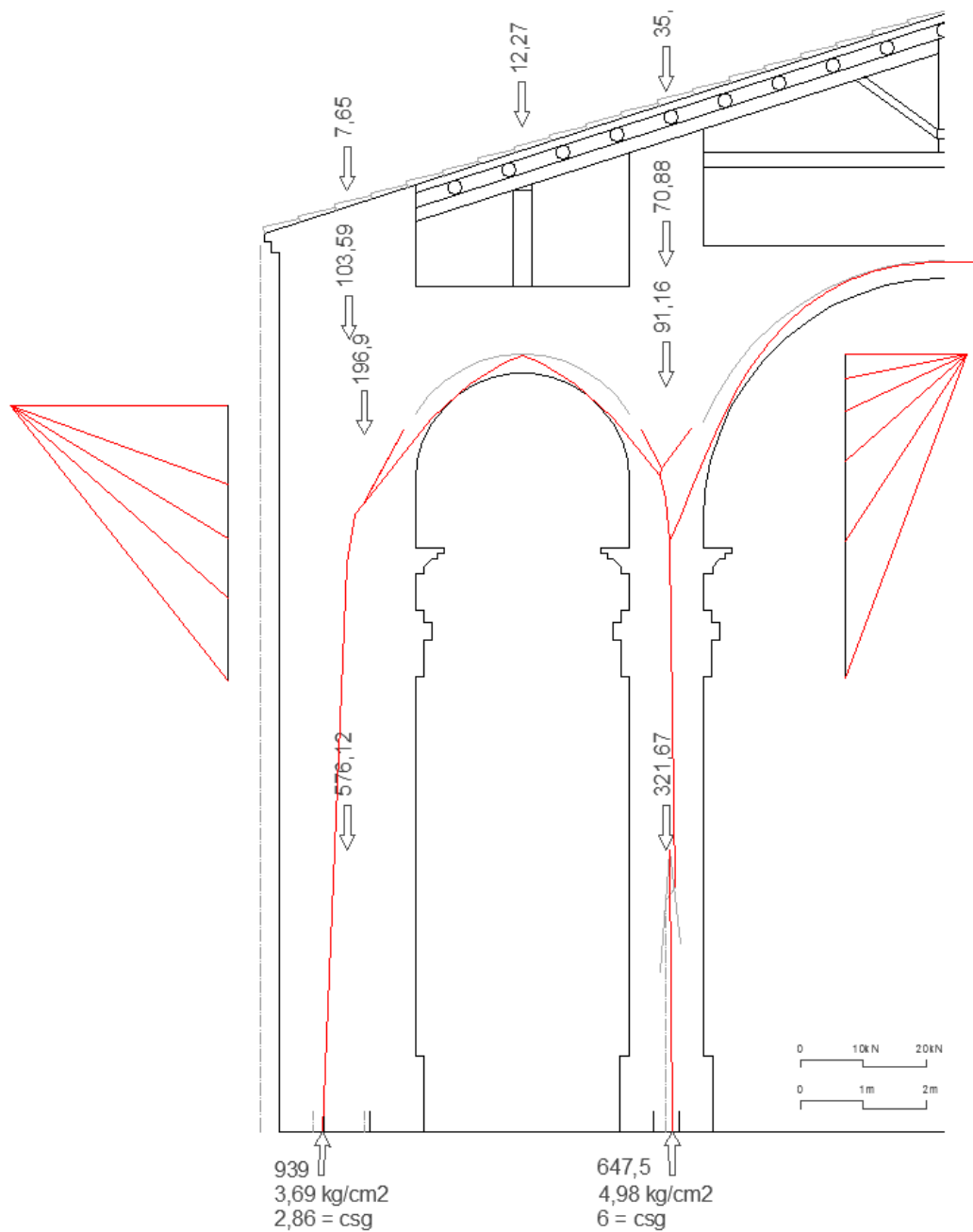


**Fig.27** Mètode dels talls aplicat a la volta de mocador de les naus laterals, fent una lectura del seu comportament com una volta d'aresta.

Es procedeix a analitzar l'equilibri de la secció. S'apliquen les empentes de les voltes obtingudes pel mètode dels talls, d'acord amb les Figures 25 i 27.

Es realitza l'anàlisi per la secció ideal sense deformar. El gruix de l'estrep grafiat al plànol de 1882 és lleugerament superior que el mesurat in situ. Com que les mesures preses no són exactes, ja que no es disposa d'un aixecament topogràfic, és possible que hi hagi un error i que el dibuix de 1882 sigui correcte. De totes maneres, per anar pel cantó de la seguretat es considera l'estrep més estret mesurat.

S'analitza primer la secció per la solució de coberta plantejada als plànols de 1882 (Figura 28).

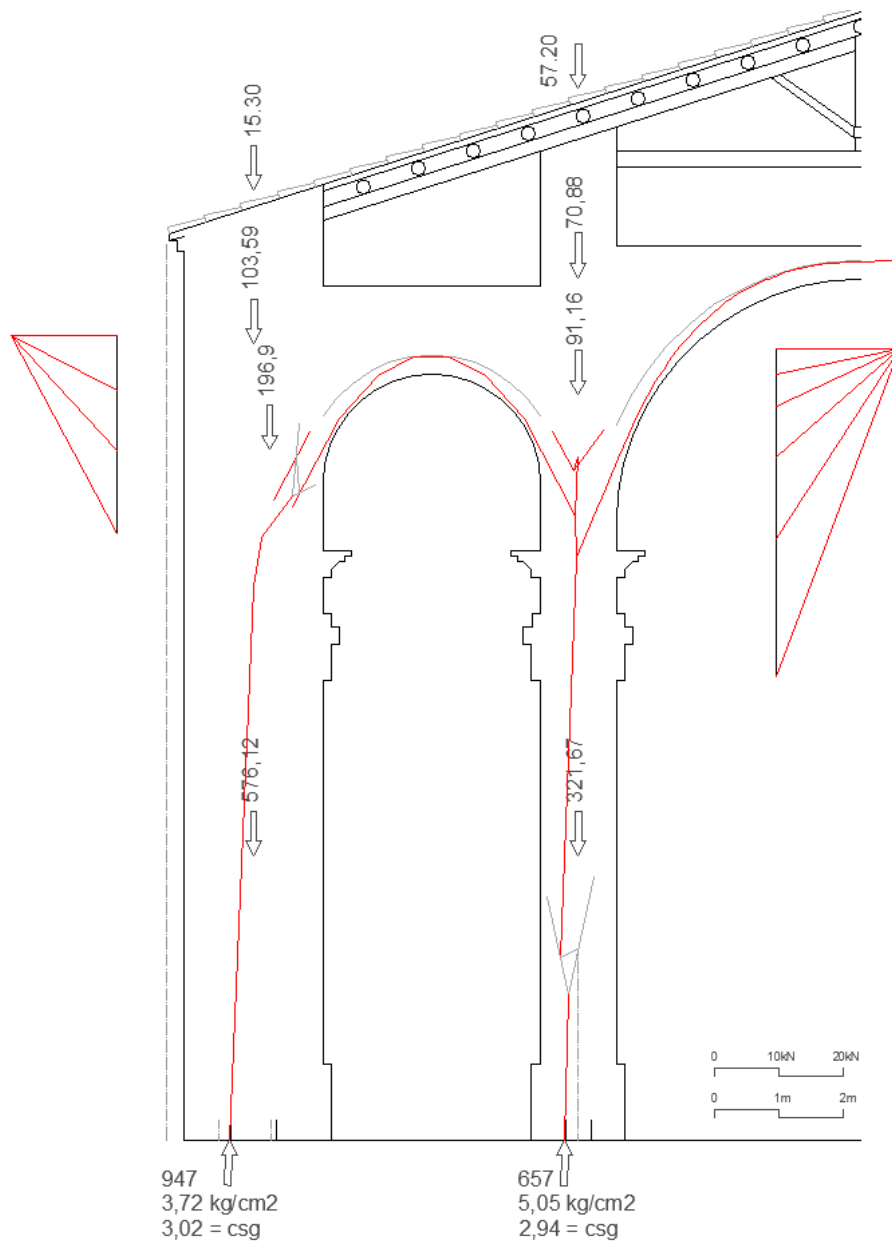


**Fig.28** Anàlisi de l'equilibri de la secció sense deformar amb la solució de coberta grafiada als plànols de 1882.

estrep	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	939 kN	3,69 kg/cm <sup>2</sup>	2,86

pilar	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	647,5 kN	4,98 kg/cm <sup>2</sup>	6

**Taula 2** Resultats de l'anàlisi de l'equilibri de la nau per a la solució de coberta de 1882.

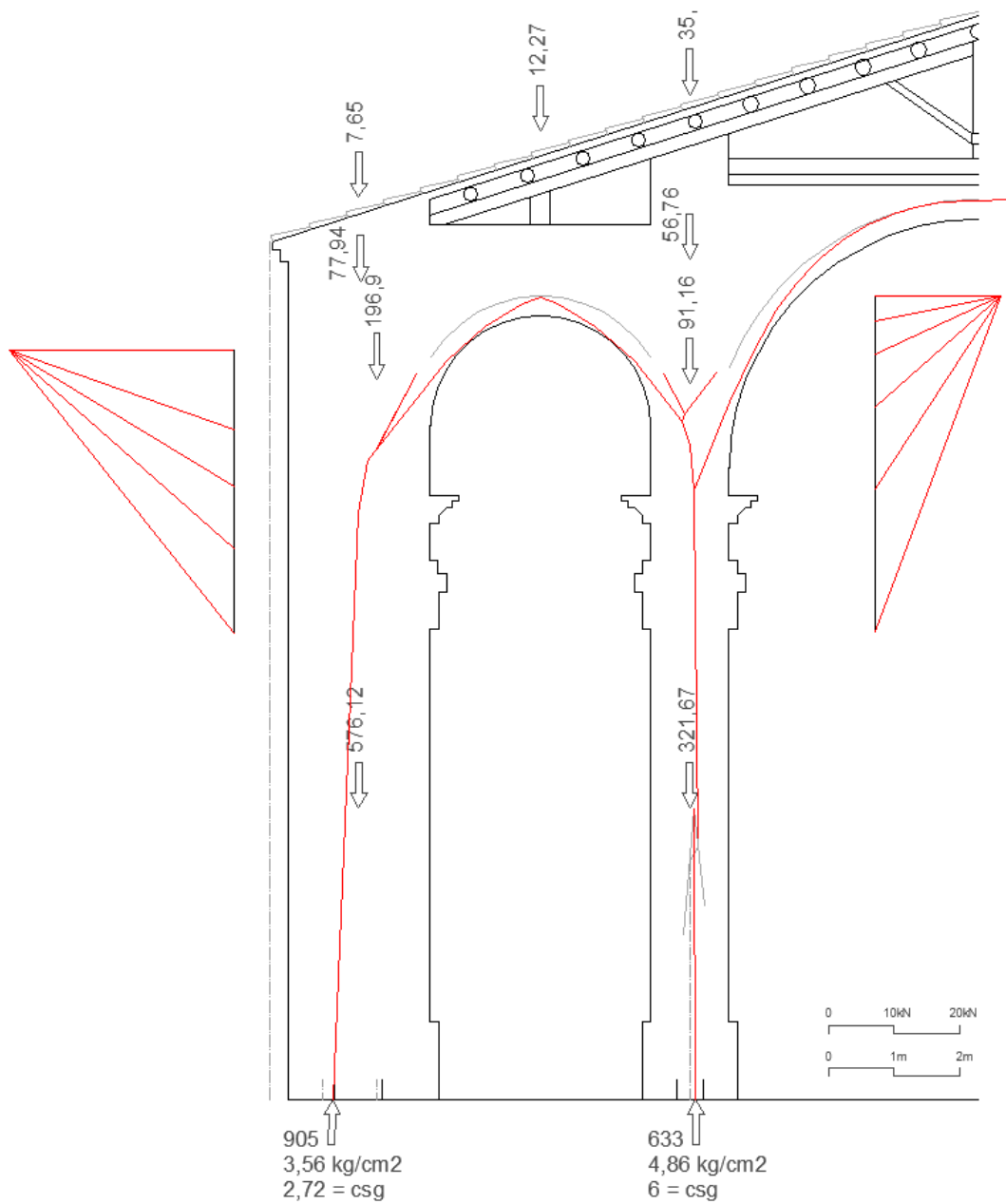


**Fig.29** Anàlisi de l'equilibri de la secció sense deformat amb la solució de coberta actual.

estrep	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	947 kN	3,72 kg/cm <sup>2</sup>	3,02

pilar	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	657 kN	5,05 kg/cm <sup>2</sup>	2,94

**Taula 3** Resultats de l'anàlisi de l'equilibri de la nau per a la solució de coberta actual.



**Fig.30** Anàlisi de l'equilibri de la secció sense deformar amb la possible solució de coberta original.

estrep	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	905 kN	3,56 kg/cm <sup>2</sup>	2,75

pilar	Resultant	Tensió al terreny	Coefficient Seguretat Geomètric
	633 kN	4,86 kg/cm <sup>2</sup>	6

**Taula 4** Resultats de l'anàlisi de l'equilibri de la nau per a la possible solució de coberta original.

S'observa com per a la solució de coberta de la Figura 30, considerant que la coberta original era més baixa que la grafiada als plànols de 1882 i que l'actual, es troba una solució d'equilibri satisfactòria per al pilar.

En cas que els murs dels estreps siguin els grafiats als plànols de 1882, també es troba una solució de coberta satisfactòria per als estreps en tots els casos. És probable que les mesures preses no siguin correctes, i que les línies marcades amb discontinüa a les Figures 28 a 30 siguin les correctes per a les mides dels estreps. Per això, en aquest darrer cas les línies de pressions sempre estarien col·locades dins el terç central, assegurant l'equilibri de la secció.

Cal destacar que en no disposar d'un aixecament topogràfic es desconeix l'abast de les deformacions i dels desploms. Per això el present anàlisi és revelador del possible procés de degradació de l'església, però caldria disposar de les dades geomètriques actuals per a poder avaluar la seguretat del temple contemplant les deformacions.



**Fig.31** Imatges de l'extradós de les voltes.



#### 4.4.4 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions

D'acord amb l'anàlisi realitzat es pot formular una hipòtesi de l'origen de les lesions de l'església.

D'acord amb els textos històrics sembla que com en totes aquestes esglésies es van produir desperfectes en la coberta que van provocar l'entrada d'aigua amb el consegüent augment del pes dels ronyons i de l'empenta de les voltes. També propiciant la deformació de les voltes a causa de la humitat a què s'hauria vist exposat el guix de les juntes.

Sembla que la coberta original de l'església es va construir més baixa que l'actual, i amb una pilastra centrada a la clau dels arcs faixons de les naus laterals que rebia pes de la coberta. Aquesta configuració aconseguia l'equilibri per a la secció transversal de la nau (Figura 30).

El mestre de cases Francesc Albareda va construir les voltes de mocador considerant la menor empenta que produïen respecte les voltes de canó amb llunetes.

Amb els desperfectes a la coberta i les modificacions que van augmentar-ne l'alçada, l'equilibri original es va veure compromès. Això sumat a la possible entrada d'aigua, va produir que la nau es comencés a obrir augmentant la llum de les voltes i els arcs, i la seva empenta.

Les voltes van deixar de funcionar exclusivament com una cúpula, empenyent radialment cap enfora, ja que per adaptar-se a la nova llum es van formar esquerdes i van començar a funcionar com una volta d'aresta.

Tot i així, tal com s'ha demostrat, l'augment de l'empenta de les voltes no necessàriament significava la pèrdua d'equilibri de la nau. Si bé és cert que caldria avaluar la seguretat de la nau deformada, el coeficient de seguretat obtingut per a l'estat sense deformar és rebelador de la capacitat d'adaptació als possibles augments de l'empenta.

Tot sembla indicar que l'augment de l'alçada de la coberta i l'eliminació de la pilastra centrada sobre els arcs faixons de les naus laterals, que actualment no fa cap funció, comprometen l'estabilitat de l'església, de tal manera que no és possible trobar una solució d'equilibri compresa dins el terç central a la base dels pilars (Figura 29).

Si a aquest fet hi afegim les deformacions que no s'han contemplat per falta de dades, la conclusió és que el disseny de la coberta actual pot comprometre l'estat d'equilibri del temple.

## 4.5 Palau d'Anglesola

L'Església de Sant Joan Baptista de Palau d'Anglesola és una església de saló construïda entre el 1790 i el 1802, del mestre de cases Francesc Albareda. Les voltes de la nau són de mocador, excepte als peus de l'església i a la zona del presbiteri, que són de canó amb llunetes.

Aquesta església presenta diverses esquerdes a les voltes, i desploms de murs i pilars que s'han pogut deduir d'un aixecament topogràfic consultat. La particularitat d'aquest temple és l'esveltesa dels seus pilars.

De la seixantena d'esglésies de saló estudiades, l'església de Palau d'Anglesola és la que té una relació *gruix dels pilars/llum de la nau central* major. La majoria d'esglésies es situen en valors al voltant de 1/6, mentre que aquesta església es troba al capdamunt de la llista amb un valor de 1/11. Per sota d'aquesta església es troben algunes esglésies valencianes (Coves de Vinromà o Portell de Morella) i l'església de Maldà, amb una relació de 1/8 i obra del mateix artífex. Segueix de més lluny l'església de Falset, amb una relació de 1/7, ja més propera a la relació promig.

Visualment els seus pilars ja denoten una esveltesa més atrevida. Es tracta de la tercera obra de l'artífex Francesc Albareda.

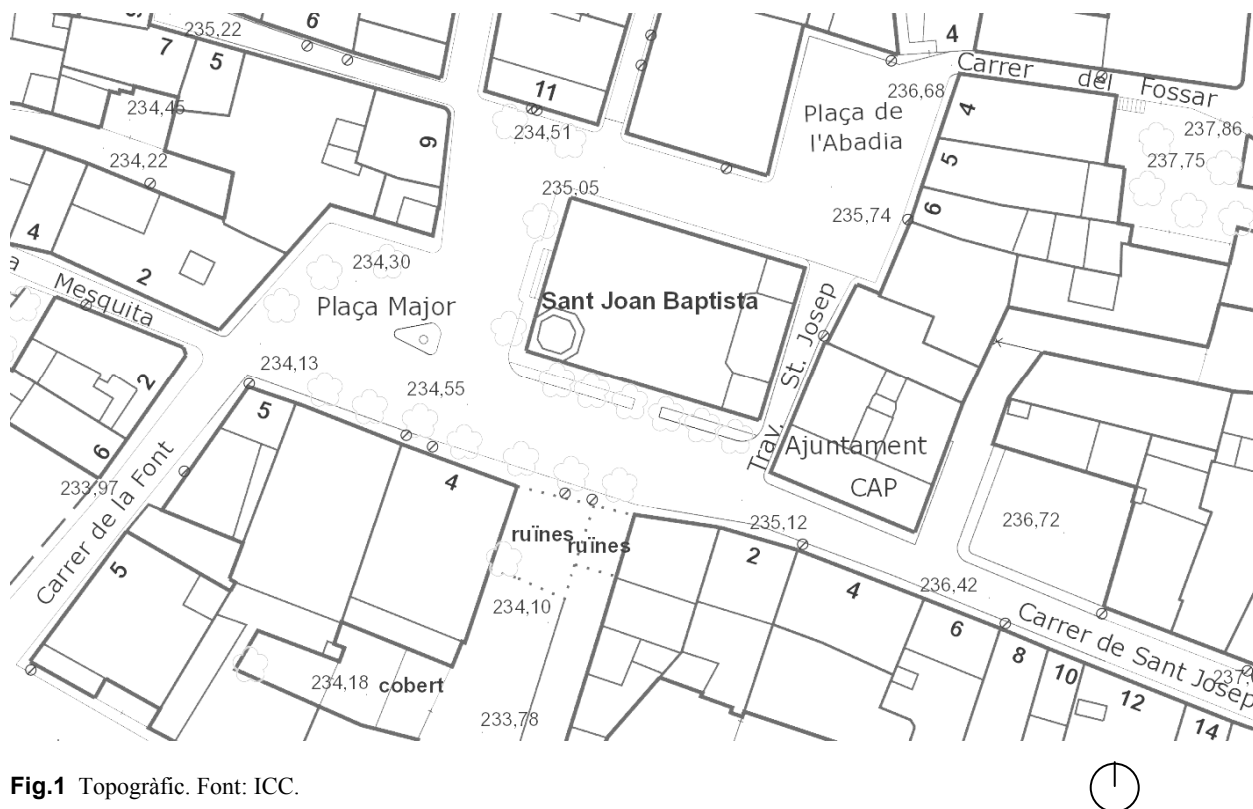


Fig.1 Topogràfic. Font: ICC.

Recentment s'ha efectuat una rehabilitació del temple, i existeix un estudi estructural previ a la restauració que s'adjunta com a document annex. El present apartat estudiarà l'estabilitat de l'església per a discernir l'encert de l'actuació i per a avaluar la seva seguretat abans d'executar les obres.

La intervenció ha consistit en substituir la coberta d'encavallades i bigues de fusta per una coberta d'encavallades metàl·liques i biguetes de formigó recolzada sobre la vertical dels pilars i dels estreps del temple. S'han col·locat cercols de formigó armat sobre tots els murs perimetrals i daus de formigó armat sobre els pilars. S'ha atirantat tota la coberta.



**Fig.2** Execució de les obres el 2011. Font: Ramon Padullés.



**Fig.3** Obres executades, 2011. Font: Ramon Padullés

A les Figures 2 i 3 s'observen els daus de formigó sobre els pilars i el sistema de tirants. També les bigues metàl·liques que recullen les biguetes de formigó que sostenen l'encadellat ceràmic, una capa de compressió i les teules.

#### 4.5.1 Recerca històrica d'actuacions

S'ha obtingut informació rellevant per al desenvolupament del present anàlisi a l'Arxiu Històric Diocesà de Tarragona i a l'Arxiu Gavín.

També s'han obtingut les tabes de l'obra datades de 1790 a la tesi doctoral de la historiadora Maria Garganté i Llanes (Graganté 2004, p.230). De les tabes cal destacar que l'església es reedifica aprofitant el que fos possible de la vella (com generalment passava en aquests temples).

Per a la situació dels pilars s'havia d'aprofitar els fonaments de l'església vella sempre que es pogués i si no coincidien amb la situació dels nous pilars es farien de nou.

Les voltes, com ja és sabut per aquests temples, havien de ser de dos gruixos de rajola i els arcs de pedra maçoneria “fins els terços” i s'havien d'acabar amb obra cuita de dos pams de gruix.

Sembla que uns visuradors de Lleida van redactar un informe negatiu durant l'obra.

Davant l'informe negatiu dels visuradors, Francesc Albareda presenta una al·legació en la qual es defensa de cada una de les faltes que li atribueixen els pèrits. Entre altres coses, afirma que els pèrits no han fet constar que les pilastres eren un quart de pam més gruixudes del que marcava al perfil, prova de la voluntat que l'església quedi assegurada; així mateix, diu que el fet que falti mig pam d'alçada era a causa d'haver d'abastar-se de l'obra, per la qual cosa d'aquesta part se n'encarregà un tercer.

Així mateix, assegura que la qualitat de la fusta és bona i segura, de la mateixa classe que s'acostuma a utilitzar a les teulades i “*nadie sinó unos pèritos ciegos por su pasión dirá que estos maderos sean falsos*” i els recomana que visitin les esglésies de Maldà i Rocafort de Queralt, que havia acabat d'edificar, les teulades de les quals estan fetes amb llates menys gruixudes que les del Palau i que havien estat serrades sota la supervisió dels comissionats.

La següent crítica dels visuradors fa referència al fet que en un arc s'hi observa una petita esquerdada, però Francesc Albareda replica que això no és una prova de negligència sinó conseqüència de l'assentament de l'obra, el pes acostuma a causar aquestes petites esquerdes de fàcil esmena. Fa referència a la catedral de Lleida i als desperfectes causats pel mateix moviment d'assentament de l'obra, així com als esmentats arcs del pont o bé a l'església del Carme Calçat —de la qual especifica que a l'arc toral que mira a l'altar major hi ha una obertura semblant, sense que aquests edificis hagin estat desqualificats per la seva falta de fermesa. I és que Albareda considera que l'obra s'ha de valorar un cop conclusa i lliurada, llavors és el moment que es faci una visura amb pèrits “*de sana intención*” i que tinguin “*la indiferencia que se requiere*”, segons paraules del mateix mestre, que considera una vegada més que en la visura duta a terme

pels mestres de Lleida “*solo se manifiesta el espíritu de amontonar reparos y defectos en la mayor parte con desvío de las contratas, acumulando proyectos de hermosura y perfección de que no necesita*”.

Finalment, Francesc Albareda fa constar que havia construït sis esglésies amb els seus campanars en sis llocs diferents, Ivars d'Urgell, Els Arcs, Os de Balaguer, l'església dels escolapis de Balaguer, Rocafort de Queralt i Maldà, així com una capella a la parroquial de Balaguer i els campanars del Poal i Castellnou de Seana “*y en ninguna parte se le ha tratado como ahora, con baxeza*”, alhora que qualifica l'informe dels visuradors de “*notoriamente apasionado y calumnioso*”

Després de la taba, el document més antic aconseguït és una carta del capellà ecònom de la parròquia que exposa que l'església va ser cremada el 1936 i que els fidels van realitzar algunes obres de reparació. Tot i així l'església es trobava en molt mal estat: “*resulta no solo inadeguada para el Culto, por su aspecto derrotado y desecho, sino por los peligros que ofrece para los asistentes al mismo*”.

Tal era l'estat que es va desprendre un tros de volta “*se desprendió de la bóveda, un gran fragmento*”. Afirmava que les parets estan negres i calcinades.

Tot i el despreniment d'un tros de volta, sembla que tota l'església estava dempeus, i que els danys principals no eren estructurals.

El 1944 el secretari de la Junta Diocesana de Reconstrucció de Temples hi realitza una visita a partir de la qual es concedeix destinar pressupost a la reparació del temple.

El 1979 s'elabora una relació dels treballs i obres que caldrà realitzar d'acord amb el projecte de l'arquitecte diocesà. Les obres són totes de reparació interior. No s'esmenta la coberta ni temes estructurals, i tant sols fa referència a pintats i enguixats.

El 1997 una memòria valorada de l'arquitecte Ramon Mondejar, esmenta diversos danys a l'església: meteorització de carreus de pedra, humitats, desprendiments d'estucats, desplaçaments entre carreus de la portada i la fornícula de la façana principal, esquerdes verticals a la façana sud, i d'altres en la unió entre carreus de les cantonades i el mur, en la mateixa façana i en la façana est; i nombroses esquerdes i desplaçaments en arcs i voltes.

La memòria apunta com a possible causa l'assentament dels fonaments i recomana la realització d'un geotècnic que s'efectua el 2002 per l'empresa Geoplanning. La conclusió era l'existència d'un assentament de la façana sud-est, provocant un moviment cap a l'exterior.

Els resultats del geotècnic també afirmaven que la façana sud-oest estava edificada sobre un terreny de sòl al·luvial sorrenc una mica llimós i bastant fluix, en canvi la façana nord-est estava sobre terreny compacte. El tècnic interpreta que l'assentament diferencial és la causa de les lesions.

El 2004 un informe elaborat per Sala Consultors SL, que s'adjunta com a annex, deixa constància de l'existència d'importants desploms, es diu que els pilars són esvelts, es mencionen les esquerdes a les voltes, i es manifesta que aquestes esquerdes no semblen ser recents. Es recomana realitzar un aixecament precís del temple i desenvolupar un model de càlcul que permetés esbrinar el grau de seguretat.

El 2006 un nou informe elaborat per Sala Consultors SL, extreu les conclusions següents sobre les deformacions de l'església:

- La secció T1 es mou cap al sentit contrari al campanar. L'arc de la nau central s'obre. El capitell del pilar es desplaça sobre la horitzontal i *“la columna es desploma mantenint la seva linealitat”*.
- Les seccions T2 i T5 *“els desploms són gairebé simètrics respecte l'eix de simetria de l'edifici, encara que una mica més accentuats cap a la banda esquerra.”*
- La secció T4, igual que T2 i T5 però amb desploms més petits.

També realitza les observacions següents sobre les esquerdes:

- *“Esquerdes en cantonades i particularment a les zones de connexió entre murs i els carreus”*.



**Fig.4** Fotografies de les lesions exteriors de l'església. Font: Sala Consultors SL, 2006. Facilitat per l'arquitecte Ramón Padullés.

- *“Esquerdes diverses a la façana principal. Com obertures de les juntes entre carreus”*.





**Fig.5** Fotografies de les lesions exteriors de l'església. Font: Sala Consultors SL, 2006. Facilitat per l'arquitecte Ramón Padullés

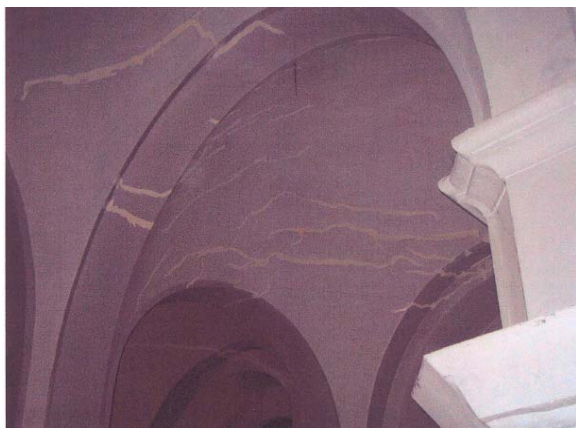
- *“Esquerdes als arcs torals. Aquestes esquerdes es localitzen en la part central de l'arc i en els seus ronyons. (...) cal significar que mentre l'esquerda de la clau s'obre en sentit descendent (de fet tendint a desaparèixer cap a la part superior de l'arc), les laterals “funcionen” a la inversa, obrint-se en sentit ascendent.”*



**Fig.6** Fotografies de les lesions exteriors de l'església. Font: Sala Consultors SL, 2006. Facilitat per l'arquitecte Ramón Padullés

- *“Esquerdes en algunes voltes laterals. (..) tendeixen a orientar-se segons la diagonal de la volta, de forma que al desplaçar-se en sentit de dintre a fora de l'edifici, s'acosten a la cantonada que defineixen el campanar i el mur de façana.”*

- Esquerdes a l'extradós de les voltes.



**Fig.7** Fotografies de les lesions exteriors de l'església. Font: Sala Consultors SL, 2006. Facilitat per l'arquitecte Ramón Padullés

L'informe fa una interpretació dels moviments, explicant que la façana nord-est és la més desplomada, essent la secció T1 la que presenta un major desplom, el qual va disminuint en apropar-nos a la secció T5.

A la façana sud-oest no hi ha desplom a la zona del campanar (secció T1), a la resta de crugies es comporta de manera similar i simètrica a la façana nord-est.

Explica que els pilars *“tenen directrius sensiblement rectilínies, però no completament verticals i, en canvi, quan s'arriba al capitell, la directriu es trenca per anar a buscar una verticalitat més franca. És molt poc probable que aquestes columnes es construïssin sistemàticament inclinades cap a fora, i que es canviés la directriu de l'element, cap a la vertical, en abastar la cota del corresponent capitell.”*

També afirma que les esquerdes de les parts altes de les cantonades no poden ser per a assentaments de la fonamentació. Que les esquerdes de la façana principal les atribueix a la formació *“d'un arc de descàrrega que neix on el mur de façana entrega contra el campanar, s'aixeca per sobre de la porta i la fornícula, i torna a baixar cap a la part inferior de la cantonada entre la pròpia façana i la lateral esquerra (NE).”*

Les esquerdes dels arcs les atribueix a *“l'entrada en càrrega dels mateixos com a bigues doblement encastades; per aquest motiu, a la part central de l'arc s'intensifiquen cap a la banda inferior del mateix (moment positiu), mentre que als ronyons ho fan per la banda superior (moment negatiu).”* Atribueix l'origen de les esquerdes al desplaçament horitzontal dels pilars.

Les esquerdes de la nau lateral dreta adjacent al campanar les considera *“coherents amb el desplaçament diferencial existent en la coronació d'aquesta façana entre els arcs T1 i T2.”*

L'esquerda a l'extradós de la volta la considera *“indicativa d'un moviment incompatible entre la pròpia volta i l'arc sobre el què recolza.”* Considera les esquerdes de les voltes el resultat dels moviments diversos dels arcs.

Les conclusions finals són que l'origen de les lesions de l'edifici són el desplom dels pilars i dels murs a causa de l'empenta dels arcs.

Es considera que el terreny pot tenir *“alguna petita incidència sobre aquesta problemàtica (si la incidència fos del terreny els moviments no serien simètrics)”*. Estima l'origen de les lesions en dos fets, d'una banda la *“considerable esveltesa de la construcció que, a més, no disposa d'elements específics (tipus contraforts) per absorbir les importants empentes inherents a l'entrada en càrrega dels arcs”*. D'altra banda diu que: *“si d'aquesta gran esveltesa es derivés una problemàtica intrínseca d'inestabilitat, ja faria molt temps que l'edifici hagués estat a terra. Per tant, cal pensar que es tracta d'una evolució que s'ha anat produint d'una manera molt lenta, per causa normal d'envelliment dels materials, i sobretot per l'erosió provocada al llarg de desenes d'anys per l'aigua de pluja que ha anat regalimant per les façanes, “rentant” les juntes i buidant les parts exteriors de les mateixes, desprenent els arrebossats i provocant humitats que han derivat en deterioraments locals de la construcció i en les consegüents afectacions a la seva capacitat resistent”*. Finalment recomana el *“tibament dels arcs de la nau central per la seva banda superior”*.

Aquesta recomanació és la que es va executar en la intervenció de 2011 (Figures 2 i 3).

S'han obtingut fotografies històriques a l'Arxiu Gavín.



**Fig.8** Fotografies 1979. Font\_ Arxiu Gavín.

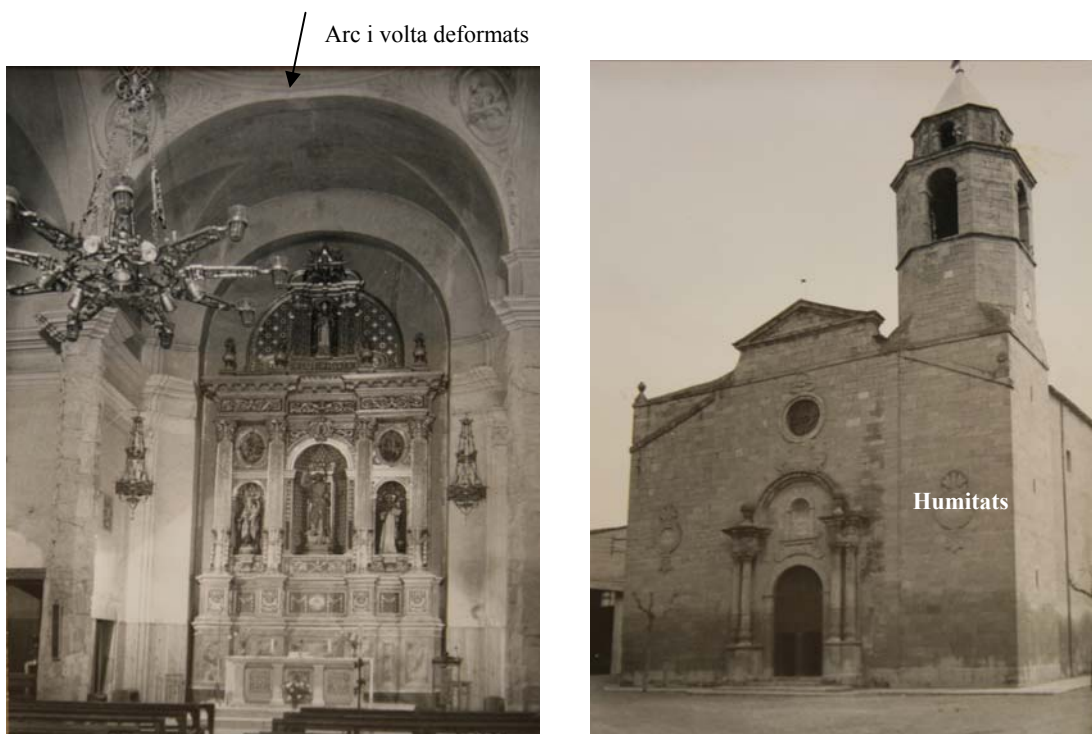


S'observen les humitats en façana procedents del terreny. A la Figura 8 a la dreta, s'observa l'esquerda al centre de l'arc, però no hi ha una deformació destacable.



**Fig.9** Fotografies 1979. Font\_ Arxiu Gavín.

A la Figura 10 s'ha eliminat el revestiment dels pilars a la zona del presbiteri, possiblement a causa de les humitats. S'observa els capitells deformats, que els pilars són de pedra i que l'església pateix serioses humitats procedents del subsòl. A la Figura 10 la deformació de l'arc toral i de la volta del presbiteri són evidents. Les humitats en façana procedents del terreny, també.



**Fig.10** Fotografies 1979. Font\_ Arxiu Gavín.



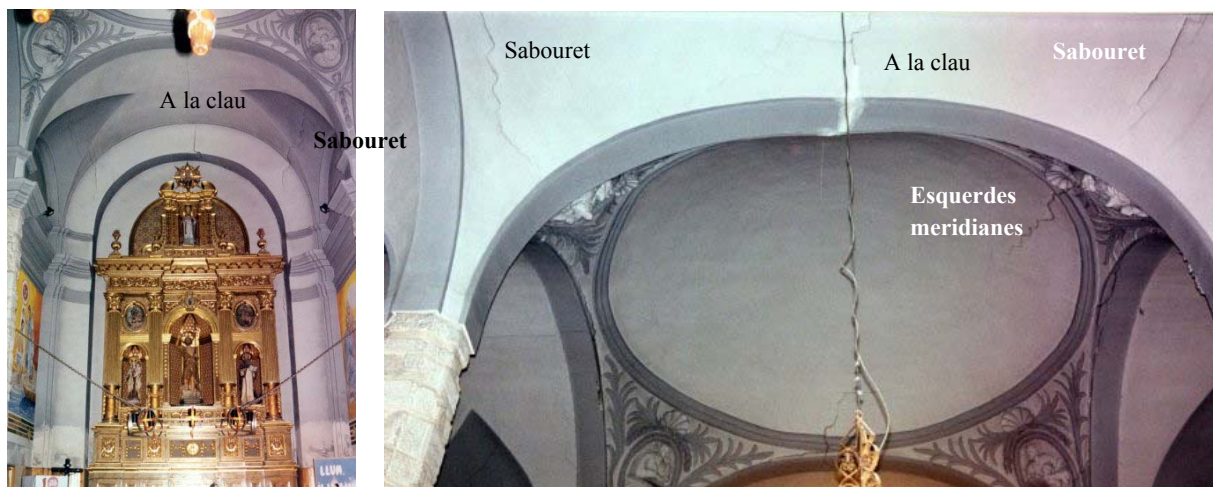
**Fig.11** Fotografies 1979. Font\_ Arxiu Gavín.

A la Figura 11 a l'esquerra es marca l'esquerda en façana. A la dreta esquerdes a la volta del presbiteri.



**Fig.12** Fotografies 1979. Font\_ Arxiu Gavín.

A la Figura 13 es mostren esquerdes a la clau dels arcs i esquerdes de Sabouret.

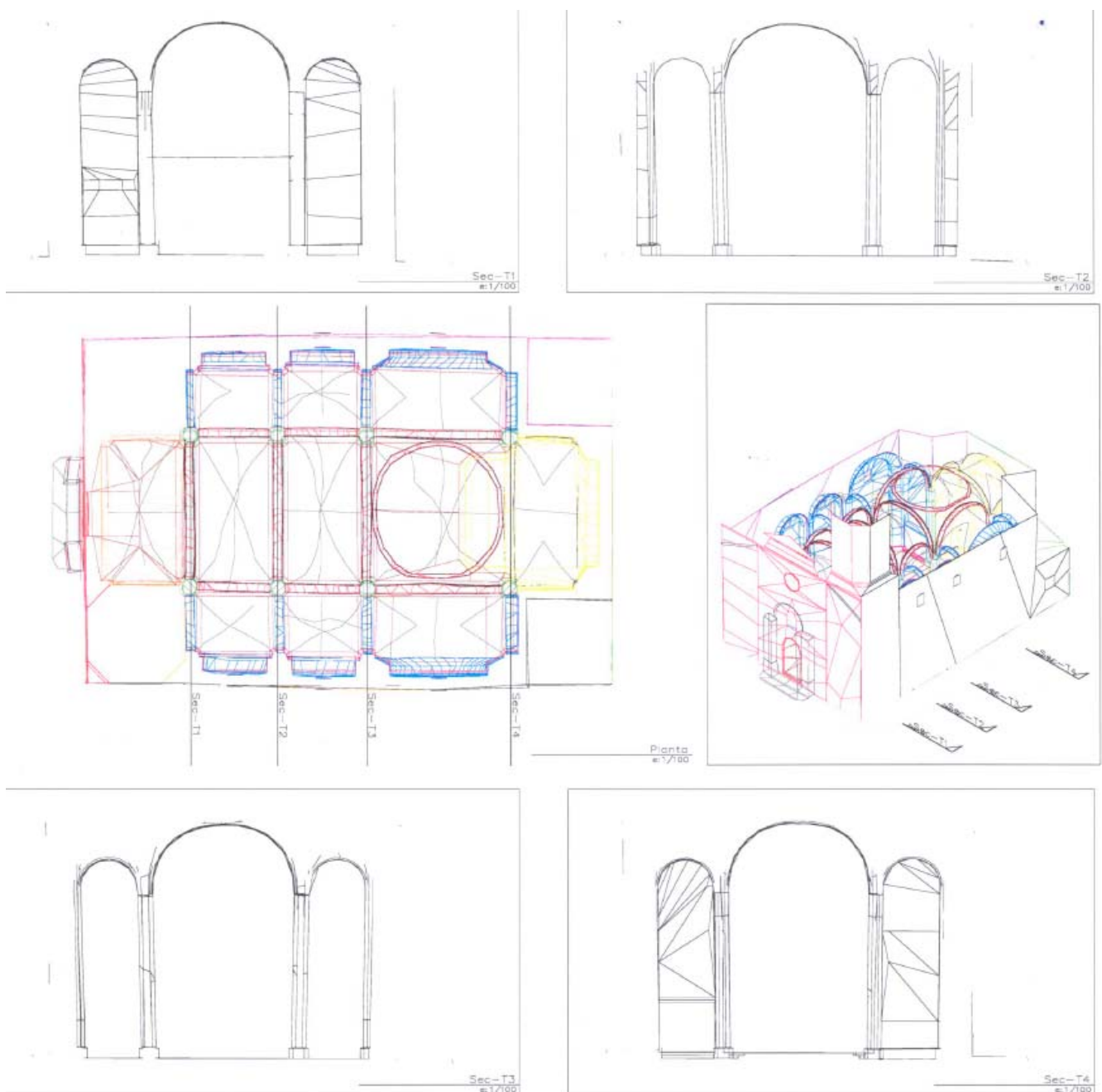


**Fig.13** Fotografies. Font\_ Arxiu Gavín.

#### 4.5.2 Geometria del temple i lesions

Per a l'aixecament de l'església deformada s'ha partit d'un plànol topogràfic pertanyent a l' "Informe de diagnosi de les patologies que mostra l'església parroquial de el Palau d'Anglesola (Lleida)", elaborat el 2006 per Sala Consultors SL.

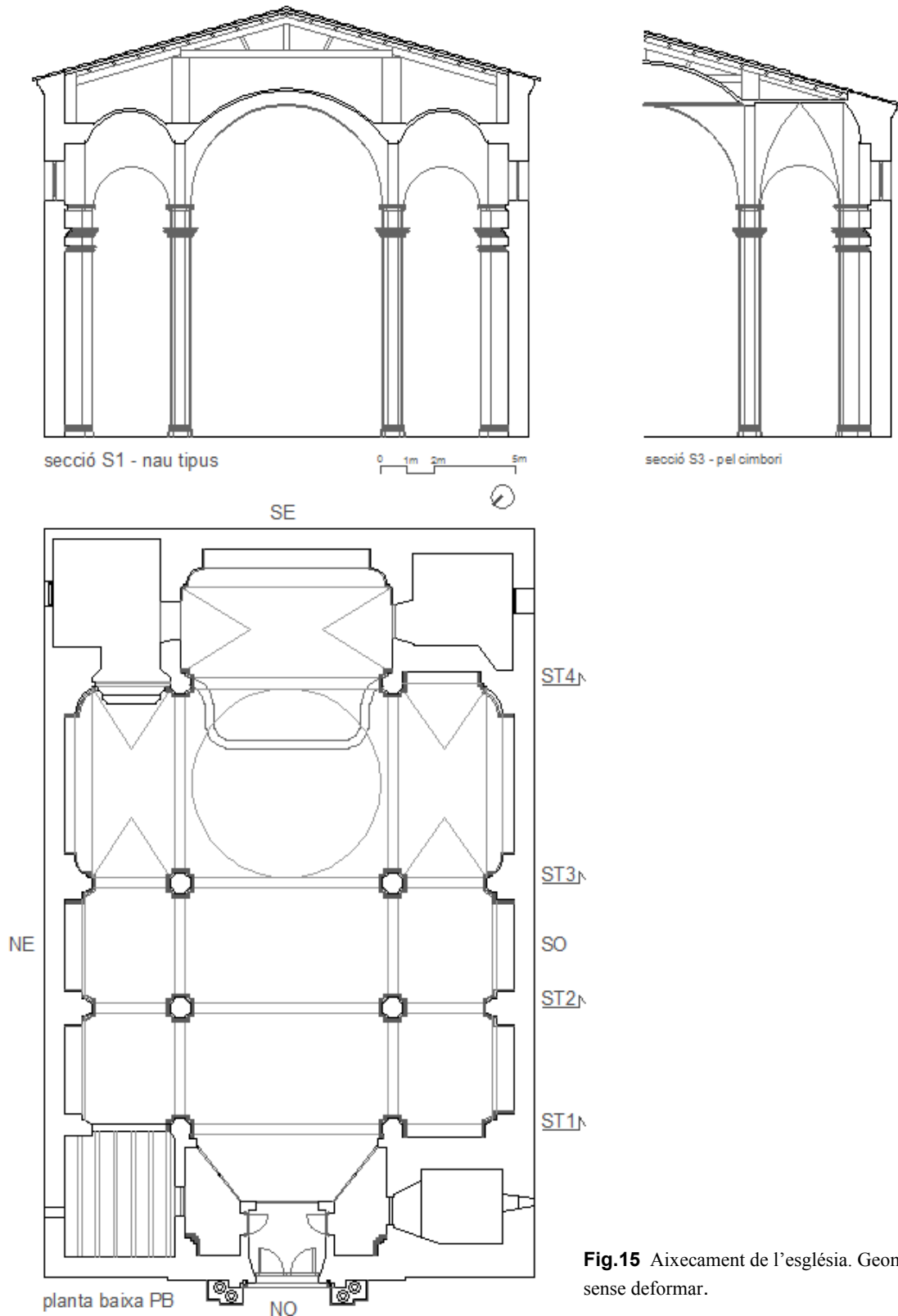
No s'ha pogut aconseguir el topogràfic original, i es parteix d'una imatge d'aquest topogràfic escanejada a partir de la qual s'ha redibuixat la geometria deformada.



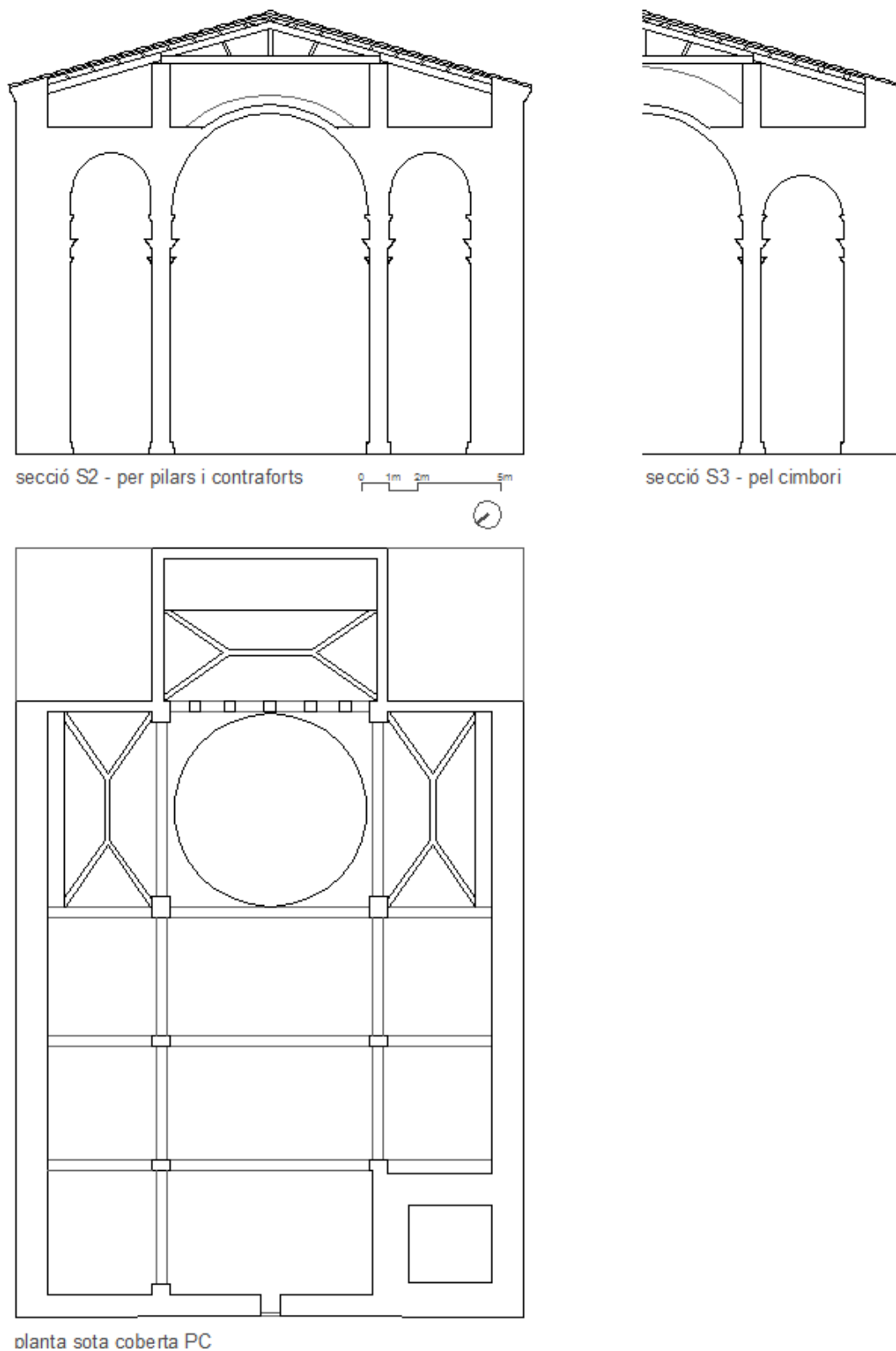
**Fig.14** Aixecament topogràfic. Informe de diagnosi de les patologies que mostra l'església parroquial de el Palau d'Anglesola.



Per a avaluar la seguretat del temple i poder establir una hipòtesi de l'origen de les lesions, s'ha realitzat un aixecament de la geometria sense deformar del temple. S'han dibuixat les plantes i les seccions. L'anàlisi de la geometria sense deformar servirà per a conèixer l'estabilitat de l'església abans de deformar-se, fet que aportarà coneixements sobre el possible origen de les lesions.



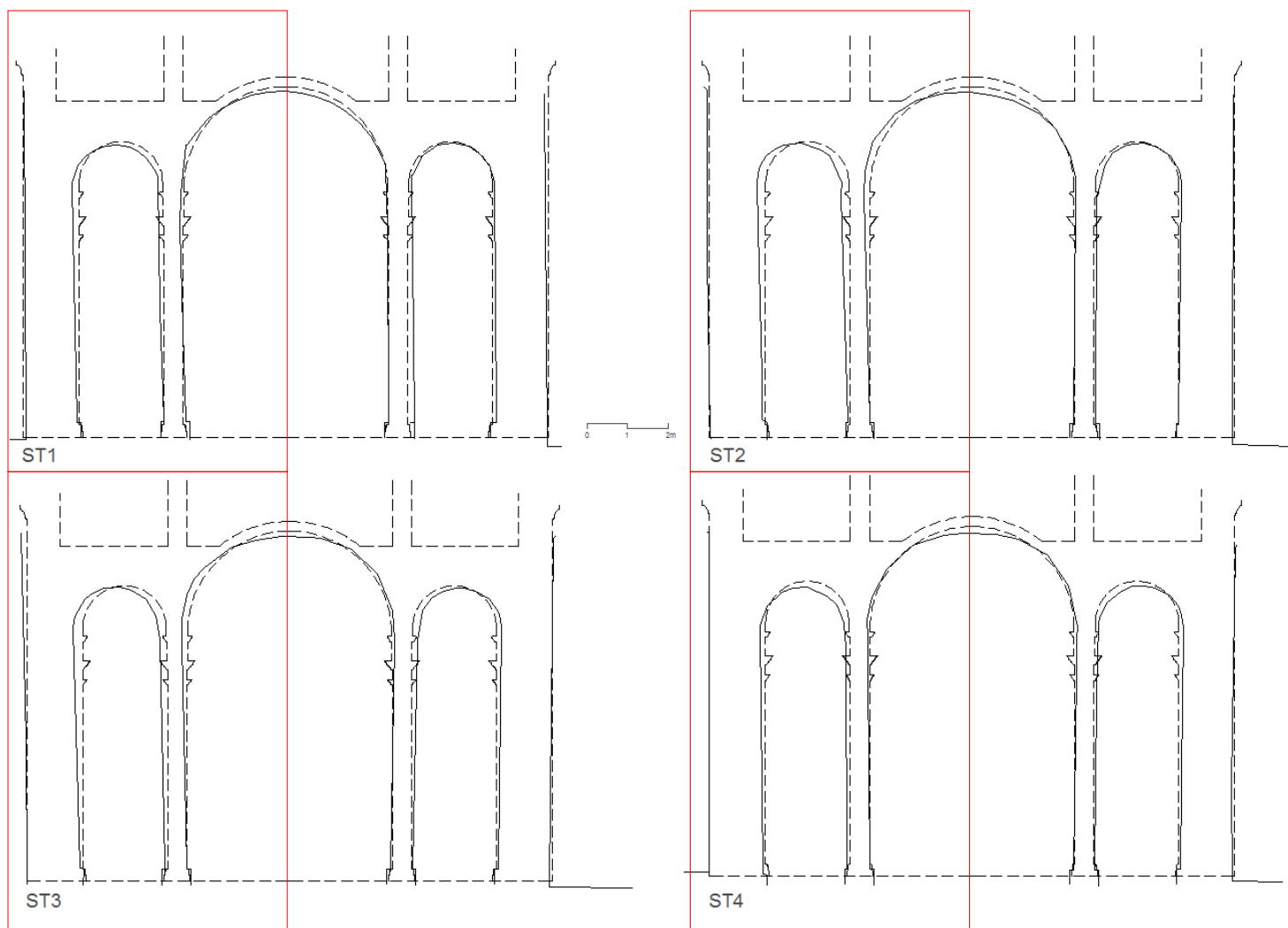
**Fig.15** Aixecament de l'església. Geometria sense deformar.



**Fig.16** Aixecament de l'església, secció pels arcs i planta sota-coberta. Geometria sense deformar.

La Figura 16 mostra la planta de l'extradós de les voltes. Actualment les càrregues de coberta recolzen sobre la vertical de pilars i estreps. A la zona del presbiteri i havia un sistema de pilastres que sostenia el tirant de l'encavallada de fusta que es va eliminar en refer la coberta el 2011.

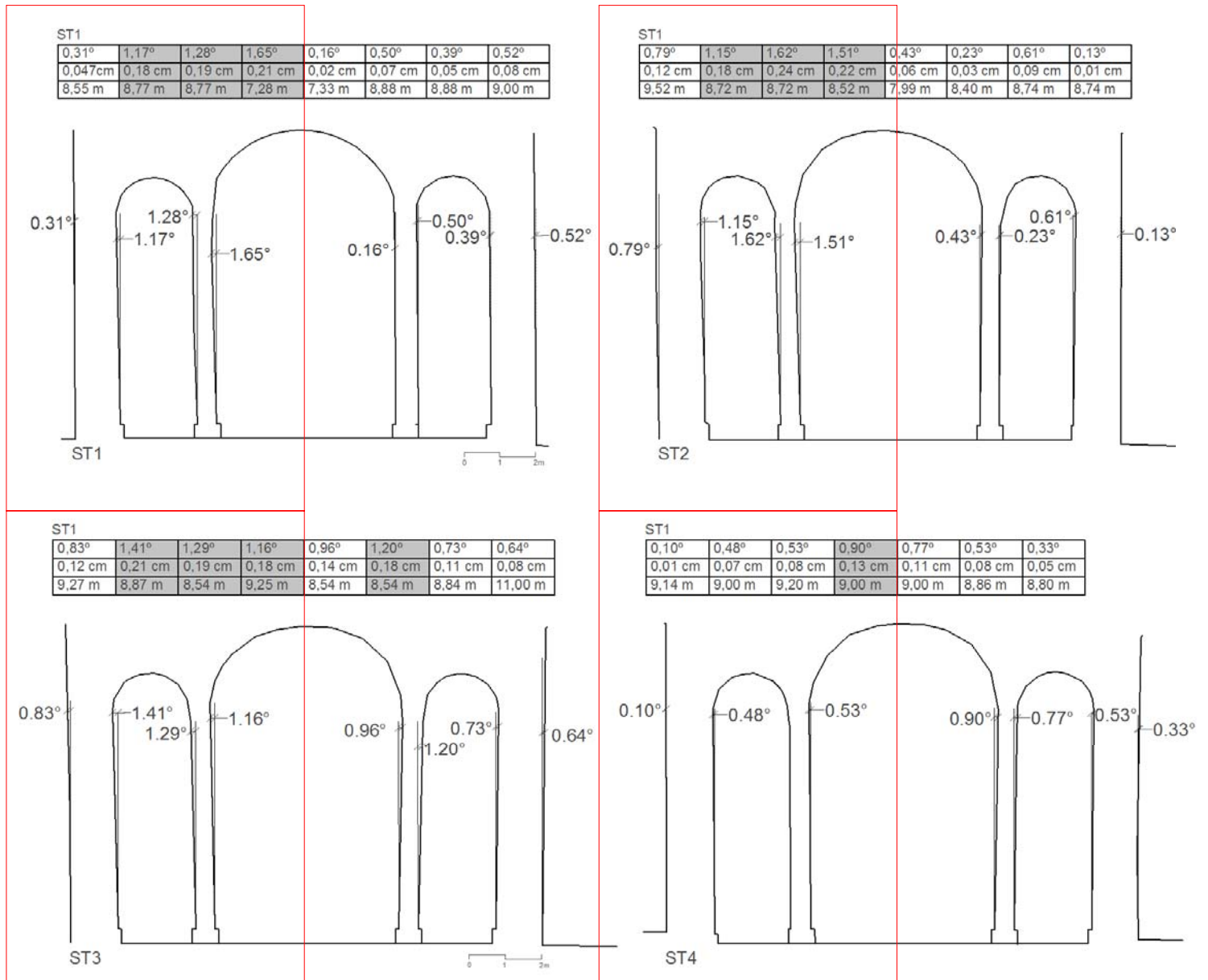
A la Figura 17, es realitza una superposició de la geometria deformada (línia contínua) i la geometria sense deformar (en discontinúua). S'observa que els arcs de la nau central han experimentat un descens, mentre que les naus laterals s'han inclinat girant sobre el punt exterior de l'extrem en contacte amb el terreny.



**Fig.17** Superposició de la geometria ideal sense deformar (en discontinúua) i la geometria deformada deduïda de l'aixecament topogràfic de la Figura 14.

A les Figures 17 i 18 s'observa com les deformacions són majors a la zona nord-est (en vermell), coincidint amb els pitjors resultats del geotècnic. També és la zona on l'esquerda de façana mostra un descens del mur de tancament. En canvi, els arcs estan igualment deformats.

Les deformacions grafades han estat deduïdes d'un aixecament topogràfic escanejat i reinterpretat per l'autora i per això, les deformacions són imprecises però donen una idea de la tendència de la nau a deformar que servirà per a elaborar una hipòtesi del possible origen de les lesions.



**Fig.18** Es mostren els desplaços respecte la vertical a cada secció. La zona nord-est (requadre vermell) està més deformatada.

S'observa com a les seccions ST1, ST2 i ST3 el pilar nord-est té un desplaçament de l'ordre de 20cm.

També es pot veure que el cantó sud-oest està menys desplaçat que el cantó nord-est. L'excepció seria el pilar sud-oest de la secció ST3, que es troba tant desplaçat com el seu simètric.

La zona sud-oest de l'església, menys desplaçada, es correspon amb la zona que el geotècnic esmentat classifica de més bona qualitat. A més, és la zona on hi ha el campanar, que arriostra amb la seva massa.

D'altra banda, la secció ST4 té l'arc toral tant deformat com les altres, però en canvi els desploms dels murs són menors. Cal tenir present que aquesta secció compta amb murs d'arriostrament laterals, corresponents al tancament de la zona del prebiteri. L'arc d'aquesta secció ha deformat com els altres, però en canvi els pilars s'han desplomat molt menys (al voltant d'un 45% menys).

El fet que l'arc de la secció ST4 s'hagi deformat igual que la resta d'arcs, malgrat estar arriostrat pels murs perpendiculars que tanquen el prebiteri, té la seva explicació en la solució de l'extradós.

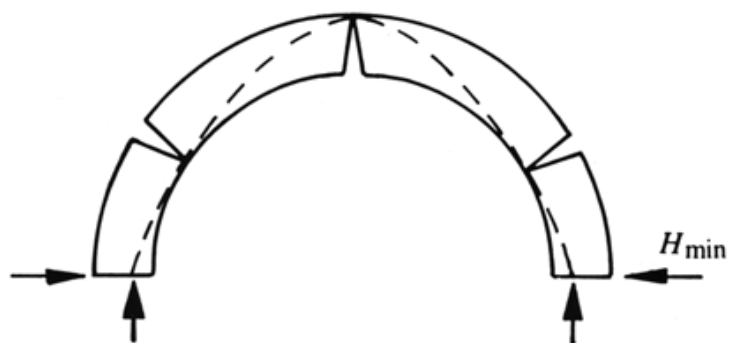
Sobre l'arc de la secció ST4 hi havia unes pilastres repartides que recolzen directament sobre aquest arc el pes de la coberta atribuïble a cada tram (Figura 16 i Figura 19). Això no passava a la resta de seccions, on els arcs no suportaven cap càrrega, només el seu pes propi.



**Fig.19** A l'esquerra es mostren les pilastres sobre l'arc de la secció ST4. A la dreta es mostra la secció ST3, on no hi havia pilastres que recolzaven sobre l'arc. Al centre d'aquest darrer arc s'observa l'esquerda situada a la clau que disminueix fins a desaparèixer a mesura que s'acosta a l'extradós. Fotografies proporcionades per Ramon Padullés.

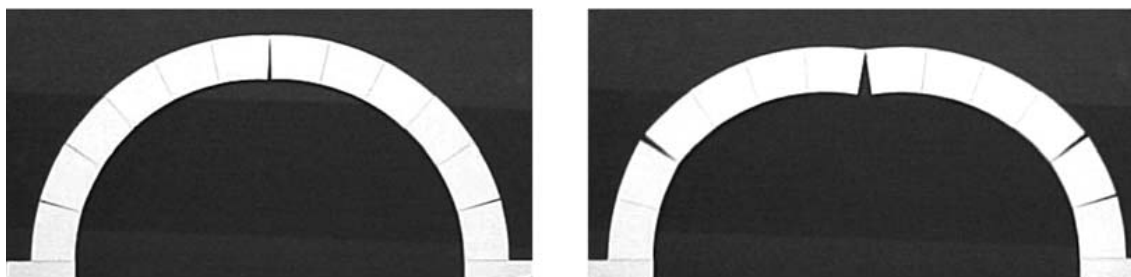
S'observa com les encavallades estaven molt fletxades. És evident que les pilastres de la secció ST4 es van col·locar per a evitar l'augment de la fletxa de les encavallades. A més, és molt possible que en aquesta zona les bigues de la coberta es substituïssin pel mal estat de les anteriors, o fins i tot perquè aquestes cedissin o fallessin directament. Això explicaria encara més que en aquest punt l'arc i les voltes estiguin igualment deformats, malgrat que els suports no hagin cedit en la mateixa magnitud que a la resta de la nau.

L' resta d'arcs estan visiblement deformats a causa de què els suports han cedit. El tipus d'esquerdes que presenten són les típiques d'un arc de fàbrica, formant-se les esquerdes que permeten a l'arc acomodar-se a la nova llum. Segons Heyman (Heyman 1999), s'obre una esquerda a la clau, a la zona de l'intradós, i dues als ronyons, a la zona de l'extradós (Figura 20).



**Fig.20** Esquerdas d'un arc segons Heyman (Heyman 1999)

Tal com afirma Huerta (Huerta, 2005), si els suports han cedit poc, la deformació és imperceptible. Quan el desplaçament dels suports és important, la deformació és evident a simple vista. Tot i així, l'arc deformat segueix sent estable si el moviment s'atura.



**Fig.21** Esquerdas típiques d'un model d'arc (Huerta 2005)

En el cas dels arcs de l'església de Palau d'Anglesola, la deformació no és simètrica. Tal com s'ha vist anteriorment, els desplaçaments tendeixen a ser més pronunciats a la façana i línia de pilars situats a nord-est.

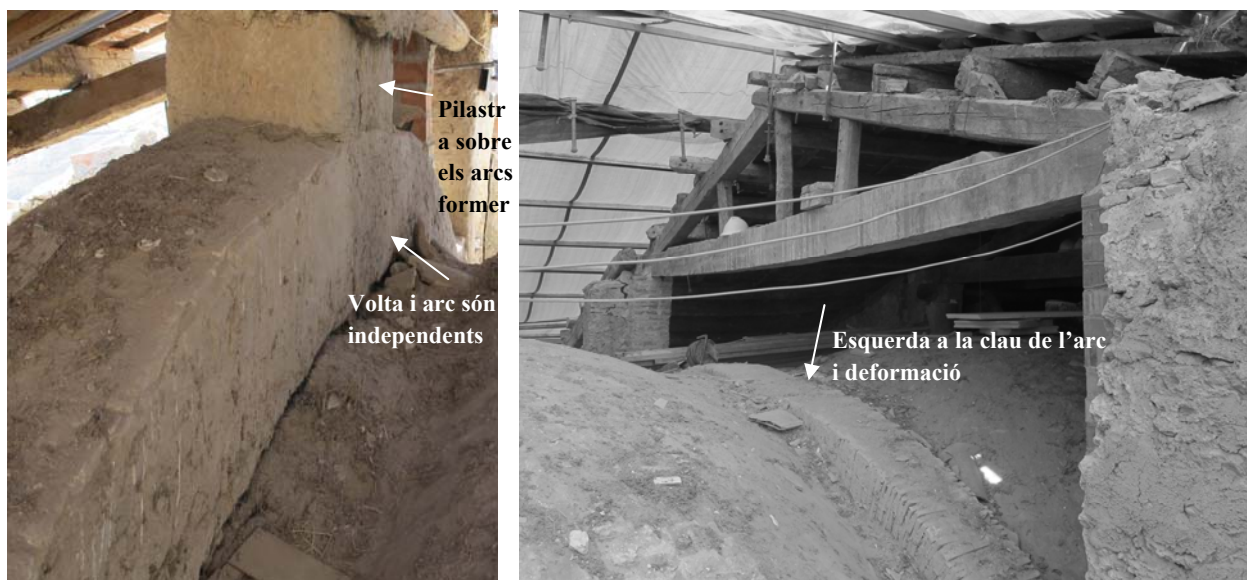
Les voltes no recolzen sobre els arcs per a sostenir-se, ja que són autoportants, i segueixen el seu desenvolupament. Els arcs servien de "guia" en el moment de la construcció, per a traçar la curvatura.

La Figura 22 dreta, mostra com el gruix dels arcs sobresurt considerablement de l'extradós de les voltes. També s'observa l'esquerda a la clau de l'arc i la deformació.

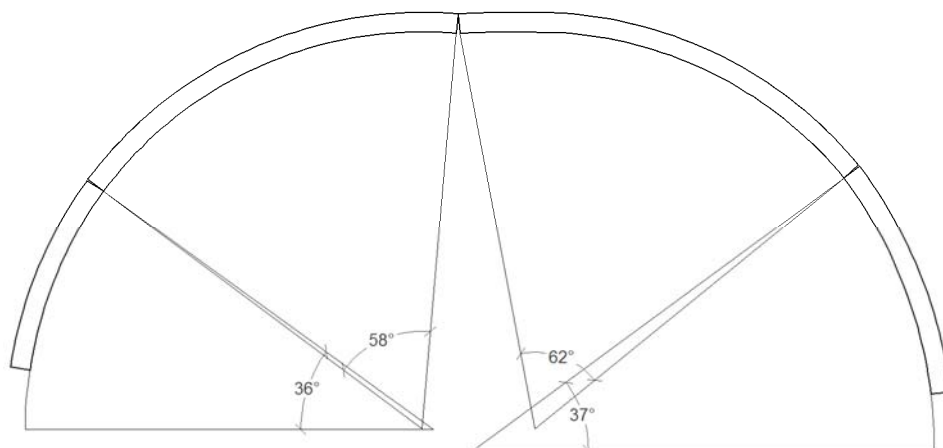
Les voltes segueixen els arcs en paral·lel, els arcs defineixen els límits de les voltes, les quals hi entreguen amablement sense envair-los.

Si els arcs cedeixen poc (al voltant 1/100 de la llum (Huerta, 2016)), la deformació no serà perceptible.

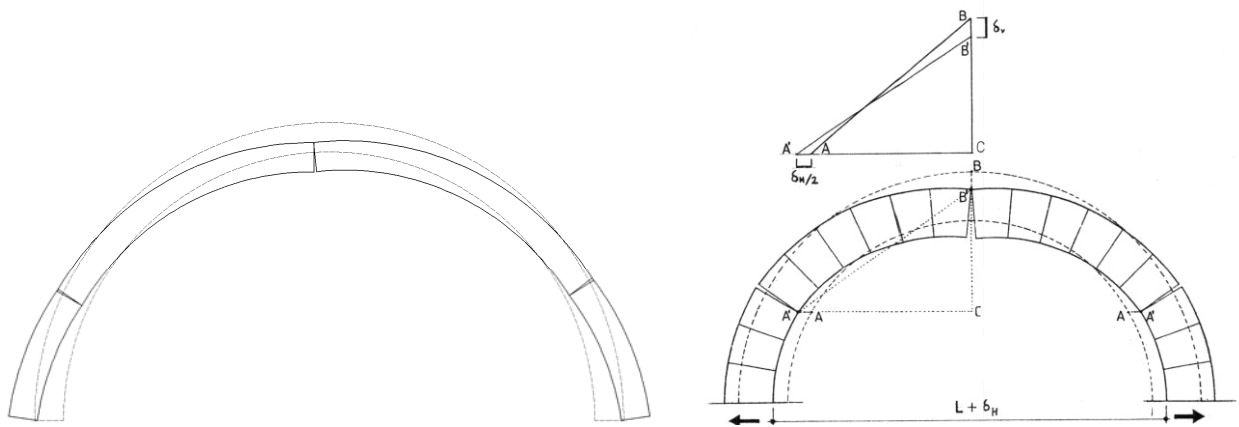




**Fig.22** A l'esquerra arc former de la nau lateral i volta de la nau central. A la dreta arc i voltes de la nau central. Els arcs sobresurten respecte l'extradós de les voltes, i són de maó a sardinell. Fotografies proporcionades per Ramon Padullés.



**Fig.23** Aproximació de la deformació dels arcs vista des de l'interior de l'església.



**Fig.24** A l'esquerra, aproximació a la deformació dels arcs de la nau central. A la dreta relació del desplaçament d'un arc semicircular segons Huerta (Huerta, 2001).

Les votes de l'església són de "rajola doblada", mesuren 6-7cm de gruix. Les de la nau central són de mocador, excepte la del presbiteri que és de canó amb llunetes. Les de la nau lateral són de mocador. En general totes tenen els ronyons replets fins als 2/3 de l'alçada de la volta. Els arcs, tal com afirma la taba de Francesc Albareda, també estaven reblerts fins als "terços".

Les voltes tenen les esquerdes típiques d'una volta de fàbrica (Heyman). Aquestes són una esquerda a la clau de la volta que s'obra cap a l'intradós i dues esquerdes als ronyons que s'obren cap a l'extradós.



**Fig.25** Esquerdes a les voltes i als arcs. Fotografies proporcionades per Ramon Padullés.

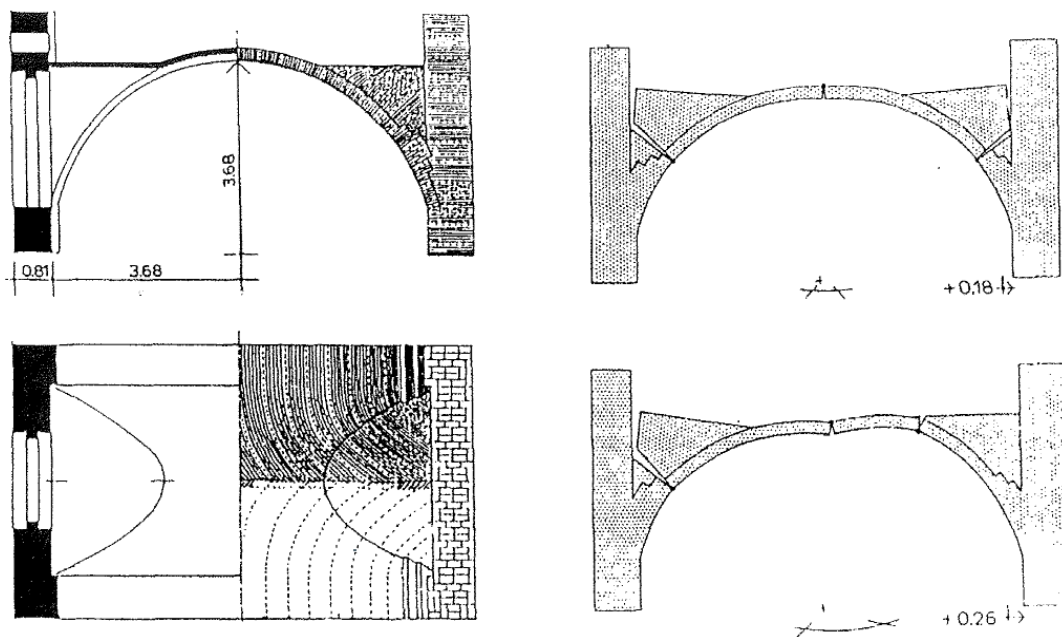
Les fotografies de la Figura 25 mostren les esquerdes a les voltes i als arcs. S'observa com la cúpula (1) té esquerdes radials pròpies del comportament com a membrana, aquestes esquerdes no afecten la seva estabilitat.

La volta de mocador (2) presenta esquerdes del mur i Sabouret, també a la clau i alguna de radial. La volta de canó amb llunetes (3) presenta esquerdes a la clau, de Sabouret i del mur.



**Fig.26** Esquerdas a la volta. Fotografia proporcionada per Ramon Padullés.

Com que les voltes recolzen sobre els mateixos pilars i murs que els arcs, si els pilars i els murs es mouen, augmentant la llum, les voltes experimenten les mateixes deformacions que apareixen en forma d'esquerdas per a adaptar-se a la nova geometria que marquen els suports.



**Fig.27** Esquerdas d'una volta de canó amb llunetes segons Huerta. (Huerta, 2006)



Les esquerdes verticals de les façanes són causades per l'empenta de les encavallades deformades sobre els murs. Part dels murs de tancament són de tàpia, marcant-se les zones carregades de les què no ho estan mitjançant les esquerdes verticals.



**Fig.28** Esquerdes verticals als murs. Fotografies proporcionades per Ramon Padullés.

### 4.5.3 Avaluació de la seguretat de l'església

S'analitza primer l'estabilitat de les voltes. Per fer-ho s'aplica l'Anàlisi Límit amb el mètode dels talls. Les voltes de mocador s'haurien pogut calcular com una membrana (com una cúpula, per exemple aplicant el mètode de Wolfe), però la seva empenta hauria resultat molt menor, en detriment de la seguretat. A més, les esquerdes que s'han descrit per a les voltes de l'església responen a patrons de comportament que no són els de membrana, o almenys, estan combinats. S'observa com en una volta de mocador hi ha esquerdes de Sabouret, esquerdes a la clau i també alguna esquerda meridiana (Figura 25).

El mestre de cases degué considerar que les voltes es comportaven com una membrana, i per això es detecten algunes llengüetes a l'extradós (Figura 29). En tot cas, la volta de mocador del creuer és l'única que es podria calcular considerant tant sols un comportament de membrana, ja que tant les esquerdes meridians com la seva geometria ho avalarien (Figura 39).

Resta de  
llengüeta en  
una de les  
voltes de la nau

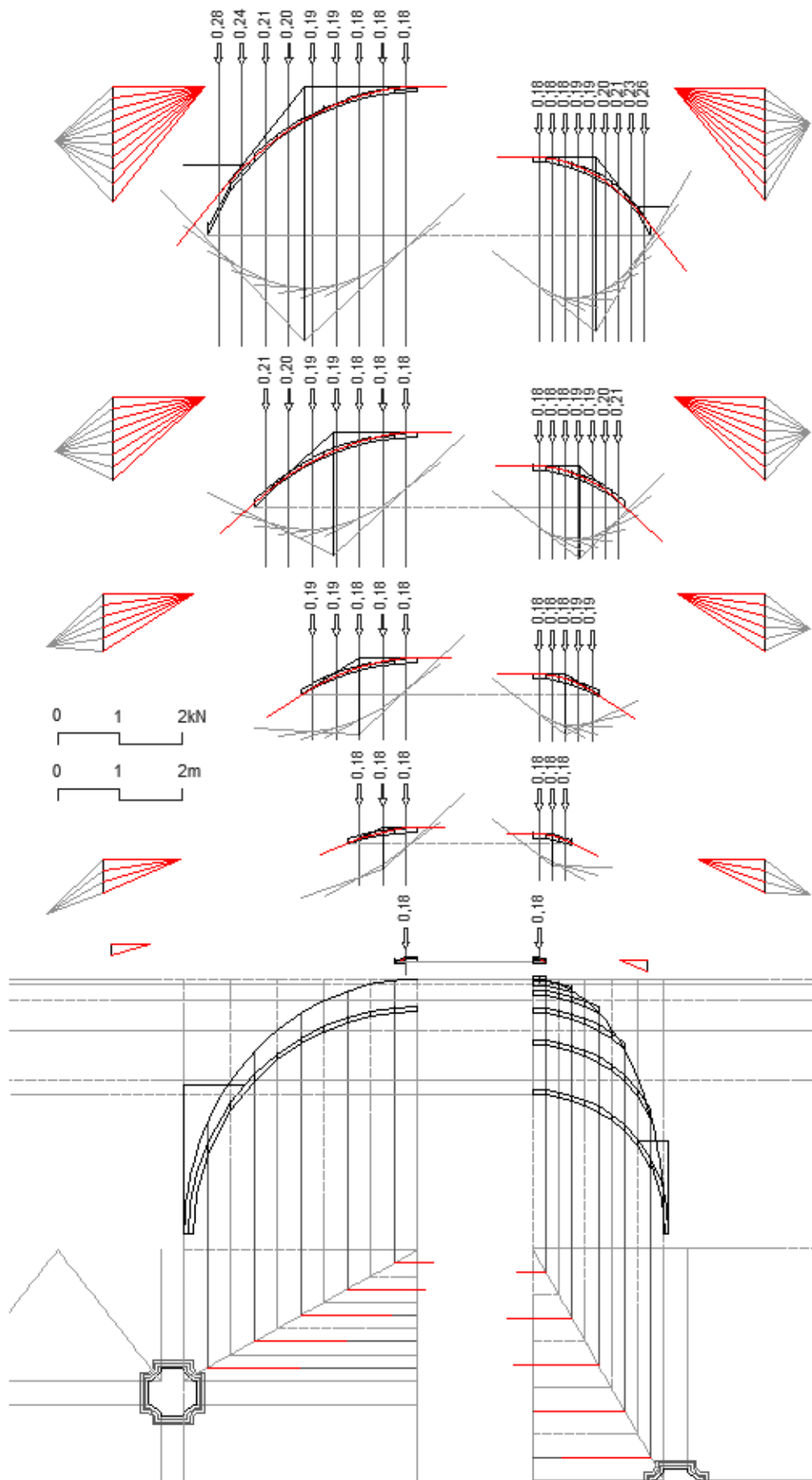


**Fig.29** Llengüeta a l'extradós de les voltes. Fotografia cedida per Ramon Padullés.

La Figura 30 grafia el comportament a partir del qual s'analitzaran es voltes. Són voltes de mocador que es poden interpretar com voltes d'aresta lleugerament peraltades, i es poden analitzar pel mètode dels talls com les voltes del gòtic tardà (Huerta, 2005).

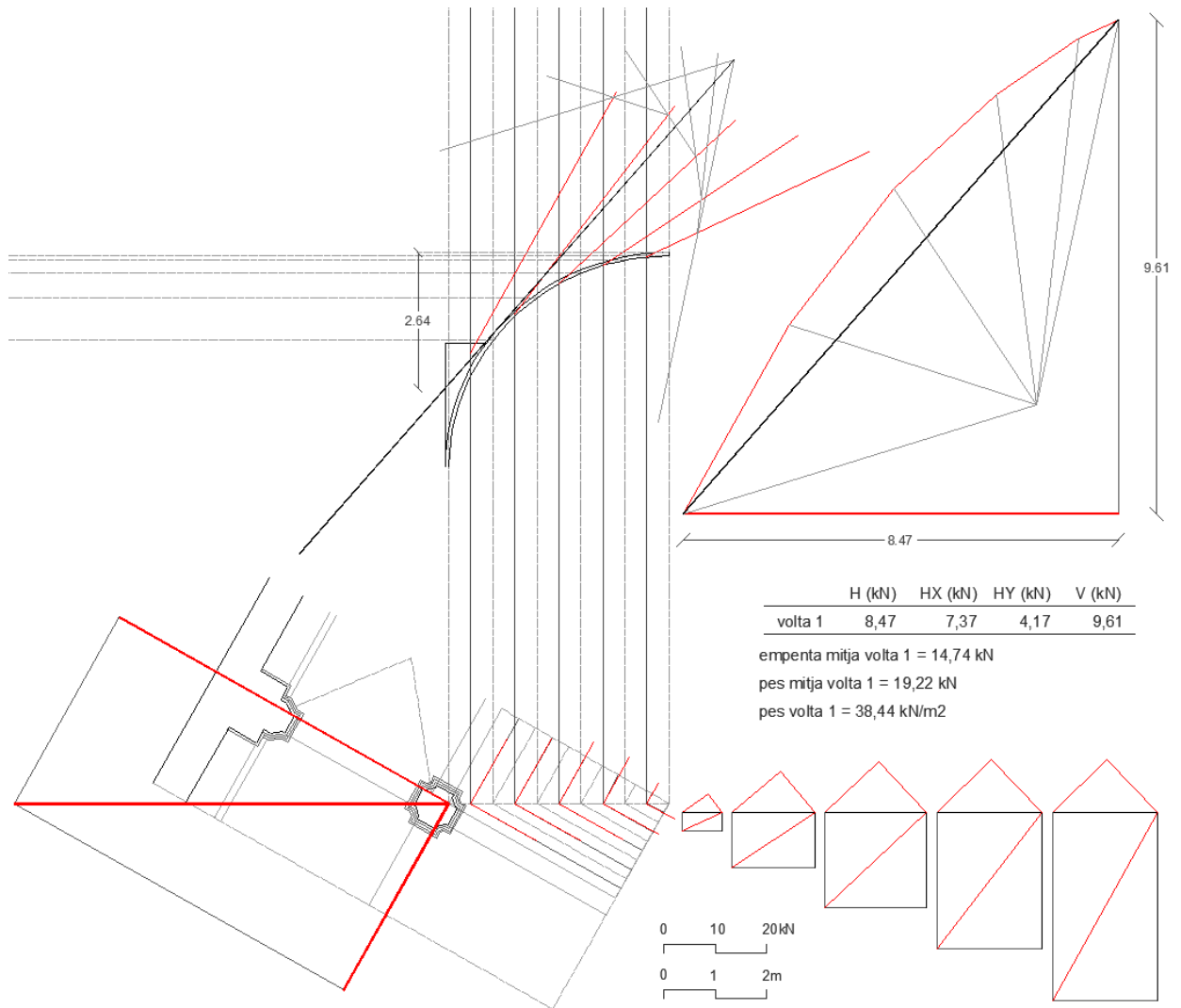


**Fig.30** A l'esquerra volta de canó amb llunetes (les llunetes poden ser més o menys altes i la volta lleugerament peraltada. Al centre volta de mocador on es dibuixen les arestes "imaginàries". A la dreta volta d'aresta peraltada del gòtic tardà (Huerta, 2005)



**Fig.31** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls aplicat a les voltes de mocador de la nau central.

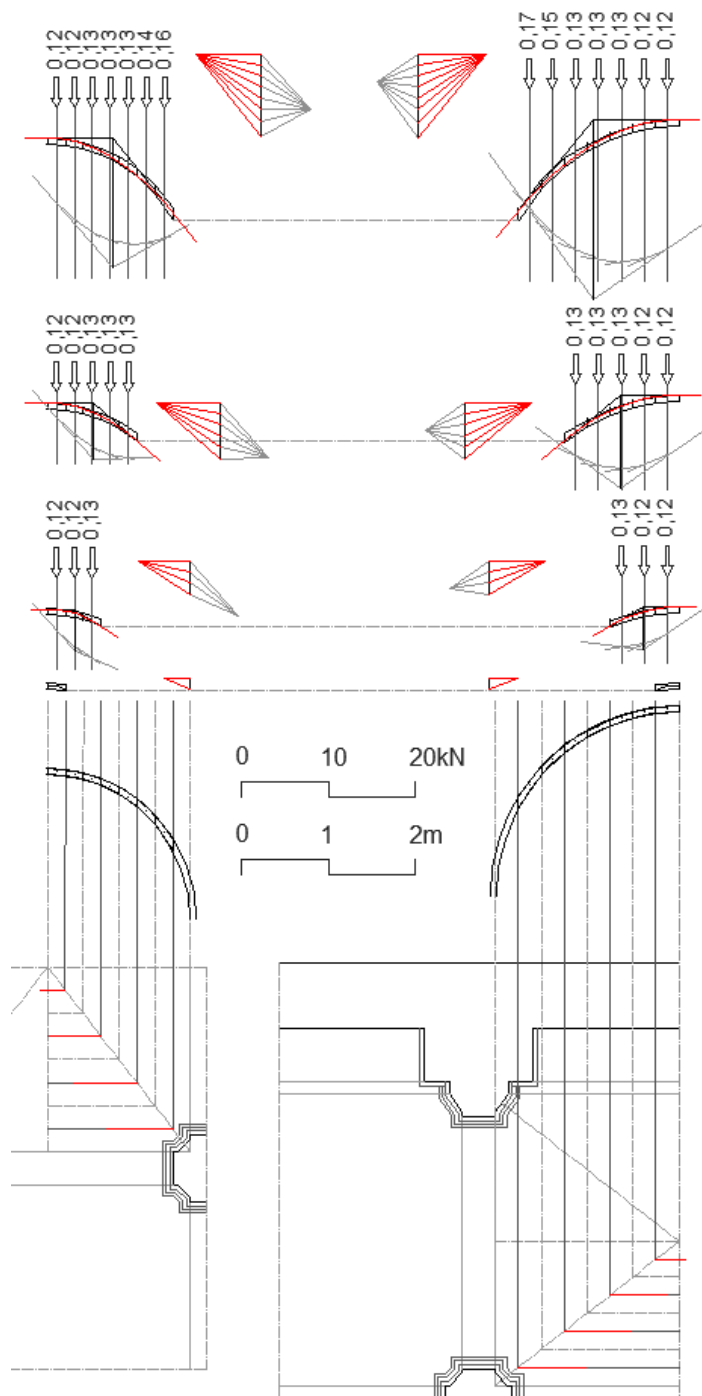




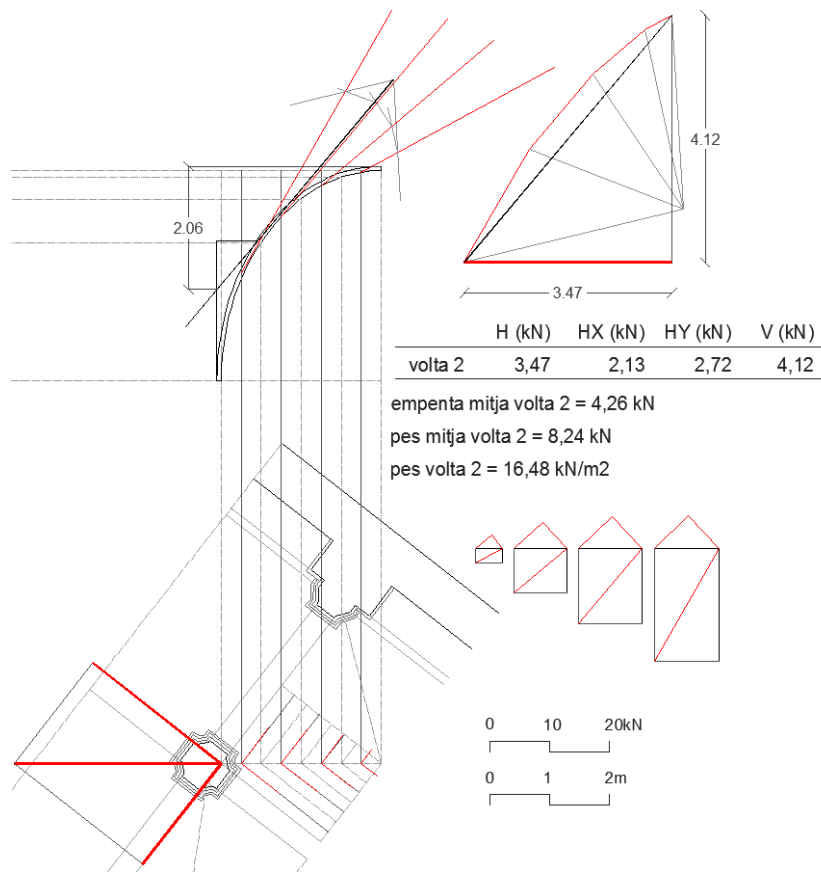
**Fig.32** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls aplicat a les voltes de mocador de la nau central.

La Figura 32 mostra com la resultant de l'empenta es situa 2,64 m per sota de la clau de la volta. La Figura 31 mostra com les voltes són estables, amb la línia de pressions que sempre passa per l'interior del gruix de la secció.

La Figura 34 mostra com la resultant de l'empenta es situa 2,06 m per sota de la clau de la volta. La Figura 33 mostra com les voltes són estables, amb la línia de pressions que sempre passa per l'interior del gruix de la secció.



**Fig.33** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls aplicat a les voltes de mocador de les naus laterals.



**Fig.34** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls aplicat a les voltes de mocador de les naus laterals.

Per a analitzar l'estabilitat s'avaluen diverses hipòtesis. A les fotografies s'observa com sobre els arcs faixons de les naus laterals hi havia un mur que podia arribar fins a recollir el pes de la coberta. De manera que aquests arcs laterals possiblement estaven carregats. Si bé això no sembla ser així en altres fotografies, on sembla clar que hi havia un mur sobre aquests arcs però que no arribava fins a la coberta.

També s'ha observat en algunes fotografies que diversos arcs faixons de la nau central semblaven tenir pilastres repartides. En canvi en altres fotografies sembla clar que no.

El que sembla evident és que l'alçada de la coberta va augmentar respecte l'original projectada.

Tenint en compte que les fotografies mostren com la coberta va patir múltiples modificacions, i havent estudiat les solucions de coberta per a Rocafort de Queralt i per Maldà, obres del mateix artífex, es realitzen diverses hipòtesis del possible estat original de la coberta basats en les solucions de les anteriors.

Es realitza l'anàlisi de l'equilibri de la nau per a les hipòtesis següents:

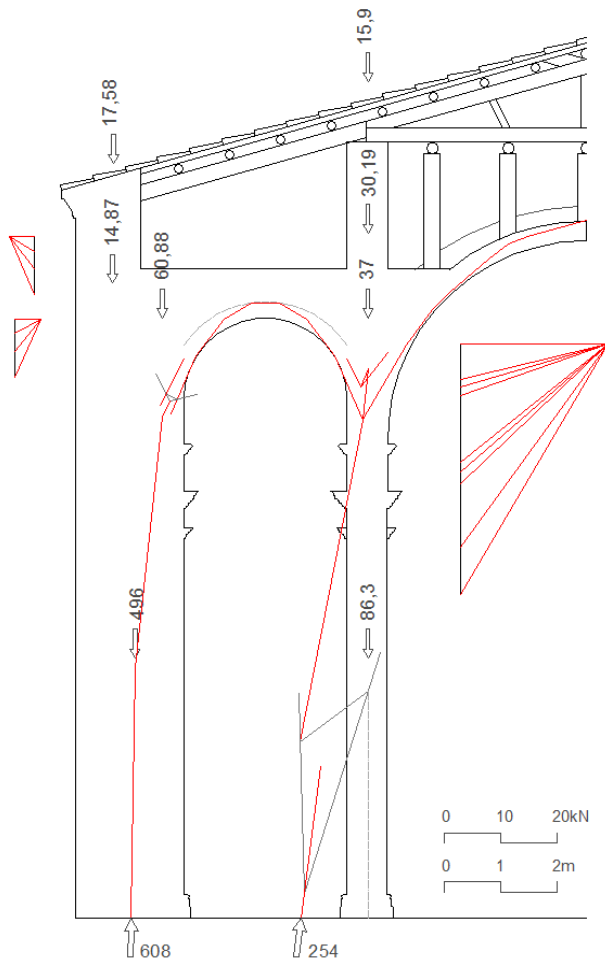
- a) Arcs laterals sense carregar i arcs centrals amb pilastres (carregant) i alçada de coberta actual.
- b) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals amb pilastres (carregant) i alçada de coberta actual.
- c) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.
- d) Arcs laterals sense carregar i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.
- e) Arcs laterals carregant (amb una pilastra central) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.
- f) Arcs laterals carregant (amb tres pilastres repartides) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.
- g) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals sense carregar i disminuint l'alçada de la coberta segons semblen revelar les restes dels murets sobre les naus laterals.



**Fig.35** A l'esquerra la fotografia de l'estat previ a la rehabilitació mostra el muret on recolza la coberta. A la dreta, la fotografia durant l'execució de l'obra mostra el muret mig desmuntat i les modificacions evidents a la pilastra, que denoten que possiblement ja s'havia realitzat intervencions a la coberta que n'havien augmentat l'alçada. Fotografia cedida per Ramon Padullés.



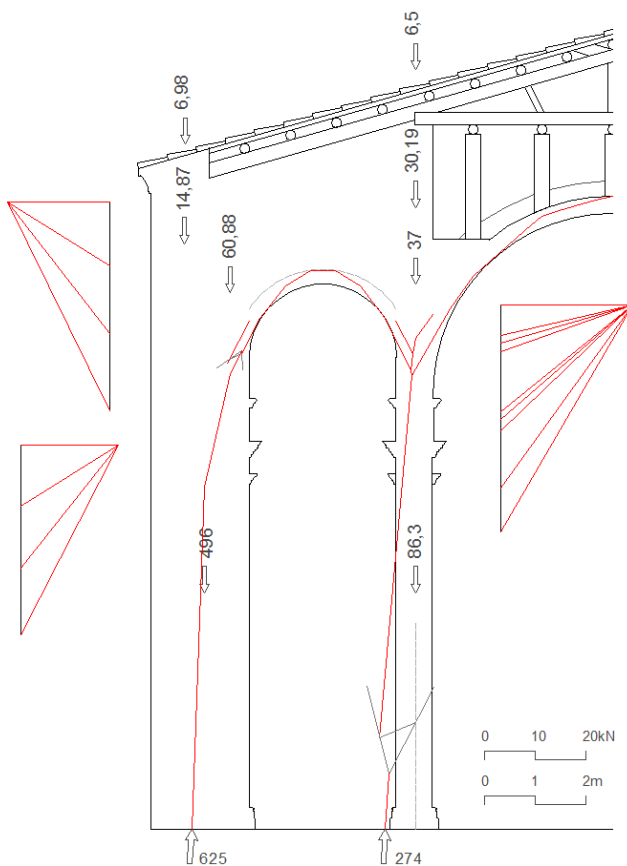
**Fig.36** A la fotografia es veu clarament com el mur de la nau lateral arribava a sostenir la coberta. També s'aprecien les modificacions realitzades al llarg dels anys. Fotografia cedida per Ramon Padullés.



### Hipòtesi a)

Aquesta opció correspondria a l'arc de la zona del presbiteri amb els arcs laterals sense carregar, i on els arcs de les naus laterals estan tapiats, són cecs. Per això la secció no ha fallat.

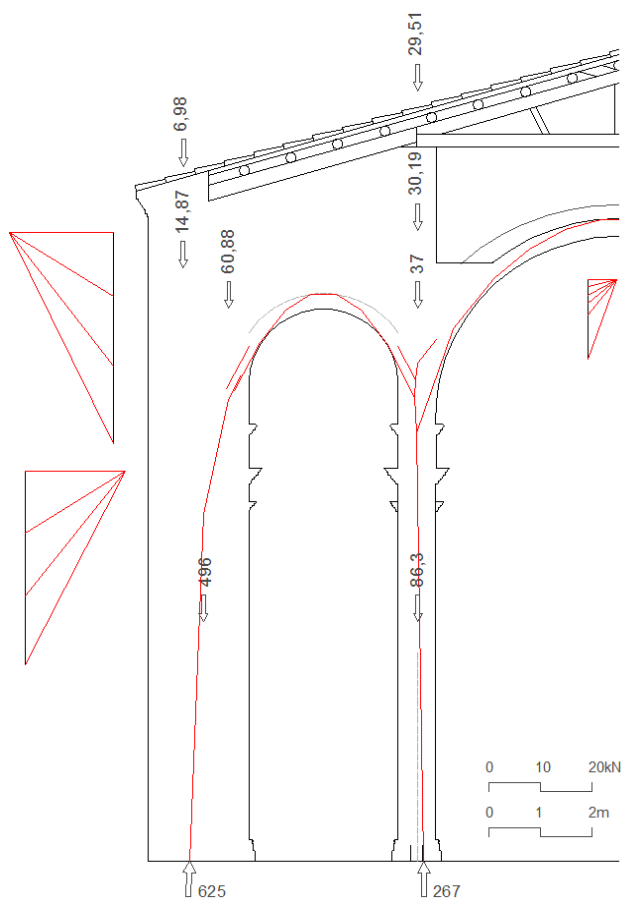
**Fig.37** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi a) arcs laterals sense carregar i arcs centrals amb pilastres (carregant) i alçada de coberta actual.



### Hipòtesi b)

Aquesta opció correspondria a l'arc de la zona del presbiteri amb els arcs laterals carregant, i on els arcs de les naus laterals estan tapiats, són cecs. Per això la secció no ha fallat.

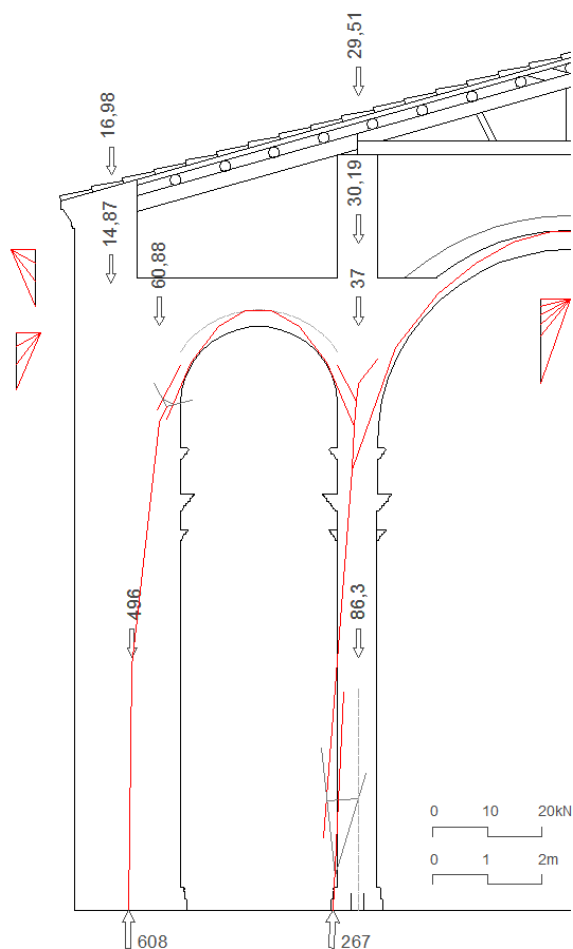
**Fig.38** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi b) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals amb pilastres (carregant) i alçada de coberta actual.



Hipòtesi c)

Aquesta opció, corresponent a la solució de la coberta abans de la intervenció de 2011 aconseguix un coeficient de seguretat per als estreps de 6 i per als pilars de 2,69.

**Fig.39** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi c) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.

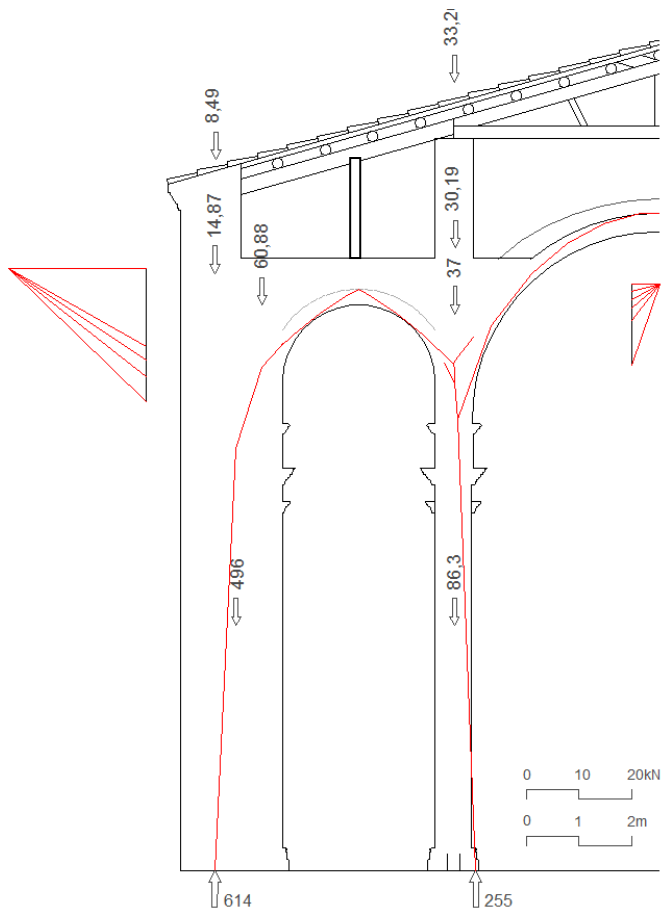


Hipòtesi d)

Aquesta opció es correspondria amb l'executada a la rehabilitació de 2011, s'observa com els tirants són necessaris per a equilibrar la nau, ja que la línia de pressions s'escapa molt del terç central a la zona dels pilars. Seria necessari un anàlisi de l'equilibri de la nau deformada amb els tirants, per tal de determinar si la situació d'equilibri assolida després de la rehabilitació és satisfactòria.

**Fig.40** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi d) Arcs laterals sense carregar i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.

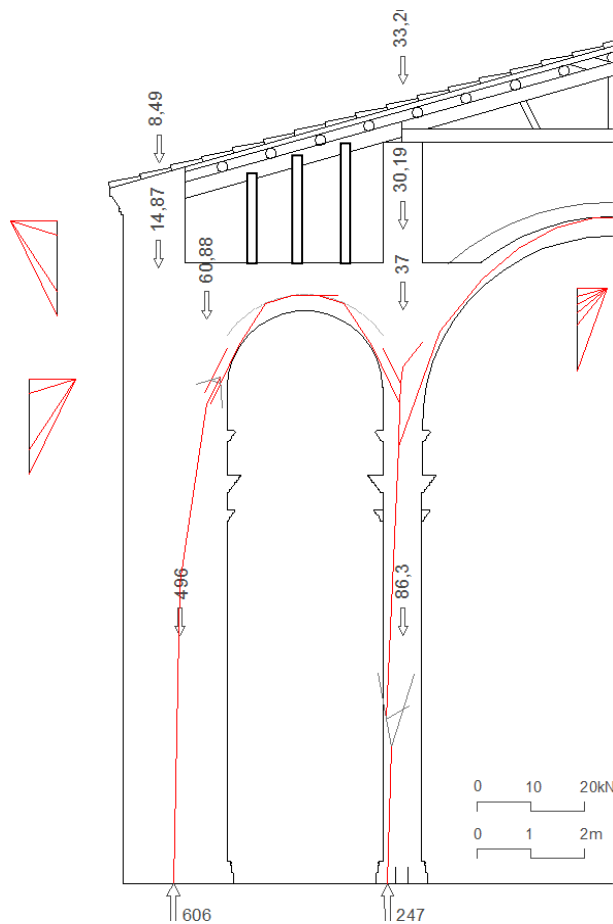




Hipòtesi e)

Aquesta hipòtesi respon a les solucions similars trobades a esglésies del mateix artífex (Rocafort de Queralt)

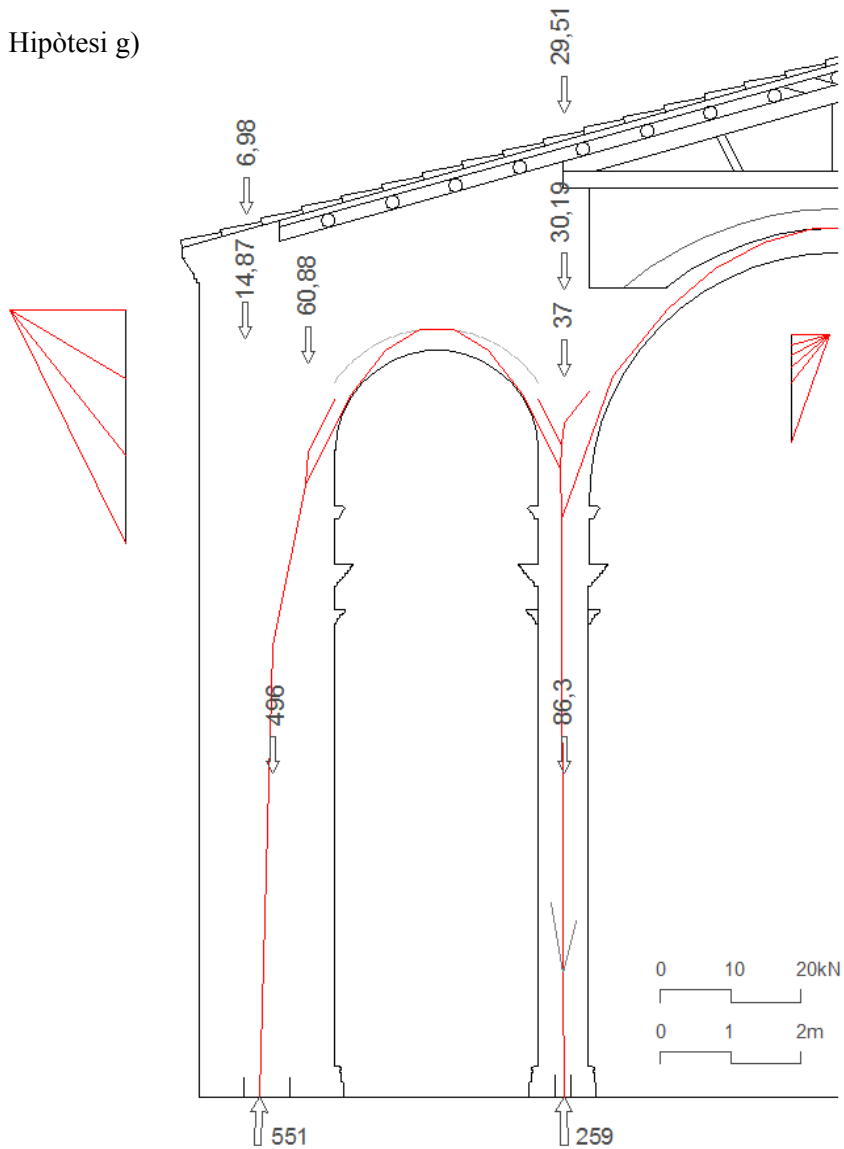
**Fig.41** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi e) Arcs laterals carregant (amb una pilastra central) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.



Hipòtesi f)

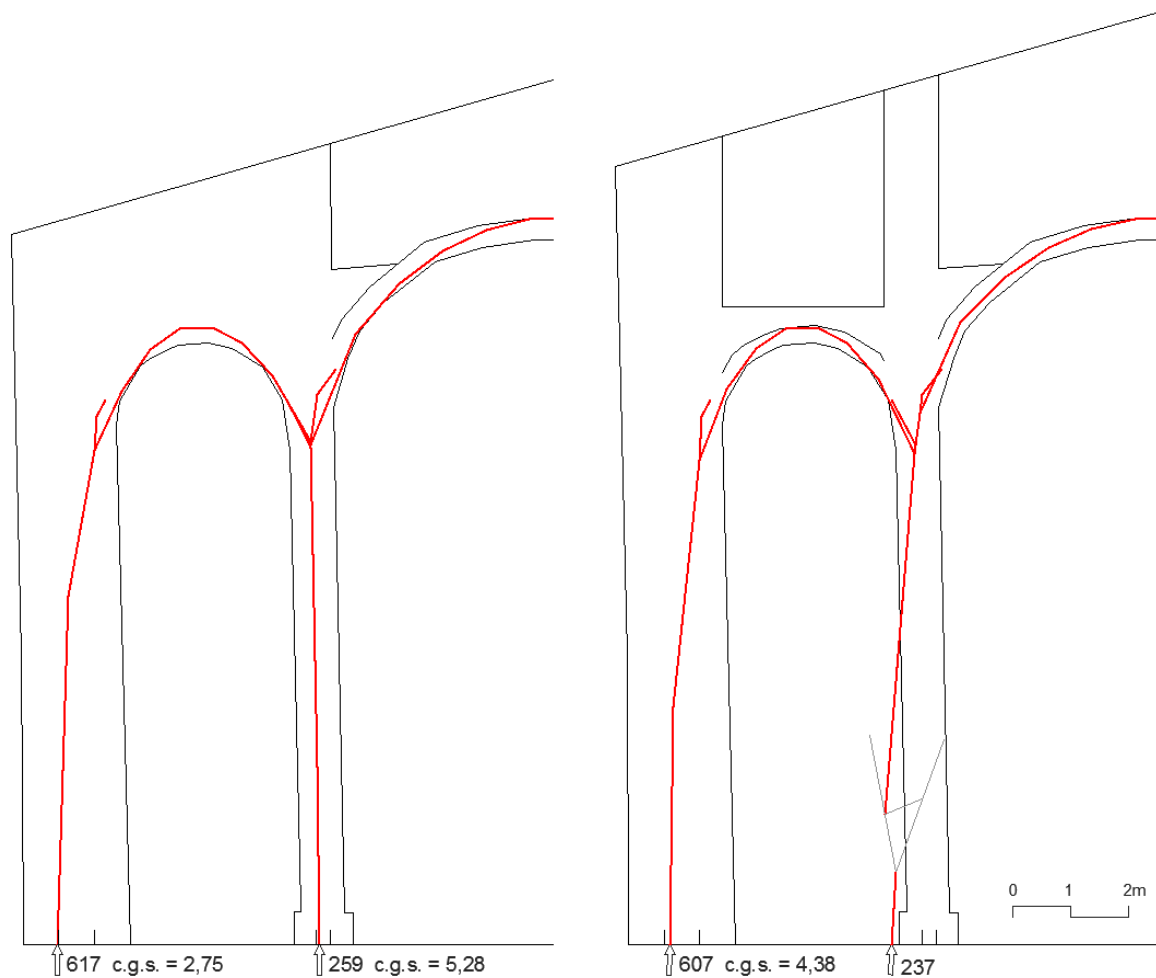
**Fig.42** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi f) Arcs laterals carregant (amb tres pilastres repartides) i arcs centrals sense carregar i alçada de coberta actual.

Hipòtesi g)



**Fig.43** Anàlisi de l'esquilibri de la secció segons la hipòtesi g) Arcs laterals carregant (amb mur) i arcs centrals sense carregar i disminuint l'alçada de la coberta segons semblen revelar les restes dels murets sobre les naus laterals, les fotos històriques i els textos estudiats.

S'observa com, per a la geometria original sense deformat, s'aconsegueix una hipòtesi d'equilibri satisfactòria per a l'opció g) (Figura 43), on els arcs de les naus laterals estan carregant amb un mur el pes de la coberta i els arcs de la nau central no carreguen. I on l'alçada de la coberta és menor, d'acord amb els textos estudiats i les fotografies d'abans de la intervenció (Figures 35 i 36).



**Fig.43** Anàlisi d'equilibri amb la secció deformada per a la hipòtesi de coberta original (esquerra) i per a la hipòtesi de coberta més alta i sense carregar els arcs de les naus laterals (dreta). La geometria es correspon amb la secció deformada T3 que s'ha redibuixat del topogràfic obtingut en pdf.

A la Figura 43 es realitza un anàlisi de l'equilibri per a la nau deformada en el cas de la hipòtesi de coberta original, on els arcs de les naus laterals carregarien part del pes de la coberta a través d'un mur recolzat sobre d'ells. I a la dreta, es mostra l'anàlisi d'equilibri de la secció deformada per a la hipòtesi dels arcs sense carregar i l'augment de l'alçada de la coberta.

S'observa com per a la secció de l'esquerra es troba una solució d'equilibri satisfactòria per al pilar. Malgrat estar deformada, la secció és estable si les càrregues de la coberta es distribueixen adequadament. Per a l'estrep la situació d'equilibri estaria una mica per sota dels paràmetres considerats segurs, tot i així, la compactació del terreny, que no s'ha pogut valorar i les possibles diferències en el gruix del mur podrien arribar a establir una solució que estigués dins el terç central.

A la secció de la dreta no s'obté una solució d'equilibri satisfactòria per al pilar. Aquesta secció es correspondria amb una solució similar a l'executada a la rehabilitació de 2011 però sense col·locar tirants. Per tant, la solució dels tirants pot ser correcta per a assolir l'equilibri.

#### 4.5.4 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions

En base als anàlisis realitzats i la recerca realitzada, és possible que l'església originalment s'hagués construït amb la coberta més baixa. Els pilars tant esvelts d'aquest temple el converteixen en molt sensible davant qualsevol alteració de l'estat de càrregues.

La coberta és un element fonamental per a equilibrar l'església. L'origen de les lesions podia haver estat causat per les modificacions introduïdes a la coberta, originades pel seu deteriorament amb la possible entrada d'aigua que malmetia les voltes preses amb guix i augmentava l'empenta dels arcs i les voltes variant l'equilibri de la secció.

La nau d'origen era estable, però els cabells de fusta, amb la manca de manteniment, també haurien anat cedint introduint càrregues excèntriques recolzant sobre alguns punts dels arcs.

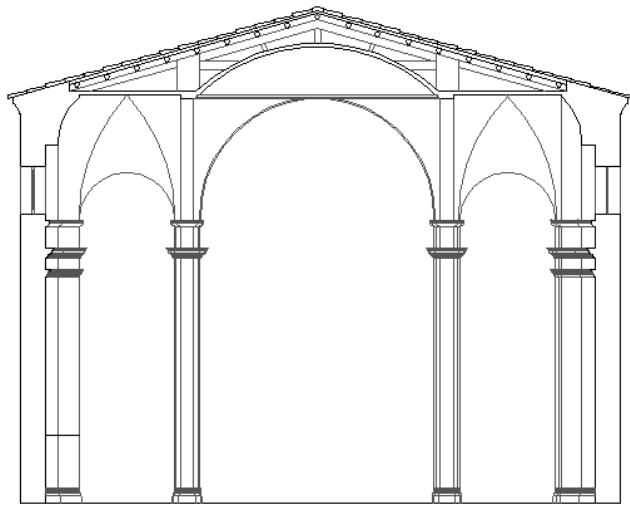
Tot això hauria creat excentricitats a la base dels murs i els pilars que, sumat a la poca qualitat del terreny i els nivells elevats d'humitat, hauria produït que els murs comencessin a girar creant desploms i augment de la llum.

Les voltes i els arcs s'haurien esquarterat per acomodar-se a la nova situació, però l'augment de la llum hauria deteriorat encara més la coberta que necessitaria una intervenció de reparació.

La intervenció segurament es dugué a terme, però l'alçada de la coberta (no la configuració) es va augmentar, ja sigui per comoditat dels obrers a l'hora de treballar-hi o per a augmentar-ne el pendent, etc. El fet és que l'augment de l'alçada produïa canvis en l'equilibri de la secció que lluny de corregir excentricitats les augmentava. Això hauria originat un augment de les esquerdes que posaria en alerta la propietat.

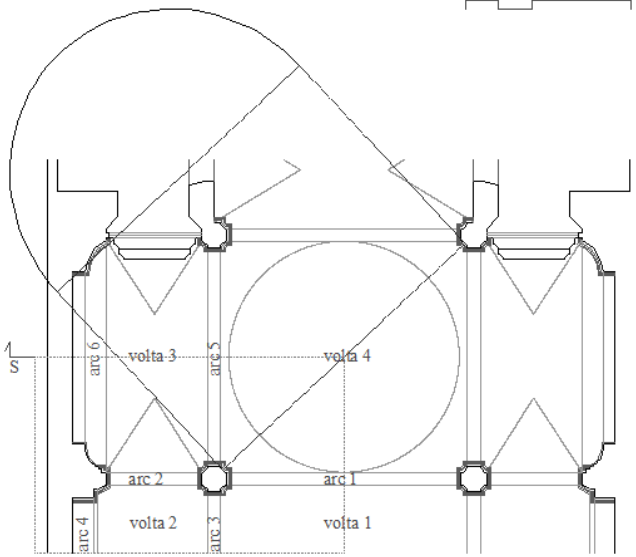
A partir d'aquí es realitza la intervenció de 2011, que si bé és possible que assoleixi una situació d'equilibri satisfactòria, caldria comprovar-ho mitjançant un aixecament topogràfic que proporcionés les deformacions i desploms actuals per a poder realitzar l'anàlisi d'equilibri de les seccions deformades reals amb la nova coberta i els tirants col·locats.

De l'estudi realitzat s'extreu que en cas d'haver realitzat un anàlisi límit de la situació de partida, amb la geometria deformada, potser s'hagués arribat a la conclusió que reequilibrant els pesos de coberta la intervenció era suficient. Sense la necessitat d'atirantar tota la nau en totes les direccions i en totes les seccions, sense discretitzar.



secció per la cúpula

0 1m 2m 5m



àmbit que s'analitza

## 4.6 Borges del Camp

L'Església de Nostra Senyora de l'Assumpta de Borges del Camp és una església de saló construïda entre el 1777 i el 1786. Les voltes són de canó amb llunetes i al centre hi ha un cimbori amb una cúpula de mig punt i que també té llunetes.

La visita realitzada va revelar la particular solució de coberta i la gran quantitat d'esquerdes de la nau, tant a les voltes i als arcs, com als murs.

La coberta està resolta amb envanets de sostre mort que sostenen el pes de la coberta, recolzats directament sobre els arcs i les voltes de rajola doblada. Aquesta solució de coberta no s'ha trobat en cap de les esglésies inspeccionades per la tesi.

La particularitat de la solució planteja diversos dubtes. El primer és si aquesta solució de coberta és vàlida per aquestes esglésies. Els arcs i les voltes de rajola doblada poden sostenir el pes de la coberta? El fet que l'església no hagi fallat fa suposar que si, però tal com s'ha esmentat, l'església presenta moltes esquerdes a l'interior de la nau. Aquestes esquerdes han estat causades per la solució aplicada a la coberta? El present apartat resoldrà aquestes qüestions i aprofundirà en el comportament estructural del temple mitjançant l'avaluació de la seva seguretat.

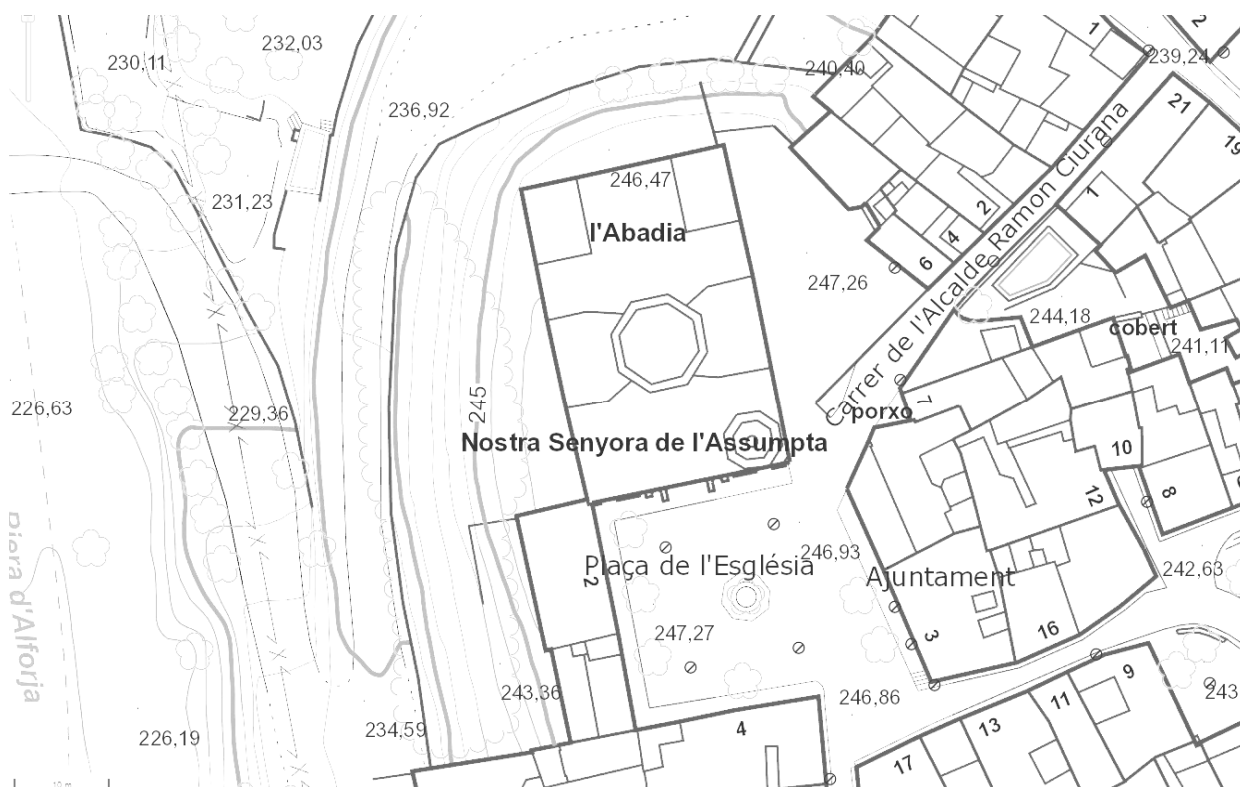


Fig.1 Topogràfic. Font: ICC.





#### 4.6.1 Recerca històrica d'actuacions

Per al desenvolupament del present anàlisi s'ha obtingut informació rellevant a l'Arxiu Històric Diocesà de Tarragona i a l'Arxiu Gavín.

El document més antic data de 1878 i es titula "*Proyecto de reparación de la iglesia parroquial de las Borjas del Campo*", de l'arquitecte diocesà Ramon Salas. El projecte contempla un seguit d'actuacions a dur a terme a l'església que es determinen en base a una inspecció prèvia que va realitzar el tècnic: "*A la inspección del edificio se observan varios sedimentos o grietas en las obras que en su mayoría son de bastante consideración*". Les esquerdes estaven localitzades als arcs torals paral·lels a la façana principal, i segons el tècnic "*dan señales de inminente ruina*". A causa de les esquerdes no es va finalitzar la cúpula sobre "*el ábside del cruzero conforme estaba proyectado*". El tècnic explica que anteriorment s'havia intentat finalitzar la cúpula "*pero han desistido por temor a una catastrofe, en vista del aumento que han experimentado los agrietamientos de toda la construcción*".

De les seves afirmacions es desprèn que va realitzar algun càlcul: "*El detenido examen de todas las circunstancias que integran en la obra y el analisis verificado en las direcciones y magnitudes de las diversas fuerzas que actuan en toda la construcción, nos han dado por resultado el descubrimiento de las varias causas que han motivado el estado actual del templo de las Borjas del Campo*".

Les causes que enumera són les següents:

- Poc gruix dels estreps A i A' (Figura 2). Explica que ho demostra el fet que no hi hagi esquerdes als arcs torals perpendiculars a la façana principal.
- "*La poca resistencia que pueden oponer los arcos laterales a la curva de presiones de los arcos torales*". Poc gruix en B-B' (Figura 2).
- La factura dels murs amb "*cantos rodados que motivan la poca adherencia en algunas paredes*".
- "*el sistema de sostenimiento de las cubiertas que consiste en una serie de tabiques perpendiculares a los ejes de las bóvedas, formando las cerchas que sostienen la cubierta cuyo peso va directamente a las bóvedas produciendo las disgregaciones que se observan*".

La proposta de reparació és enderrocar tota l'obra en mal estat (arcs torals paral·lels a la façana principal, tota la cúpula o part d'obra que descansa sobre aquests arcs. Reconstrucció dels dos arcs torals, acabar la cúpula, i reforç d'estreps per tal de suportar la nova cúpula. Tot es farà amb "*fàbrica de ladrillo*".

A més explica que a causa d'un llamp que va caure "*ha mucho tiempo, se halla bastante resentido uno de los arcos laterales proximos a la fachada principal*".

Al pressupost del projecte s'especifiquen les partides següents:

- Excavació als fonaments per als nous “*botareles*”,
- “*Cimientos de botareles*”, es refereix als fonaments dels estreps que adossava al mur (Figura 2),
- Reconstrucció de dos arcs torals, refer murs i cornises i refer petxines amb motlures,
- Replè amb maons dels arcs laterals i “*formación de botareles con el madirage*”,
- Voltes “*tabicadas*” de tres gruixos, “dos de ladrillo i uno de rasilla” per a petxines i volta de la cúpula.
- Nova coberta de teula
- “*Maderas para sosten de teja*”
- Reparar l'arc i la volta “*próximo a la fachada*”.

El 1882 s'inicien les obres de reparació, i el 1883 es realitza la primera liquidació de les obres. Es realitzen diverses modificacions respecte el projecte redactat. Aquestes modificacions estan indicades i supervisades pel mateix tècnic, i són les següents:

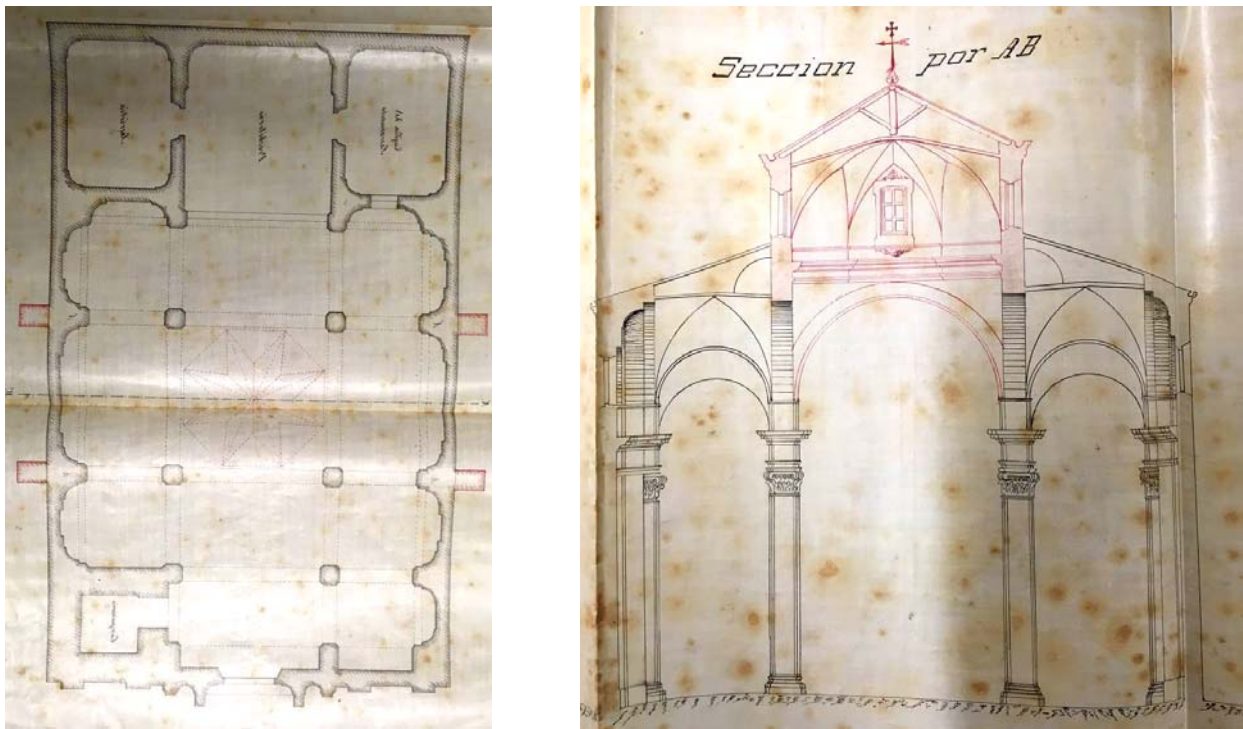
“Se ha suprimido las excavaciones de los cimientos de los botareles proyectados con motivo de haberse suprimido la construcción de los mismos por considerar innecesaria, sustituyendola por fuertes uniones de obra de ladrillo con mezcla de cemento y arena que han unido la parte disgregada, formando fuertes anillos que consolidan la obra de un modo excelente. Con el mismo motivo queda suprimida la mampostería de dichos cimientos.”

Es desmonta la part de cúpula construïda fins als arcs torals, construint-ne una de nova i més alta “*conforme el proyecto aprobado*”. “*Los arcos torales los hemos dejado prefiriendo la construcción de contraarcos torales que al propio tiempo que resisten toda la carga de la cúpula inutilizaran los antiguos, los cuales se han dejado por via de precaución*”.

“*La bóveda tabicada que entre el crucero ha aumentado de 84 metros que teníamos proyectada a 145,28 metros que ha resultado ejecutada. Este aumento resulta de la mayor altura que se ha creído conveniente dar a la cúpula a fin de disminuir los esfuerzos horizontales de la misma ganando al propio tiempo la visibilidad de la obra*”.

També parla d'un augment del “*maderamen*” de la coberta i de la fusta per a sostenir les teules, a causa de l'augment de la cúpula i dels forts vents de la zona.

La volta afectada pel llamp estava molt deteriorada i va caldre una intervenció més important en obra, consistent en refer totes les parts afectades.



**Fig.2** Planta i secció del projecte de Ramon Sals, 1878. En planta destaca en vermell els contraforts “botareles” que es projectava construir de nou i que finalment no es van executar. En secció es dibuixa en vermell la nova cúpula i cimbori projectats.

De la informació obtinguda s’extreu que el projecte redactat el 1878 per l’arquitecte Diocesà descriu que el temple pateix esquerdes i desploms considerables localitzades als arcs torals paral·lels a la façana principal. La cúpula no està finalitzada i sembla que va estar molts anys sense construir.

L’arquitecte atribueix com a motius de les esquerdes el poc gruix dels estreps , la manca de resistència dels arcs laterals, la mala factura dels murs, i el sistema de sustentació de les cobertes, que recolzen directament sobre les voltes de rajola doblada mitjançant envanets de sostremort.

Durant l’execució de les obres descrites al projecte es va decidir introduir alguns canvis, com suprimir la construcció dels “botareles” (contraforts adossats als murs laterals projectats en inici (Figura 2), per considerar-los innecessaris. En canvi si que es construeix la cúpula com en el projecte però per a sostenir el cimbori es construeixen uns “contraarcs” sobre els arcs torals existents, sense eliminar-los. També s’augmenta l’alçada de la volta que forma la cúpula, segons afirma el mateix constructor “*per a disminuir els esforços horitzontals*”.

Realment eren innecessaris els contraforts que inicialment l’arquitecte diocesà havia projectat en el seu projecte de reconstrucció de la cúpula? Les esquerdes als arcs torals són conseqüència de la manca de resistència dels arcs laterals? El sistema de sustentació de les cobertes va en detriment de l’estabilitat del temple? Les voltes de rajola doblada són estables malgrat rebre el pes de la coberta? La cúpula més

elevada resisteix millor les empentes? Els canvis introduïts en la secció respecte el projecte original són encertats? L'objectiu del present apartat és respondre aquestes qüestions.



**Fig.3** Façana principal, 1969. Arxiu Gavín.



**Fig.4** Façana principal, 1971. Arxiu Gavín.

A les façanes s'observen humitats i mal estat dels revestiments, però no s'aprecien esquerdes significatives que denotin que la nau s'estigui obrint.



**Fig.5** Fotografies de 1976. Arxiu Gavín.





**Fig.6** Fotografies de 1977. Arxiu Gavín



**Fig.7** Fotografies de 1977. Arxiu Gavín



**Fig.8** Fotografies de 1977. Arxiu Gavín



**Fig.9** Fotografies de 1977. Arxiu Gavín

A l'interior de la nau no s'observen esquerdes el 1977, però pot ser que es realitzessin les fotografies precisament perquè s'acabava de pintar l'església de nou.



#### 4.6.2 Geometria del temple i lesions

El present apartat descriu la geometria de l'església i les lesions principals.

No es disposa d'un aixecament topogràfic ni tampoc de cap tipus d'informació precisa sobre les dimensions del temple. El punt de partida és l'aixecament realitzat amb les dades preses in-situ i altres deduïdes dels plànols del projecte de 1878. L'aixecament es vol acostar a l'estat ideal del temple sense deformar.



**Fig.10** Fotografia actual. Esquerdes de Sabouret (e.1), esquerdes del mur (e.2) i esquerdes a la clau (e.3). La resta d'esquerdes no responen a un patró establert, són anàrquiques i exteses a tota la nau, tant als murs com a les voltes i arcs, no tant als pilars.

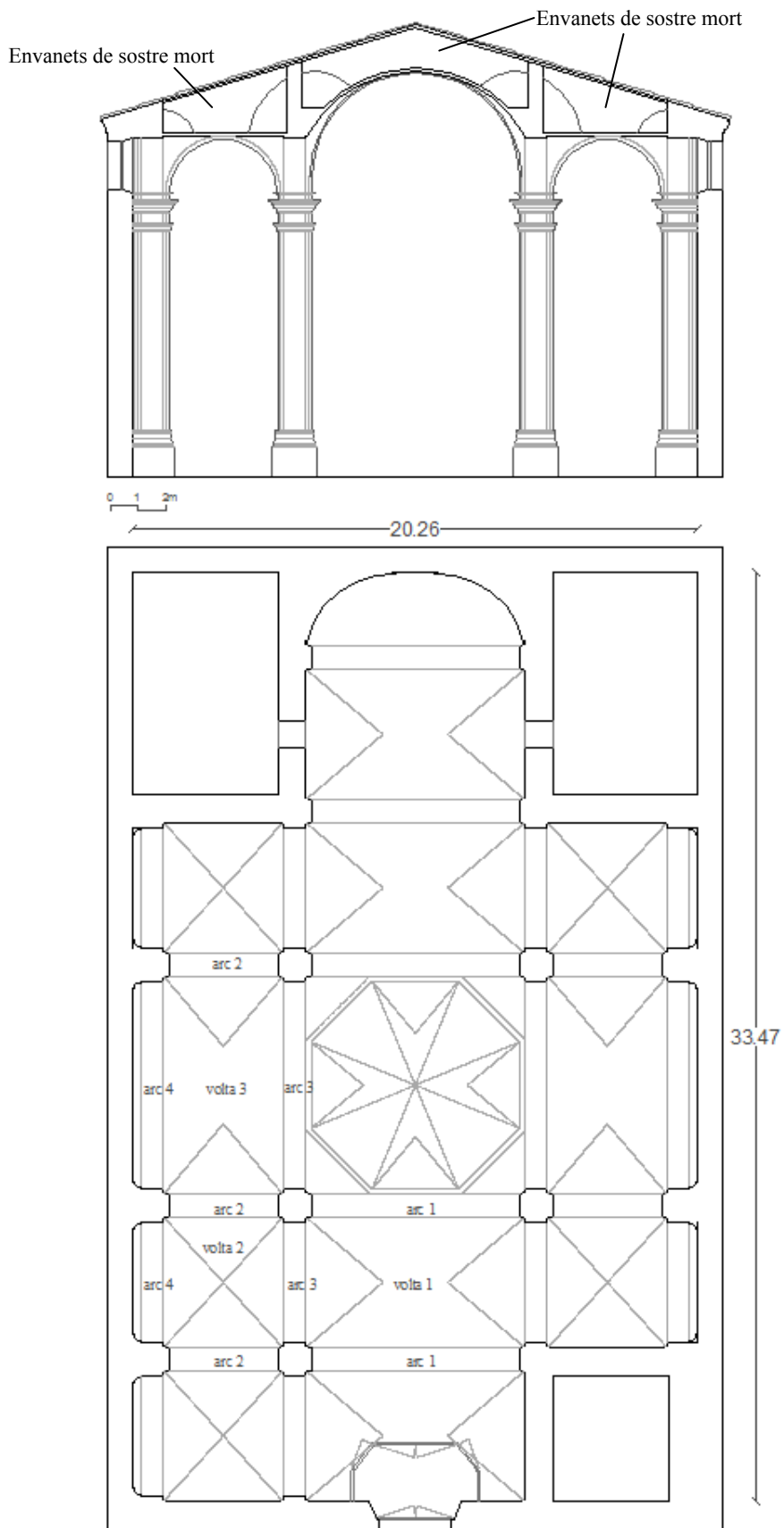
L'església té moltes esquerdes a l'interior, a més de les esquerdes de Sabouret, les del mur, i les de la clau dels arcs i voltes ( Figura 10), són evidents diverses esquerdes en direccions inversemblants, sobretot als murs, a les voltes i als arcs.

Algunes esquerdes a 45° (Figura 11) podrien indicar assentaments diferencials. Les esquerdes, però, són molt generalitzades i amb una direcció poc clara, amb direccions anàrquiques. Tot i així podria existir també un problema d'assentament en algun punt.

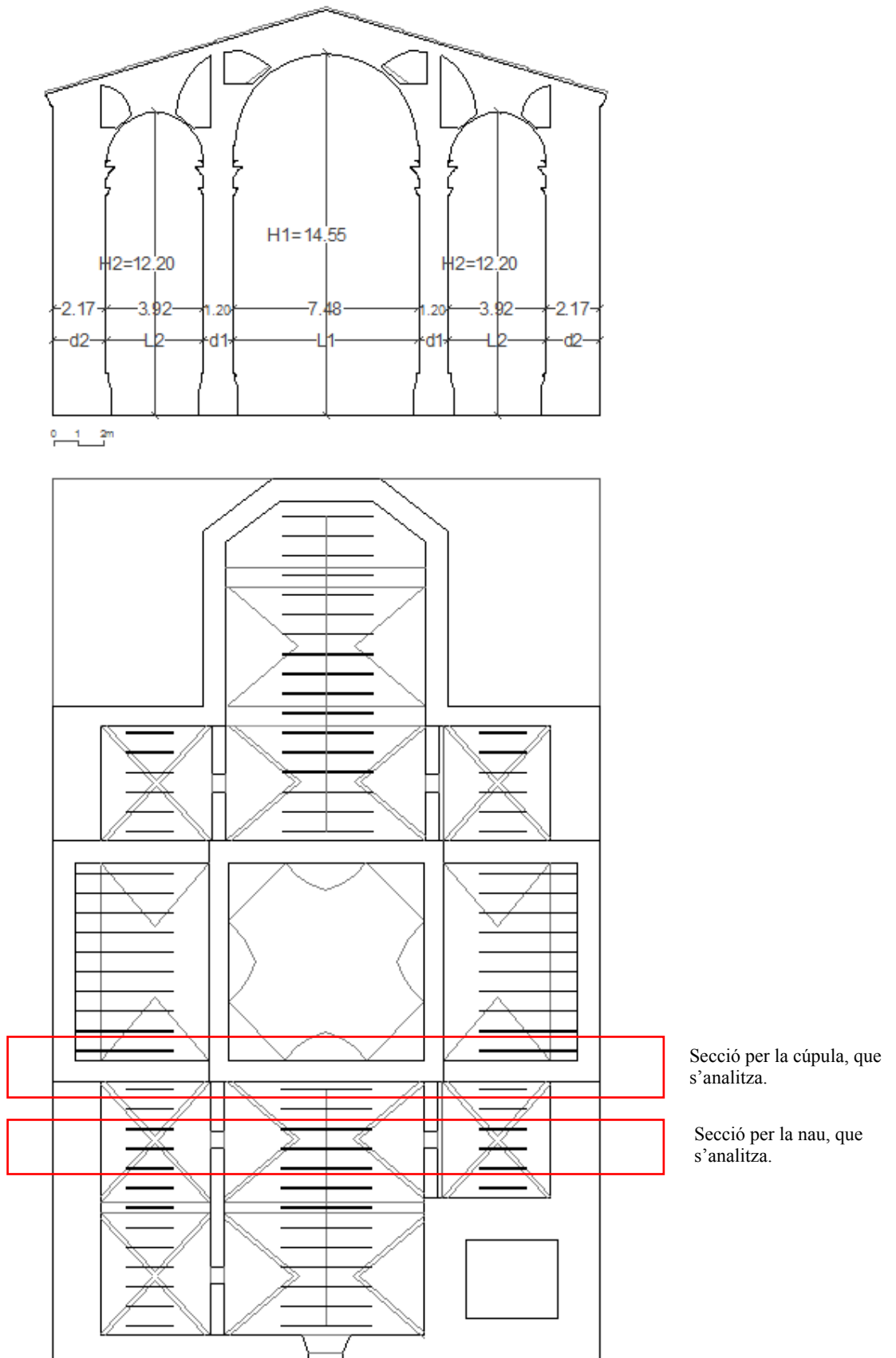


**Fig.11** Fotografia actual. Esquerdas de la nau.

A la Figura 14 s'observen els envanets de sostre mort recolzant sobre els arcs i les voltes i recollint el pes de la coberta. També s'observa l'arc toral construït per Ramon Salas sobre l'arc toral original, construït el 1882 per a sostenir el nou cimbori i la cúpula.



**Fig.12** Planta i secció tipus de la nau. Geometria ideal sense deformar. A l'extradós de les voltes es dibuixa la projecció dels envanets de sostre mort que sostenen la coberta i recolzen sobre arcs i voltes.



**Fig.13** Planta extradós de les voltes i secció tipus de la nau. Geometria ideal sense deformar. A l'extradós de les voltes, en planta i secció, es dibuixen els envanets de sostre mort.





Els arcs són de volta de rajola.



La coberta de taulers de fusta i teula sobre envanets



lluneta



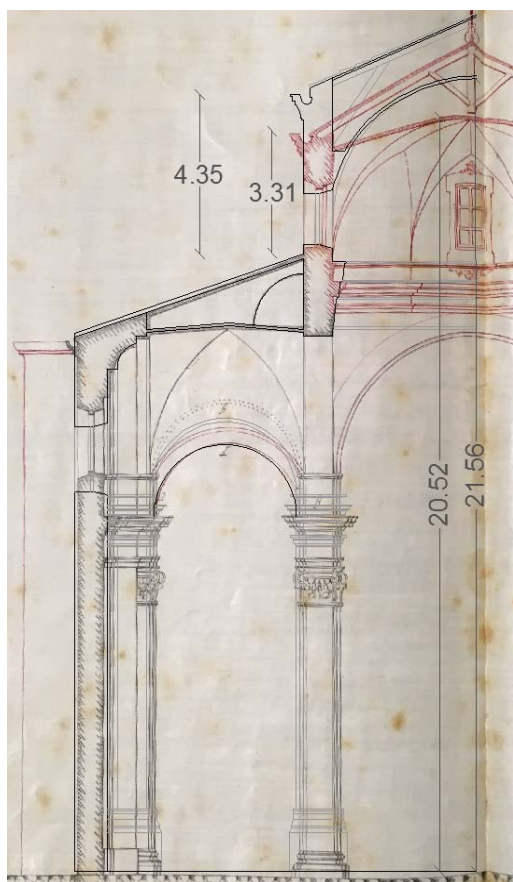
Aquí es veu el contraarc

lluneta



**Fig.14** Elements que configuren l'extradós de les voltes.

#### 4.6.3 Avaluació de la seguretat de l'església



**Fig.15** Es sobreposa un croquis de les mesures preses al temple sobre el projecte de Ramon Salas (1878). S'observa que es va construir un mur més alt sobre les naus laterals, i que es va augmentar l'alçada del cimbori respecte el projectat. També es va disminuir l'alçada dels arcs de la nau lateral.

En projecte es contemplava una alçada de la cúpula d'uns 20,50 m, en realitat l'alçada de la cúpula és d'uns 21,56 m. Es suposa que aquest diferencial esdevé al voltant d'un metre al cimbori.

Per a analitzar l'equilibri de la secció pels arcs torals es procedeix a analitzar la seguretat de la cúpula. La possible col·locació d'un congreny d'acer a la base de la cúpula per a resistir l'empenta no sembla que es dugués a terme, ja que no s'esmenta en cap document del projecte de 1878 ni en el pressupost de les obres.

En canvi, sí que l'arquitecte fa referència a l'augment de l'alçada de la cúpula i al seu bombament per a resistir millor l'empenta.

Per a analitzar la cúpula s'utilitza el mètode de Wolfe que fonamentalment és simular l'anàlisi de la membrana, ja que conté els esforços meridians dins de la capa de la superfície mitjana del gruix de la cúpula (Lau 2006, 26). El gruix estimat és 10cm, corresponents a tres gruixos de rajola del projecte.

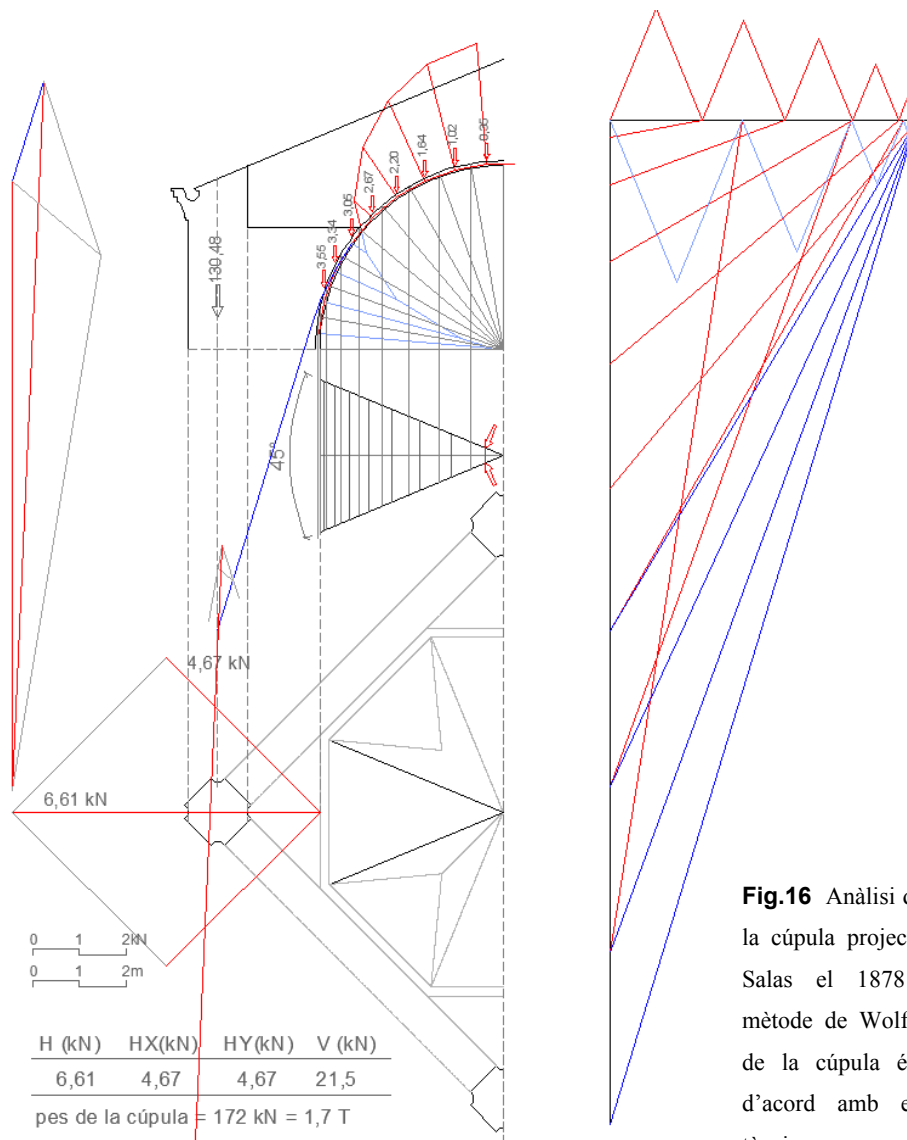


En suposar que no existeix un congreu d'acer, la cúpula de l'església de Les Borges del Camp no té resistència a tracció, i per això s'aplica el mètode de Wolfe per a cúpules sense resistència a tracció (Wolfe 1921, 250-53).

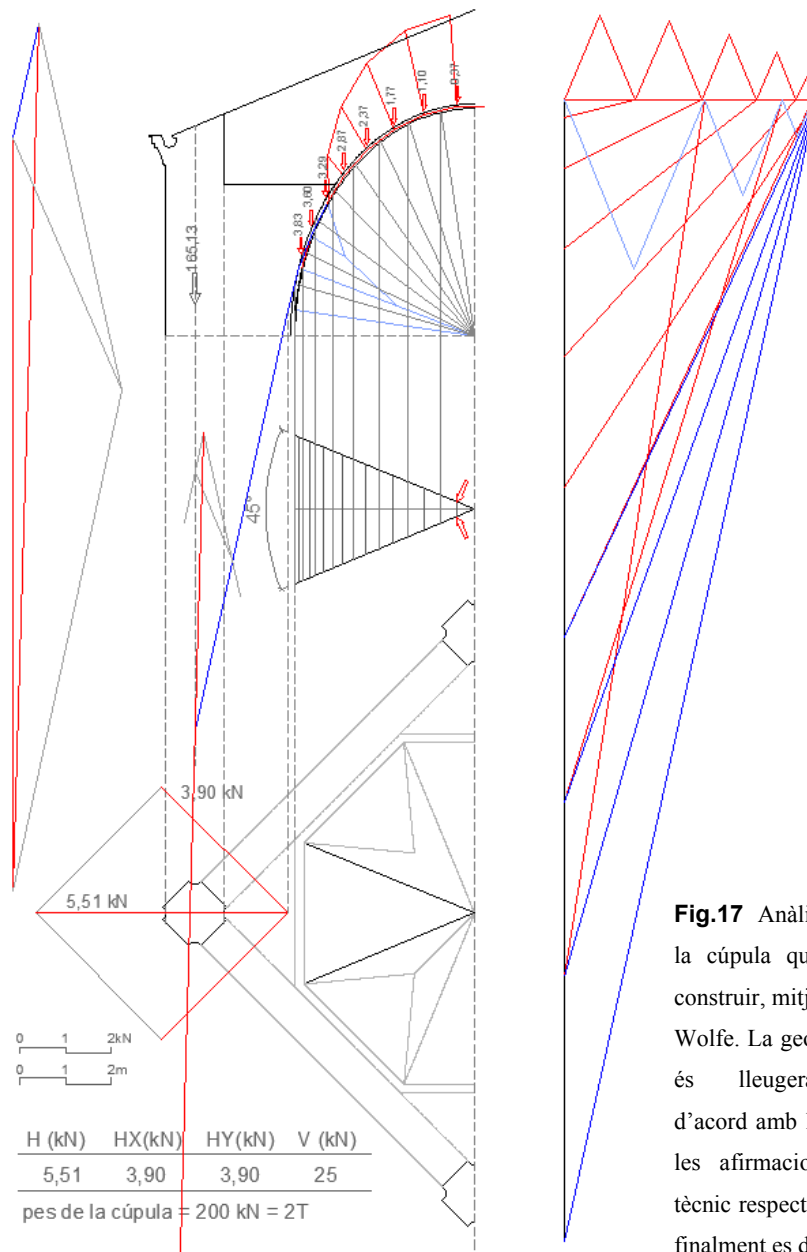
S'analitza un grill de l'amplada corresponent a la porció de cúpula que recau sobre la vertical dels pilars. A més, aquesta porció es correspon amb la zona on la cúpula no té llunetes, i per tant, funciona amb l'empenta més desfavorable.

En primer lloc s'analitza la cúpula dibuixada al projecte de l'arquitecte diocesà de 1878. És una cúpula semiesfèrica amb llunetes.

Després s'analitza la cúpula que teòricament es va construir. Com que no es disposa d'un aixecament precís de la geometria es realitza una aproximació basada en les mesures preses i en les descripcions del projecte de 1878. Per això es dibuixa en aquest cas una cúpula amb l'alçada que es va mesurar "in-situ" i amb un hipotètic bombament, d'acord amb les afirmacions de Ramon Salas.



**Fig.16** Anàlisi de l'estabilitat de la cúpula projectada per Ramon Salas el 1878 mitjançant el mètode de Wolfe. La geometria de la cúpula és de mig punt d'acord amb els plànols del tècnic.



**Fig.17** Anàlisi de l'estabilitat de la cúpula que finalment es va construir, mitjançant el mètode de Wolfe. La geometria de la cúpula és lleugerament bombada, d'acord amb les mesures preses i les afirmacions realitzades pel tècnic respecte la construcció que finalment es dugué a terme.

A les Figures 16 i 17 es grafia en blau clar els esforços de tracció que serien absorbits per un cercle metàl·lic en cas d'existir. Com que aquest cercle no sembla haver-se construït, s'aplica el mètode de Wolfe per a la cúpula sense resistència a tracció. En blau fosc es mostra la línia d'empentes de la cúpula sense resistir traccions. En els dos casos l'empenta de la cúpula augmenta considerablement, gairebé el doble en el cas de la Figura 17 i més del doble a la Figura 16.

L'empenta és absorbida pel replè dels ronyons i després compensada pels murs sobre els arcs totals i els pilars.

L'arquitecte diocesà tenia raó quan afirmava que construir la cúpula més alta reduïa la seva empenta, sobretot si es construïa més bombada. La cúpula de la Figura 16 exerceix una empenta en la direcció de la

secció que s'analitza de 4,67 kN, un 20% més d'empenta que la cúpula de la Figura 17, més bombada, i que respon a les mesures preses i a la hipòtesi geomètrica realitzada.

La disminució de l'empenta que transmet la cúpula no es deu tant a l'alçada del cimbori sinó a la geometria bombada, que verticalitza els esforços. La cúpula de la Figura 17 és lleugerament més pesant.

S'observa com en tots dos casos la cúpula és massa prima per a suportar el pes propi, de tal manera que la línia d'empentes surt de la secció. El replè dels ronyons proporciona una sortida a les empentes que s'escapen del gruix de la cúpula.

S'analitza l'equilibri de tota la secció de l'església per la zona dels arcs torals en el cas de la cúpula plantejada inicialment en projecte (mig punt amb llunetes), i en el cas de la cúpula que es va construir (lleugerament bombada).

Per a afinar l'anàlisi seria convenient un aixecament fidel de la geometria i el coneixement dels gruixos dels murs. Com que no es disposa d'aquesta informació, l'anàlisi es basa en les mesures preses i en hipòtesis geomètriques i constructives basades en dades extretes dels textos històrics analitzats.

Canvis en els plantejaments inicials geomètrics i constructius podrien fer variar lleugerament els resultats obtinguts, tot i així, l'anàlisi plantejat formula una idea vàlida del comportament estructural del temple i aporta informació sobre les possibles deficiències en l'equilibri de la secció que podrien comprometre la seguretat.

Per a obtenir conclusions més precises sobre el comportament estructural caldria disposar de la informació esmentada, és a dir, dades geomètriques precises i gruixos dels murs i materials.

De totes maneres, mai no es trobaria la solució "real", sinó sempre una aproximació que ofereix una lectura vàlida sobre l'estat d'equilibri. Per això, l'anàlisi realitzat és vàlid i serveix com a punt de partida per al coneixement de l'estabilitat de l'església.

Les Figures 18 i 19 mostren com la línia d'esforços surt del terç central en les dues hipòtesis plantejades. Això no passa per l'empenta que la cúpula exerceix sobre els arcs torals i els murs i pilars. Aquesta empenta és prou petita com per ser còmodament absorbida per aquests elements. El problema és que l'empenta dels arcs torals no es troba suficientment compensada per la nau lateral del creuer. I malgrat es bombi la geometria de la cúpula, el fet d'augmentar l'alçada del cimbori augmenta el pes dels murs que recolzen sobre els arcs torals augmentant l'empenta que aquests exerceixen. Per això, l'augment de l'alçada del cimbori no significa una millora en l'equilibri de la secció.

Per a l'anàlisi de l'equilibri de les seccions de les Figures 18 i 19 s'han contemplat les empentes de les voltes amb la càrrega de la coberta i dels envanets de sostre mort (Figures 27 a 32) en la direcció de la seva component x, que es correspon amb la direcció de la secció analitzada. L'empenta en la direcció longitudinal de la nau, y, es considera compensada per les crugies contigües de la nau.

PILAR	Coberta	Pes mur 1	Pes mur 2	Pes arcs 3	Pes pilar
	4,31 kN	50 kN	132 kN	600 kN	250 kN
Empenta arc1 i arc 1.1	Empenta arc2	Empenta volta 1(x)	Empenta volta 2 (x)	Empenta volta 3 (x)	Empenta cúpula (x)
94,4 kN i 10 kN	60,7 kN	21,21 kN	17,65 kN	21,21 kN	4,67 kN
Pes arc1 i arc 1.1	Pes arc2	Pes volta 1	Pes volta 2	Pes volta 3	Pes cúpula
144,7 kN i 19 kN	109 kN	30,59 kN	17,48 kN	30,59 kN	21,5 kN

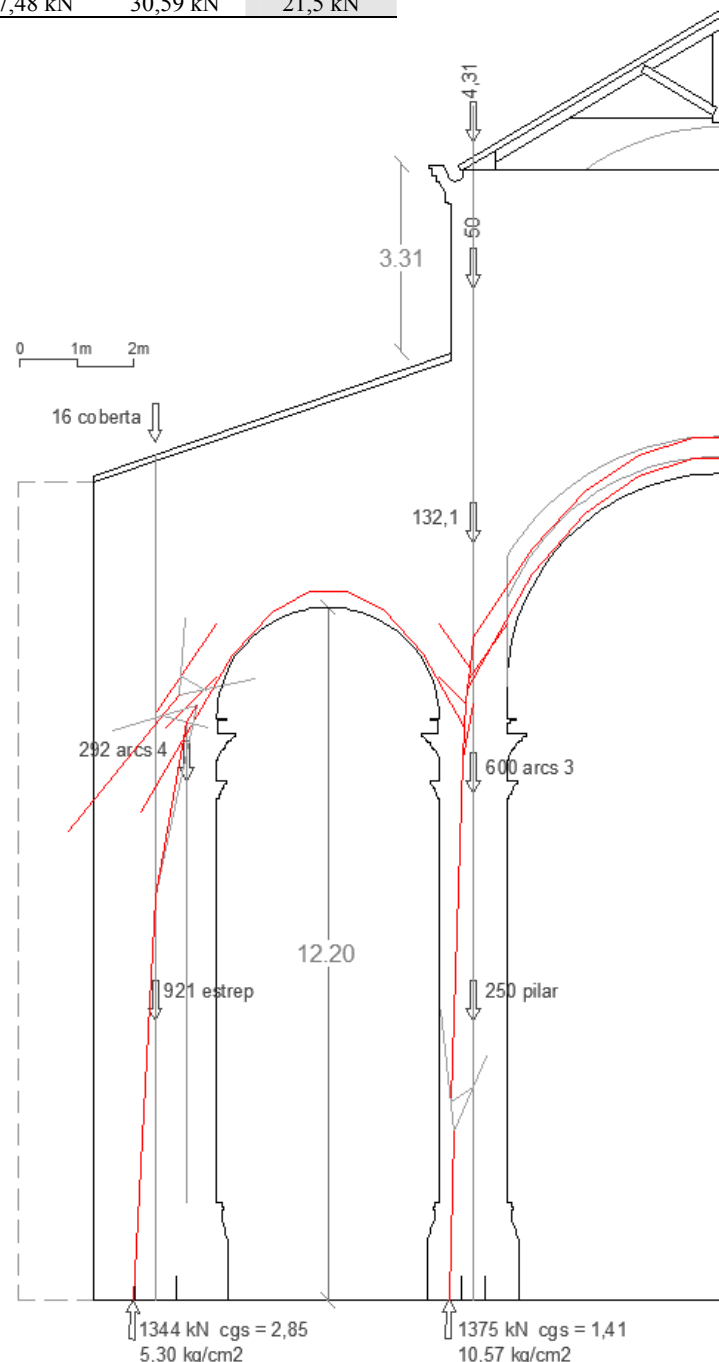
ESTREP	Coberta	Pes arcs 4	Pes estrep
	16 kN	292 kN	921 kN
Empenta arc 2	Empenta volta 2 (x)	Empenta volta 3(x)	
53,7 kN	17,65 kN	21,21 kN	
Pes arc2	Pes volta 2	Pes volta 3	
92,3 kN	17,48 kN	30,59 kN	

**Taula.1** Magnitud de pesos i empentes aplicats a l'anàlisi de la Figura 18, a la secció del projecte de 1878.

Les empentes de les voltes responen als valors per a les voltes carregades amb el pes de la coberta obtinguts a l'anàlisi de les Figures 27 a 32.

Es ressalta en gris els valors que canvien entre les dues anàlisis.

**Fig.18** Anàlisi de la secció de la nau pels arcs torals. La geometria correspon a la dibuixada per Ramon Salas al projecte realitzat el 1878 per a la construcció de la cúpula de l'església.



PILAR	Coberta	Pes mur 1	Pes mur 2	Pes arcs 3	Pes pilar
	4,31 kN	75,8 kN	132 kN	600 kN	250 kN
Empenta arc1 i arc 1.1	Empenta arc2	Empenta volta 1(x)	Empenta volta 2 (x)	Empenta volta 3 (x)	Empenta cúpula (x)
113 kN i 10 kN	85,4 kN	21,21 kN	17,65 kN	21,21 kN	3,90 kN
Pes arc1 i arc 1.1	Pes arc2	Pes volta 1	Pes volta 2	Pes volta 3	Pes cúpula
169 kN i 19 kN	134 kN	30,59 kN	17,48 kN	30,59 kN	25 kN

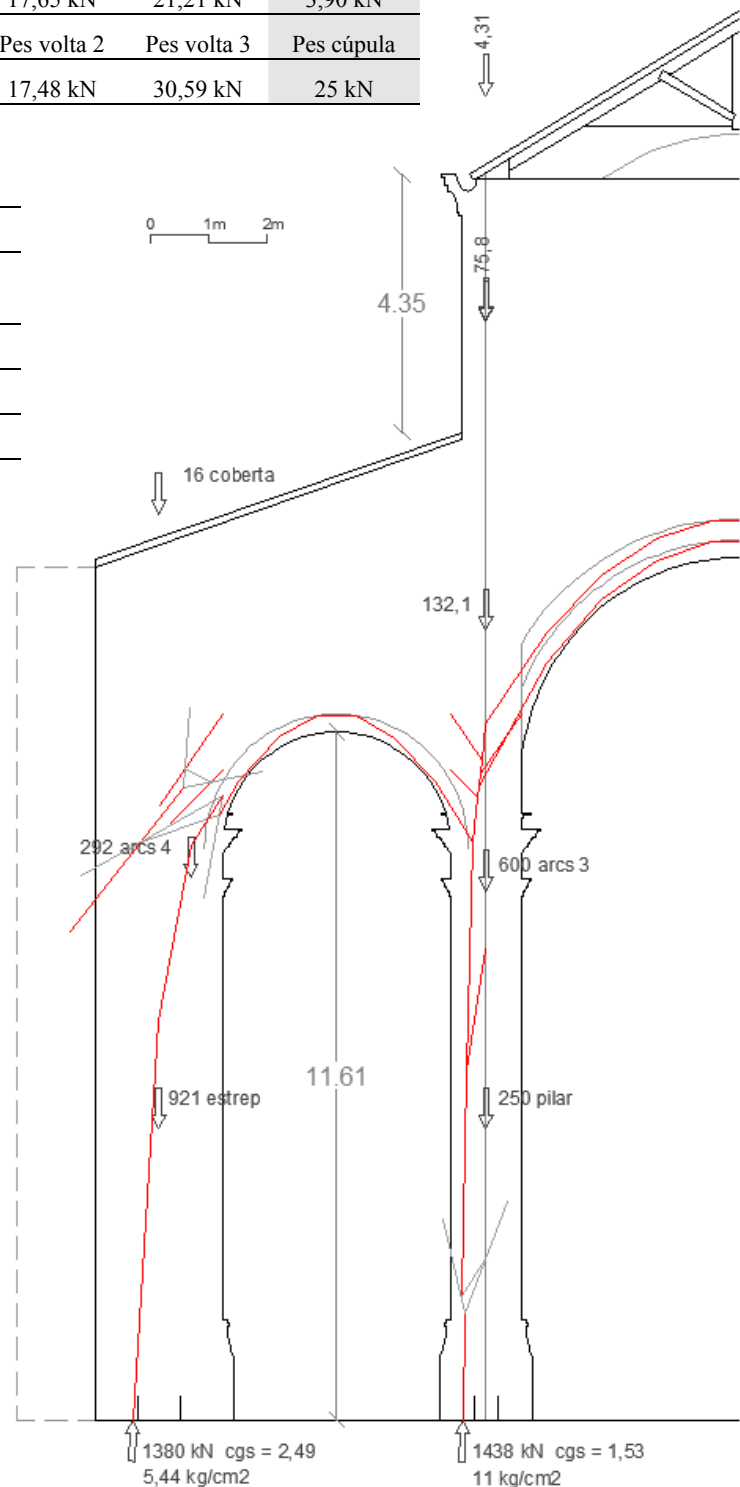
ESTREP	Coberta	Pes arcs 4	Pes estrep
	16 kN	292 kN	921 kN
Empenta arc 2	Empenta volta 2 (x)	Empenta volta 3(x)	
57 kN	17,65 kN	21,21 kN	
Pes arc2	Pes volta 2	Pes volta 3	
97 kN	17,48 kN	30,59 kN	

**Taula.2** Magnitud de pesos i empentes aplicats a l'anàlisi de la Figura 18, a les mesures preses i informació de l'obra executada.

Les empentes de les voltes responen als valors per a les voltes carregades amb el pes de la coberta obtinguts a l'anàlisi de les Figures 27 a 32.

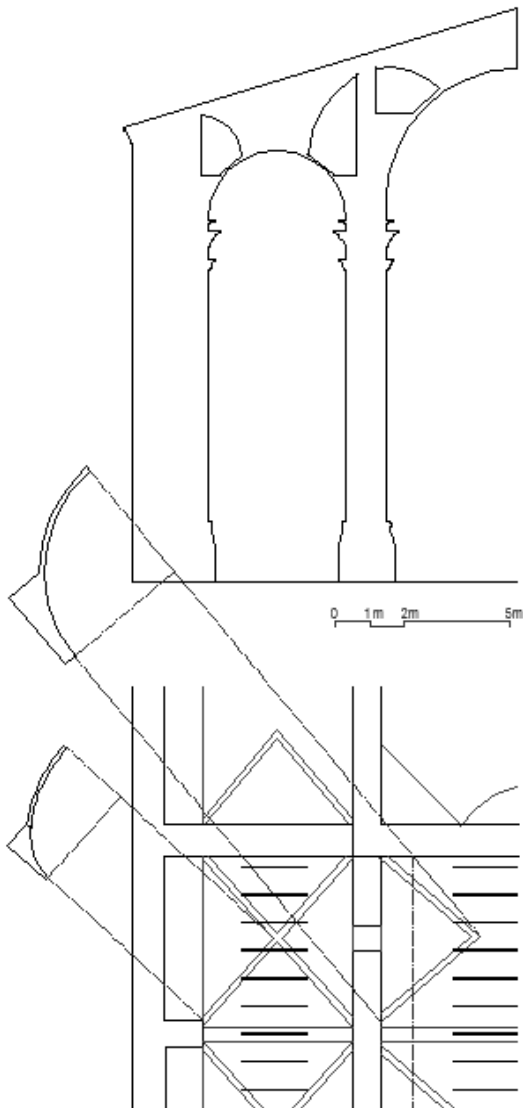
Es ressalta en gris els valors que canvien entre les dues anàlisis.

**Fig.19** Anàlisi de la secció de la nau pels arcs torals. La geometria correspon a la finalment construïda, d'acord amb les mesures preses i les dades que Ramon Salas facilita en els textos referits a l'obra executada.



En cap dels dos casos plantejats a les Figures 18 i 19 s'obté una solució d'equilibri satisfactòria, i s'observa com el coeficient geomètric de seguretat no es troba dins els paràmetres establerts per a aquests temples (superior a 3). En tot cas la línia d'empentes surt del terç central. A la zona dels estreps la construcció dels contraforts o "botareles" hagués impedit que la línia de tensions sortís del terç central.

Per a calcular l'estabilitat de la nau tipus s'aplica l'anàlisi gràfica.

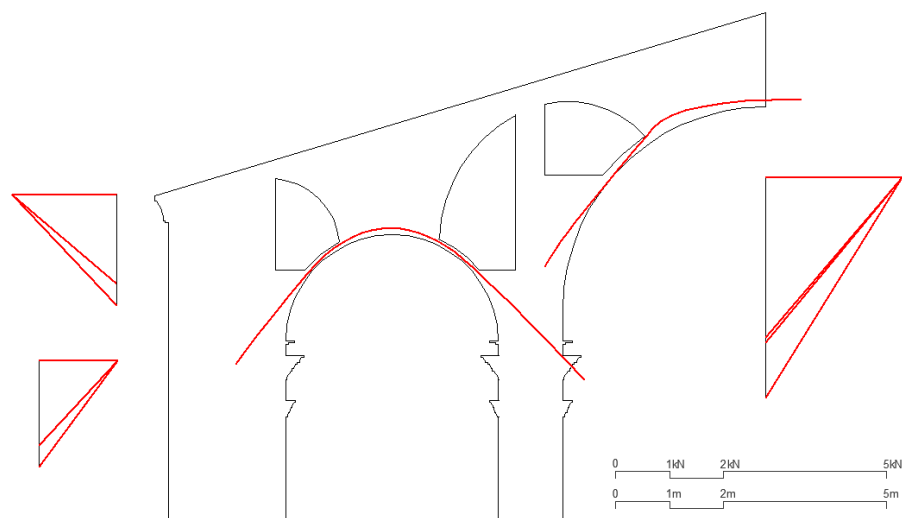


S'observa com es forma una retícula amb els envanets, es pot veure el mur perpendicular del fons. Els envanets han impedit accedir a l'extradós, ja que no és possible passar.



S'ha realitzat una rehabilitació que conserva la retícula d'envanets.

**Fig.20** Geometria de la nau tipus. Secció pels arcs i planta sota-coberta (extradós de la voltes amb la disposició dels envanets)



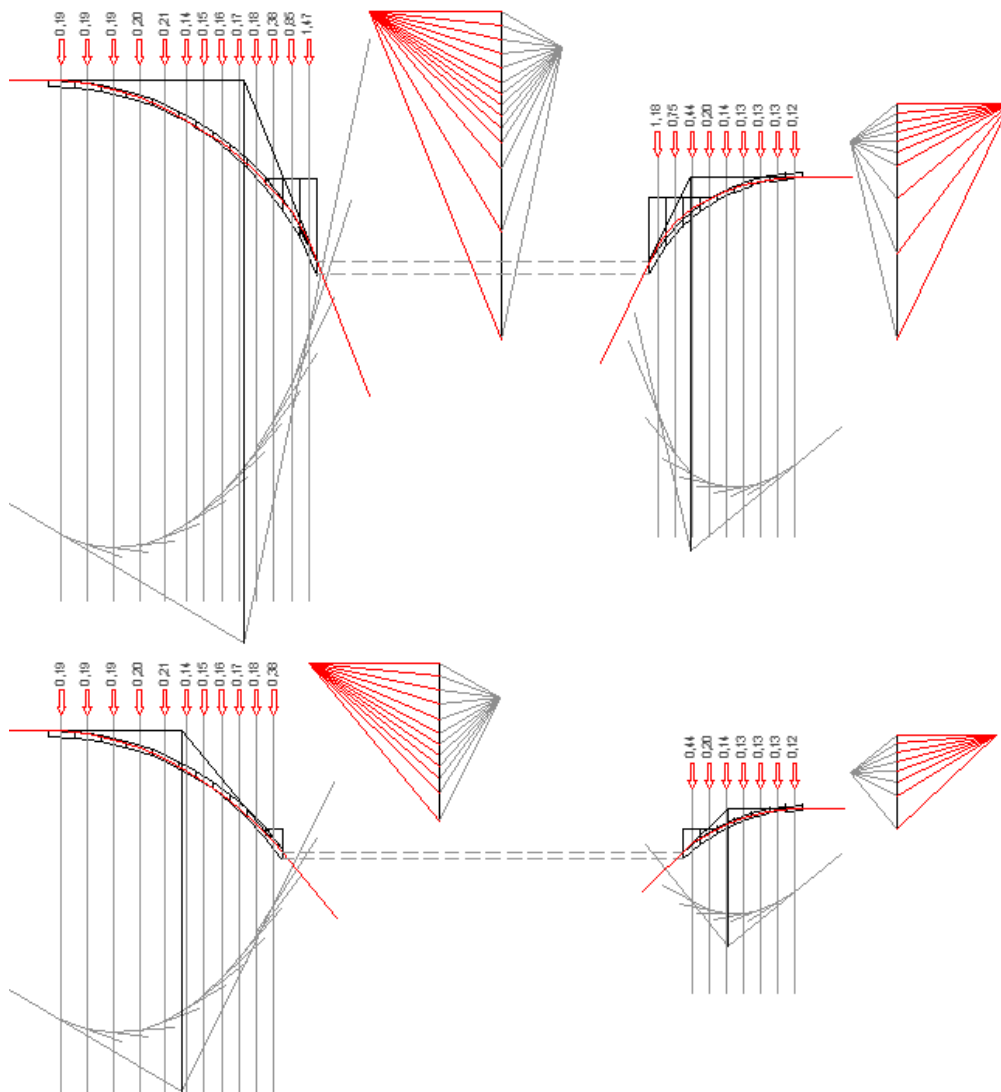
**Fig.21** Es comproba l'estabilitat dels arcs faixons de les naus laterals i central amb els envanets de sostremort al damunt.



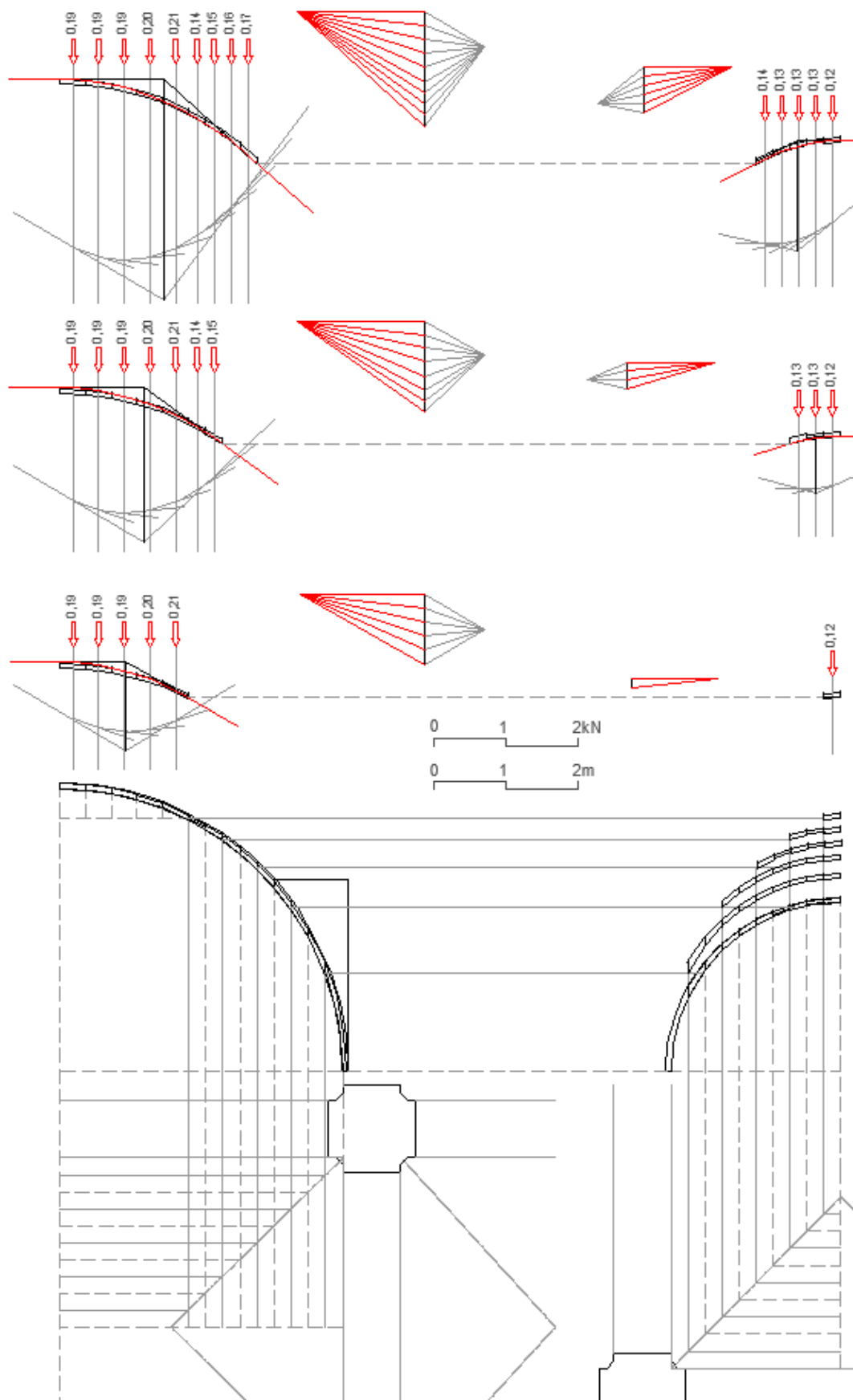
En primer lloc es determina la seguretat dels arcs de la nau (Figura 21). Els arcs són de volta de rajola, en aquest cas de 3 gruixos (uns 10cm). Les voltes de la nau són de rajola doblada (6-7 cm).

En el cas dels arcs cal considerar que els envanets s'enduen part de l'empenta, ja que amb la càrrega que sostenen els arcs, la línia d'empentes analitzant els arcs bidimensionals sense tenir en compte l'acció de membrana de l'arc com a estructura espacial tridimensional, surt de la secció.

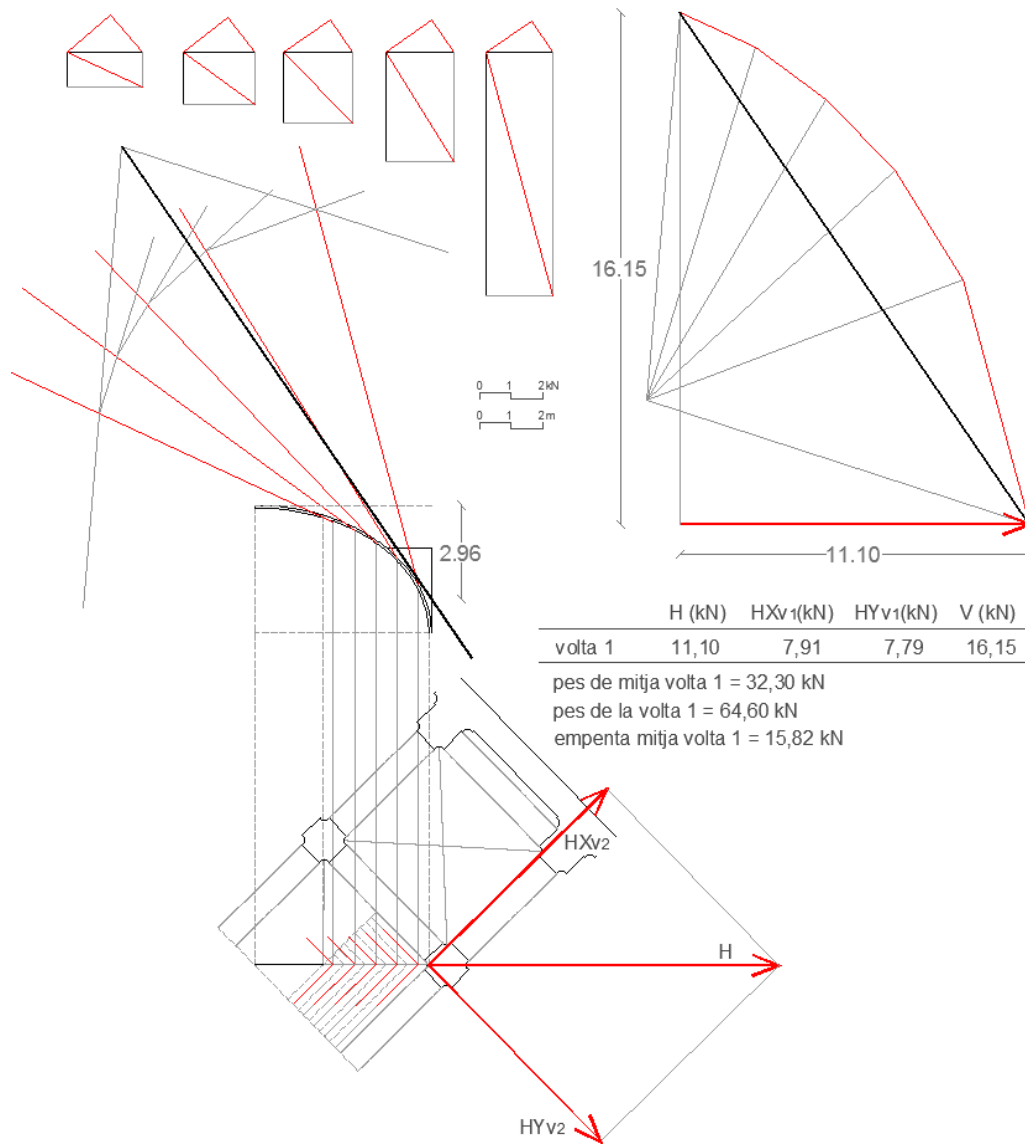
Per a l'anàlisi de les voltes s'aplica el mètode dels talls de l'anàlisi gràfica. Es realitza primer un anàlisi de l'estabilitat de les voltes sense la càrrega de la coberta transmesa a través dels envanets de sostre mort, actuant com si aquests no existissin. Després es realitzarà l'anàlisi amb les voltes carregades amb els envanets. Aquests anàlisis serviran per a avaluar l'equilibri de l'església com si respongués als tipus de coberta usuals en aquests temples, on les voltes no carreguen, i comparar aquest estat d'equilibri amb la solució existent de les voltes carregades. També per saber si les voltes són segures en els dos casos.



**Fig.22** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera tant sols el pes propi de la volta.



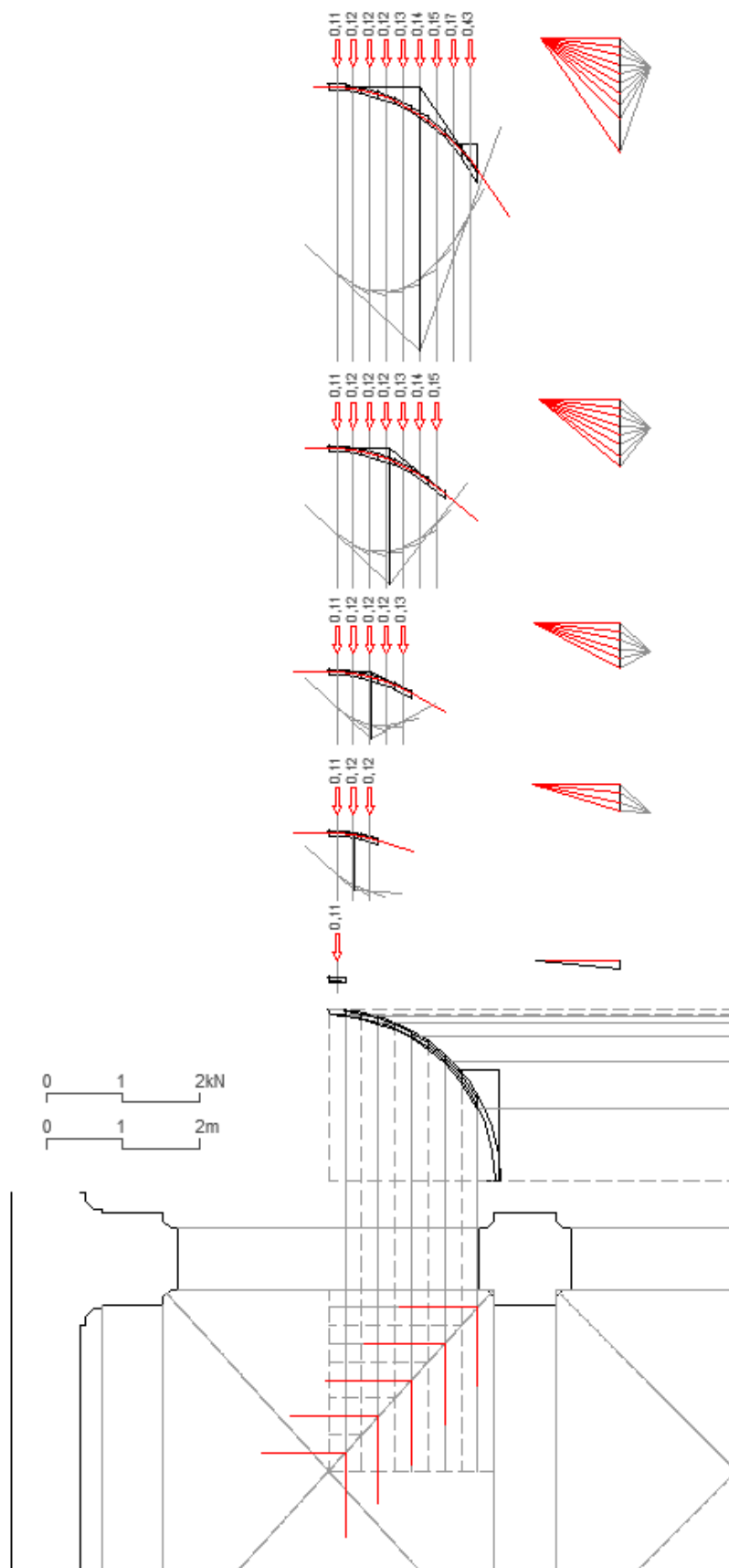
**Fig.23** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera tant sols el pes propi de la volta.



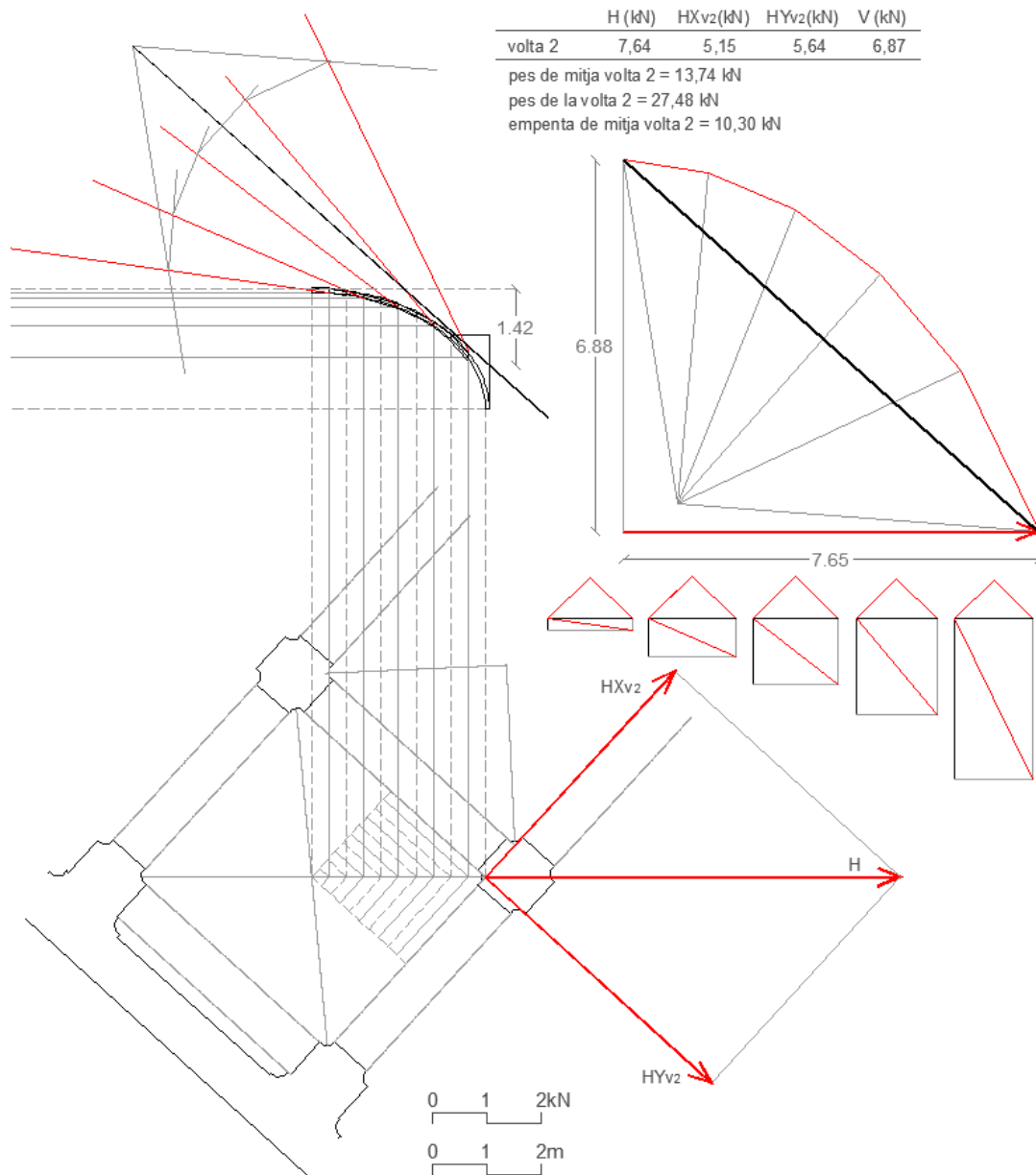
**Fig.24** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera tant sols el pes propi de la volta.

Les Figures 22, 23 i 24 mostren l'anàlisi dels talls aplicat a la volta de canó amb llunetes de la nau central sense considerar els envanets de sostre mort i per tant, la càrrega de la coberta. A les Figures 22 i 23 la línia de pressions està continguda dins el gruix de la volta en tots els "talls" analitzats. A la Figura 24 la resultant es situa a 2,96 m per sota de la clau de la volta, i es divideix en les dues direccions de la nau. D'aquesta manera, per a l'avaluació de l'equilibri de la secció de la nau que s'efectuarà més endavant, es prendran les components de l'eix x de l'empenta i els pes V.

Les Figures 25 i 26 mostren l'anàlisi dels talls aplicat a les voltes d'aresta de les naus laterals sense considerar el pes de la coberta i els envanets de sostre mort. A la Figura 26 la resultant de l'empenta es situa a 1,42 m per sota de la clau de la volta.



**Fig.25** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta d'aresta de la nau lateral de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera tant sols el pes propi de la volta.

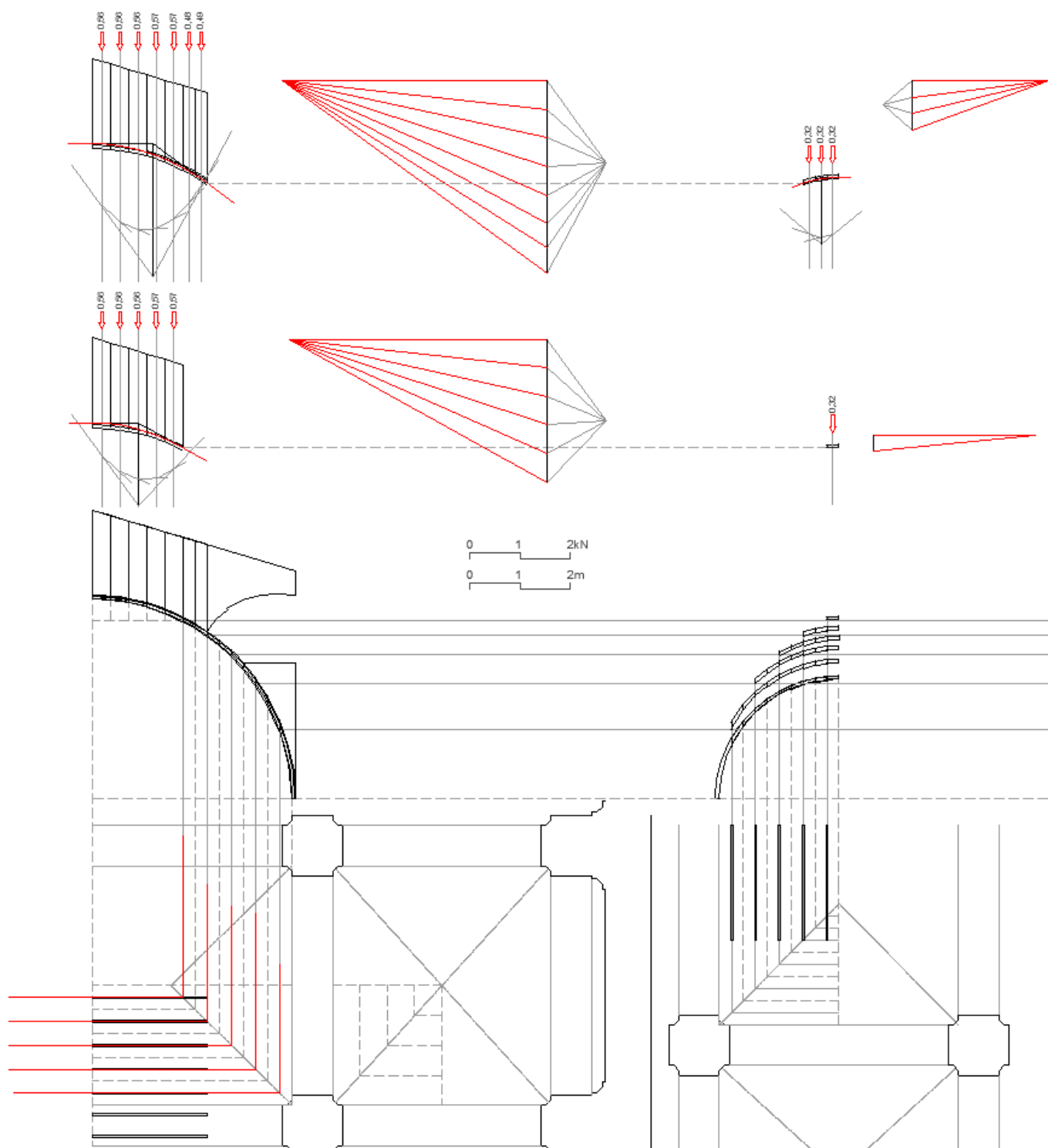


**Fig.26** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta d'aresta de la nau lateral de l'església. Geometria ideal sense deformat. Es considera tant sols el pes propi de la volta.

Els resultats obtinguts per a la volta de canó amb llunetes (volta 1) i la volta d'aresta (volta 2) snese envanets de sostremort són els següents:

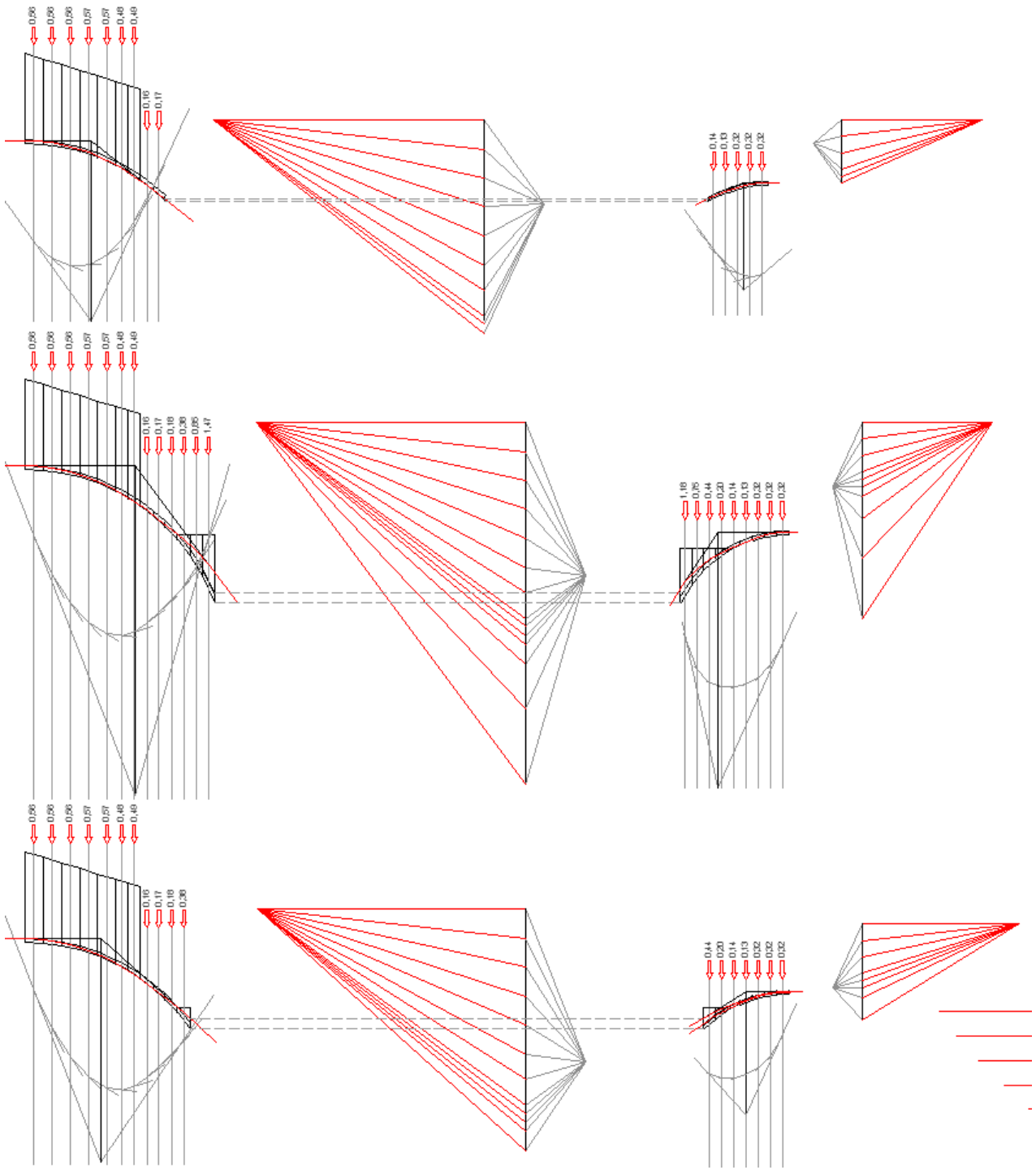
Sense envanets	Empenta de mitja volta	Pes de la volta sencera
Volta 1	15,82 kN	64,60 kN
Volta 2	10,30 kN	27,48 kN

**Taula.3** Resultats de l'Anàlisi gràfica de les voltes sense considerar els envanets de sostremort.

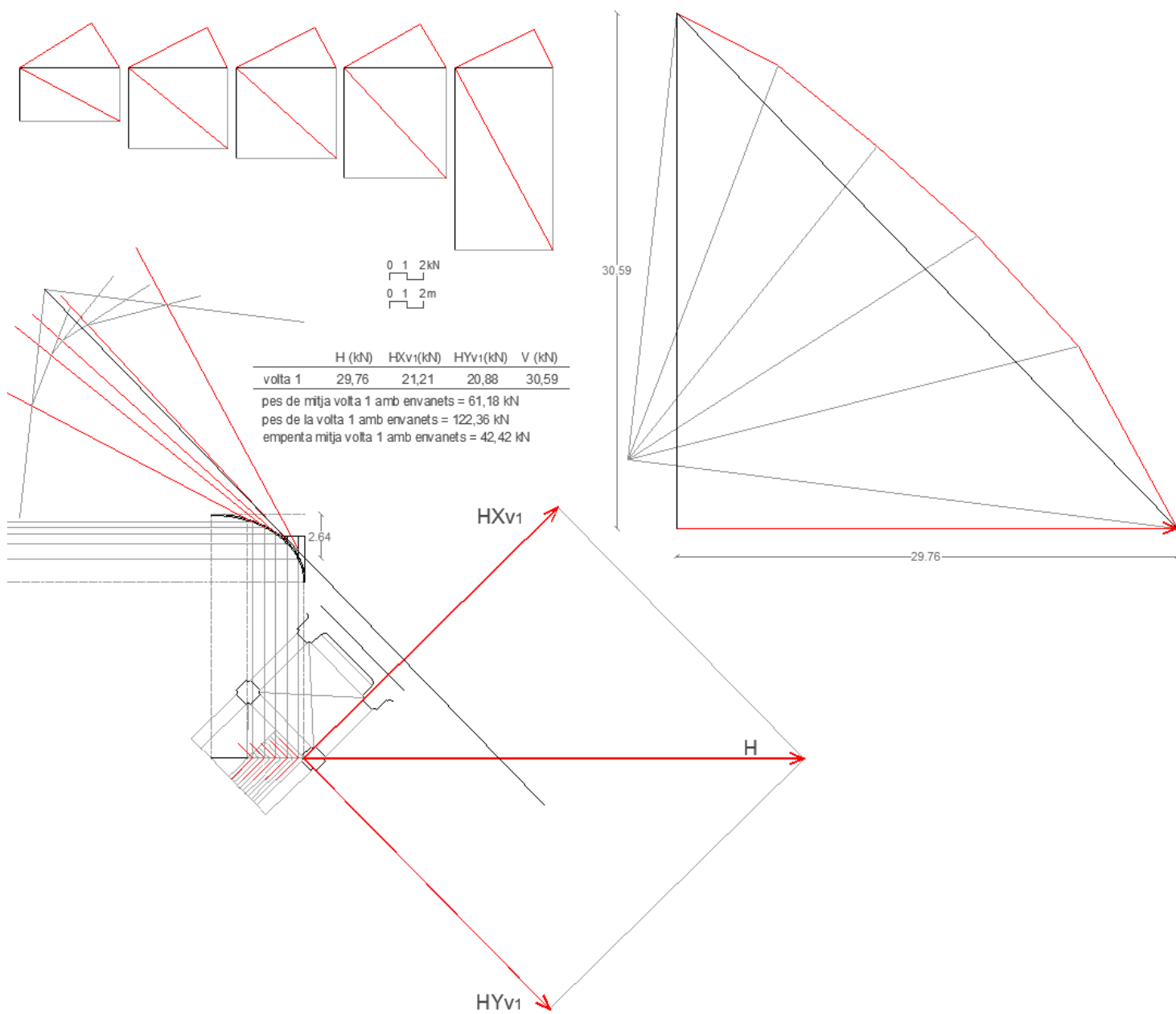


**Fig.27** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.

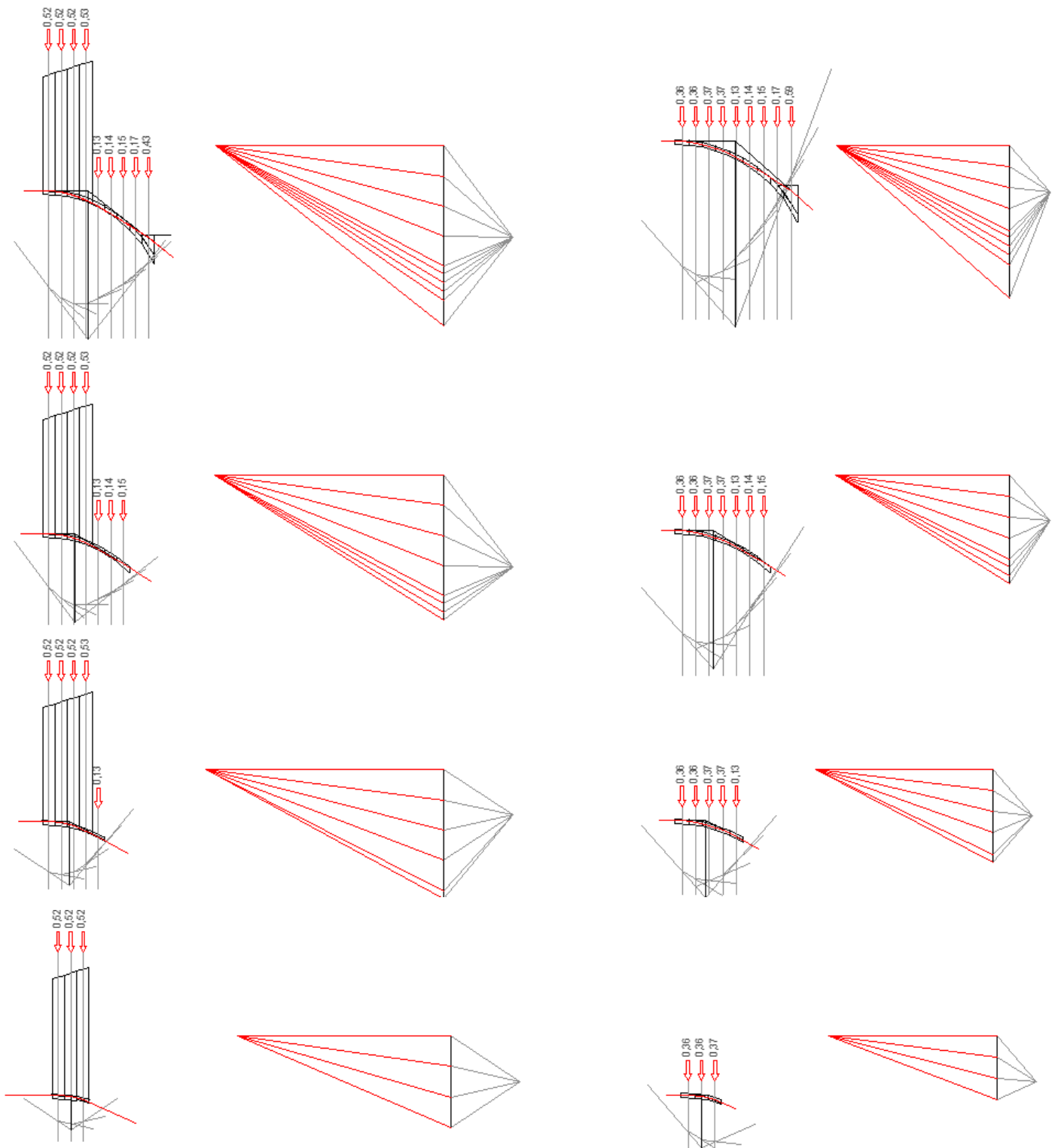




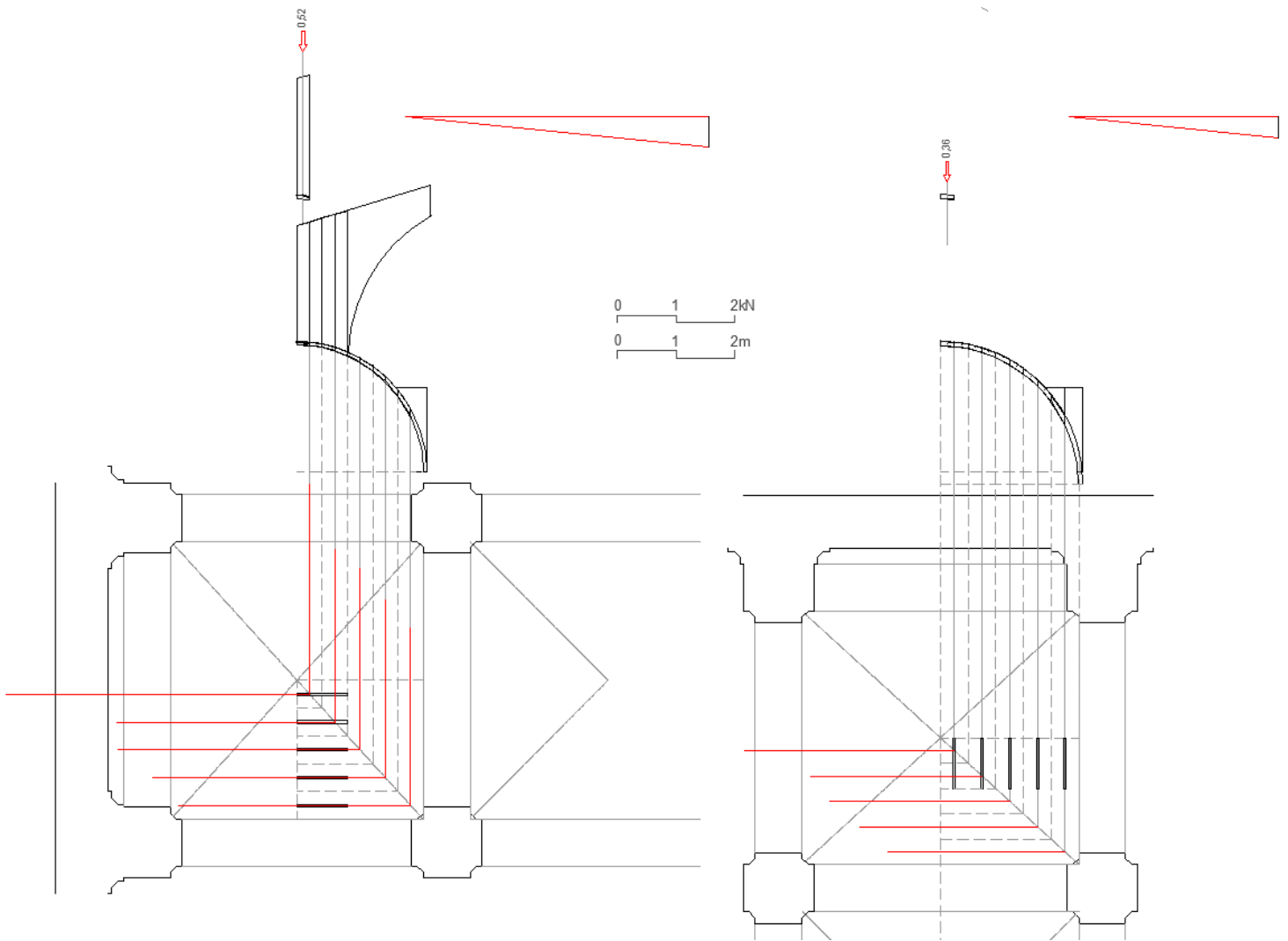
**Fig.28** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.



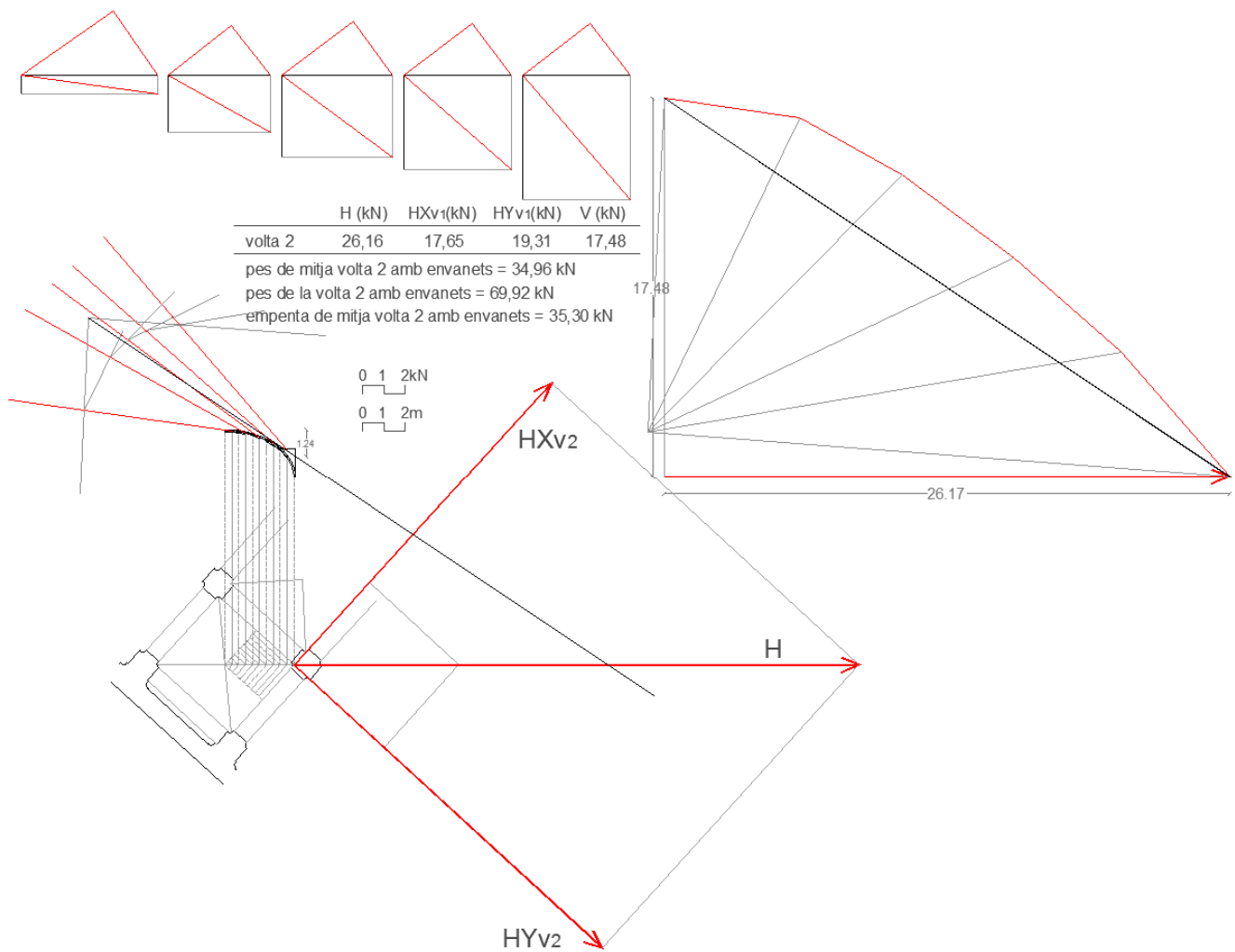
**Fig.29** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta de canó amb llunetes de la nau central de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.



**Fig.30** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta d'aresta de les naus laterals de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.



**Fig.31** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta d'aresta de les naus laterals de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.



**Fig.32** Anàlisi gràfica pel mètode dels talls de la volta d'aresta de les naus laterals de l'església. Geometria ideal sense deformar. Es considera el pes propi de la volta i el pes de la coberta i els envanets de sostre mort.

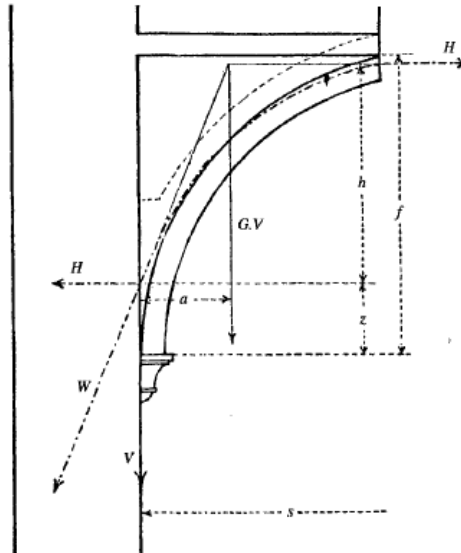
Els resultats obtinguts per a la volta de canó amb llunetes (volta 1) i la volta d'aresta (volta 2) amb envanets de sostremort són els següents:

Amb envanets	Empenta de mitja volta	Pes de la volta sencera
Volta 1	42,42 kN	122,36 kN
Volta 2	35,30 kN	69,92 kN

**Taula.4** Resultats de l'Anàlisi gràfica de les voltes considerant els envanets de sostremort.

S'observa com les voltes són estables en tots dos casos, tant si els envanets recolzen i per tant suporten el pes de la coberta com si no ho fan. Sempre hi ha una línia d'esforços a l'interior de la secció.

D'altra banda, les taules que va calcular Mohrmann (Figura 33) (Ungewitter 1890, a Heyman 1995)) poden donar una aproximació per a aquestes voltes. Es calcularà quin és el resultat aplicant les taules, per a comparar-ho amb els resultats obtinguts mitjançant l'Anàlisi gràfic.



Altura / luz $f/s$	1:8		1:3		1:2		2:3		5:6 a 1:1	
$kN/m_2$	$V_o$	$H_o$	$V_o$	$H_o$	$V_o$	$H_o$	$V_o$	$H_o$	$V_o$	$H_o$
a. $\frac{1}{2}$ ladrillo ligero	2.0	3.6-4.0	2.3	1.6-1.8	2.6	1.1-1.2	2.9	0.9-1.0	3.4	0.8-0.9
b. $\frac{1}{2}$ ladrillo resistente	2.7	5.0-5.5	3.1	2.2-2.4	3.5	1.4-1.6	3.8	1.1-1.3	4.5	1.0-1.1
c. $\frac{3}{4}$ ladrillo resistente	3.7	7.0-7.5	4.2	3.0-3.3	4.8	1.9-2.2	5.3	1.6-1.8	6.5	1.5-1.6
d. 200 mm arenisca	5.0	9.5-10.0	5.7	4.2-4.5	7.0	2.8-3.2	7.5	2.2-2.5	9.0	2.1-2.3
e. 300 mm mampostería	8.5	16-17	10.0	7.1-7.5	12.0	4.8-5.5	13.0	4.0-4.3	15.0	3.5-3.7
Brazo de palanca $h/f$	0.90		0.85-0.75		0.80-0.70		0.80-0.72		0.80-0.75	

**Fig.33** Taules de Mohrmann (Ungewitter 1890) per a càlcul ràpid de pesos i empentes de voltes.

Les voltes de lla nau central de l'església tenen una relació alçada-fletxa de 1:2. S'adopta el cas 1:2 de la taula per a  $\frac{1}{2}$  de maó lleuger.  $H_o=1,2$  kN/m<sup>2</sup>;  $V_o=2,6$  kN/m<sup>2</sup>. Les voltes de les naus laterals tenen la mateixa relació alçada-fletxa, i per tant s'aplicaran els mateixos valors per a aquestes voltes.

Es calcularan les voltes de la següent manera:

- Pes de la volta i replè estructura: segons les taules de Mohrmann (Heyman 1995), Per a les voltes 1 (de canó amb llunetes de la nau central) i per a les voltes 2 (d'aresta de les naus laterals).



- pes dels envanets de sostre mort i la coberta: per a la volta 1 es considera un pes d'envanets (16 kN/m<sup>3</sup>) amb una superfície per mitja volta de 27,78m<sup>2</sup> (4,63m<sup>2</sup> per envanet x 6 envanets) amb un gruix de 0,04 m, això fa una sobrecàrrega de 17,77 kN. Per a la volta 2 es considera un pes d'envanets (16 kN/m<sup>3</sup>) amb una superfície per mitja volta de 15,36m<sup>2</sup> (2,56m<sup>2</sup> per envanet x 6 envanets) amb un gruix de 0,04 m, això fa una sobrecàrrega de 9,38 kN.

- es considera un pes de coberta de 1,5 kN/m<sup>2</sup>.

- pes de la volta i replens dels ronyons:	<b>2,6 x 19,39</b>	<b>= 50,41 kN</b>
- pes dels envanets de sostremort:		= 17,77 kN
- pes de la part proporcional de coberta:	1,5 x 19,39	= 29,08 kN

Total = 97,26 kN = 9,7 tones = 9.726 Kg

En cas de no recolzar els envanets sobre les voltes, el pes de la mitja-volta seria de 50 kN = 5tones = 5.000 Kg. Per tant, amb el pes dels envanets i de la coberta, les voltes de mig punt amb llunetes de la nau central pesen gairebé el doble.

L'empenta, segons Mohramm seria de 20,49 - 22,35 kN, l'empenta segons els càlculs considerant coberta i envanets és de 42,42 kN. En el cas de l'empenta de la volta, amb el pes de la coberta i els envanets també es dobla respecte els resultats obtinguts a la taula de Mohramm.

En el cas de les voltes d'aresta de les naus laterals, a les taules s'entra amb una relació fletxa-llum de 1:2, per a ½ de maó lleuger. Ho=1,2 kN/m<sup>2</sup>; Vo=2,6 kN/m<sup>2</sup>.

- pes de la volta i replens dels ronyons:	<b>2,6 x 10,67</b>	<b>= 27,74 kN</b>
- pes dels envanets de sostremort:		= 9,38 kN
- pes de la part proporcional de coberta:	1,5 x 10,67	= 16,00 kN

Total = 53,12 kN = 5,3 tones = 5.312 Kg

En aquest cas, amb els envanets i el pes de la coberta les voltes d'aresta pesen gairebé el doble.

La Taula 5 mostra tots els resultats obtinguts en els diferents anàlisis. S'observa que l'empenta segons Mohramm és més propera a l'empenta de les voltes sense envanets. En canvi, el pes que s'obté de les taules de Mohramm s'assimila més al pes de les voltes amb envanets. Si sumem el pes de la coberta i envanets als resultats obtinguts d'aplicar Mohramm, el pes augmenta molt respecte els càlculs realitzats.

Segurament Mohrann no contemplava en les seves taules l'empenta i el pes d'unes voltes tant primes, d'un gruix de 6 a 7 cm. Per tant, malgrat assimilem les voltes de rajola doblada a les voltes de maó lleuger que proposa Mohrann, els resultats per l'empenta són un 30% inferiors i els del pes un 60% inferiors, per a les voltes de canó amb llunetes sense envanets. En el cas de les voltes d'aresta sense envanets l'empenta és un 10% inferior respecte Mohrann, i el pes és gairebé la meitat.

Per el cas amb envanets, l'empenta de les voltes de rajls doblada és de l'ordre del doble i el triple en les voltes de canó i d'aresta respectivament. En canvi el pes és tant sols al voltant d'un 20% superior.

Aquestes dades concorden amb la suposició que Mohrann no contempla voltes tant primes, per això el pes obtingut amb Mohrann s'acosta més al pes de les voltes amb envanets, i en canvi, l'empenta s'acosta més a les voltes sense envanets.

<b>Taules de Mohrann</b>				
<b>Sense envanets</b>	Empenta de mitja volta	Pes de mitja volta	Pes de la volta	
Volta 1	20,50 - 22,36 kN	50,41 kN	100,82 kN	10 T
Volta 2	11,22 - 12,25 kN	27,74 kN	55,48 kN	5,5 T

<b>Sense envanets</b>	Empenta de mitja volta	Pes de mitja volta	Pes de la volta sencera	
Volta 1	15,82 kN	32,30 kN	64,60 kN	6,4 T
Volta 2	10,30 kN	13,74 kN	27,48 kN	2,7 T

<b>Amb envanets</b>	Empenta de mitja volta	Pes de mitja volta	Pes de la volta	
Volta 1	42,42 kN	61,18 kN	122,36 kN	12 T
Volta 2	35,30 kN	34,96 kN	69,92 kN	7 T

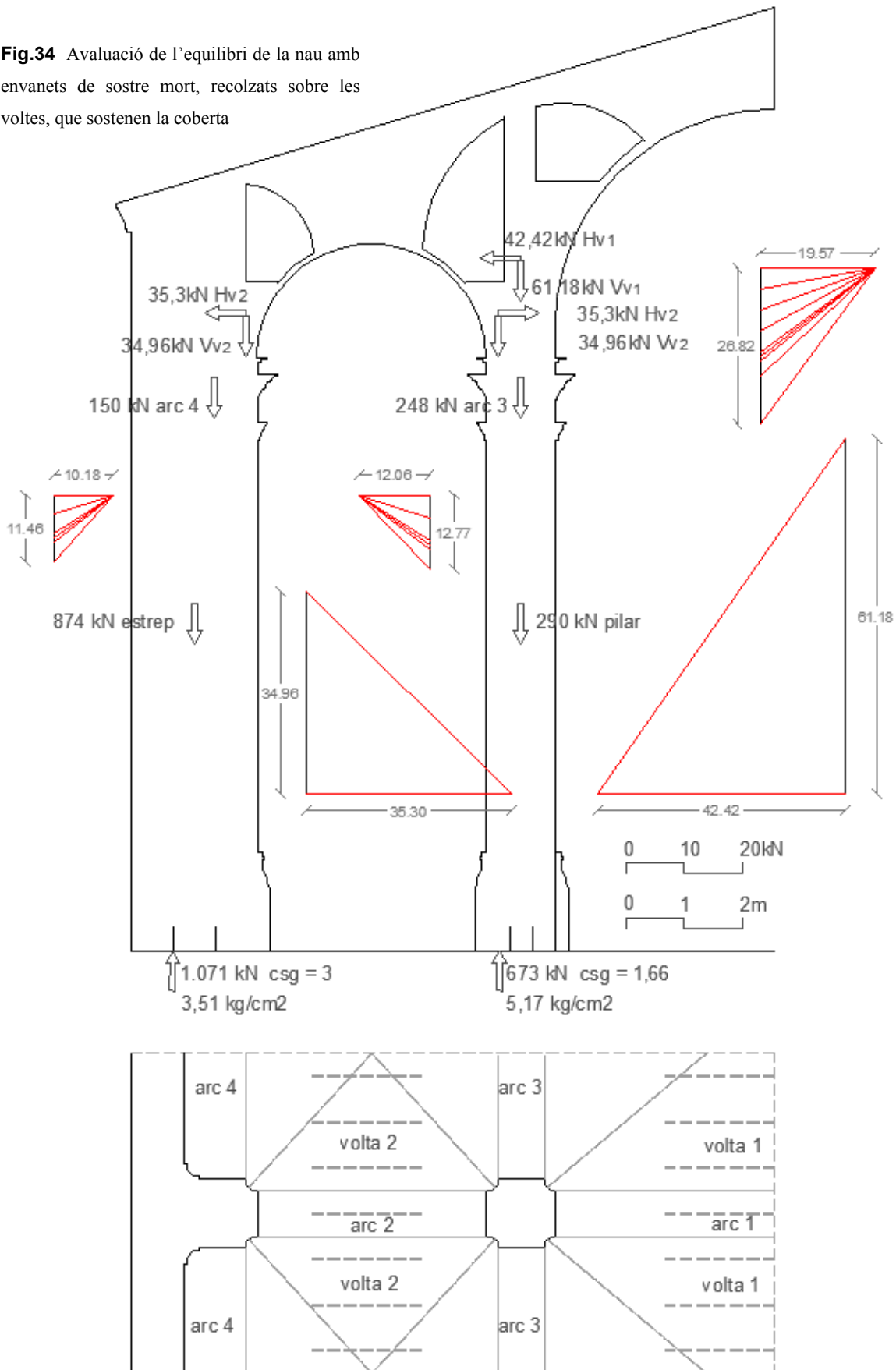
**Taula.5** A dalt, resultats de l'aplicació de les taules de Mohrann. A baix els resultats obtinguts de l'anàlisi gràfica per a les voltes sense envanets i amb envanets.

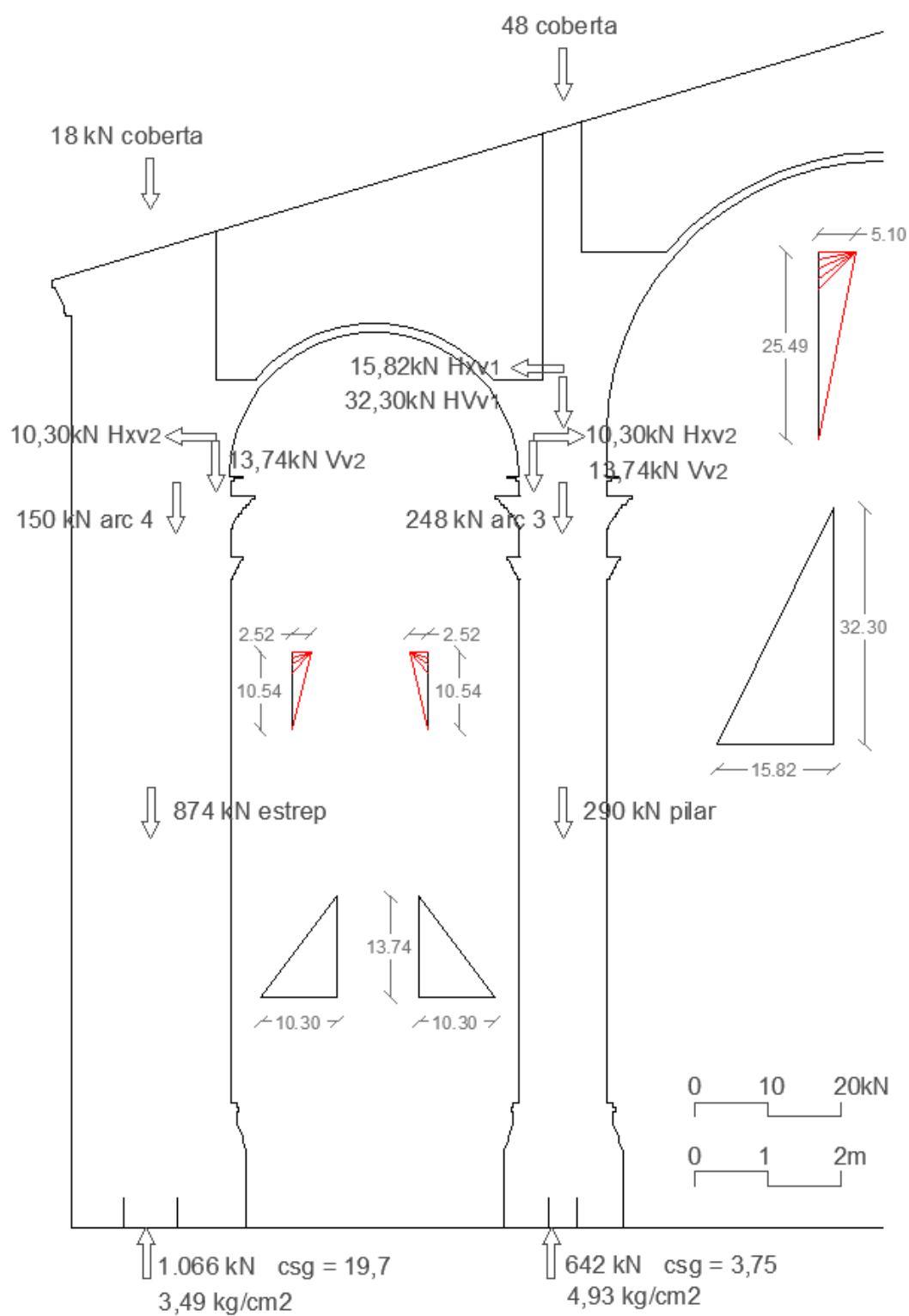
<b>Taules de Mohrann</b>			
<b>Amb envanets</b>	Pes de mitja volta	Pes de la volta	
Volta 1	97,26 kN	194,52 kN	19 T
Volta 2	53,12 kN	106,24 kN	10 T

**Taula.6** Resultats de l'aplicació de les taules de Mohrann sumant el pes dels envanets, i per tant la part de coberta.

S'avalua l'equilibri de la secció d'acord amb l'empenta de les voltes amb envanets (Figura 34) i sense envanets (Figura 35).

**Fig.34** Avaluació de l'equilibri de la nau amb envanets de sostre mort, recolzats sobre les voltes, que sostenen la coberta





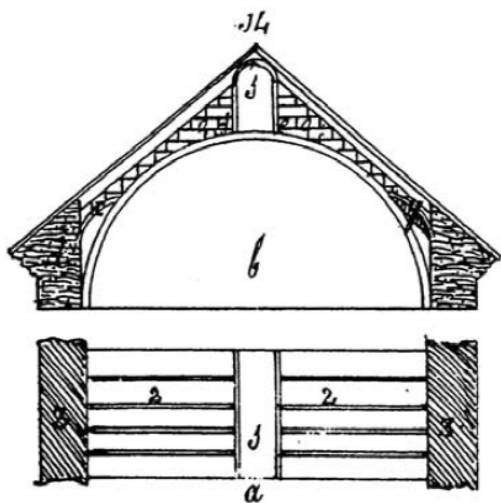
**Fig.35** Avaluació de l'equilibri de la nau sense envanets de sostre mort, suposant que la coberta està sostinguda per un sistema d'encavallades.

#### 4.6.4 Avaluació de les lesions i conclusions

Segons es desprèn dels textos històrics l'església va estar durant molts anys inacabada. La construcció d'una cúpula que no fes témer per la seva estabilitat no es va realitzar fins el 1882, cent anys després de la seva construcció. La coberta, inacabada durant cent anys permetia l'entrada d'aigua, i si estava resolta amb cavalls i bigues de fusta aquests es podrien deteriorar amb molta facilitat exposats a la intempèrie.

La hipòtesi que es planteja és que la solució d'envanets de sostre mort esdevenia la més coherent, ja que els envanets podien resistir millor l'exposició a la intempèrie que no pas, per exemple, una solució d'encavallades de fusta. Les solucions de doble arc per a sostenir la coberta no es devien considerar fiables davant el problema que ja patia el temple d'uns arcs torals que no s'aconseguia equilibrar.

És possible que la solució dels envanets no fos d'origen i s'haguessin executat amb posterioritat en veure que la coberta es mantenia inacabada durant molt temps. L'arquitecte valencià Fornés y Gurrea (1841-1846. *Tratados*), explica al seu llibre d'arquitectura diverses solucions per a les cobertes, i exposa la solució de construir sobre la volta "tabicada" envanets de sostre mort que la sostinguin.



**Fig.36** Conjunt format per una volta "tabicada" amb envanets de sostre mort "callejones", alleugerats a l'arrencada i tauler superior que serveix de base de la coberta. Lámina VIII, figura 14 de Fornés y Gurrea (1841).. A REDONDO, E., 2011.

És clar que el sistema d'envanets no permetria construir les voltes des de l'interior del temple, un cop la coberta ja estava tancada, tal com es feia quan es construïen esglésies catalanes del XVIII. Per tant, tot sembla indicar que la solució d'envanets no és la solució d'origen.

Es desconeix perquè Ramon Salas dóna per vàlida una solució de cúpula que, si bé en ella mateix proporciona una empenta prou menor com per ser absorbida pels murs i arcs on recolza, sí que el gran cimbori proporciona uns pesos sobre els arcs torals difícils d'equilibrar. Cal precisar que seria necessari poder comprovar el gruix real dels murs del cimbori. La suposició realitzada per als càlculs formulats s'ha deduït dels plànols del projecte de 1878.

Les voltes del temple són segures tant si sostenen la coberta amb els envanets de sostre mort, com si no ho fan. Però els envanets de sostre mort proporcionen molta rigidesa a les voltes, impeding les dilatacions del material i originant les múltiples esquerdes que s'observen. També rigiditzen la nau, ja que recolzant sobre els arcs proporcionen empentes i limiten els moviments "naturals" provocant esquerdes.

L'augment de l'alçada de la cúpula ajuda a minorar l'empenta si la geometria de la cúpula esdevé més bombada, però augmenta l'empenta dels arcs torals en augmentar el pes del mur superior del cimbori.

L'equilibri de la secció dels arcs torals no es troba compromesa a causa de l'empenta de la cúpula, sinó a causa de què l'empenta dels arcs laterals no pot contrarestar l'empenta dels arcs torals. Tot i així un gruix inferior dels murs de sobre els arcs torals disminuiria la seva empenta i podria trobar-se una solució d'equilibri dins els paràmetres considerats segurs. Per això caldria poder realitzar una inspecció dels gruixos dels murs i de la construcció de la cúpula i el cimbori.

Als estreps, la solució proposada inicialment per Ramon Salas podia funcionar si el recrescut dels estreps es lligava adequadament amb els murs existents. Aquesta solució no es va executar, i la secció pateix sortint la línia de pressions del terç central.

La situació d'equilibri de la secció de la nau no és satisfactòria per al pilar en el cas d'envanets, i per a l'estrep va molt justa. En cas que no existissin els envanets i la coberta recolzés sobre la vertical dels pilars i estreps, la situació d'equilibri per a la nau seria correcta. Per tant, abans de reparar la coberta conservant els envanets i refent-la, hauria estat una bona decisió avaluar la seguretat de la secció amb l'existència dels envanets per a comprendre que eliminar-los beneficiaria l'equilibri de l'església.

L'església en general està en equilibri, però aquest es troba compromès per la qualitat del terreny on recolza, ja que el fet que les línies de pressions surtin del terç central poden provocar que davant d'un terreny dolent o de l'augment de la humitat pilars i/o estreps comencessin a girar. De fet els desploms segur que s'han esdevingut, malgrat no s'han pogut mesurar, però es esquerdes així ho indiquen.

En cas de refer la coberta, eliminar els envanets de sostre mort i construir una coberta que recolzi sobre la vertical dels pilars i dels estreps. (La coberta s'ha refet recentment i s'han conservat i reparat els envanets de sostre mort sobre els quals recolza la nova coberta.).

A la zona dels arcs torals, una possible solució seria col·locar un tirant a l'arrencada d'aquests arcs. També avaluar adequadament el gruix dels murs i la magnitud precisa de l'empenta obtenint dades reals. Per als estreps també es podria col·locar un tirant als arcs de les naus laterals, o disminuir el pes dels murs de sobre aquests arcs sempre que es disminueixi l'empenta que produeix l'arc total.



## 4.7 Almacelles

Diverses esquerdes que es troben a l'interior de l'església parroquial originen preocupació per la seguretat del temple.

Els objectius són:

- Conèixer l'origen de les lesions que presenta el temple.
- Establir la seva importància en relació amb la seguretat de l'edifici.
- Proposar possibles intervencions que millorin l'estabilitat de l'església.

L'objecte és l'Església Parroquial d'Almacelles, temple amb façana d'aire clàssic, formada per una nau central amb capelles laterals. La nau central està coberta amb volta de canó i llunetes, les capelles laterals estan cobertes amb volta de mocador. Les obres es van iniciar el 1774, i el 1776 s'inaugurava el temple. El campanar es va acabar el 1787.

El present informe s'ha realitzat sense disposar d'un aixecament topogràfic ni d'un estudi històric de les diverses actuacions realitzades a l'edifici.

Sense l'aixecament topogràfic és impossible mesurar els desploms dels murs, i sense aquesta dada les hipòtesis que s'estableixen són conjetures extretes de l'observació visual i de les mesures preses amb làser distànciòmetre i cinta mètrica. Per a validar les conclusions del present informe és necessari disposar de dades fiables del desplom dels murs, dades que només pot proporcionar un topogràfic.

De totes maneres les mesures preses han permès desenvolupar l'informe malgrat l'inevitable imprecisió d'obtenir-les únicament amb aquests mitjans disponibles.

Pel què fa a l'estudi històric, s'ha realitzat una recerca de documentació per part dels redactors de l'informe consistent en la consulta d'arxius (Arxiu Gavín, Arxiu del Bisbat de Lleida, Arxiu Històric de Lleida) que amb major o menor èxit han proporcionat algunes dades valuoses per al desenvolupament del treball. També s'ha realitzat una recerca bibliogràfica sobre l'obra de Josep Mas Dordal per tal d'establir possibles paral·lelismes amb la construcció de l'església d'Almacelles i altres obres del mateix artífex.

Finalment cal remarcar que l'èmfasi del present informe radica en la interpretació de les lesions i no tant en la seva descripció.

#### 4.7.1 Recerca històrica d'actuacions

L'església de la Mare de Déu de la Mercè d'Almacelles va ser projectada per Josep Mas Dordal que va realitzar la urbanització de part de la vila per encàrrec de Melcior de la Guàrdia i Mates, membre de la Junta de Comerç. Aquest va rebre la cessió el terme per part del rei Carles III, el qual l'obligà a repoblar-lo i urbanitzar-lo.

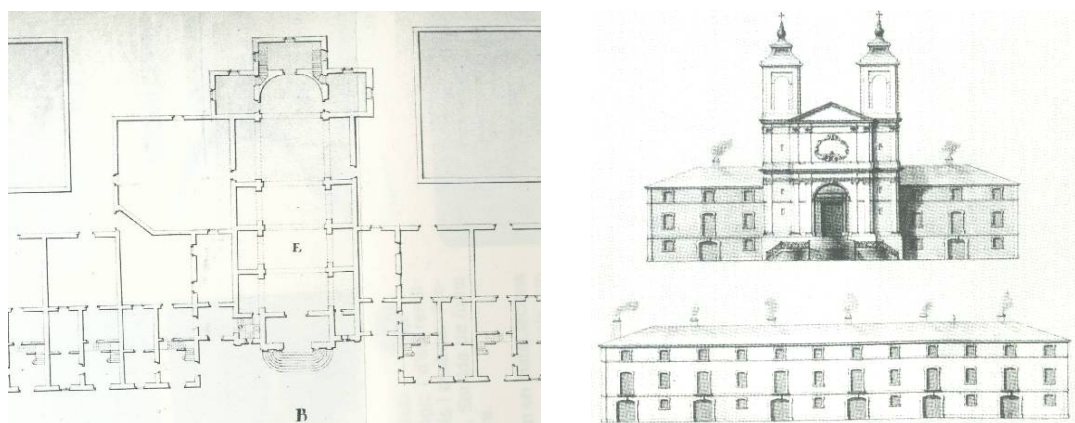
El 1776 l'església ja estava gairebé enllestida. El projecte del temple parroquial es va replantejar per a convertir-lo en una obra més senzilla i sòbria, amb menys complexitat tècnica. Suposem que el fet de construir-se en un període de temps tant curt hi degué influir, ja que cal destacar que l'església (exceptuant el campanar) va estar enllestida en dos anys (del 1774 al 1776).

Es pot obtenir informació sobre la història de l'església a la "Història del Temple Parroquial d'Almacelles" exposada en els panells explicatius situats a l'exterior del temple. També diversa bibliografia existent.

Per a interès del present informe cal esmentar que d'acord amb les fonts citades, amb la guerra civil l'església va ser saquejada i es va desmuntar part del campanar. Acabada la Guerra Civil el temple va tornar a recuperar les funcions religioses.

El 1944 l'arquitecte Mariano Gomà i Pujadas presenta el projecte de reforma de la plaça de la Vila i del temple parroquial amb el nou campanar. No es disposa d'aquest projecte, ja que no s'ha trobat en cap de les fonts consultades, ni a l'Arxiu Diocesà, ni a l'Arxiu de Lleida, ni al Museu Josep Mas Dordal, etc. Tal com es veurà s'ha obtingut una breu descripció de les obres a executar realitzades pel tècnic esmentat i datades de 1945.

El campanar nou aprofita la base de l'anterior, i s'executa la part nova amb maó vist.



**Fig.1** Planta e l'església d'Almacelles i façana projectades per Mas Dordal.

### *Altres esglésies de Josep Mas Dordal*

És interessant fer un repàs de les construccions de Mas Dordal per tal d'establir possibles paral·lelismes amb Almacelles.

Josep Mas Dordal va ser l'artífex de l'Església de la Mercè de Barcelona (1765-1775) i de l'Església de Sarrià del mateix municipi.

La manera com Mas Dordal va projectar aquests temples pot ajudar a comprendre la construcció i morfologia de la parroquial d'Almacelles. Per això s'exposen breument els trets característics de l'Església de la Mercè de Barcelona, temple que va precedir el d'Almacelles.

*L'església e la Mercè de Barcelona* ha sofert moltes modificacions. Segons fonts consultades "l'esquema bàsic seguit en la composició és el que habitualment i amb lleugeres variants, utilitzà l'arquitecte. (...) a l'interior (...) segueix un esquema de nau principal amb capelles laterals, àmpliament comunicades entre si, poc aprofundides i cobertes amb voltes d'aresta. (...) a la part alta, les acostumades tribunes. Sobre cada un dels trams hi ha voltes de canó."

El creuer amb la cúpula s'atribueix a les obres de modificació efectuades per l'arquitecte Joan Martorell i Montells en els anys 1881 a 1887.



**Fig.2** Plànols de l'església de La Mercè i obres davant la basílica de la Mercè el 1981



**Fig.3** Interior de l'església de la Mercè amb les voltes de canó.

L'església de Sant Vicenç de Sarrià es va començar a construir el 1782, fins el 1789. Segons fonts documentals l'estructura s'assembla a l'església de la Mercè de Barcelona però amb proporcions mes ajustades i simplificació decorativa. Les capelles laterals també són àmpliament comunicades entre si i que sembla que siguin unes naus laterals. La nau central també està coberta amb volta de canó amb llunetes, i a les aparents naus laterals són de mocador.

#### *Actuacions precedents*

S'ha realitzat la consulta de la literatura que versa sobre l'església d'Almacelles. També s'ha obtingut documentació d'Arxiu. A l'Arxiu dels Bisbat de Lleida documentació que descriu i/o enumera diverses actuacions de reparació i millora que es van dur a terme al temple, així com altres actuacions reclamades pels rectors, i que sembla que la poca capacitat pressupostària no permetia tirar endavant. Els documents consultats són cartes dels rectors adreçades al bisbat en petició de capital per a executar possibles millores, alguns albarans amb la descripció de materials d'obra (d'on es dedueix que es tracta de petites reparacions), i altres factures referides a la millora de la casa parroquial. En concret, les actuacions que es poden deduir de la documentació obtinguda són les següents:

- 1939: Col·locació d'un nou altar, ja que per la guerra s'havia destruït l'original.
- 1945: "Informe de la Junta Diocesana para la reconstrucción de templos parroquiales". Es descriuen els danys "causados por los marxistas" a l'església: "quebrantaron sus bóvedas, hasta tal punto que precisa sean reconstruidas." "El templo parroquial sufrió grandes desperfectos a consecuencia de la devastación e incendio sufridos durante época marxista, siendo absolutamente necesaria su reparación."

Segons document signat per l'arquitecte Sr. Goma Pujades: "Las obras que se consideran necesarias para habilitar la iglesia para el culto son: Reconstruir las bóvedas, levantar cubierta sustituyendo las piezas de maderas necesarias, reparar los reboques interiores, pavimentar de nuevo y reconstruir los peldaños del presbiterio.

- 1948: reconstrucció del campanar (article de premsa del 1973 a La Mañana)
- 1953: Arriba una subvenció de l'Estat, però les obres ja estaven realitzades ("sufragadas por todo el pueblo" 1955).
- 1957: Carta on s'exposa la necessitat de reparar el paviment de l'església posant mosaic, canviar les escales del presbiteri i revestir les parets amb "arrimaderos para subsanar el reumatismo de que adolecen."
- 1972: "Memoria valorada de las obras de conservación de la Iglesia", on es localitzen humitats procedents de la coberta que, diu textualment: "mojan las bóvedas en varios sitios y en los zócalos de las capillas posteriores debido a las aguas de escorrentias de las calles exteriores". A les obres a realitzar proposa col·locar canals i baixants, recollir les aigües pluvials, repicar el revestiments dels sòcols i realitzar un nou rejuntat, resseguir goteres, canviar teules velles.
- 1974: "Memoria valorada de las obras a efectuar en la iglesia de Almacellas" : "(...) la cubierta en estado precario y con varios elementos ruinosos. Armaduras y cabios deben cambiarse cuanto antes." En l'apartat d'obres a realitzar especifica: " Hay dos soluciones: La mas económica consiste en cambiar los elementos rotos y ruinosos y reparar el resto. La otra y más definitiva, consiste en quitar toda la cubierta y sustituirla por otra nueva a base de armaduras y viguetas de hierro; cubriendo con planchas onduladas de fibrocemento clase fuerte. Para dotar de mas luz, se propone abrir otro rosetón en la pared del fondo y cambiar los paneles de madera de la cancela, por otros de vidrio."

També s'ha realitzat la consulta a l'Arxiu de Lleida, per a l'obtenció de possible informació procedent de "Naciones Devastadas" o altres documents relacionats amb la construcció o reparacions a l'església. No disposen de cap tipus de documentació referida a aquest temple.

També s'ha consultat a l'Ajuntament d'Almacelles sobre l'existència de documentació sobre l'església o intervencions en els edificis veïns, però no s'ha obtingut cap document ni informació, malgrat que un



edifici annex a la façana oest de l'església es va enderrocar. Hagués estat de gran ajuda per a la redacció del present informe la consulta del projecte d'enderroc, de les fotografies de les obres en cas d'haver-n'hi, i qualsevol altra informació relacionada.

També s'ha consultat la possibilitat d'existència de documentació referida a l'església parroquial al Museu Mas Dordal, però tampoc disposen de cap document referit al temple.

S'han aconseguit algunes fotos històriques a l'Arxiu Gavín.



**Fig.4** Fotos històriques de l'Arxiu Gavín. Humitats a la façana SE. Actualment aquests carreus s'han canviat.

D'altra banda, després de realitzar les consultes pertinents, de del departament de Patrimoni de l'Ajuntament d'Almacelles ens han facilitat la documentació següent, que malgrat no venir avalada per documentació específica, si que confirma les dades obtingudes a través d'altres fonts esmentades:



- 1773 construcció de la nova vila. Plànols de l'església fets per l'arquitecte Josep Mas Dordal: planta i façana.
- 1936 arrel de la Guerra Civil Espanyola l'església és saquejada i es desmunta el campanar.
- El 1944 l'arquitecte Mariano Gomà Pujadas s'encarrega de projectar el nou campanar.
- Segona meitat del segle XX es modifica la teulada, concretament les encavallades de fusta a les què s'hi afegeixen uns pilars i s'instal·la un colomar entre la teulada i la volta de l'església.
- El 1992 es fan obres de canvi del paviment en tota l'església i en el transcurs d'aquestes les màquines s'enfonsen i es descobreixen criptes amb enterraments.
- En les darrers dècades del segle XX s'ha intentat fer front també a les humitats però no s'ha fet cap actuació important solament repicament de parets i similar.

També l'Ajuntament té documentada una obre per llicència d'obres l'any 2015. Es tracta d'unes millores en una porta a la zona de la capçalera i reparar unes esquerdes a la zona de la sagristia. Són obres de petita repercussió, però poden ser útils com a testimoni, ja que havent enguixat les esquerdes es podrà saber si les deformacions estan consolidades o si continuen, en cas que apareguin de nou les esquerdes en aquestes naus.

De la documentació obtinguda s'extreuen les dades següents, valuoses per a la redacció del present informe:

- L'obra realitzada és diferent del projecte de Mas Dordal i la construcció de la nau es dugué a terme en només 2 anys.
- El temple ha estat saquejat i el campanar refet.
- Per raons pressupostàries la coberta no s'ha substituït, però ha patit diverses modificacions.
- Sempre hi ha hagut humitats al subsòl que es manifesten als murs.
- Segons font documentals sota les capelles laterals hi ha criptes excavades.

- El 1945 ja es proposa reconstruir les voltes, el 1972 es posa de manifest que les voltes es mullen, el 1974 es sol·liciten canvis a la coberta pel seu mal estat. Es desconeix quines actuacions concretes es van arribar a realitzar, tot i així més endavant, de la visita i anàlisi realitzat s'extreuen algunes conclusions.
- S'observen humitats i mal estat dels carreus a la base de la façana SE i humitats en general.
- Fent mitgera amb la façana existia un edifici que es va enderrocar quedant la façana al descobert. Aquest fet haurà originat indubtablement moviments al temple.



**Fig.5** Plànol de l'emplaçament. S'observa com la façana llinda amb un pati on abans hi havia hagut un edifici.

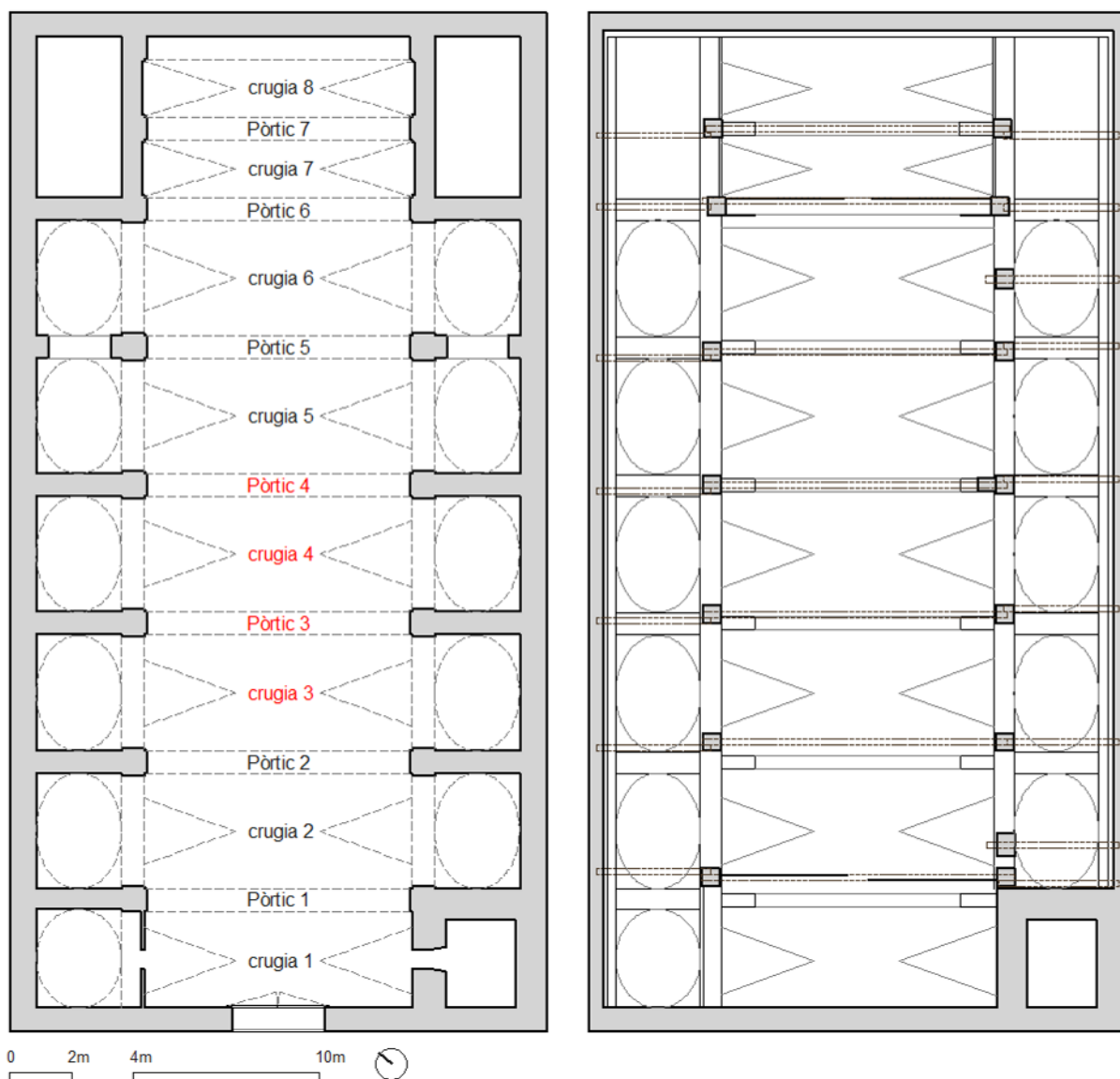
#### 4.7.2 Geometria del temple i lesions

De la visita i l'anàlisi realitzat s'observa que l'edifici mostra diverses lesions i també acumula alguns defectes de forma.

La imatge inferior mostra, a l'esquerra, la planta de l'església i a la dreta la planta sota-coberta.

S'observa com la planta sota-coberta no respecta la linealitat de les pilastres que sostenen les encavallades amb els pilars i contraforts inferiors, fet que descentralitza les càrregues que l'església rep

de la coberta. Els pòrtics i voltes marcats en vermell ( 3 i 4 ) pateixen una evident deformació, i s’observen esquerdes al mur de tancament de la majoria de les naus laterals en planta baixa.



**Fig.6** Planta de l’església de la Mare de Déu de la Mercè d’Almacelles i a la dreta la planta sota-coberta.

Esquerdes i deformacions a les capelles laterals.

Segons el Servei de Patrimoni de l’Ajuntament d’Almacelles, algunes capelles laterals van ser enguixades de nou el 2015 per a reparar diverses fissures que hi apareixien. L’actuació es va dur a terme a les capelles laterals de les crugies 2 i 5 situades a nord-oest.

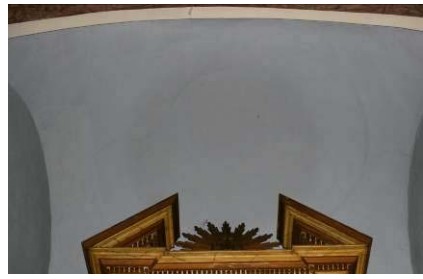
La resta de naus laterals que no es van enguixar mostren esquerdes que segueixen el perímetre de la volta en contacte amb el mur exterior de tancament, i esquerdes que ressegueixen la circumferència del “casquet” superior de les voltes de mocador.



Crugia 1 nord-oest, reparada.



Crugia 2 nord-oest.



Crugia 3 nord-oest.



Crugia 4 nord-oest.



Crugia 6 nord-oest, reparada.



Crugia 6 sud-est.



Crugia 5 sud-est.



Crugia 4 sud-est.



Crugia 3 sud-est.

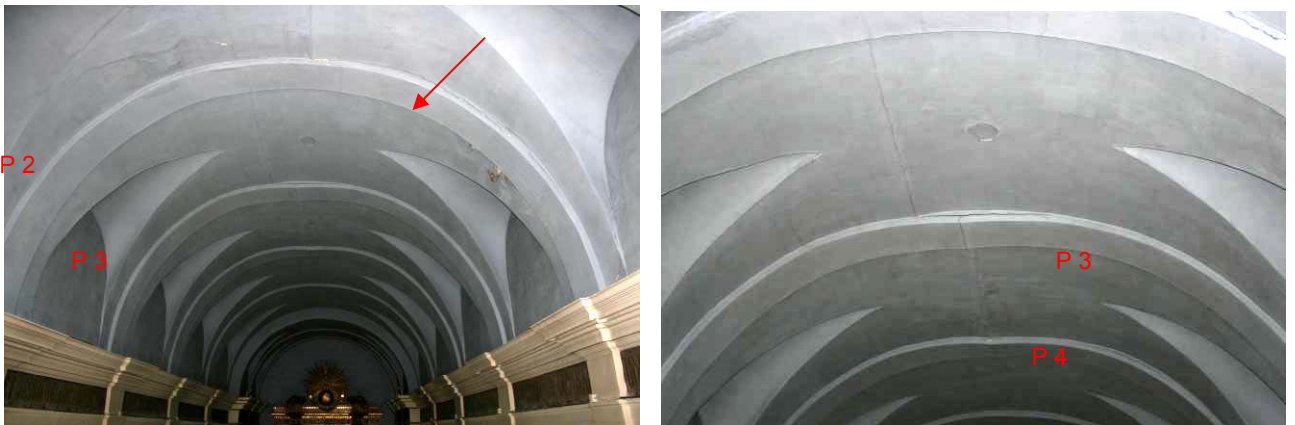
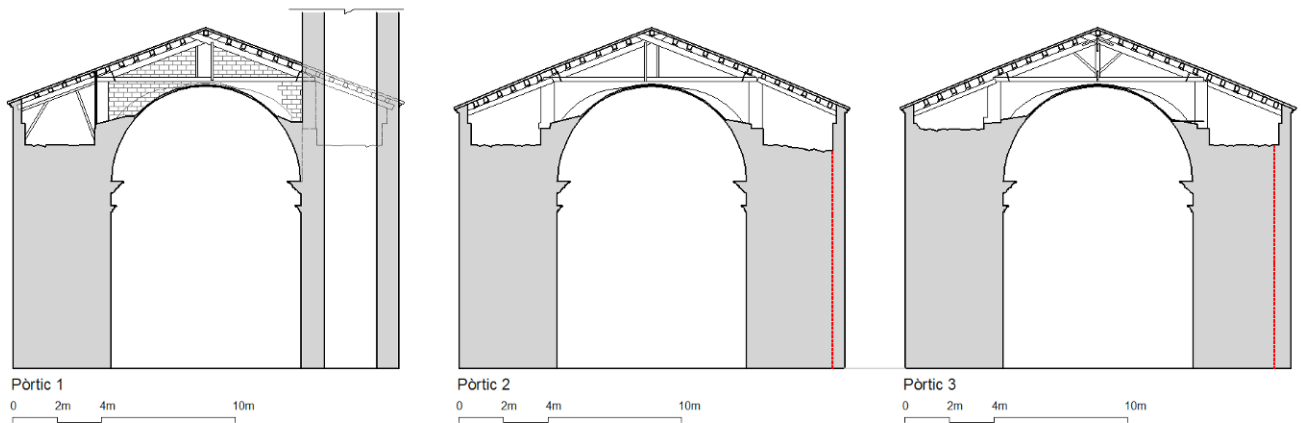


Crugia 2 sud-est.

Les esquerdes en l'encontre de la volta amb el mur de tancament s'observen en la majoria de les capelles. Les que van ser reparades òbviament les tenien més accentuades. També hi ha taques d'humitat i es marquen els "casquets esfèrics" de les voltes de mocador.

No ha estat possible mesurar si el mur de tancament està desplomat, tot i que les esquerdes així semblen indicar-ho i aquest fet correspon al tipus d'esquerda o separació d'aquests murs de tancament laterals.

**Fig.7** Voltes de les capelles laterals



**Fig.8** Seccions i voltes de l'església

Les deformacions més importants s'esdevenen als pòrtics i a les voltes 3 i 4. Al pòrtic 2 l'arc es separa de la volta per un dels laterals (esquerra).

Al pòrtic 3 i al pòrtic 4 l'arc es deforma amb el descens de la clau. La volta 3 també està esquerpada per un lateral i la punta de les llunetes està separada de la fulla de la volta.

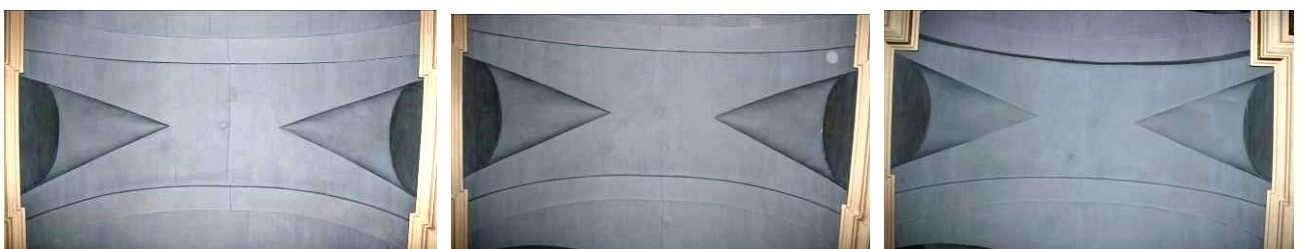
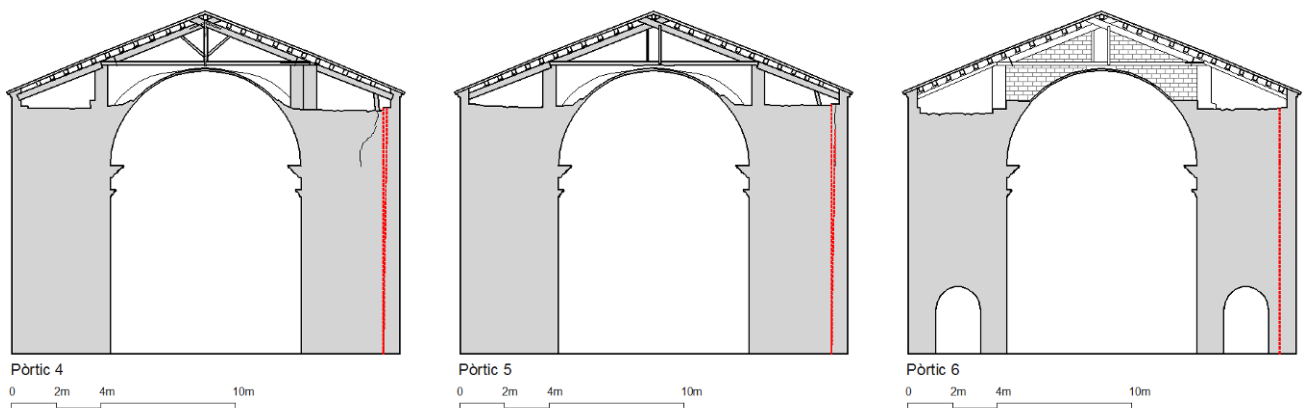
Al pòrtic 4 una meitat de l'arc s'ha desplaçat respecte l'altra i sembla que ha descendit, ja que es separa de la volta. La volta 4 està esquerpada.

Tant les voltes com els arcs són de “rajola doblada”. Aquest tipus es construïa de manera generalitzada a les esglésies catalanes del XVIII. El gruix d’aquestes voltes i arcs oscil·la al voltant dels 8cm. A Almacelles el gruix és de tant sols 6 cm.



**Fig.9** Voltes i arcs de rajola doblada

Lluenta separada de la volta i descens de la clau de l’arc 3. Descens de l clau de l’arc 4 i separació lateral.



**Fig.10** Seccions i voltes de l’església

El pòrtic 4 i la volta 4 estan deformats i esquerdat. Els pòrtic 5 i 6 no semblen haver perdut la geometria i les esquerdes que apareixen són les típiques situades al centre de la clau. A sota pòrtic 7 i crugies 7 i 8.





**Fig.11** Seccions i voltes de l'església

### *Esquerdes als murs*

En la visita realitzada a l'extradós de les voltes, es van observar diverses esquerdes de dimensions considerables:



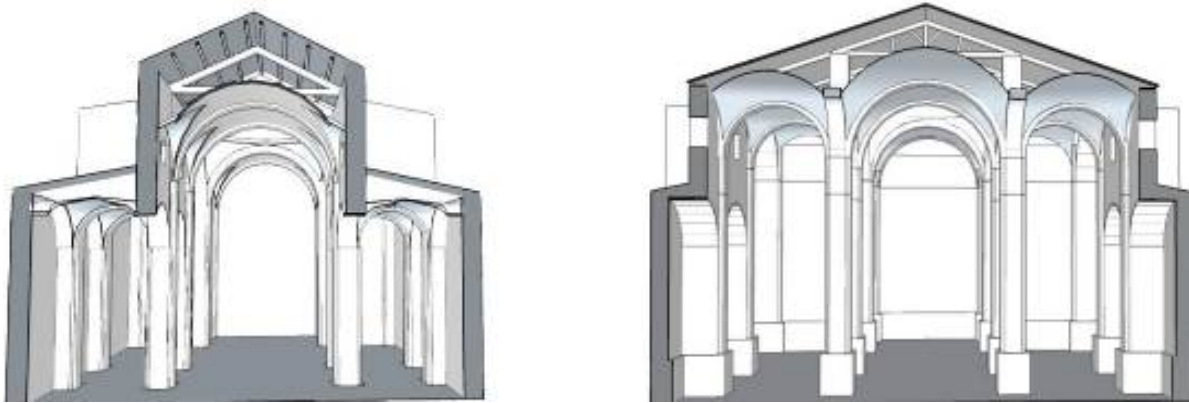
**Fig.12** Imatges preses des de l'extradós de les voltes de mocador de la nau lateral sud-est.

De fet, més que esquerdes, es tracta d'una separació del mur de tancament de la façana respecte els contraforts laterals, ja que es pot apreciar com els murs no estan lligats, i semblen haver estat construïts independentment els uns dels altres.

Això podria tractar-se d'un defecte d'execució de l'església, tenint present que va ser construïda en tant sols dos anys (1774-1776), seria possible que les presses derivéssi en defectes d'aquest tipus. Tot i així, tenint present l'àmplia experiència i coneixements dels mestres d'obres de l'època, pot ser que la manca de lligada d'aquests murs sigui produïda per alguna possible modificació en la construcció de l'església decidida a última hora, o fins i tot posterior.

De fet, s'ha observat que les esglésies projectades per Mas Dordal (La Mercè i Sarrià) tenien contraforts que afloraven a l'exterior. També és conegut el fet que el projecte inicial de Mas Dordal per l'església d'Almacelles va modificar-se.

D'altra banda, les esglésies d'una nau central amb capelles laterals difícilment tenen una coberta unitària, ja que aquesta és una solució que s'aplica a les esglésies de saló, de les quals se'n construïren moltes les terres de Lleida a la segona meitat del segle XVIII.



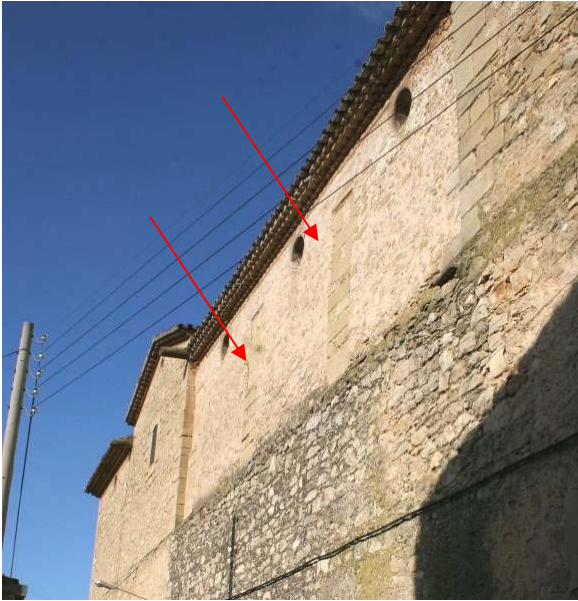
**Fig.13** Esquerra: església de tres naus i dreta església de saló.

La figura mostra a l'esquerra església d'una nau central amb capelles laterals àmpliament comunicades entre si, la coberta no és unitària, ja que les naus laterals tenen una coberta més baixa que la nau central i els contraforts afloren en superfície. A la dreta l'església és de saló (nau central i laterals gairebé a la mateixa alçada), i la coberta en aquest cas és unitària.

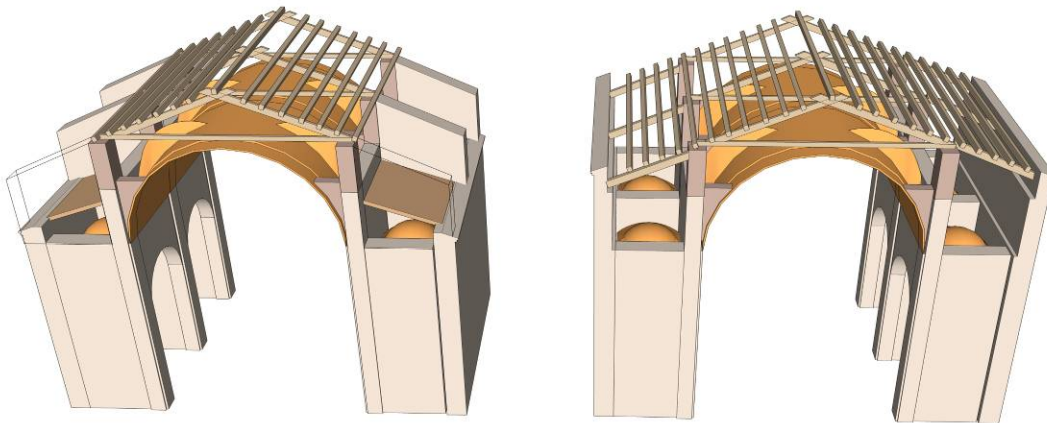
Seria possible que la moda del tipus "saló" s'imposés reconvertint l'aspecte exterior d'algunes esglésies d'una nau amb capelles laterals que volien assemblar-s'hi, almenys exteriorment, o que per algun altre motiu es decidís modificar la configuració inicial d'alguns temples.

S'han obtingut diversos casos d'esglésies d'una nau central i capelles laterals del segle XVIII i construïdes a la zona, on es va modificar a posteriori la seva configuració exterior inicial per dotar-les d'una coberta unitària (Artesa de Lleida, Rocafort de Vallbona, Passanant, La Pobla de Cérvoles,...).

Els contraforts d'aquestes esglésies queden absorbits dins la nova coberta aflorant en façana, o bé "s'escapen" per a construir un nou mur exterior més alt, aquest darrer seria el cas d'Almacelles.



La Pobla de Cérvoles (s. XVIII). Els contraforts que afloraven a l'exterior van quedar absorbits dins el nou mur de tancament que permetia la construcció d'una coberta unitària. La coberta es va reformar, però encara es conserva el ràfec original que s'observa des de l'extradós de les naus laterals.



**Fig.14** A la figura superior es mostra un esquema de l'església d'Almacelles en l'hipotètic cas en què la coberta no fos unitària i els contraforts afloressin a l'exterior (esquerra) i en l'actualitat (dreta).

Cal remarcar que la configuració de coberta amb pilastres per a sostenir les encavallades també és una solució pròpia de les esglésies de saló.

#### 4.7.3 Avaluació de la seguretat de l'església

Per a realitzar l'estudi de la seguretat de l'edifici s'aplica la teoria de l'Anàlisi Límit d'Estructures de Fàbrica, tal i com el desenvolupa Heyman (Heyman 1995).

##### *Seguretat de les voltes de les capelles laterals*

Les voltes de les capelles laterals són de mocador, i estan formades per dos gruixos de "rajola", fent un gruix total de 6cm.

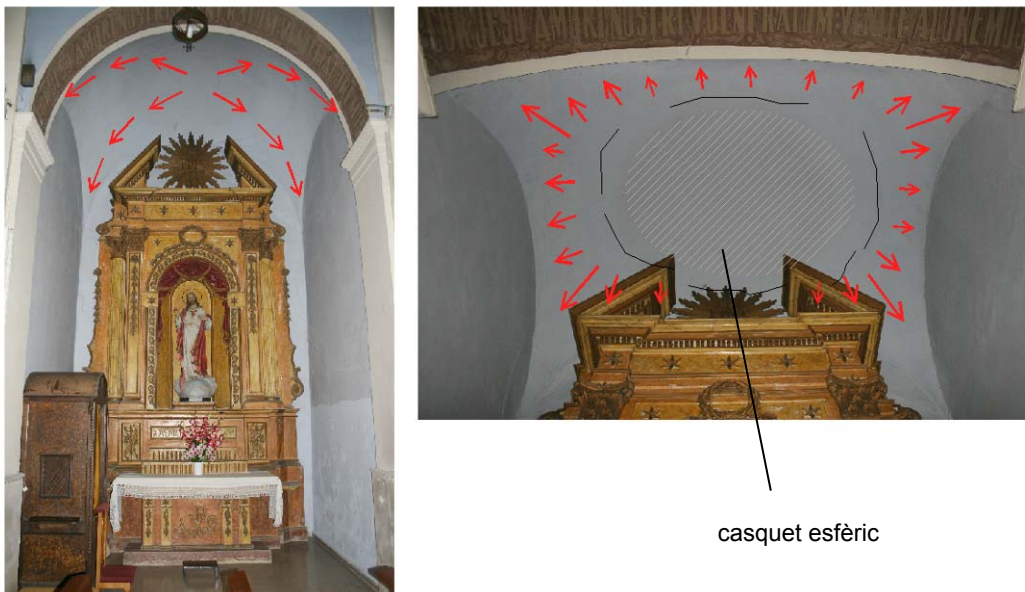




**Fig.15** Gruix de les voltes

Les voltes poden funcionar com una cúpula o com una volta d'aresta, i en realitat funcionen combinant les opcions segons les necessitats d'equilibri.

S'observa (apartat 4.1) que les esquerdes d'aquestes voltes són en el sentit dels meridians, fet que confirma el seu funcionament com una cúpula.

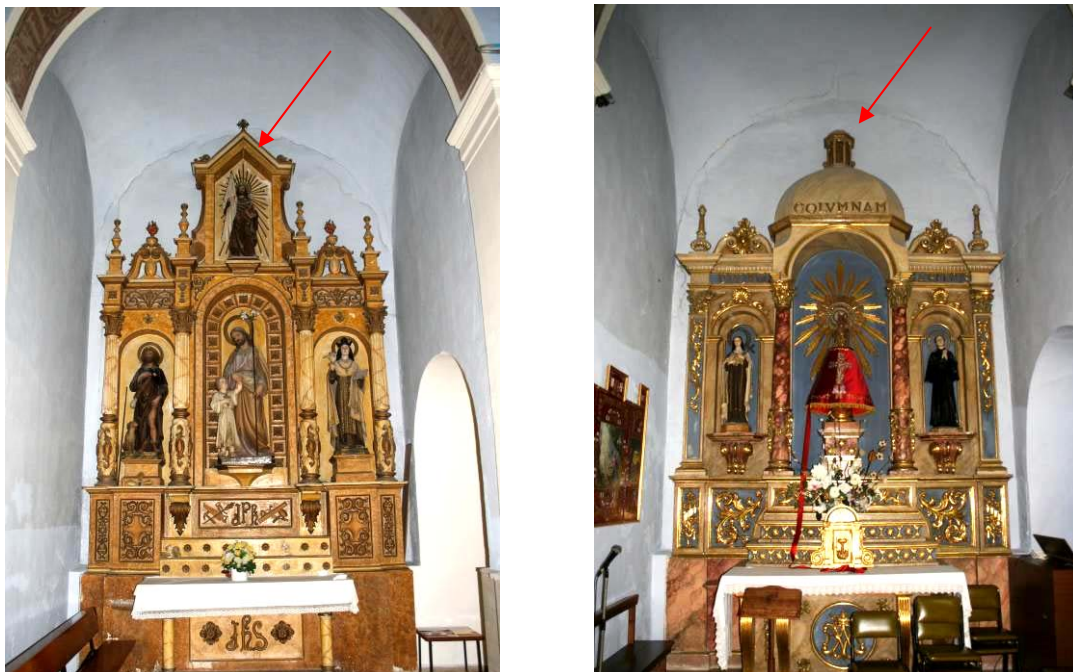


**Fig.16** A l'esquerra es mostra el funcionament com una volta d'aresta, a la dreta, com una cúpula.

Segons Fray Lorenzo, per a les voltes de mocador és important mantenir el material de replè:

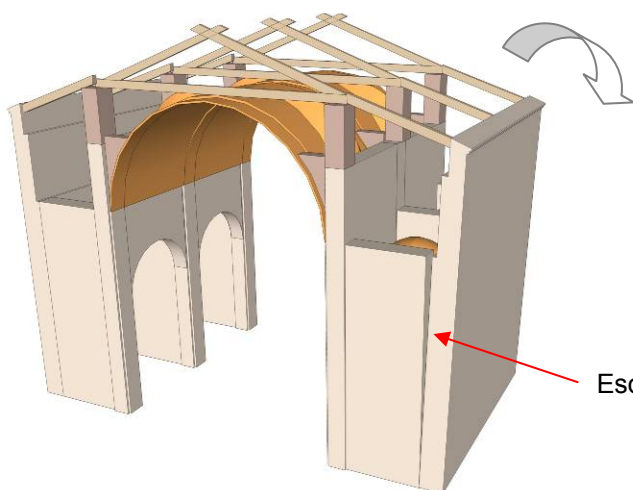
" (...) macizaras el primer tercio de la embecadura, ò trasdosados, y doblada según la necesidad lo pidiere, echaràs lengüetas, que sirven de estribos y estas han de coger la tirantez de la diagonal, para que resistan a su empujo y queden con seguridad y firmeza." (San Nicolás 1639, folio 96v).

A les capelles laterals també hi a esquerdes en l'encontre de les voltes amb el mur de tancament exterior, i altres esquerdes que semblen produïdes pel moviment d'aquest mur de tancament.



**Fig.17** Voltes de mocador

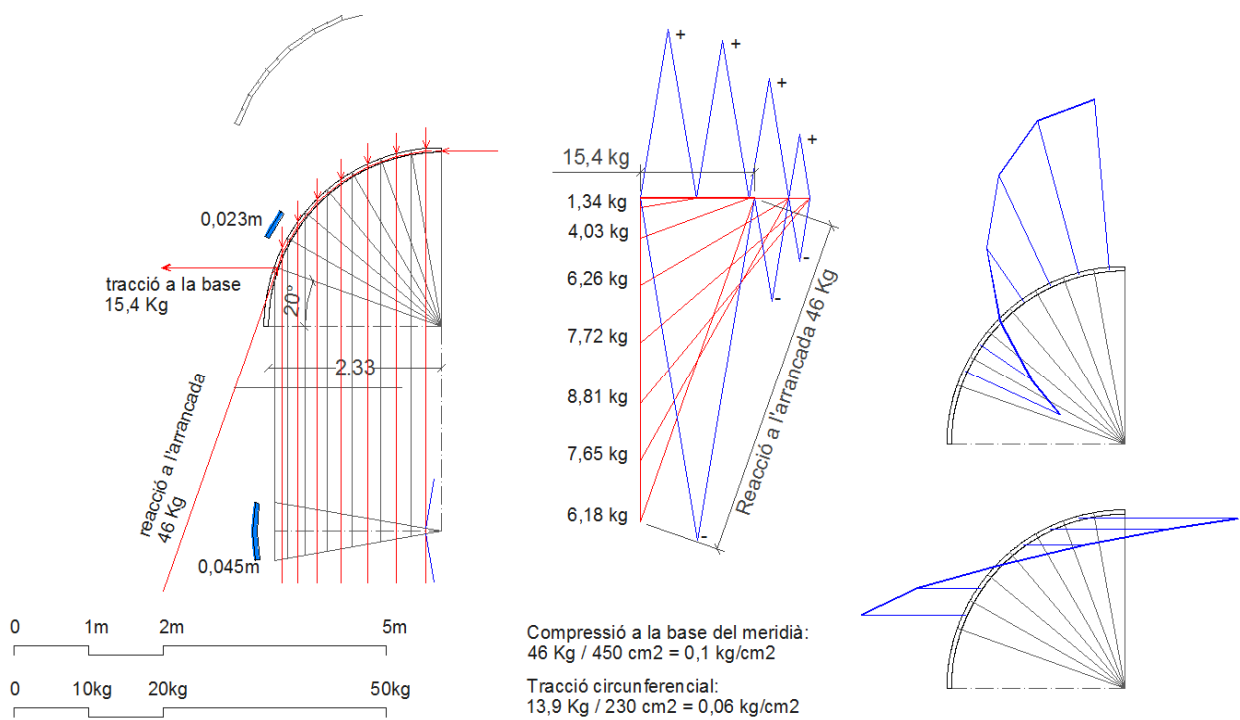
Aquestes voltes de mocador, amb funcionament de cúpula, tendeixen a ser molt estables si no hi ha un moviment molt accentuat dels suports. Tot i així es procedeix a comprovar la seva estabilitat aplicant el Mètode de Wolf. S'observa que el seu pes i empenta són mínims i que la seva estabilitat es bona.



Tot sembla indicar que aquestes esquerdes estan produïdes pel desplom dels murs de tancament lateral, tal com es demostrarà més endavant, i tal com indica el fet que aquests murs no estiguin lligats.

Esquerda que es produeix.

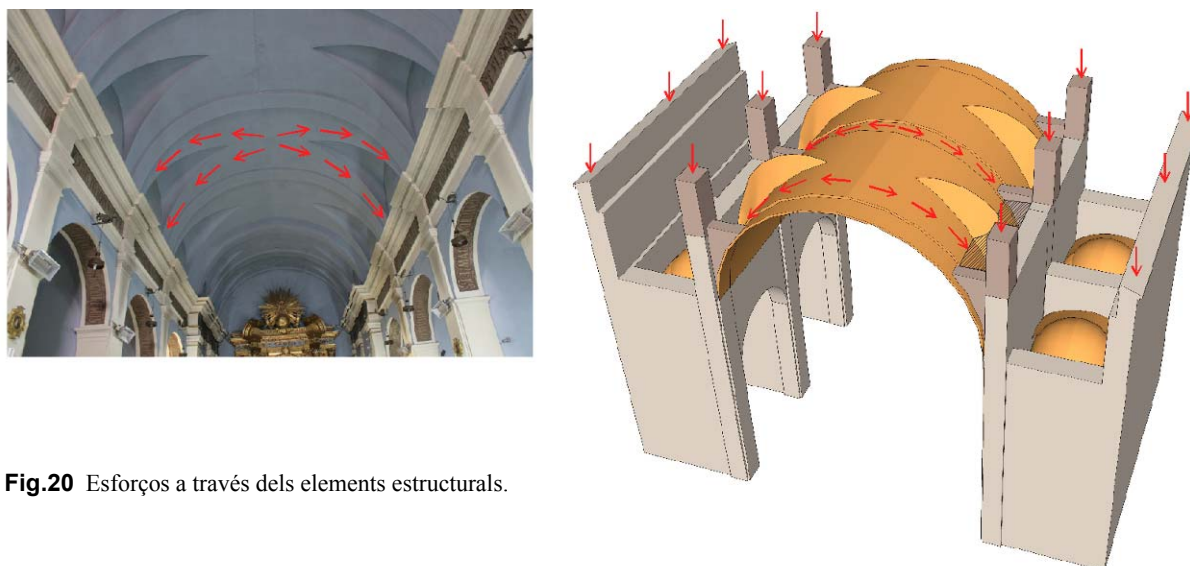
**Fig.18** Desplom dels murs laterals.



**Fig.19** Comprovació de l'estabilitat de les voltes de mocador pel mètode de Wolfe si es resistissin traccions.

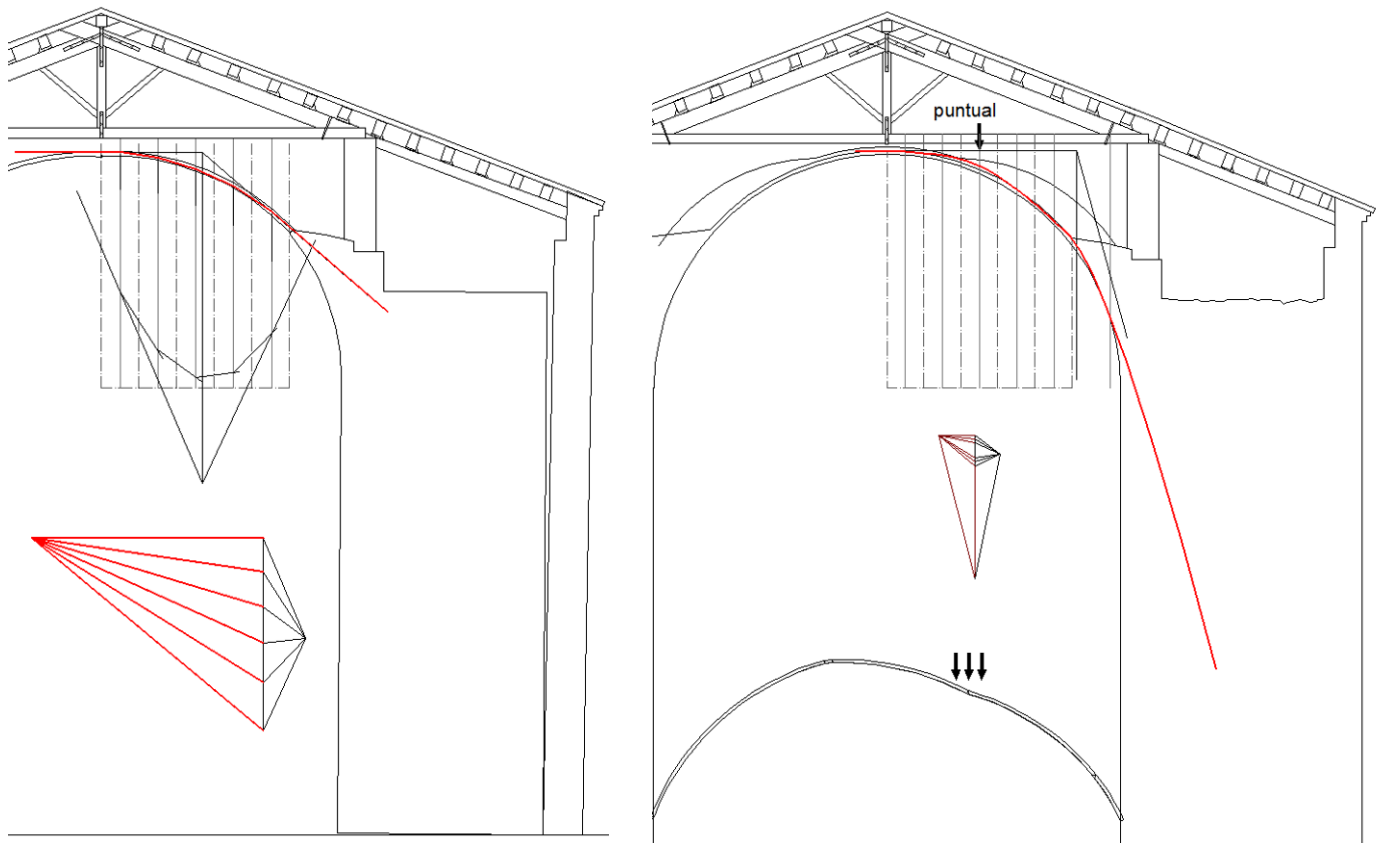
### Seguretat de les voltes i arcs de la nau central

Les voltes de la nau central són de canó amb llunetes. Aquestes voltes també es poden analitzar com si es tractés d'una volta d'aresta. També pel mètode dels talls, o com en aquest cas, com una volta de canó, ja que les llunetes són molt estretes i no abracen tota l'amplada de la crugia. Aquesta opció és la que va més a favor de la seguretat, ja que segons Fray Lorenzo, les llunetes rigiditzen i donen seguretat a les voltes de canó, i és el que s'ha emprat.

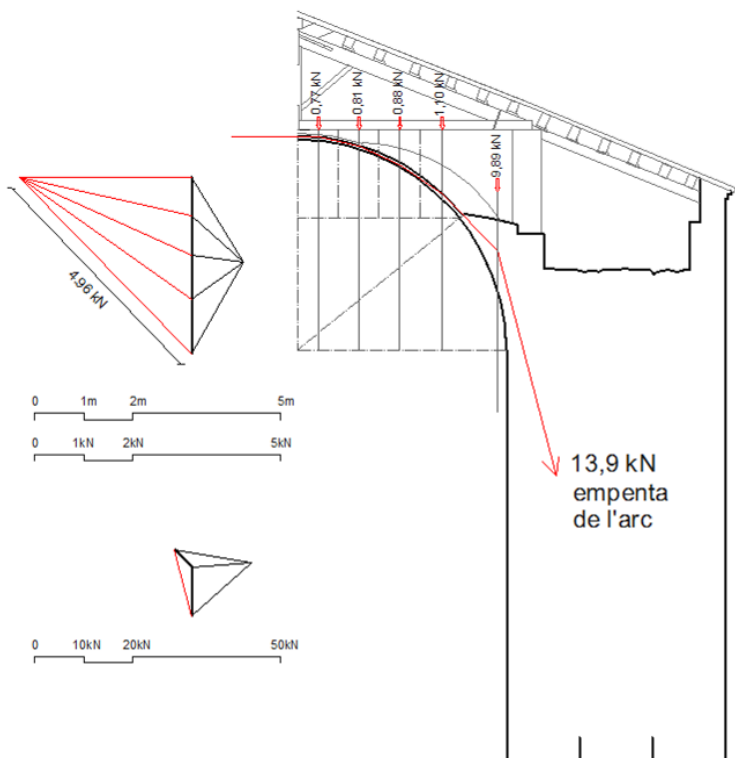


**Fig.20** Esforços a través dels elements estructurals.





**Fig.21** Seguretat de l'arc.



Es realitza el càlcul per a l'arc deformat i l'arc sense deformat. També per la volta deformatada i sense deformat. Els resultats dels càlculs apunten que les voltes i els arcs deformats són estables (hi a una línia de pas de pressions) però estan molt al límit.

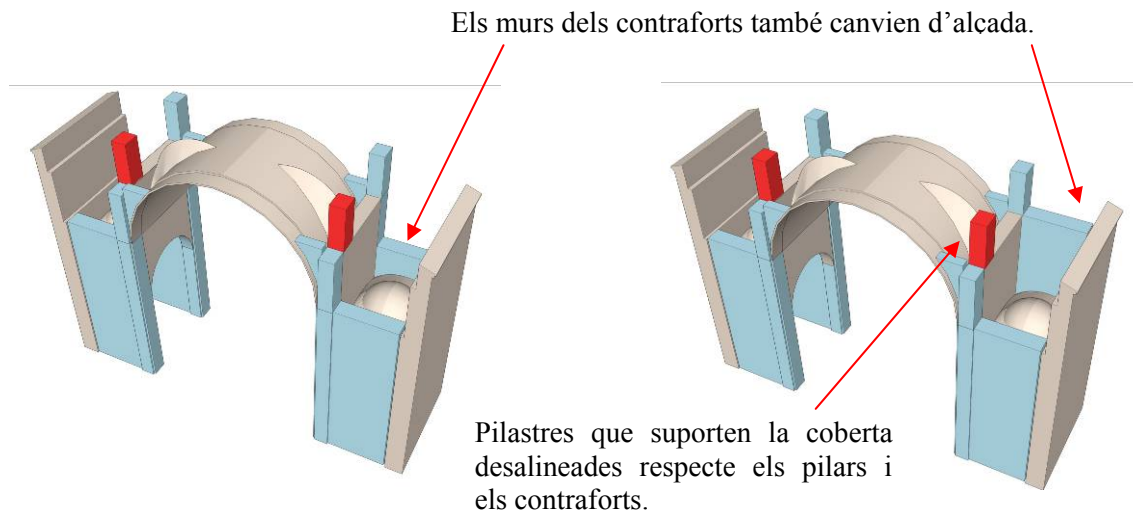
Les deformacions semblen produïdes per les modificacions de la coberta i l'entrada d'aigua, així com el possible moviment dels suports.

Els arcs i voltes més deformatats (3 i 4), es corresponen amb les dues encavallades que són diferents que la resta, fet que apunta la possibilitat que fos justament en aquesta zona on la coberta va patir més lesions i/o modificacions.

Els càlculs s'han realitzat sempre amb la secció més desfavorable.

**Fig.22** Seguretat de l'arc.

D'altra banda, les modificacions de la coberta realitzades (punt 3) van desplaçar les càrregues de la coberta respecte la vertical dels pilars, fet que podria fer pensar en un possible estat de desequilibri causat per la mala col·locació dels pesos.



**Fig.23** Excentricitats



**Fig.24** Excentricitats

S'observen pilastres col·locades en zones on no hi haurien de ser, i pilastres descentrades respecte la línia de contraforts i arcs, i per tant, respecte els pilars.

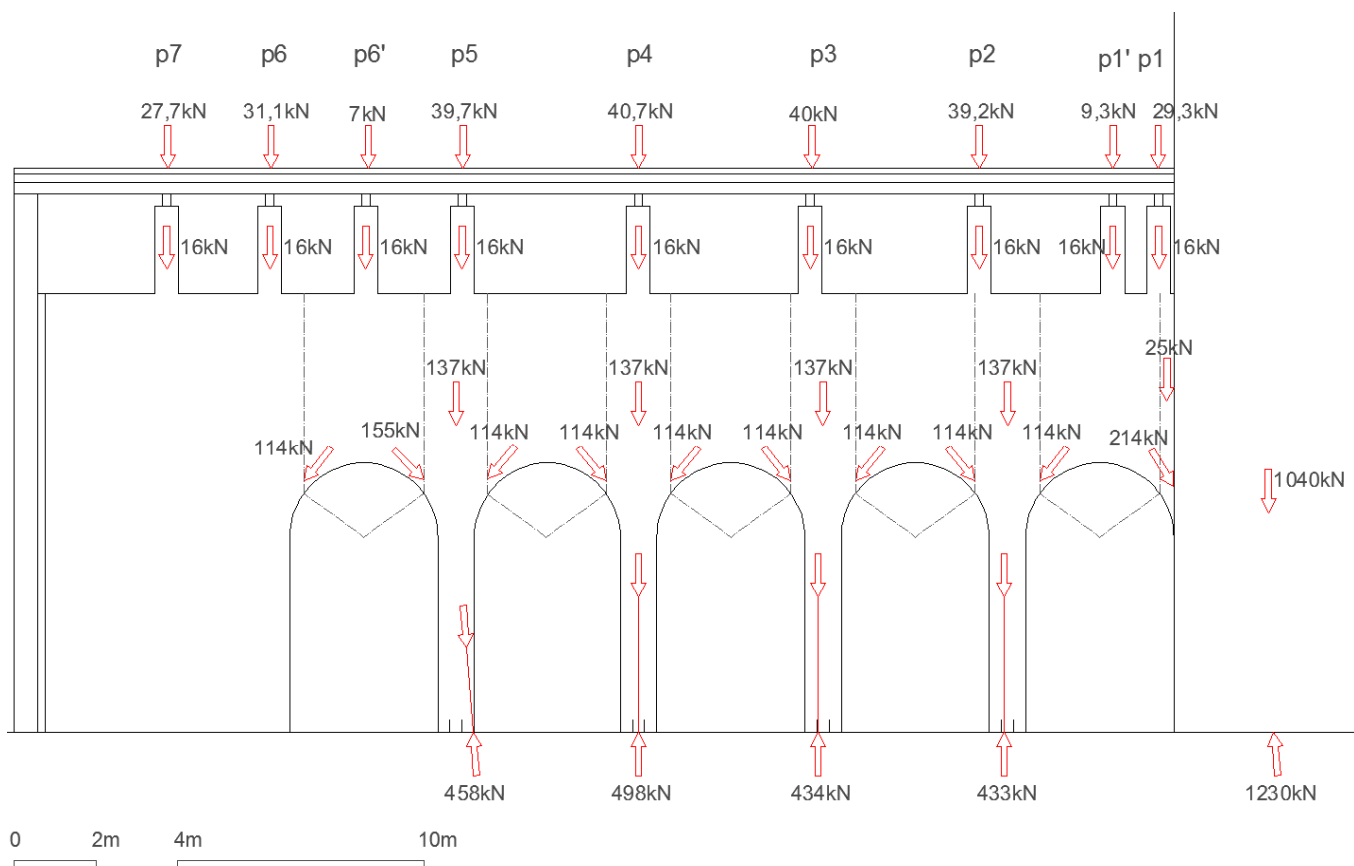
Es realitza una comprovació de la secció longitudinal per tal d'establir la seguretat de l'església malgrat la col·locació de les pilastres descentrades.

S'observen pilastres col·locades en zones on no hi haurien de ser, i pilastres descentrades respecte la línia de contraforts i arcs, i per tant, respecte els pilars.

Es realitza una comprovació de la secció longitudinal per tal d'establir la seguretat de l'església malgrat la col·locació de les pilastres descentrades.

S'observa com en la majoria dels casos el desplaçament afecta molt poc la resultant, quedant dins el terç central de la secció del pilar. És evident que la col·locació descentrada de les pilastres no és la idònia. Per això tot projecte de reparació de la coberta hauria de preveure una recentralització dels esforços, almenys eliminant les pilastres que tant sols sostenen part de la coberta de la zona de les naus laterals, ja que són les excentricitats més fàcils de reparar (canviant les biguetes malmeses d'aquest tram de coberta seria suficient) i són les que perjudiquen més el descens correcte de càrregues.

S'observa com al pòrtic 5 (p5) la càrrega arriba molt al límit de la secció de l'estrep, cal dir però que després de realitzar els càlculs pertinents s'ha comprovat que l'empenta dels arcs i les voltes és molt petita, en comparació amb el pes dels grans murs que fan de contrafort. Per tant, aquesta distribució irregular dels pesos podria esdevenir causa de lesions en una església amb uns contraforts menys massius (com per exemple una església de saló), però no tant en aquesta església que ens ocupa. Tot i així, caldria eliminar les excentricitats més evidents i fàcils de solucionar, que són les causades per les pilastres que recolzen sobre la clau dels arcs.



**Fig.25** Esforços en la secció longitudinal.

S'observa com al pòrtic p5 l'excentricitat de la càrrega surt del terç central. Cal tenir present que el càlcul és il·lustratiu, i que cal un càlcul afinat en fase de projecte. Tot i així s'evidencia que les càrregues en la clau dels arcs o molt properes, són les que caldria eliminar.

Finalment cal comentar que sembla que algunes encavallades hagin estat disminuïdes per sota, com intentant evitar que recolzessin sobre els arcs i voltes, això confirmaria la hipòtesi que principalment el mal estat de la coberta va produir les lesions a les voltes i els arcs.

Tant les voltes com els arcs de la nau central són molt primos (dos gruixos de rajols doblada), uns 6cm. Es comprova la seva esveltesa, però cal evitar els pesos mal col·locats. La deformació de les voltes s'ha mesurat d'acord amb les dades extretes des de l'extradós:



**Fig.26** Encavallades “retallades”.

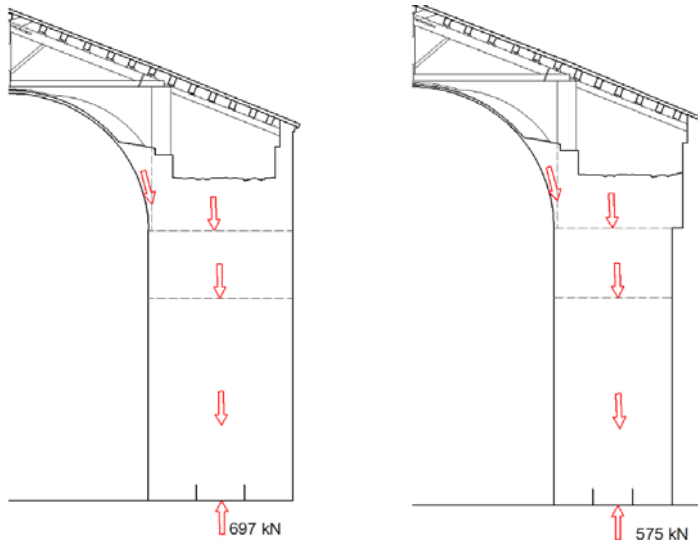
Encavallades escapçades. Possiblement van deformar recolzant sobre la volta i/o arcs, produint deformacions no desitjades.



**Fig.27** Apuntaments de les bigues sobre les voltes i separació de la volta respecte l'arc des de l'extradós, a causa de la deformació més pronunciada de l'arc.

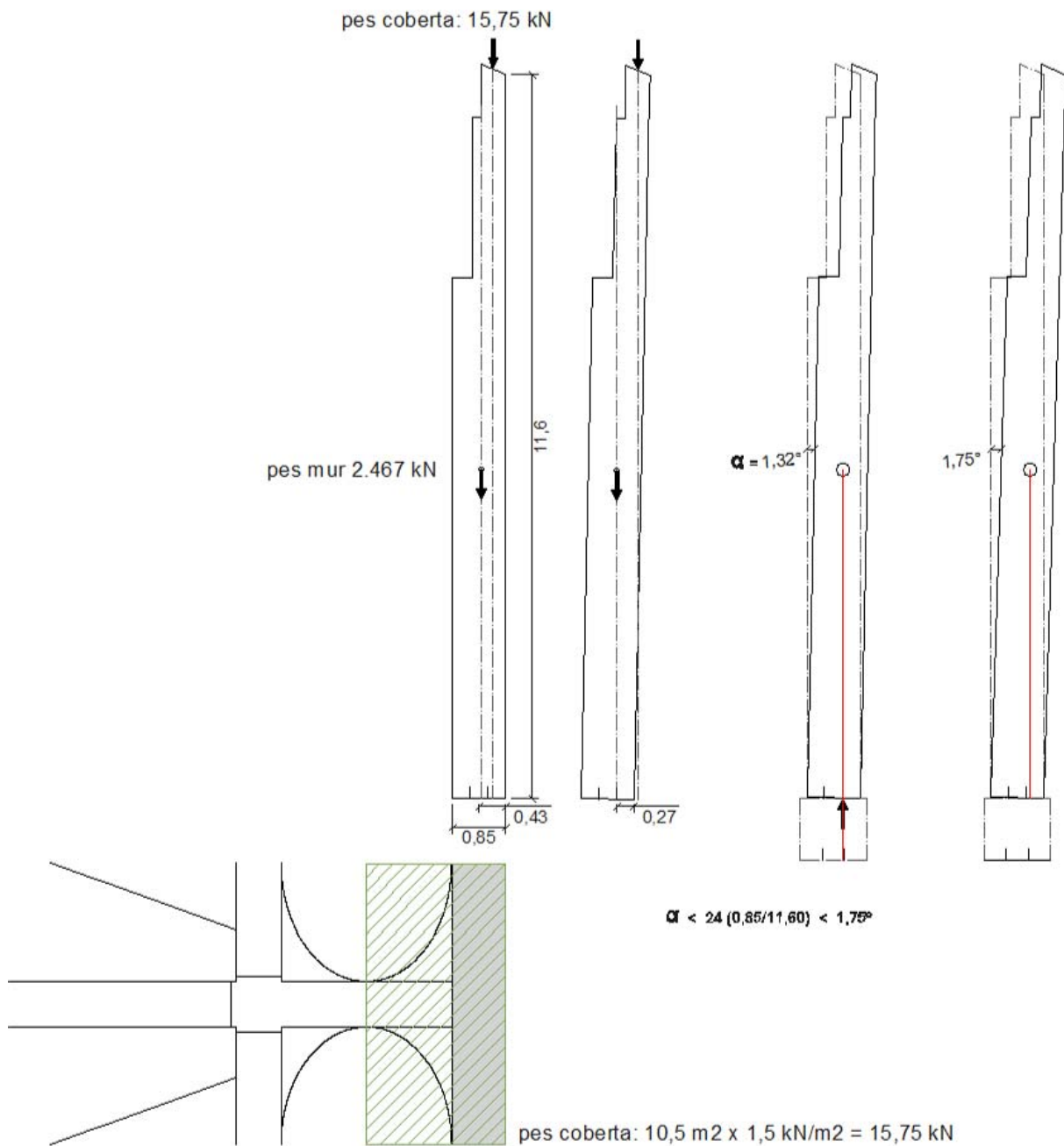
A la Figura 27 a la fotografia de l'esquerra s'observa el pòrtic p7 que aguanta el pes de la coberta sobre l'arc de maó pla. Cal realitzar càlculs sobre aquesta solució que sembla desencertada, tot i que la càrrega està repartida. A la fotografia de la dreta s'observa el gruix de 6cm de la volta de "rajola doblada".

*Seguretat dels estreps i dels murs de tancament*



**Fig.27** La figura mostra com la resultant sempre es troba dins el terç central, assegurant l'estabilitat dels estreps.

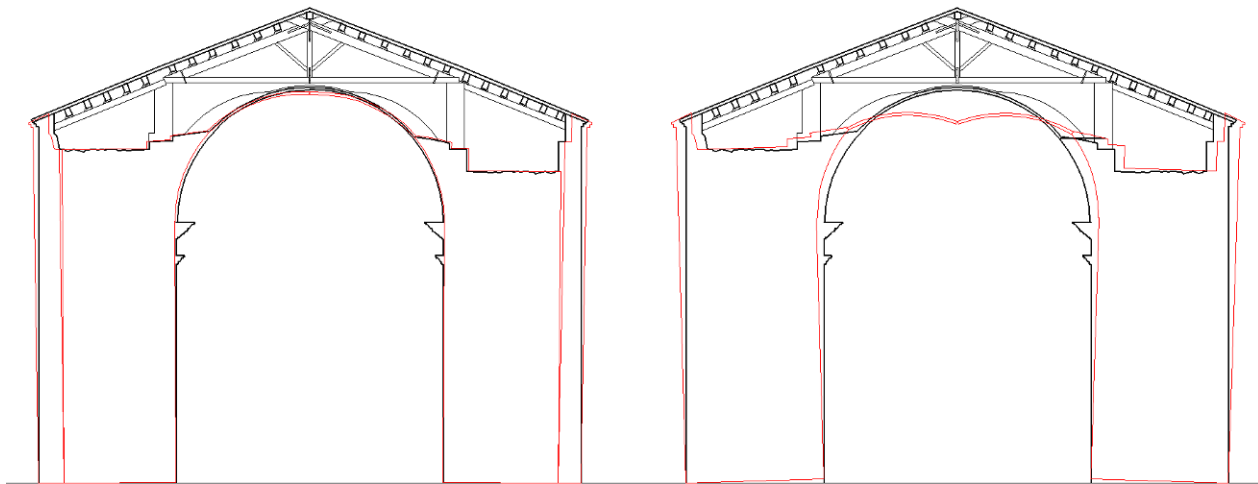
Cal tenir present que segons Fray Lorenzo, per a les voltes de rajola doblada, calia un estrep de 1/4 de la llum de la nau central per a assegurar l'estabilitat del pòrtic. En aquest cas la llum de la nau central és de 8,5 m, mentre que l'estrep fa 4,4 m (estrep + mur) o 3,5 m (estrep). Es tracta d'una relació de L/2 i L/3 respectivament, i per tant, molt segura.



**Fig.28** Seguretat dels murs

Els murs de tancament, en el punt més desfavorable s'obren 1,32°, estan lluny dels 1,75° de desplaçament límit segons Heyman (Heyman, 1995).

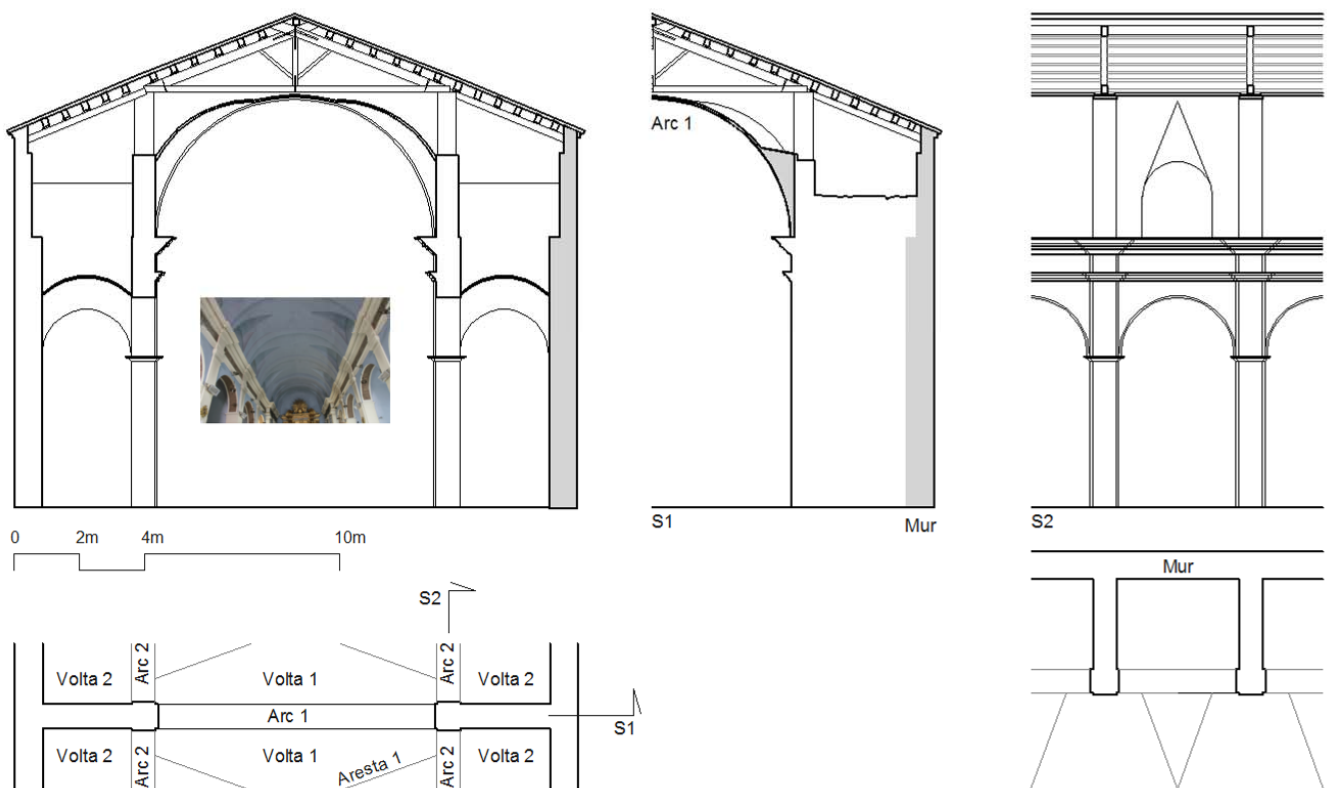




**Fig.29** Deformacions

En vermell deformació actual suposada, ja que no es disposa dels desplaços (esquerra) i deformació límit segons càlculs(dreta).

Geometria del tram de la nau que es vol comprovar.  
Identificació dels elements que componen l'estructura.



**Fig.30** Geometria

#### 4.7.4 Hipòtesis de l'origen de les lesions i conclusions

- Els murs de les façanes laterals estan deslligats de la resta de murs del temple, tant sols estan lligats per les testeres. Per a confirmar aquesta hipòtesi que és del tot visible des de l'extradós de les naus laterals, caldria realitzar una cata a l'interior de l'església, a l'encontre d'aquests murs de tancament amb els estreps i les voltes. També caldria col·locar fissuròmetres per a assegurar que el mur no es segueix movent. En cas de moure's caldria actuar.
- L'esveltesa d'aquests murs de tancament fa que un cop deformats la resultant del seu pes sobresurti lleugerament del seu terç central, això fa que, si el terreny no és gaire bo, o si hi ha excavacions subterrànies (criptes) que poden afectar els murs, aquests iniciïn un bolcament. Per això els fissuròmetres permetran conèixer l'estabilitat del mur. En cas de no ser estable caldria un projecte que definís l'actuació a realitzar-
- Els arcs i voltes 3 i 4 de la nau central estan molt deformats, s'aprecia molt bé a simple vista. Precisament aquests arcs i voltes es corresponen amb els pòrtics on els cavalls de coberta són diferents que a la resta de l'església, fet que corrobora que la seva deformació està causada principalment per les insuficiències de la coberta en aquestes zones (recolzament d'elements de coberta a causa del seu mal estat, reparacions diverses, entrada d'aigua, deterioraments). Aquests arcs i voltes són de rajola doblada de 6cm de gruix. La pèrdua evident de geometria compromet el seu correcte funcionament i per tant, la seva estabilitat.
- El fet que les pilastres de coberta estiguin descentrades respecte els arcs no afecta de manera rellevant l'estabilitat de l'església. Sí que les pilastres més descentrades respecte l'eix del pòrtic (p1' i p6') donen excentricitats més rellevants, però també són les més fàcils d'eliminar, ja que tant sols caldria substituir les biguetes malmeses de la part de la coberta damunt les capelles laterals on s'han col·locat aquests recolzaments.
- Les voltes de mocador de les naus laterals són segures, però cal evitar que hi entri l'aigua.
- El campanar es troba en mal estat a causa de la pèrdua de morter entre juntes de peces, el fet que hi hagi plantes i ocells no afavoreix la seva estabilitat. Cal rejuntar amb morters adequats per a evitar qualsevol despreniment que si bé no tindria afectacions estructurals si que pot afectar greument els vianants.

- Caldria refer les voltes 3 i 4 i els arcs 3 i 4, potser també l'arc 2 (cal un projecte que ho comprovi i ho avaluï), ja que s'hauria de recuperar la geometria d'aquests elements per a assegurar la seva estabilitat.
- Cal verificar que els murs laterals no es segueixen desplomant. La reparació que es dugué a terme el 2015, i on es van enguixar i pintar algunes capelles laterals, servirà de testimoni per a saber si els murs es segueixen desplomant, en cas que tornin a aparèixer les esquerdes. Tot i així seria convenient col·locar alguns fissuròmetres. Caldria un aixecament topogràfic per a saber quins són exactament els desploms dels murs.
- Tot projecte ha de verificar que l'arc del pòrtic p7 pot sostenir la coberta tal com ho està fent actualment amb els puntals de fusta col·locats.
- Cal reparar la coberta per a evitar l'entrada d'aigua i coloms però permetent que ventili.
- Cal una neteja del sota-coberta.

volta 8

volta 7

volta 6

volta 5

volta 4

volta 3

volta 2

volta 1



## 4.8 Església de Sant Sadurní de Fonollet

L'església de Sant Sadurní de Fonollet es una església romànica d'una sola nau datada dels segles IX-XII (segons fitxa de catàleg). Està coberta amb volta de canó apuntada i coronada per un absis situat a est. Bona part de la construcció queda coberta per altres de posteriors que en desfiguren la volumetria exterior. La façana d'accés està coronada per un campanar d'espada, i existia un comunidor que cap al 1980 es va eliminar. Als peus de l'església, a l'interior, hi ha un cor construït amb una volta rebaixada de maó pla.

Actualment l'església presenta esquerdes i desploms, més acusats a la zona dels peus de l'església i que s'aprecien a simple vista. El mur de la façana d'accés es troba clarament desplomat cap a l'exterior; i a l'interior la volta de canó apuntada presenta deformacions i el cor s'ha esquerdat per diversos punts i ha perdut la geometria original.

L'Ajuntament ha decretat clausurar el temple per perill imminent de ruïna.

El present apartat té com a objectiu realitzar un estudi sobre l'estabilitat de l'església que permeti:

- Entendre l'origen de les lesions
- establir la seguretat del temple
- proposar possibles intervencions que millorin l'estabilitat de l'església.

Per a realitzar aquest estudi s'aplica la teoria de l'Anàlisi Límit d'Estructures de Fàbrica desenvolupat per Heyman (Heyman 1966, 1969, 1995, 1999).

### 4.8.1 Recerca històrica d'actuacions

El terme de Fonollet ja apareix citat el 983, però la primera notícia documental de l'existència de l'església és de l'any 1167. L'església era sufragània de Sant Miquel de Puig-reig, al XVIII passà a ser parròquia i el 1909 va ser elevada a filial de Casserres.

*“La prosperitat econòmica i el creixement demogràfic de Catalunya al s. XVIII es feren sentir també al Berguedà. Masies i masoveries, pobles en creixement i molta activitat agrícola i ramadera propiciaven el reviscolament de les comunitats rurals.*

*Aquesta situació fou molt evident al nucli de Fonollet on les masies es reformaren i ampliaren i es construïren masoveries; aquest augment demogràfic propicià la reforma de l'església i la seva conversió en parròquia.*

*A l'arxiu parroquial de Puig-reig es conserva un llibre de Visites Pastorals d'Anton Larrull, prior de l'Ordre Militar de l'Hospital que porta la data de 1745". (Rosa Serra Rotés, 2008, <http://www.fonollet.net/historia.htm>)*

A manca d'un estudi històric, el present apartat es basa en la recerca realitzada pels a l'Arxiu Diocesà de Solsona, l'Arxiu parroquial de Puig-reig, l'Arxiu parroquial de Casserres i a l'Arxiu Gavín.

Cal dir que per a la realització d'un estudi estructural acurat, seria necessari disposar d'un estudi històric que permetés, per exemple, datar el cor. Com que no es disposa d'aquest estudi, es parteix de la pròpia recerca realitzada i de les conjetures que se n'extreuen. Partint de les dades obtingudes és possible afirmar que molt probablement el cor dati del segle XVIII.

S'exposen les dades obtingudes útils per a la redacció del present informe i es realitza una conjectura de la possible evolució cronològica en els canvis de l'estructura del temple basada en aquestes dades i complementada amb la literatura de diversos historiadors.

La relació cronològica i les conclusions extretes són les següents:

*1750*

Es realitzen càntics a l'església que disposa d'orgue: Els orgues es situaven en cors elevats.

*21 de febrer de 1911*

Demanen construir la parròquia on hi havia hagut el cementiri. Perque "hace diez o doce años no se ha sepultado": El cementiri estava situat a sud (com en els temples pre-romànics)

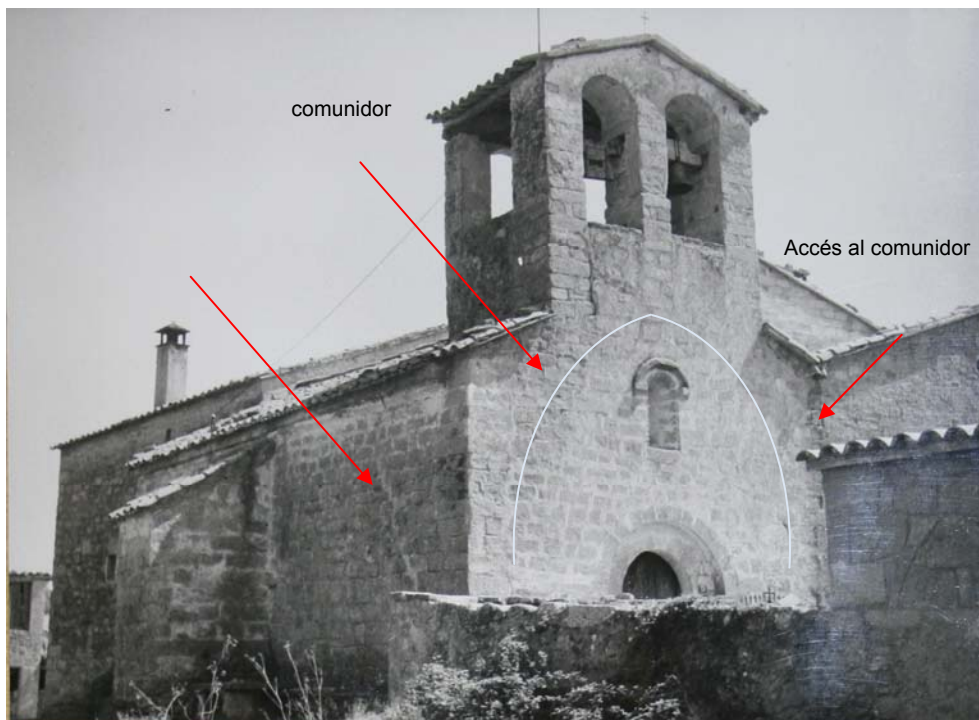
*Setembre de 1946*

Descripció de l'església on explica que "Hay un coro en la entrada de la iglesia en forma de tribuna": primera menció explícita que s'ha trobat de l'existència del cor.

*1960 Arxiu Gavín.* S'observa que existia el comunidor, i que ja es marcaven les esquerdes de la façana nord i de la façana oest. L'accés al comunidor es feia a través del volum situat a sud. Ja existia la parròquia annexada a sud i la masia annexada a est.

Les esquerdes en façana semblen marcar el traçat de la volta interior. També s'observen moltes humitats als murs de pedra tocant a la coberta, amb molta salinització.





**Fig.1** L'església el 1960

La construcció i posterior enderroc del comunidor evidencia les diverses modificacions en coberta amb la conseqüent entrada d'aigua.



**Fig.2** L'església el 1967

*1967 Arxiu Gavín.* Encara existia el comunidor.



**Fig.3** L'església el 1977

*1977 Arxiu Gavín.* Encara existia el comunidor. Es segueixen marcant clarament les esquerdes a les façanes oest.



**Fig.4** L'església el 1983

*1983 Arxiu Gavín.* Ja no existia el comunidor. Es marca un arrebossat bast a la zona on apareixen sempre més humitats, coincidint amb el traçat de la volta de pedra interior.

S'observen les humitats provocades pel desguàs que banya directament la pedra a la cantonada sud-oest de la façana principal.

Es marca la zona on es va despendre part de la façana a causa de les humitats (Figura 4). (Possiblement quan van eliminar l'accés al comunidor).



**Fig.5** L'església el 1980

Catalunya romànica, 1980. S'observen les esquerdes ja mencionades, el comunidor i l'accés.



No s'aprecia tanta deformació de la barana com actualment, per tant tampoc del cor.

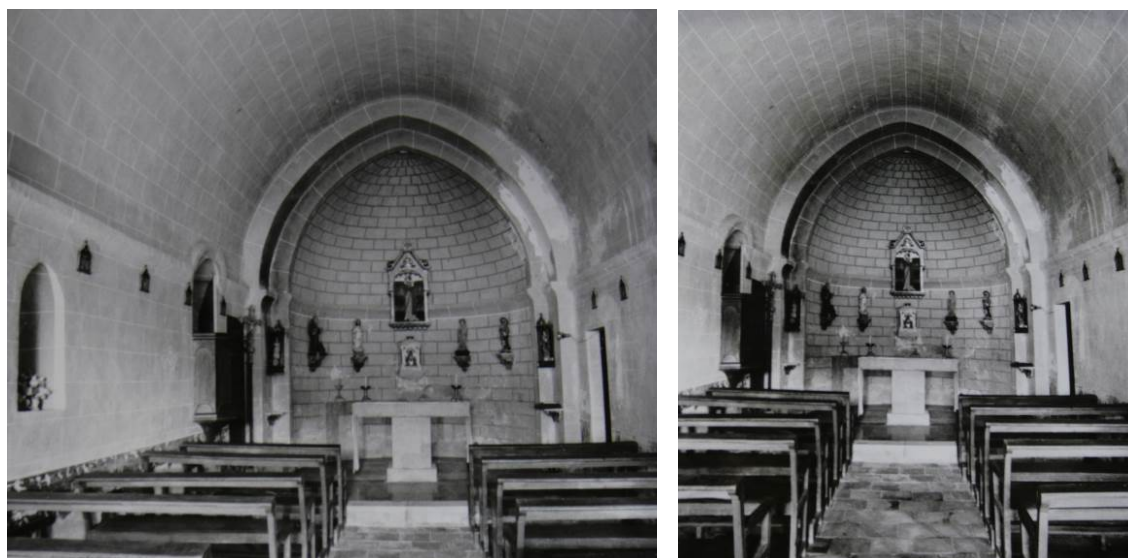
Ja hi ha humitats en aquesta zona coincident amb la concentració d'aigua exterior.

**Fig.6** L'església el 1983



1983. Arxiu Gavín. Malgrat les fotografies són una mica borroses, s'aprecia que el cor no està tant deformat i les esquerdes no semblen tant marcades com actualment.

Si que sembla apreciar-se una lleu deformació just a l'accés, precisament on actualment està més deformat el cor. Aquesta zona es correspon amb la sònia de la volta de la nau on realitzant una cata s'ha trobat un forat (veure Figura 9) d'uns 40cm d'amplada i llargada de mitja volta que s'havia tapat amb rajoles de maó i que servia per a passar les cordes de les campanes que hi havia hagut al campanar. Per tant, en aquesta zona la volta no carrega, debilitant-se encara més la cantonada, a causa de la manca de pes però alleugerint l'empenta.



**Fig.7 i 8** L'església el 1983

Figures 7 i 8. Les dues imatges mostren que l'església el 1983 no estava esquerpada. El cor apareix en tots els interiors, però com s'ha vist no s'han aconseguit dades concretes de la seva construcció.

El fet que el cor estigui construït amb volta a la catalana (a la manera pròpia del XVIII), que a mitjans del 1700 s'esmenti en diverses visites pastorals l'existència d'un orgue a l'església (generalment es situava sobre el cor), també que fos durant el XVIII quan s'esdeingué l'elevació de l'església de Fonollet a parròquia, i la prosperitat econòmica del segle XVIII; semblen indicar que efectivament amb molta probabilitat el cor sigui barroc. Diversos historiadors consultats apuntaven la veracitat d'aquesta hipòtesi. Tot i així, caldria un estudi històric que ho avalés.

D'acord amb la literatura existent de diversos historiadors, cal remarcar diverses sites, com per exemple Manuel Arranz (L'arquitectura religiosa a Barcelona en el segle XVIII, 2016, p.35) destaca que durant el setcents la construcció de cors elevats sobre els portals d'entrada, era una actuació que formava part de programes de modernització de les esglésies.

“En temples anteriors, construcció de cors elevats sobre els portals d’entrada situats a les façanes principals, que uns cops compleixen la funció de cor d’una comunitat religiosa i uns altres s’utilitzen per col·locar-hi un orgue”. (Manuel Arranz, 2016, p.37). Amb tot, no s’ha trobat cap document que explícitament manifesti que existia un cor a l’església abans de 1954, on una visita pastoral l’esmenta.

#### **4.8.2 Geometria del temple i lesions**

S’estudien els moviments que han originat les lesions d’esquerdes i desploms a la zona dels peus de l’església. Es parteix de l’aixecament topogràfic efectuat per l’empresa TAUP.

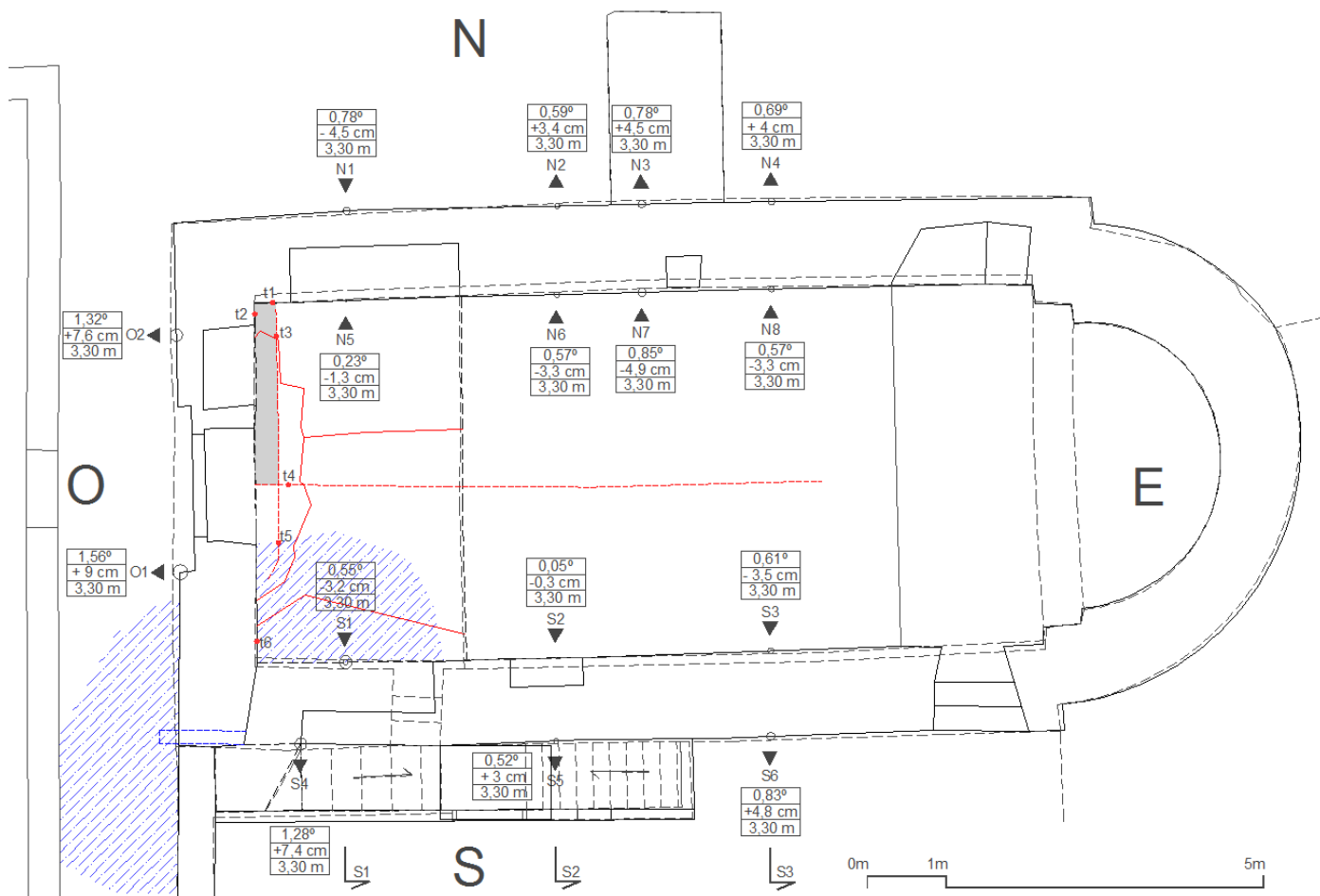
L’aixecament ha proporcionat seccions transversals i una secció longitudinal, a més de plantes i alçats. A les Figures 9, 11, 12 I 13 següents es mostren els desploms de les diverses seccions proporcionades i s’observen les deformacions principals.

A la Figura 12 es realitza la restitució de la geometria original s’observa que la secció de la nau de l’església romànica segueix les regles del gòtic.

Éssent una església romànica és impossible que s’apliqués una regla que forma part de la tradició constructiva de quatre o cinc segles posteriors. Els mestres de cases gòtics construïen murs més estrets per a suportar voltes de creueria, l’empenta de les quals és inferior a l’empenta de les voltes de canó romàniques. Que els murs de l’església compleixin una regla pensada per a suportar l’empenta d’unes voltes més lleugeres no indica que s’apliqués cap regla gòtica per al seu disseny, ja que això seria impossible, però si que indica que el gruix dels murs està mal dissenyat.

Segons Fray Lorenzo (1595-1679), murs que suporten les voltes gòtiques han de mesurar  $\frac{1}{4}$  de la llum, però es tracta de voltes de creueria, l’empenta de les quals és molt diferent que la de les voltes de canó. La llum de l’església és de 4,57m, donant un gruix de mur de 1,14 m (els murs de l’església mesuren 1,12-1,09m), en canvi, tal com apareix en el tractat de Fray Lorenzo (Fray Lorenzo de San Nicolàs, 1639) per una volta de canó, encara que sigui apuntada, el gruix del mur que la sosté hauria de mesurar  $\frac{1}{3}$  de la llum, això són 1,52 m.

Per tant, s’observa que d’inici sembla haver-hi un problema de disseny de l’estructura. Els càlculs, tal com es veurà, així ho corroboren, i el fet que es construís un contrafort de dimensions considerables al centre de la façana oest, fa pensar que el problema de la manca de secció dels murs ja es va detectar pràcticament d’origen. Les cotes dels desploms són mesurades a una alçada de 3,30m, la zona de major desplom és la cantonada sud-oest i tota la zona de la façana oest.



**Fig.9** Planta amb els desplaços.

La planta marca els desplaços principals. També la zona de fortes humitats que es correspon amb la canal exterior que aboca l'aigua directament al paviment. En aquesta zona el paviment es troba molt degradat tant a l'exterior com a l'interior del temple. Cal reconduir aquesta aigua perquè està afectant el mur de façana.

	desplom	graus		desplom	graus
Oest 1	+ 9,00 cm	1,56°	Nord 7	- 4,90 cm	0,85°
Oest 2	+ 7,60 cm	1,32°	Nord 8	- 3,30 cm	0,57°
Nord 1	- 4,50 cm	- 0,76°	Sud 1	- 3,20 cm	0,56°
Nord 2	+ 3,40 cm	0,59°	Sud 2	- 0,30 cm	0,05°
Nord 3	+ 4,50 cm	0,78°	Sud 3	- 3,50 cm	0,61°
Nord 4	+ 3,30 cm	0,60°	Sud 4	+ 7,40 cm	1,28°
Nord 5	- 1,30 cm	0,23°	Sud 5	+ 3,00 cm	0,52°
Nord 6	- 3,30 cm	0,57°	Sud 6	+ 4,80 cm	0,83°

**Fig.10** Relació de desplaços i graus d'obertura.



A la Figura 9 també es marquen en vermell les esquerdes del cor (línia contínua) i les de la volta de la nau (discontínua). Els punts t1, t2, t3, t4, t5 i t6 marquen els testimonis de guix que s'han col·locat. La zona ombrejada en gris indica el forat existent a la volta de pedra, que es va tancar amb rajols de maó, i que havia servit per a fer passar les cordes de les campanes.

S'observa que els majors desploms es situen al mur de la façana oest. També hi ha desploms dels murs a l'alçada de l'arrancada de la volta de pedra que han ocasionat el descens de la clau de l'arc. Aquests desploms són naturals i inevitables.

La fàbrica és un material que no resisteix traccions i les esquerdes són quelcom natural. Les fonamentacions antigues pateixen esforços que no estan centrats a causa de l'empenta de les voltes i això condueix a petits assentaments diferencials que condueixen a desploms de murs i estreps.

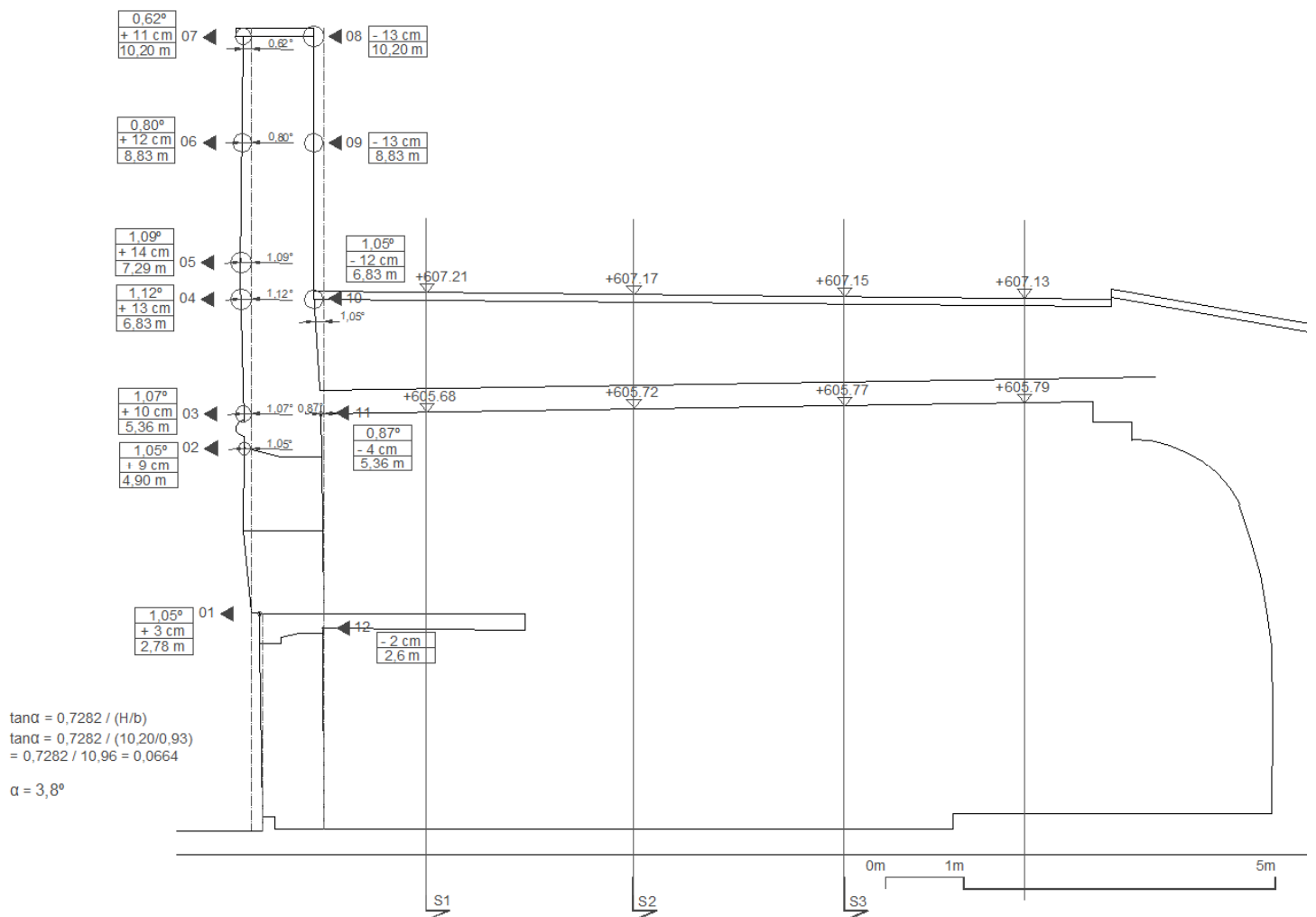
S'estudia l'estabilitat del mur de façana que a simple vista s'aprecia desplomat cap a l'exterior (Figura 11). Es comproven els desploms. Aquests desploms s'aprecien a simple vista. L'estabilitat de murs i torres inclinats ha estat estudiat per Heyman (1992, 1995). Per a un mur massís d'alçada  $H$  i gruix  $b$ , la inclinació límit ve donada per la següent expressió:

$\tan \alpha = 0.7282/(H/b)$                       Es demostra que aquests desploms de façana són irrellevants.

El fet però és que han arrossegat una part del cor i la volta amb ells. S'han creat esquerdes del mur i de Sabouret en aquesta zona. La major part de les deformacions són pel lleuger sediment del sistema que contraresta.

Com es veurà això no ha reduït dramàticament l'estabilitat de la volta del cor, dempeus de fa més de 2 segles, ni la volta de la nau que en porta molts més. El mur de la façana principal s'ha separat del casc de la volta, uns pocs centímetres que es poden mesurar (uns 2cm). En efecte, el mur de façana s'ha endut un fragment de volta principal i de volta del cor produint esquerdes i dislocacions de pedres i maons.

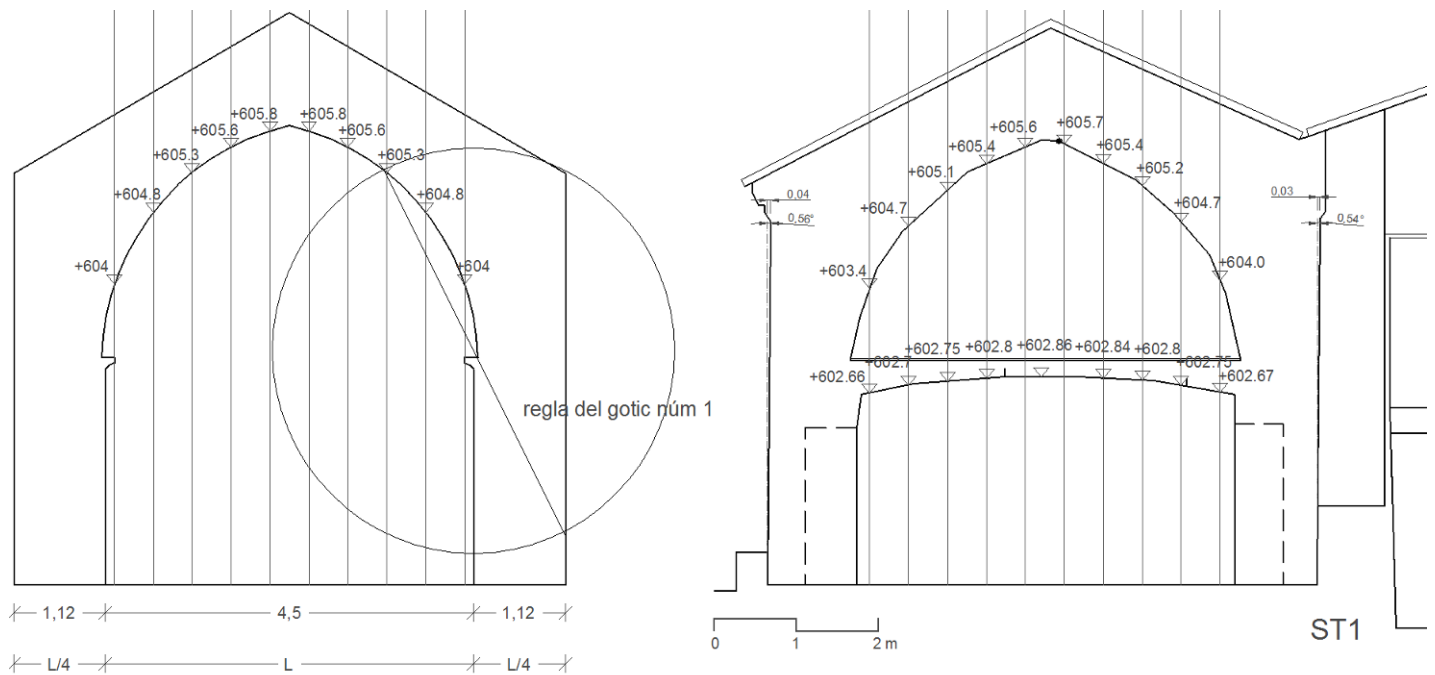
La volta de canó també ha experimentat un descens a la zona oest. Aquesta zona coincideix amb la de coberta que ha patit més modificacions (comunidor, campanes,...), també és la zona que es correspon amb el tancament de la façana oest, que pateix i ha patit fortes humitats.



**Fig.10** Desploms del mur de façana nord i deformació longitudinal de la volta de la nau.

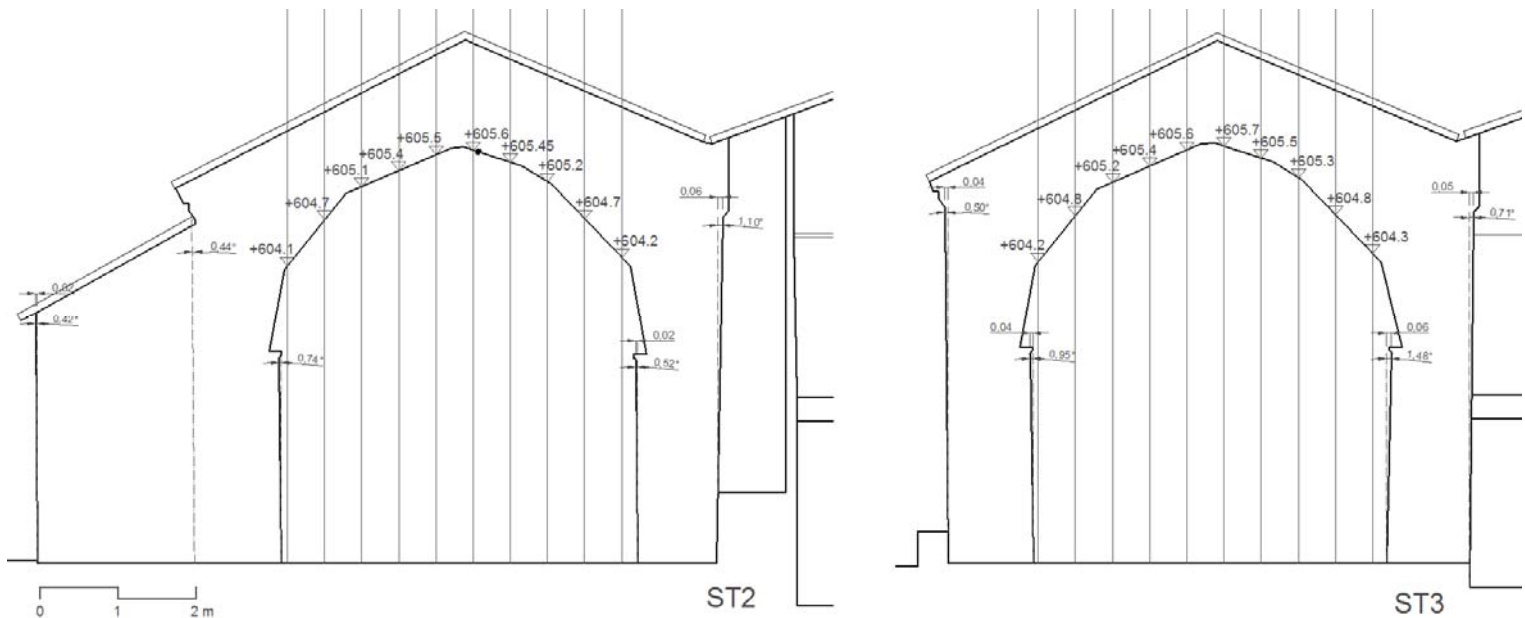
Es calcula la seguretat del mur desplomat segons la fórmula proposada per Heyman (Heyman 1995), s'observa que malgrat el desplaçament el grau de seguretat encara és molt elevat. L'angle límit seria  $3,8^\circ$  i en canvi l'angle màxim de desplaçament del mur actual és de  $1,09^\circ$ .

S'estudien els moviments que han originat les esquerdes. A partir de l'aixecament topogràfic realitzat per l'empresa Taup, es mostren els desplaçaments a l'alçada de la imposta.



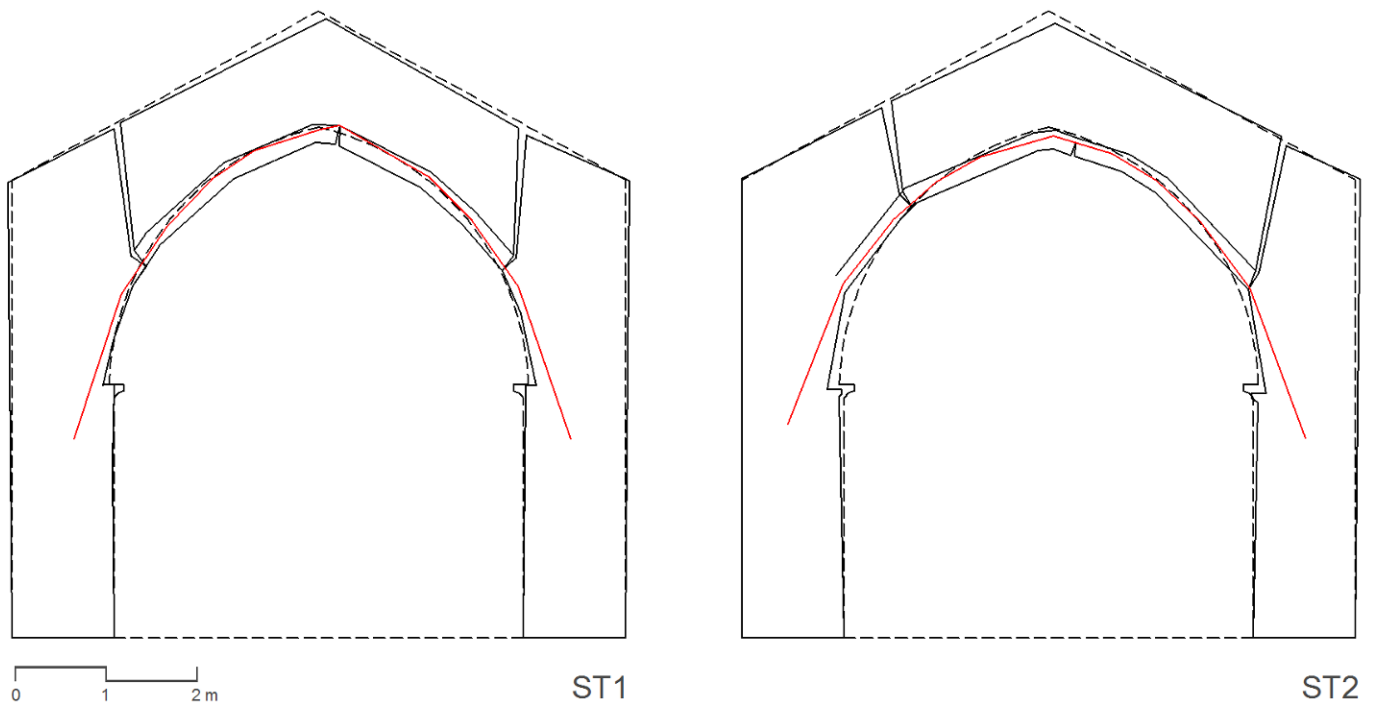
**Fig.12** Secció tipus sense deformar i deformacions (dreta).

Figura 12. A l'esquerra secció tipus sense deformar. Compleix la regla del gòtic número 1 (Huerta, 2004, p.136) i el gruix s'aproxima a 1/4 de la llum (Fray Lorenzo de San Nicolás, 1639).



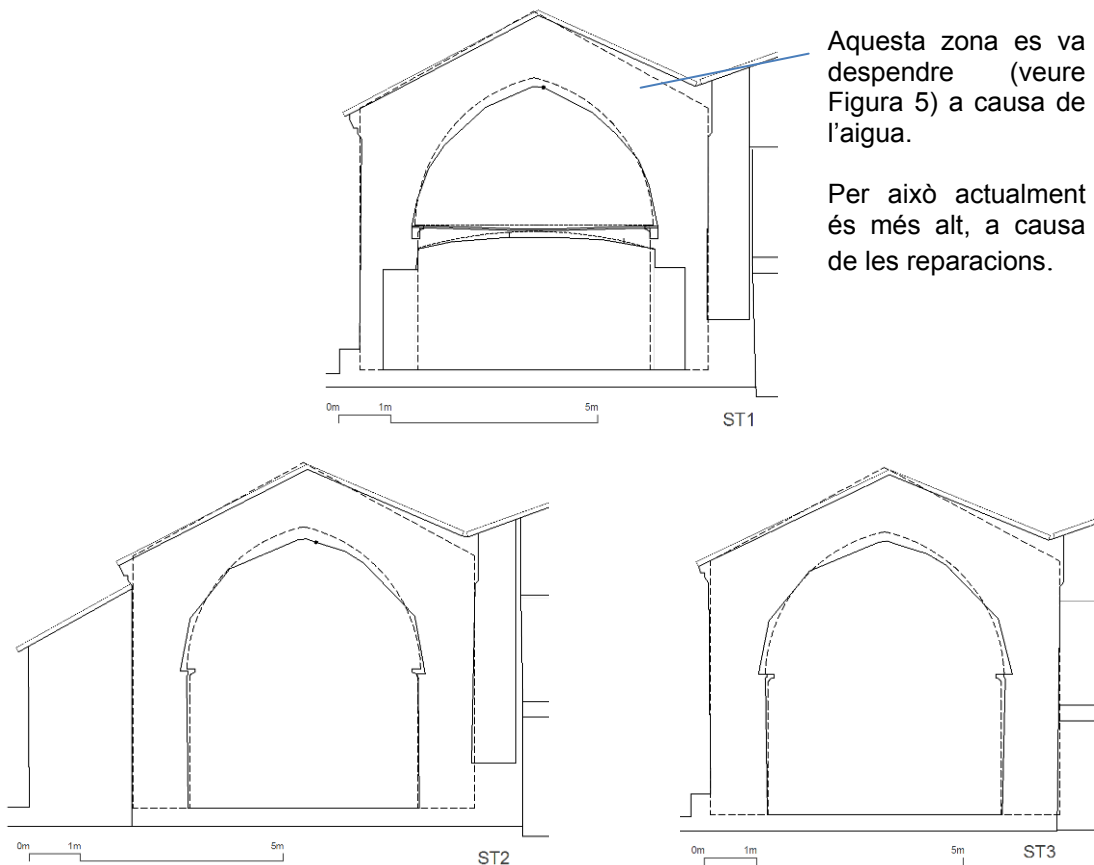
**Fig.13** Deformacions de les seccions.

Figura 13. Obtenint la línia d'empentes mínima per a les seccions deformades es localitzen les ròtules que permeten el moviment de la volta en cedir els estreps. La Figura X mostra la deformació corresponent respecte la geometria ideal sense deformar per a les seccions ST1 i ST2.



**Fig.14** Equilibri de la volta.

Figura 14. Dibuix de la volta sense deformar (en discontinua) i dibuix de la secció deformada considerant les ròtules obtingudes d'acord amb la línia d'empentes (en vermell).

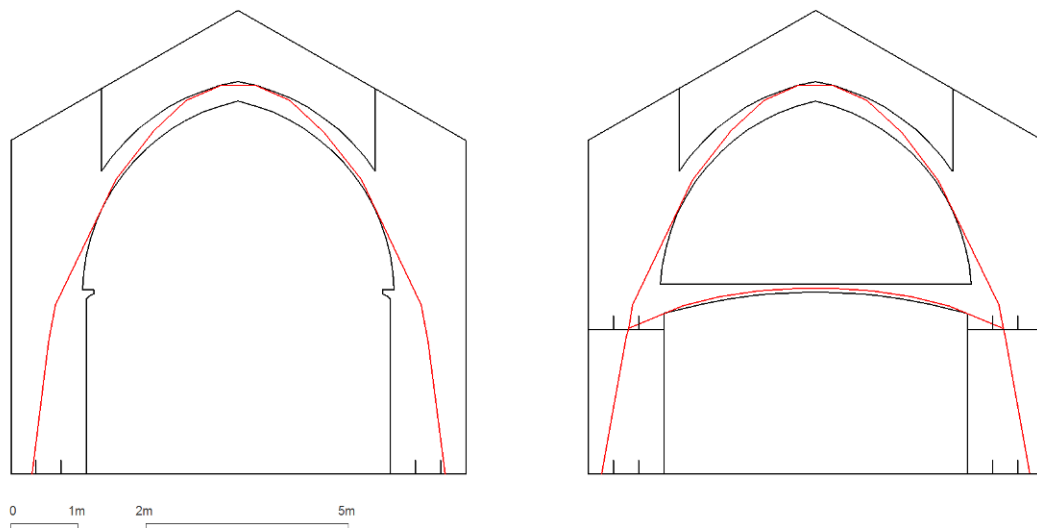


**Fig.15** Superposició de seccions deformades i sense deformar (discontinua).

S'estudia l'estabilitat de la nau de l'església. L'estudi es realitza per la geometria sense deformar i per la geometria actual deformada. L'estudi de la geometria sense deformar aportarà coneixements que permetran establir hipòtesis sobre l'origen de les lesions. L'anàlisi de la geometria deformada establirà la seguretat de l'estructura actual i permetrà suggerir possibles mesures de consolidació.

S'estudien les tres seccions que es marquen en planta (Figura 9).

La figura mostra la línia d'empentes per les seccions sense deformar, considerant el reblert de terra de la coberta. S'observa com la línia sobresurt del terç central, incomplint la regla d'estabilitat bàsica. Això fa que un terreny una mica dolent, o la presència d'humitats, puguin desencadenar amb facilitat un gir del mur.



**Fig.16** Línia d'empentes a la nau sense deformar. Línia de pressions prescindint dels forats al mur executats molt probablement quan s'efectuà la reforma del cor segueix com en els altres casos, situant-se fora del terç central.

De la geometria sense deformar s'observa que la línia d'empenta mínima toca l'intradós de la volta en dos punts simètrics, i toca a l'extradós a la zona de la clau. Coincideix amb l'esquerda propera a la clau que s'observa a la nau, i possiblement dues esquerdes que no es poden observar per quedar ocultes a l'extradós dins la coberta.

A la base dels murs l'empenta queda fora del terç central, desplaçada cap a l'exterior. Per tant, d'origen ja podria haver-hi deficiències estructurals.

Hi ha dos fets que evidencien un problema estructural d'origen". Per una banda l'estrep exterior de dimensions desproporcionades, del qual s'ha comprovat que els carreus no estan lligats amb les filades del mur de tancament de la nau. I de l'altra, que el gruix dels murs compleixi regles gòtiques.

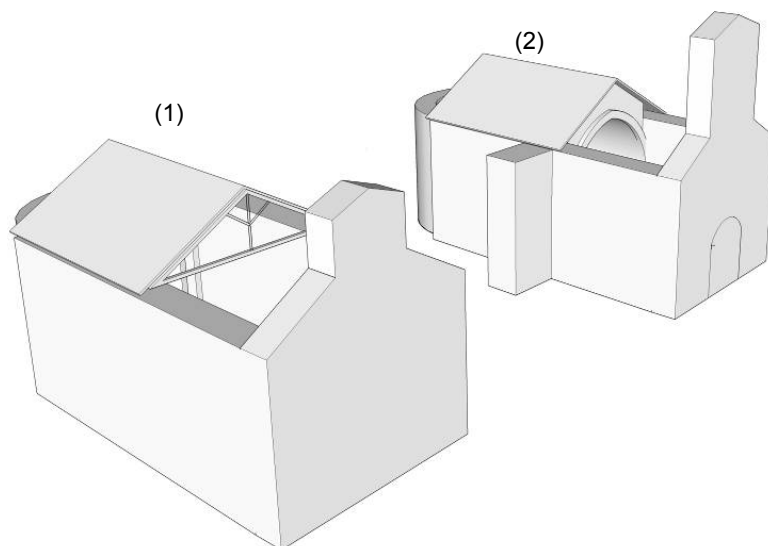
Òbviament les regles gòtiques són posteriors a la construcció del temple i per tant, és impossible que s'haguessin aplicat per al seu disseny. Però el fet que es compleixin en les proporcions de l'església de Fonollet, denota d'"origen" una manca de secció del mur per a sostenir l'empenta de la volta de canó romànica.

Una possible explicació d'aquest fet seria que l'església datada del segle IX, fos d'origen pre-romànica. Això és perfectament possible.

En aquest cas, hauria estat coberta amb bigues de fusta, i per tant, els seus murs no necessitarien l'amplada per a sostenir una volta de canó.

És possible que durant els segle XI o XII es decidís cobrir l'església amb volta de canó, ja sigui perquè la coberta de fusta s'havia deteriorat, s'havia cremat, o perquè es volia adequar el temple a les raons estètiques de l'època. Un cop construïda la volta, els murs haurien començat a cedir, de manera que s'hauria construït l'estrep a la façana nord preveient-ho.

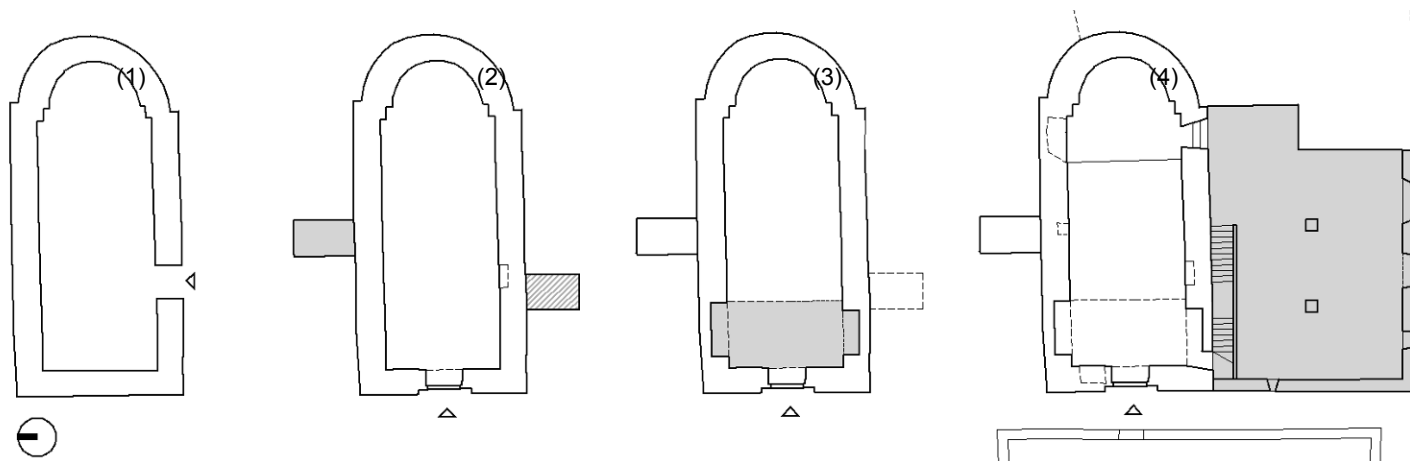
Possiblement a la façana sud també hagués existit un estrep similar. S'ha comprovat que sota l'escala existeix un mur de pedra de la mateixa amplada que l'estrep existent, si bé és de menor longitud. Caldria un estudi històric i arqueològic, però la hipòtesi no sembla descabellada. Els mestres de cases coneixien les regles de proporció, i difícilment haurien construït una església incapaç de sostenir la seva volta.



**Fig.17**

Figura 17. La imatge mostra la possible evolució constructiva del temple. Al segle IX s'hauria construït una església pre-romànica (1) amb coberta de fusta. Al segle XI-XII s'hauria substituït l'antiga coberta per una volta de canó apuntada (2), acord amb l'estil de l'època. L'empenta de la volta hauria obligat a la construcció de contraforts, ja que els murs originals estaven pensats per a sostenir una lleugera coberta de fusta.





**Fig.18** Hipòtesi de les principals etapes constructives.

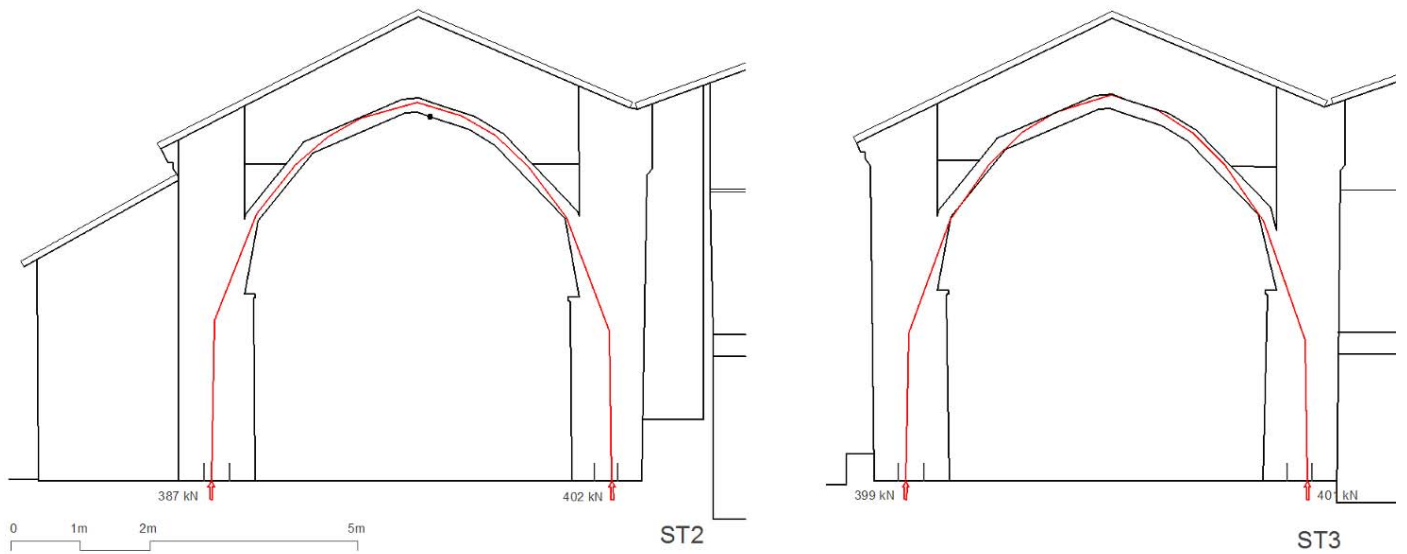
La figura mostra una hipòtesi d'evolució constructiva. Al segle IX es construeix una església pre-romànica amb coberta de fusta (1). Als segles XI-XII es substitueix la coberta primitiva per una volta de pedra i es reforcen els murs amb contraforts per a aguantar l'empenta (2). També es canvia l'accés al temple. Al segle XVIII s'hi afegeix el cor (3), es realitzen els forats per als confessionaris i s'amplia el campanar d'espadanya. Possiblement després es construeixi el comunidor, que va durar fins voltants del 1980. Al segle XIX es construeix la rectoria annexa i es crea el nou cementiri davant del temple. El cementiri original era a sud, acord amb l'accés pre-romànic.

Es demostra com l'església ha patit moltes modificacions al llarg dels segles, i que difícilment es podria recuperar un "romànic pur".

La Figura 16 mostra com per a la geometria "ideal" sense deformar, la línia d'empentes ja es situa fora del terç central. Els càlculs s'han realitzat per una secció ideal i amb el reblert de terra sobre la volta.

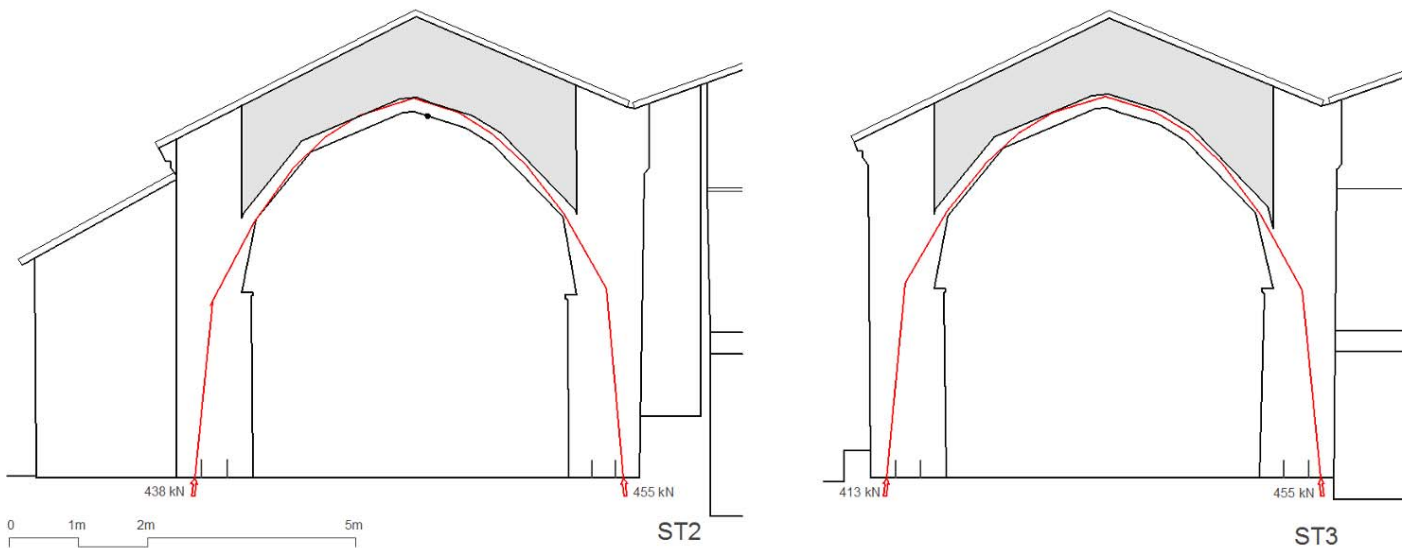
A la Figura 19 es realitza ara una comprovació de l'estabilitat de la nau deformada sense l'existència del reblert de terra, considerant els murets de la zona dels ronyons però alleugerint el pes de la coberta. Podria tractar-se, per exemple, d'una coberta lleugera de fusta.

S'observa com en aquest cas la línia d'empentes es situa dins el terç central, assegurant l'estabilitat i fins i tot fent innecessari el contrafort.



**Fig.19** Nau deformada i Roberta lleugera. Línia d'empentes a la nau deformada dins el terç central.

A la Figura 20 es realitza la comprovació de l'estabilitat per la nau en el seu estat actual, és a dir, considerant el reblert de terra existent sobre la volta de pedra i considerant les deformacions actuals. S'observa que amb la nau deformada l'empenta encara es situa més a l'extrem exterior del murs, propiciant encara més les possibilitats de deformació.



**Fig.20** Línia d'empentes a la nau deformada actual i considerant el pes de la terra de la coberta.

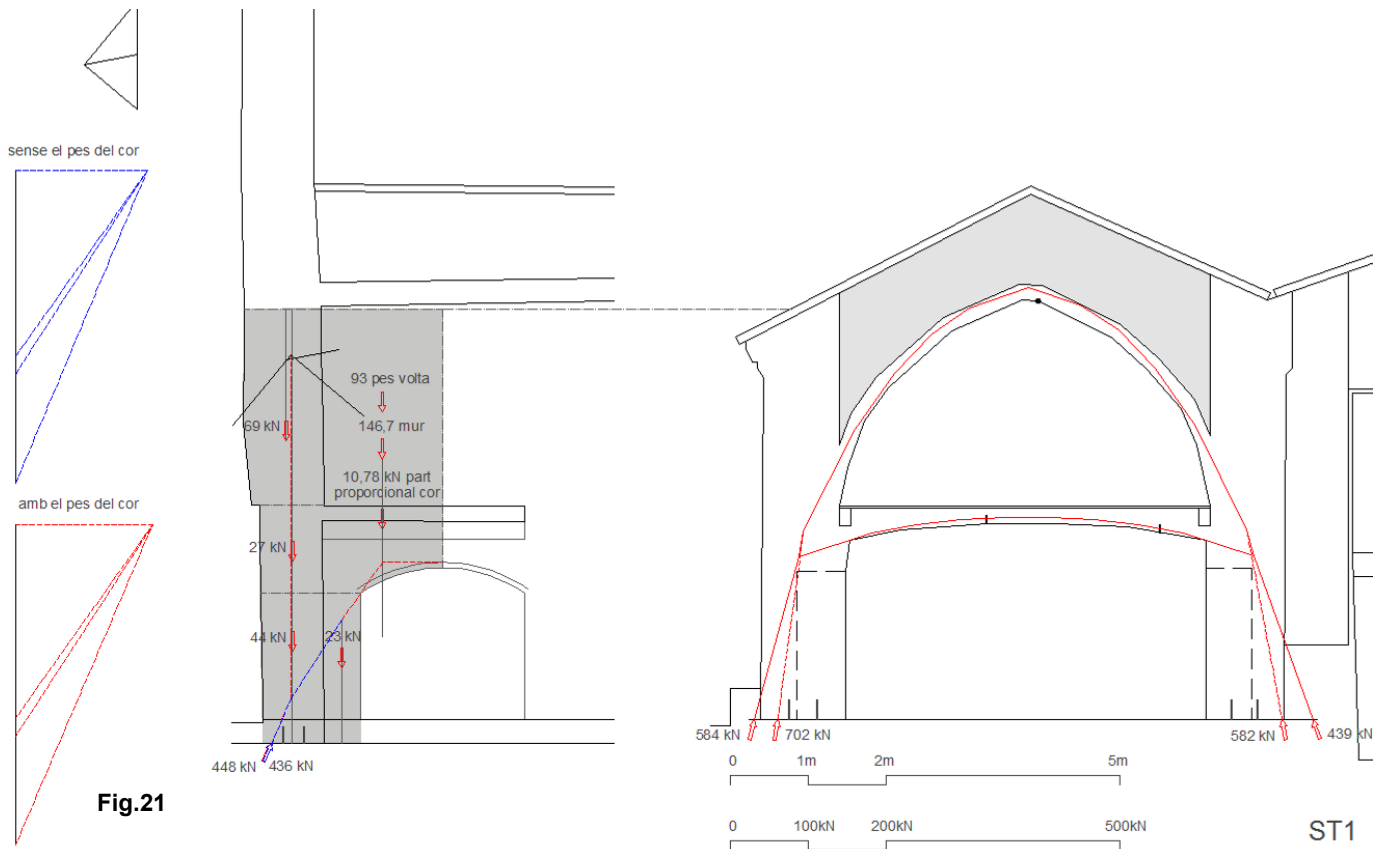


Fig.21

ST1

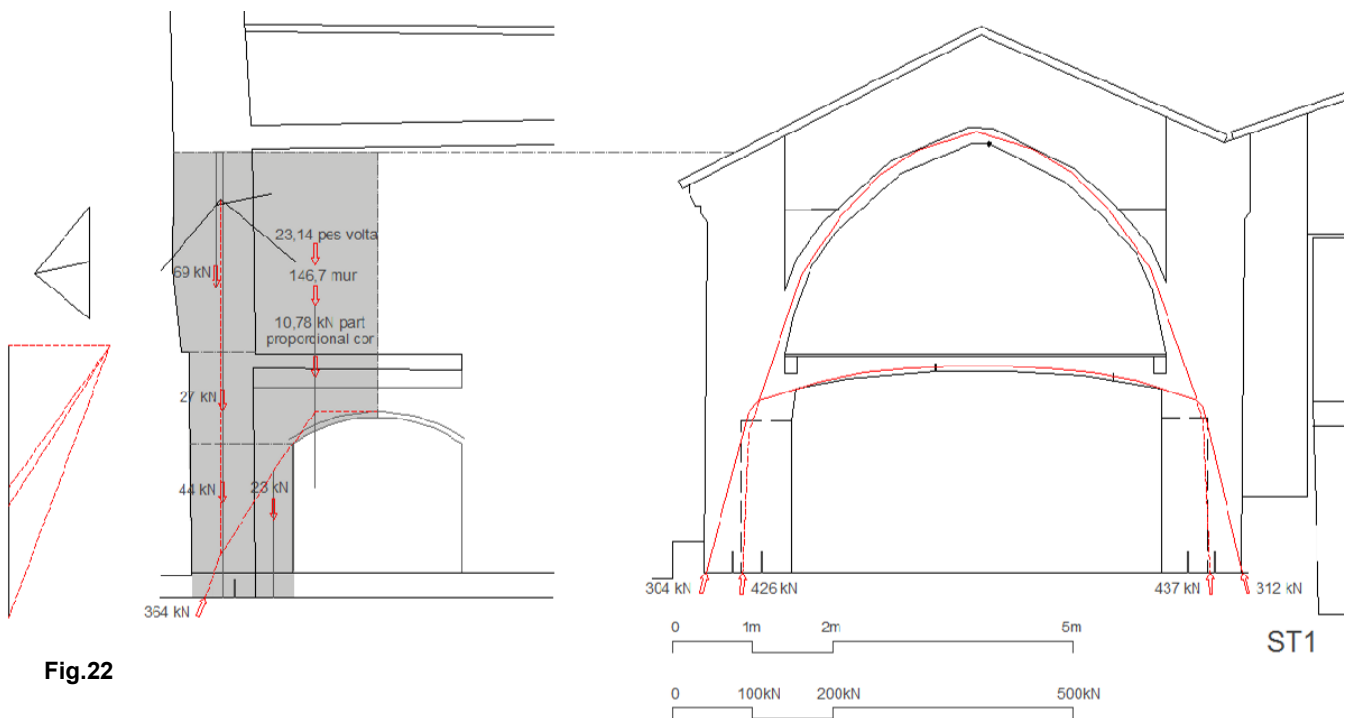


Fig.22

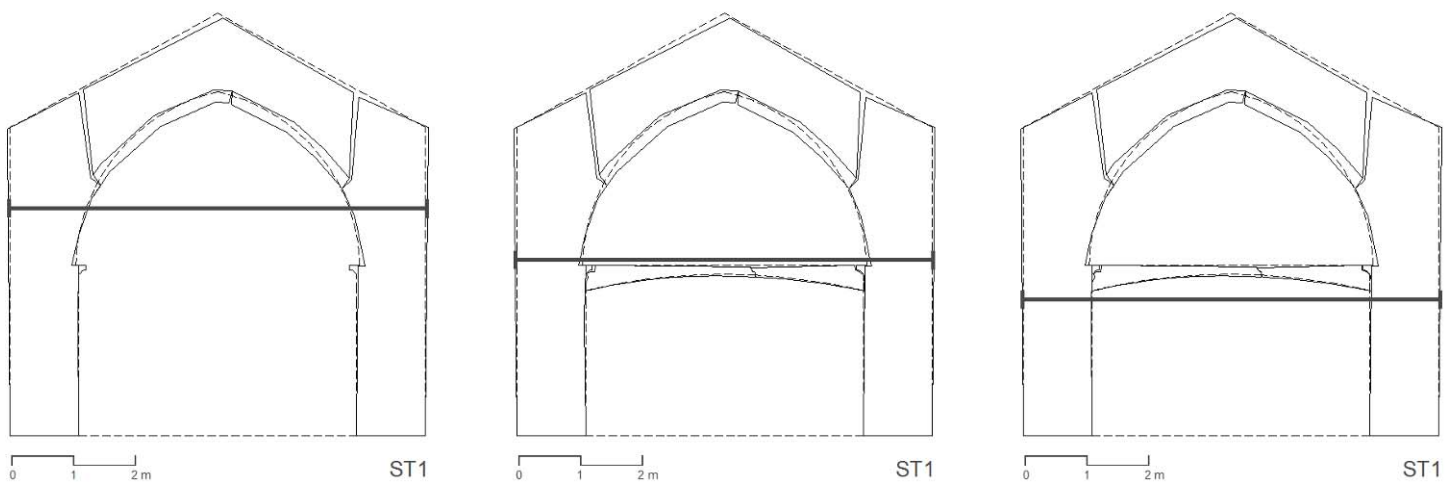
ST1

A la dreta es mostra la resultant sense l'empenta del cor (discontinua) i sumant-hi l'empenta del cor (contínua). A l'esquerra la resultant surt del terç central, fet que explica les esquerdes a la zona nord-oest i els deploms i les esquerdes a la zona sud-oest. A les dues figures la resultant queda molt separada del terç central. Les humitats del terreny el debiliten, convertint l'excentricitat de la resultant en un problema pel mur que no pot contrarestar l'empenta i gira. El cor afavoreix l'excentricitat, i per tant, no ajuda en l'estabilitat del temple.

Possible col·locació de tirants. En base al què s'ha exposat, caldria impedir el desplom progressiu dels murs. Evidentment a la zona del contrafort l'església queda reforçada, però la resta pateix.

Una possibilitat és col·locar tirants, ja que tenen els següents avantatges: economia, execució senzilla, reversibilitat, seguretat, tranquil·litat visual.

El tipus de tirant i l'ancoratge s'ha de definir en projecte. El cor sempre és un element que ajuda a dissimular tirants, però el funcionament del tirant és millor a l'arrencada de la volta.



**Fig.23**

S'ha observat que reduint el pes de la coberta l'estabilitat de l'església millora molt. També l'empenta del cor no ajuda a l'estabilitat. Una coberta més lleugera permetria evitar entrada d'aigua i estabilitzar el temple.

### **Estat del cor**

La volta del cor és una volta de canó rebaixada construïda amb volta de rajola de tres gruixos. Cada rajola fa 2 cm de gruix. Per tant, la volta fa un total de 7 cm de gruix comptant el gruix i el morter entre les capes. Sobre la volta hi ha un reblert d'argamassa de morter de calç, guix i algunes restes de troços de ceràmica, etc.

La seva antiguitat és de més de dos segles, fet que n'avalua la solidesa. Tot i així, actualment presenta deformacions i esquerdes que poden semblar alarmants. L'objectiu del present apartat és demostrar que el cor és suficientment estable.

El cor presenta una esquerda en sentit nord-sud i altres dues esquerdes a la zona dels ronyons, a la part superior. Aquestes esquerdes són les habituals que pateix qualsevol obra de fàbrica on hi ha hagut un lleuger moviment dels estreps. A la zona propera a la façana nord s'aprecia una deformació més accentuada, això és a causa del moviment que la façana ha patit en direcció nord, la qual ha arrossegat la volta del cor i també la volta de la nau, ja que com s'aprecia a les fotografies aquesta també presenta una esquerda pronunciada en aquesta zona.

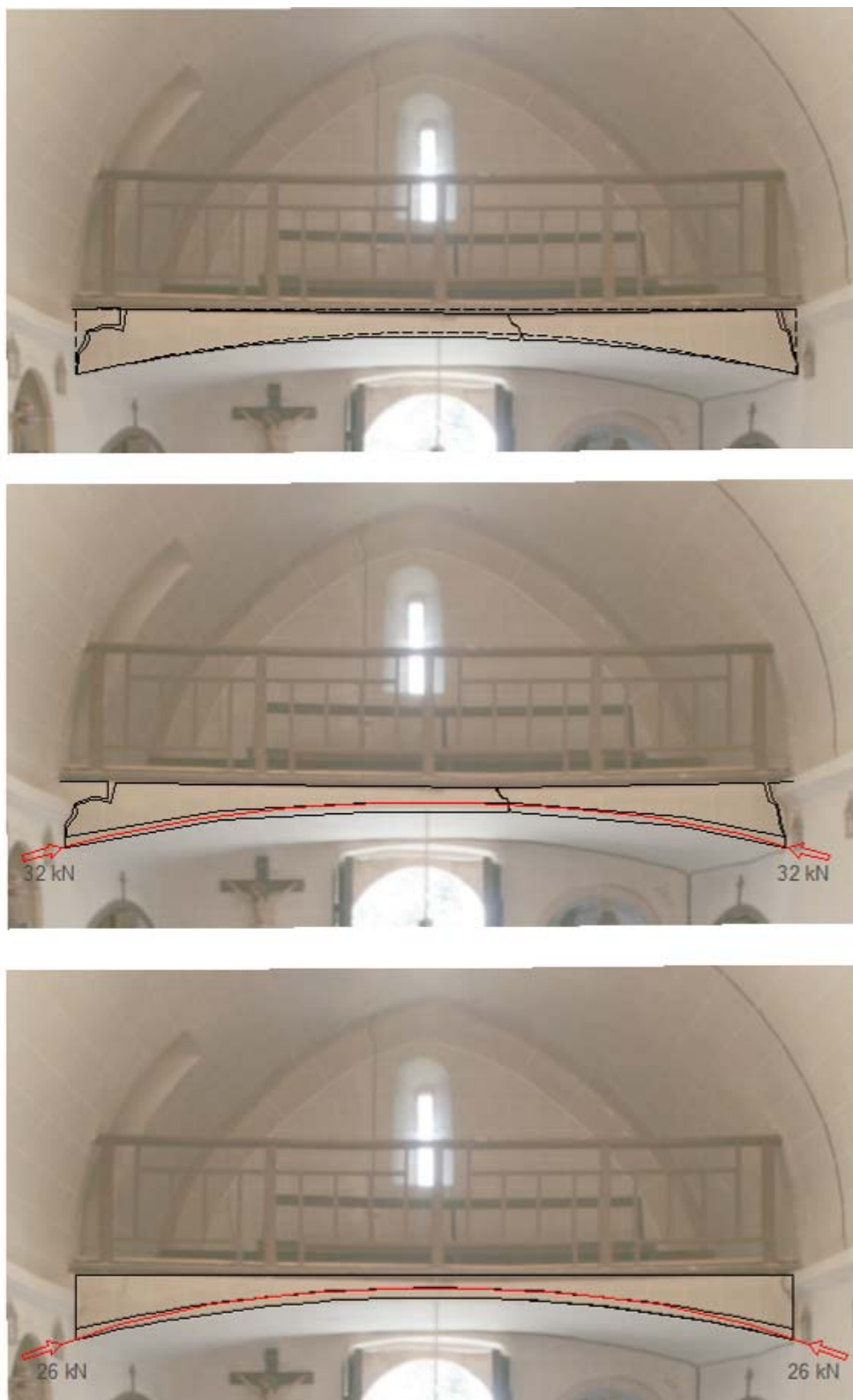


Fig.24

La figura 24 mostra primer la volta sense deformat en discontinua i la volta deformatada en línia contínua. La fotografia del mig mostra la línia d'empentes (en vermell) pel cor deformat, i l'última fotografia mostra la línia d'empentes pel cor sense deformat. La línia sempre es troba dins la secció estructural, fins i tot en la zona més deformatada i malgrat que la secció de la volta fa només 7cm de gruix.

Es treballa amb un pes específic per a la volta de rajola de 16 kN/m<sup>3</sup>. Tot i que el replè possiblement sigui més lleuger. Com que se'n desconeix la naturalesa exacta (només s'ha realitzat una petita cala), se l'hi aplica el mateix pes específic, ja que es considera raonable si s'hi inclouen les possibles sobrecàrregues. El paviment del cor també és de rajola, d'uns 2cm de gruix.

#### **4.8.3 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions**

1. Es comprova que la volta del cor no ajuda a l'estabilitat de l'església. Malgrat les deformacions que pateix, la volta en ella mateixa és estable. Només caldria recuperar la geometria en el punt més deformat i realitzar actuacions de reparació com netejar i segellar esquerdes amb morter sense retracció. Mantenir la volta del cor implica col·locar tirants.
2. L'església, ja d'origen, pateix problemes d'estabilitat a causa de la manca de gruix dels murs que han d'absorbir l'empenta de la volta. L'estrep existent ajuda molt. L'església, exceptuant la zona de l'estrep, treballa lleugerament per sota dels límits acceptables.
3. L'aigua que procedeix del baixant sud-oest i que cau directament sobre el terreny el debilita i també debilita el mur oest.
4. Minorant el pes de la terra de la coberta l'església adoptaria un comportament estructural situat dins els paràmetres normals de seguretat. Com ja s'ha explicat, actualment, i ja des de l'origen, l'església treballa una mica per sota dels paràmetres considerats segurs. Això no vol dir que hagi de caure (porta molts segles dempeus), però sí que poden aguditzar-se les esquerdes i els moviments.
5. Intervenir a la coberta reportaria un altre avantatge, que és assegurar que no entri aigua a la coberta. L'aigua humiteja la terra dipositada sobre la volta, aquesta augmenta molt de pes, augmentant així l'empenta que transmet a uns murs ja d'origen massa estrets.
6. Actualment hi ha teules amorterades de mala manera sobre la terra preexistent, amb deformacions del pendent observables a simple vista, i amb problemes segurs d'humitat.



Aquest deteriorament fa preveure que més d'hora que tard caldrà intervenir. S'aconsella intervenir en la coberta ja que es considera la millor manera d'optimitzar la inversió.

## 4.9 Castilló de Tor

El present apartat versa sobre la seguretat de l'església de Sant Esteve de Castilló de Tor i intenta discernir l'origen de les lesions, atès l'estat de ruïna en què es troba.

Per a redactar-lo s'han consultat diverses fonts documentals en Arxius i Biblioteques, així com documentació diversa de les obres i intervencions realitzades al temple.

Per a redactar l'informe s'ha disposat d'un aixecament topogràfic realitzat per l'empresa Taup. Aquest topogràfic s'ha realitzat en condicions precàries, a causa de les dificultats d'accessibilitat a l'edifici, ja que es troba envoltat de vegetació molt invasiva.

Per a la presa de dades i lesions s'ha realitzat una inspecció visual de l'edifici i s'han estudiat les fotografies, comparant-les amb les històriques obtingudes.

Per a les comprovacions i càlculs s'aplica la teoria de l'Anàlisi Límit d'Estructures de Fàbrica, tal com el desenvolupa Heyman (Heyman 1995; 1999).

Per a la redacció d'un projecte executiu és necessari verificar les hipòtesis plantejades, buscar les solucions més adequades d'acord amb els resultats (que siguin mínimes, no invasives i reversibles), i justificar-les.

El present apartat té per objectiu:

1. Descriure i interpretar les lesions actuals
2. Esbrinar les causes de l'esfondrament de la volta
3. Esbrinar les causes de les esquerdes del campanar
4. Estimar la seguretat de la ruïna
5. Proposar mesures de consolidació

#### 4.9.1 Geometria i lesions

Definició de la geometria

L'aixecament topogràfic del conjunt ha estat realitzat per l'empresa TAUP. El difícil accés a la ruïna i el fet de trobar-se envoltada d'arbustos i plantes ha dificultat els treballs de tal manera que existeixen imprecisions en l'aixecament impossibles d'evitar sense una neteja prèvia de l'entorn.

Tot i així, malgrat algunes imprecisions de la geometria, els marges d'error es consideren acceptables per al present anàlisi, quedant pendent realitzar un estudi més exhaustiu quan les condicions de l'entorn ho permetin i en cas de redactar un projecte executiu complet.

*Geometria del campanar*

La planta del campanar és un quadrat, tot i que els seus costats no són paral·lels, possiblement a causa de les deformacions que ha patit el campanar al llarg del temps. Les imprecisions geomètriques es calcula que són de l'ordre de les desviacions constructives per tant, es dona per vàlida la hipòtesis plantejada.

A causa de la irregularitat de la planta, de les esquerdes i dels desploms que es poden apreciar a simple vista, la geometria dels arcs que coronen les obertures també es troba alterada però atesa la dificultat per a mesurar-los s'accepta la hipòtesis plantejada per a cada façana.

S'observa que la coberta del campanar es troba en molt mal estat, és de pissarra; i existeix un anell perimetral que subjecta un forjat, tot metàl·lic amb empostissat ceràmic, i tres cables a diversa alçada.

L'església és de planta rectangular. La volta de la meitat SO s'ha esfondrat, quedant de peu la de la meitat NO. Els murs presenten desploms diversos i la fulla exterior del mur de la façana SO s'ha esfondrat, quedant dempeus part de l'argamassa interna i la fulla interior.

La coberta de la nau es troba en molt mal estat i és de teula ceràmica i bigues de fusta. Tot l'entorn està envaït de vegetació.



**Fig.1** Fotografies de l'estat actual. Visita realitzada.

#### **4.9.2 Recerca històrica d'actuacions**

Es desconeixen les causes que van provocar la ruïna de l'església, i no es disposa de cap estudi històric que doni pistes o aportï informació sobre les transformacions que ha sofert l'edifici al llarg del temps.

Tot i així, per a elaborar aquest informe s'ha realitzat una petita recerca de documentació històrica per tal d'obtenir alguna pista o informació útil per a l'anàlisi estructural. Per fer-ho s'han consultat diverses fonts i s'ha obtingut la documentació següent:

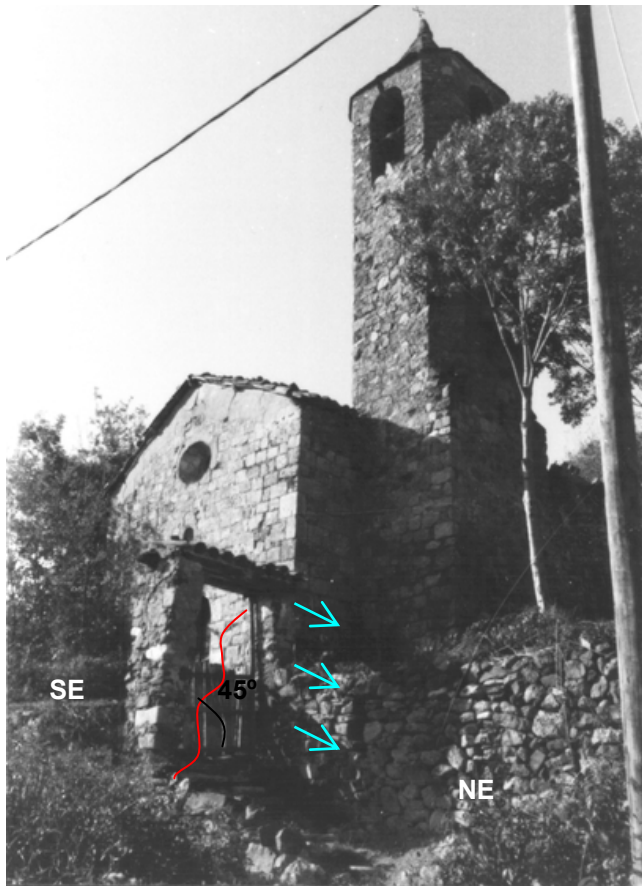
Arxiu històric del Bisbat de Lleida	Documents sobre les obres:
-------------------------------------	----------------------------

- 1954 Carta adreçada al bisbe sobre la necessitat d'enguixar, pintar i reparar l'església. Encara no s'havia esfondrat.
- 1996 Obres al campanar de l'Església. Albarans i carta.
- 1995 Sol·licitud de subvenció a la Diputació de Lleida.
- 1996 Document Institut Estudis Illerdens on explica la col·locació de l'anell metàl·lic.

- També algunes fotos històriques, amb la volta encara de peu.

- Altres més modernes, de 1994.

- Algunes notes i apunts de llibres que indiquen les diverses transformacions de la coberta. Al volum de Catalunya Romànica s'esmenten modificacions de la coberta al segle XVIII.



S'observa la inclinació a 45° de l'esquerra de la façana, com si el mur es desplaçés en sentit NE.

S'observa com el terreny va descendint des de la cantonada SE per davant de la façana en direcció NE.

El plànol de la planta que s'adjunta més endavant, mostra les corbes de nivell, i es pot observar una diferència de cota de 2m.

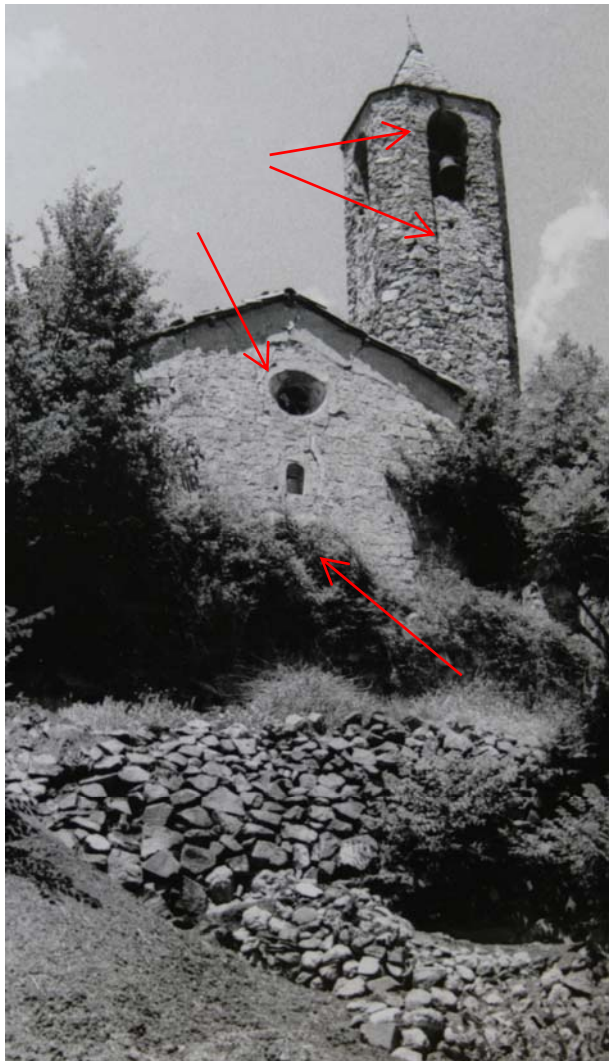
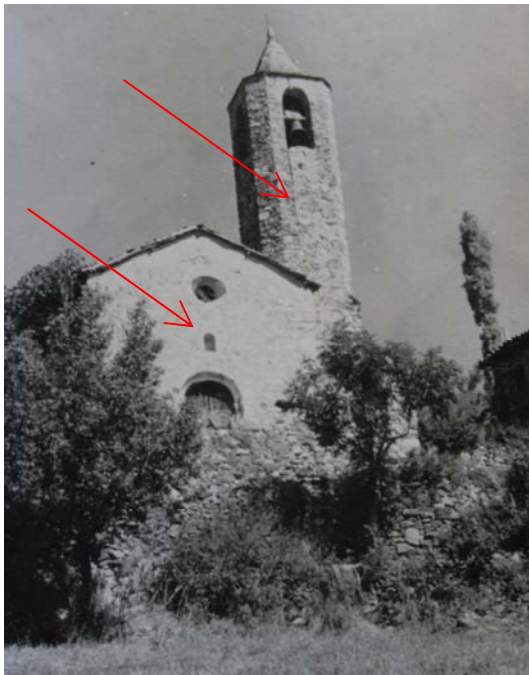
D'altra banda el terreny també experimenta un descens en sentit SE.

Tal com mostra el topogràfic i les fotos ho evidencien, observant-se els murets que salven els desnivells.

**Fig.2** Foto històrica Arxiu del Bisbat, anys 70.



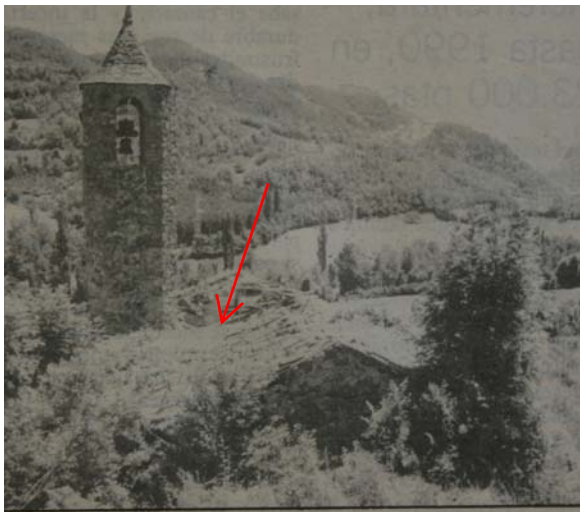
Arxiu Gavín	Fotos de 1972 i 1973. S'observa que la coberta de l'església encara no s'ha esfondrat.
-------------	--



A dalt imatge de 1972, malgrat que la fotografia està una mica cremada, es marquen lleument esquerdes però no amb la intensitat de la imatge de la dreta, de 1973, on es fan més patents.

Al campanar ja s'observa una esquerda vertical, i també una esquerda a la clau de l'arc de l'obertura. Les campanes encara estan penjades.

La coberta de l'església, de teula, sembla haver estat reparada o reconstruïda, ja que s'observa el morter, ja és de teula àrab.



**Fig.3**

Foto de premsa de 1988 en un article sobre el trasllat del retaule on la coberta ja surt esfondrada.

A L'Arxiu Gavín també s'han obtingut fotos del 1994, on l'església ja està en ruïnes però en un estat menys avançat, i on es poden observar molt bé les esquerdes ja que no hi ha tanta vegetació envaint l'entorn.

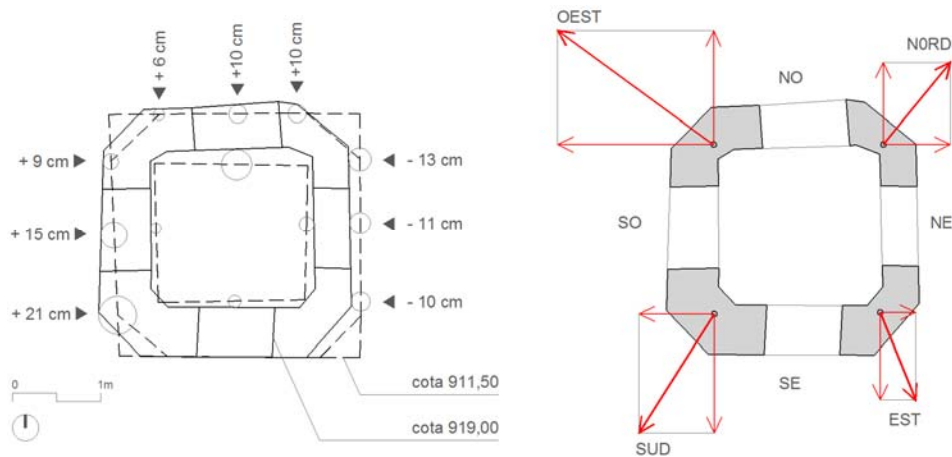
Aquestes fotografies apareixen a les pàgines següents per a il·lustrar les hipòtesis plantejades.



### 4.9.3 Anàlisi de l'estabilitat

Per a la comprovació de l'estabilitat s'ha aplicat la teoria de l'Anàlisi Límit d'Estructures de Fàbrica, tal com el desenvolupa Heyman (Heyman 1995; 1999). De l'anàlisi efectuat, de l'observació de les fonts documentals, de les fotografies històriques, i dels desploms i lesions actuals, es pot extreure una hipòtesi sobre l'origen de la ruïna.

El campanar presenta diverses esquerdes i deformacions. Els desploms més importants s'han esdevingut en la direcció nord i oest. El campanar s'ha mogut i en fer-ho s'ha esquerdat. Els principals moviments que afecten el campanar són: desploms a oest i a nord, esquerdes verticals a les parts centrals dels paraments a cada cara del campanar coincidint amb les obertures, i deformacions i esquerdes dels arcs que coronen les obertures



**Fig.4** Desploms del campanar i porcions en què queda dividida l'estructura.

A la nau, les lesions observables són desploms i esquerdes. De fet la ruïna suporta empentes causades per la part de la volta que resta dempeus. No es disposa d'un estudi geotècnic del terreny. Tot i així, s'han consultat les dades de l'Institut Geològic de Catalunya d'on s'ha extret que a la zona hi ha lutites i guixos. Tenint en compte l'elevat nivell d'humitat (ja que a banda i banda de l'església hi ha sortida d'aigua de l'escorrentia del turó superior), el deteriorament del terreny en alguns punts no es pot descartar.



Embocadures de sortida d'aigua de l'escorrentia perimetral que envolta el temple i que procedeix de cotes superiors, seguint la perpendicular de la pendent.

A la primera fotografia fins i tot hi ha l'embornal de desguàs al vial.

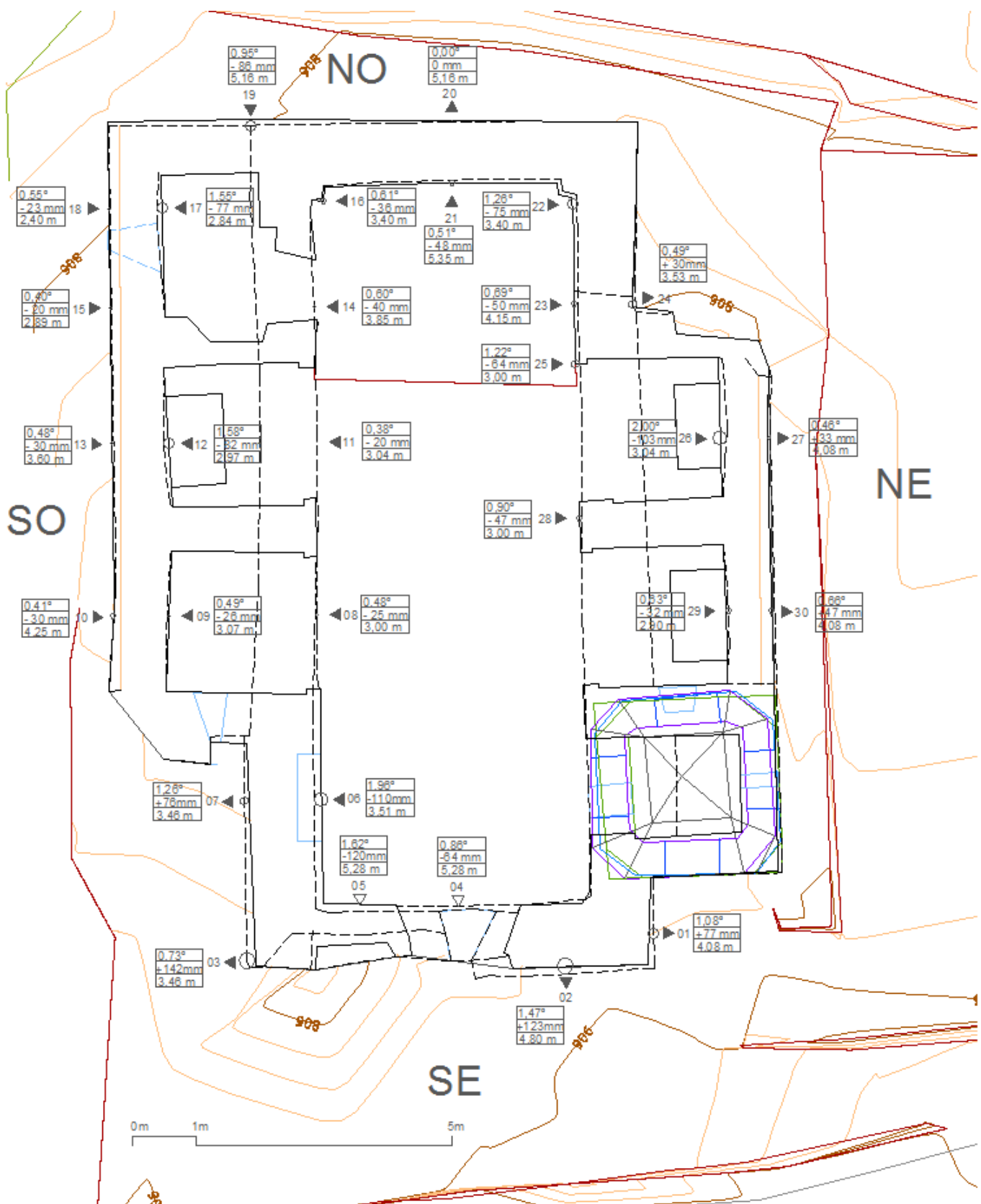


Fig.5 Planta de l'església marcant els desploms.

A la planta de l'església es marquen els desploms, l'angle de gir dels murs i la seva alçada (en negatiu desploms cap a l'interior, en positiu desploms cap a l'exterior).

S'observa com a la façana SE la topografia experimenta un descens de 2m en direcció E. També s'observa com a la punta E el mur presenta desploms considerables, de l'ordre de 12cm a 7cm. La topografia general baixa en sentit NO a SE. La taula mostra el resum de desploms dels murs de la nau:

Església		gruix b (m)	alçada H (m)	desplom total (m)	$\alpha$	$\alpha_{\text{lím}} < 24b/H$	coeficient seguretat = $2\alpha_{\text{lím}}/\alpha$
mur SE	2	0,97	4,8	0,123	1,47	4,85	6,60
	4	0,86	5,28	0,064	0,86	3,91	9,09
	5	0,61	5,28	0,12	1,62	2,77	3,42
mur SO	3	0,95		0,14	0,73		
	6	1,12	3,51	0,11	1,96	7,66	7,81
	7	1,12	3,46	0,076	1,26	7,77	12,33
	8	0,93	3	0,025	0,48	7,44	31,00
	9	0,86	3,07	0,026	0,49	6,72	27,44
	10	0,86	4,25	0,03	0,41	4,86	23,69
	11	0,89	3,04	0,02	0,38	7,03	36,98
	12	0,89	2,97	0,08	1,58	7,19	9,10
	13	0,89	3,6	0,03	0,48	5,93	24,72
	14	0,89	3,85	0,04	0,6	5,55	18,49
	15	0,86	2,89	0,02	0,4	7,14	35,71
	16	1	3,4	0,036	0,61	7,06	23,14
	17	0,84	2,84	0,077	1,55	7,10	9,16
	18	0,84	2,4	0,023	0,55	8,40	30,55
	mur NO	19	0,82	5,16	0,086	0,95	3,81
20		0,96	5,16	0	0	4,47	
21		0,96	5,35	0,048	0,51	4,31	16,89
mur NE	22	0,99	3,4	0,075	1,26	6,99	11,09
	23	0,9	4,15	0,05	0,69	5,20	15,09
	24	0,9	3,53	0,03	0,49	6,12	24,98
	25	0,09	3	0,064	1,22	0,72	1,18
	26	0,75	3,04	0,103	2	5,92	5,92
	27	0,75	4,08	0,033	0,46	4,41	19,18
	28	0,99	3	0,047	0,9	7,92	17,60
29	0,71	2,9	0,032	0,63	5,88	18,65	
30	0,71	4,08	0,047	0,66	4,18	12,66	
1	0,99	4,08	0,077	1,08	5,82	10,78	

Taula 1

Des del punt de vista de la seguretat s'aplica la teoria de Heyman per a avaluar els desploms límit i en cas el coeficient baixa de 2, sempre tenint en compte que l'alçada dels diversos panys de mur s'ha deduït de l'aixecament topogràfic de l'empresa Taup.

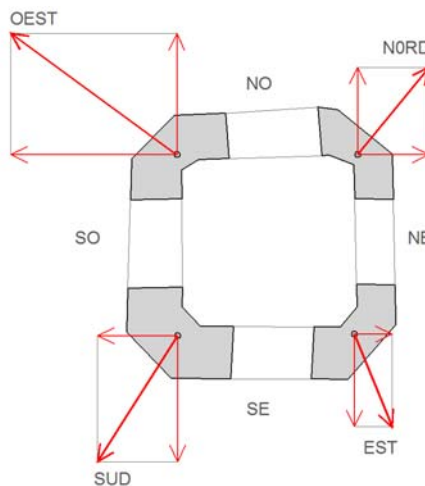
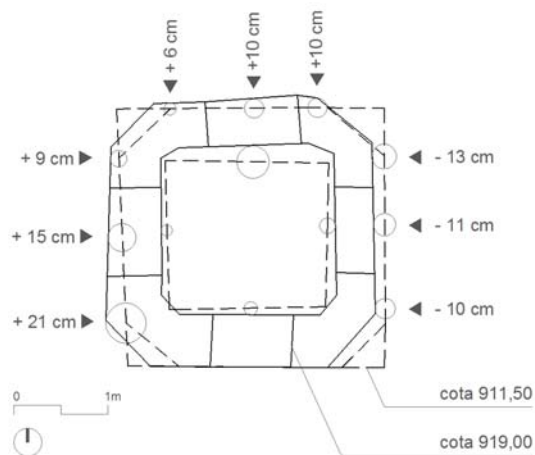
Altres fotografies històriques poden complementar les dades obtingudes amb l'estudi dels desploms i l'aplicació de l'Estàtica Gràfica per a comprendre la successió d'esdeveniments. Les fotografies següents ho il·lustren:



Fotografies de 1997 de l'Arxiu Gavín. Es veu molt bé com la coberta s'esfondra a la zona Sud de la planta de l'església, coincidint amb la cota més baixa de les corbes de nivell dins de la nau. També coincidint amb una zona on els murs que sostenen el tram de volta no tenen estreps, i precisament en direcció Sud el terreny baixa pronunciadament a l'exterior del temple.



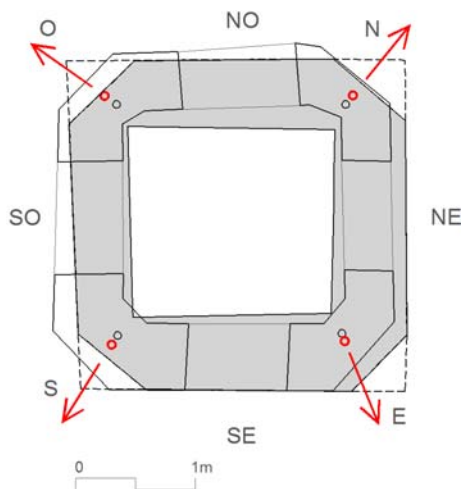
A l'interior del temple la façana enguixada mostra clarament l'esquerda a 45°.



**Fig.6** Campanar



De l'estàtica gràfica realitzada s'observa que la major empenta la pateix la porció del muret oest. Fet que coincideix amb la zona on hi ha els desploms majors. Els desploms i la poca empenta dels arcs de les obertures fan tendir les porcions de murs a inclinar-se segons el desplaçament del centre de gravetat. El cercol i els cables ajuden a estabilitzar, però caldria comprovar-ho.



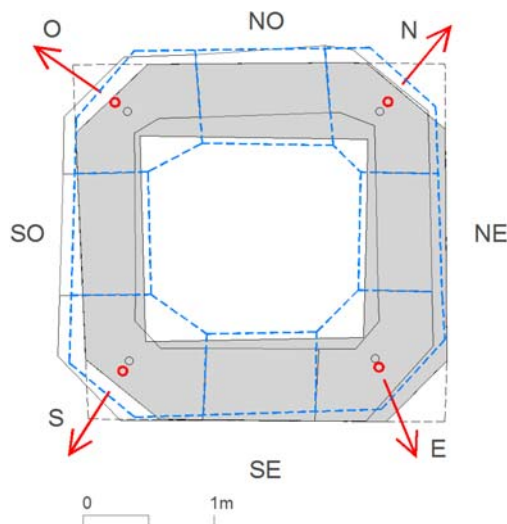
**Fig. 7** Esforços al campanar i forjat.

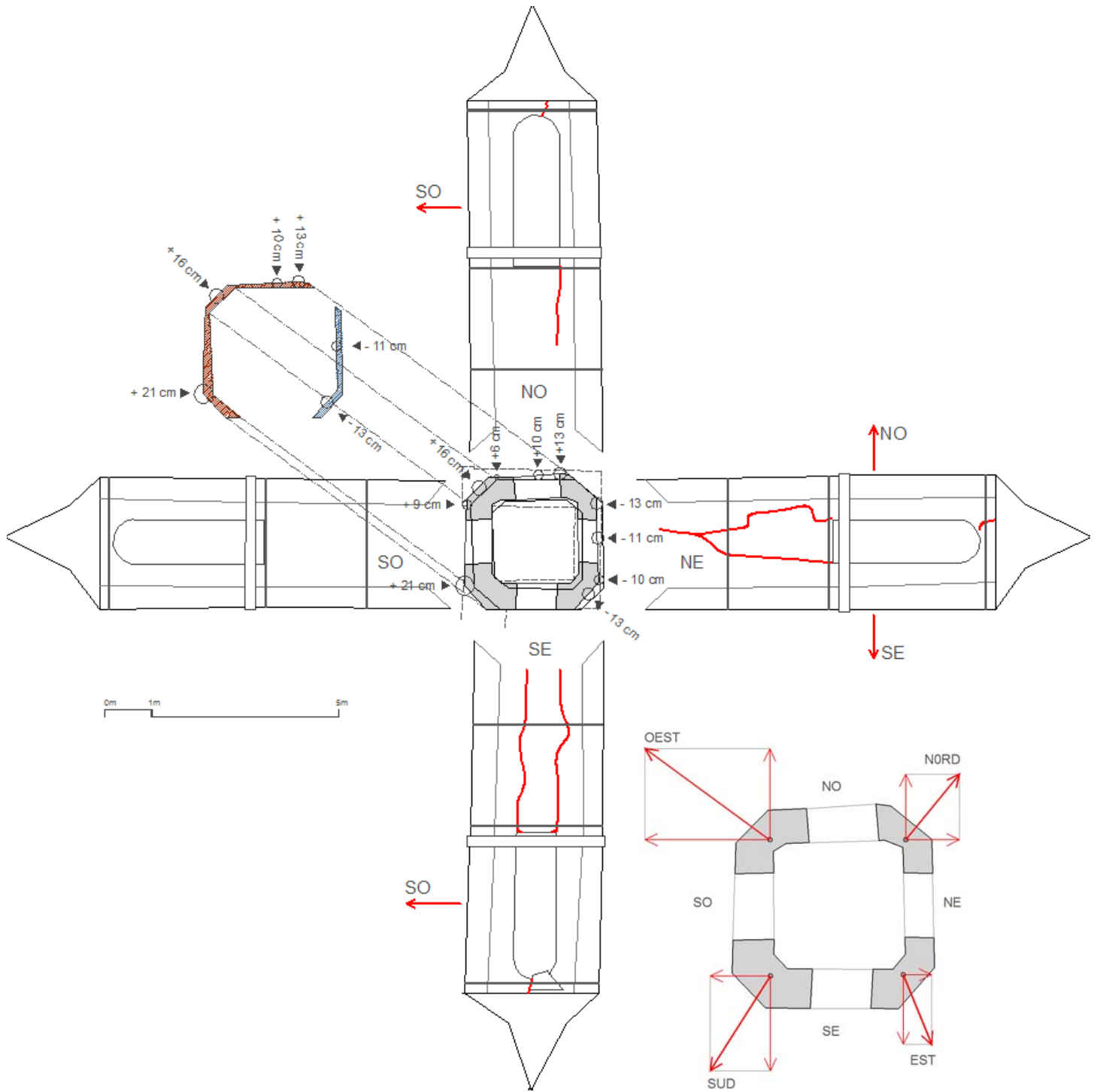


**Fig. 8**

El cercol connectat al forjat d'acer (en blau) també pot produir inestabilitat, ja que l'acer travessa els murs del campanar pel punt dèbil on s'havien esquerdat.

Això sumat al fet que es troba exposat a la intempèrie i que per tant, s'oxida; pot conduir a un augment del seu volum i per tant, a un augment de la inestabilitat.





**Fig. 9** Comprovació dels desplaços del campanar. Els desplaços màxims són a oest.



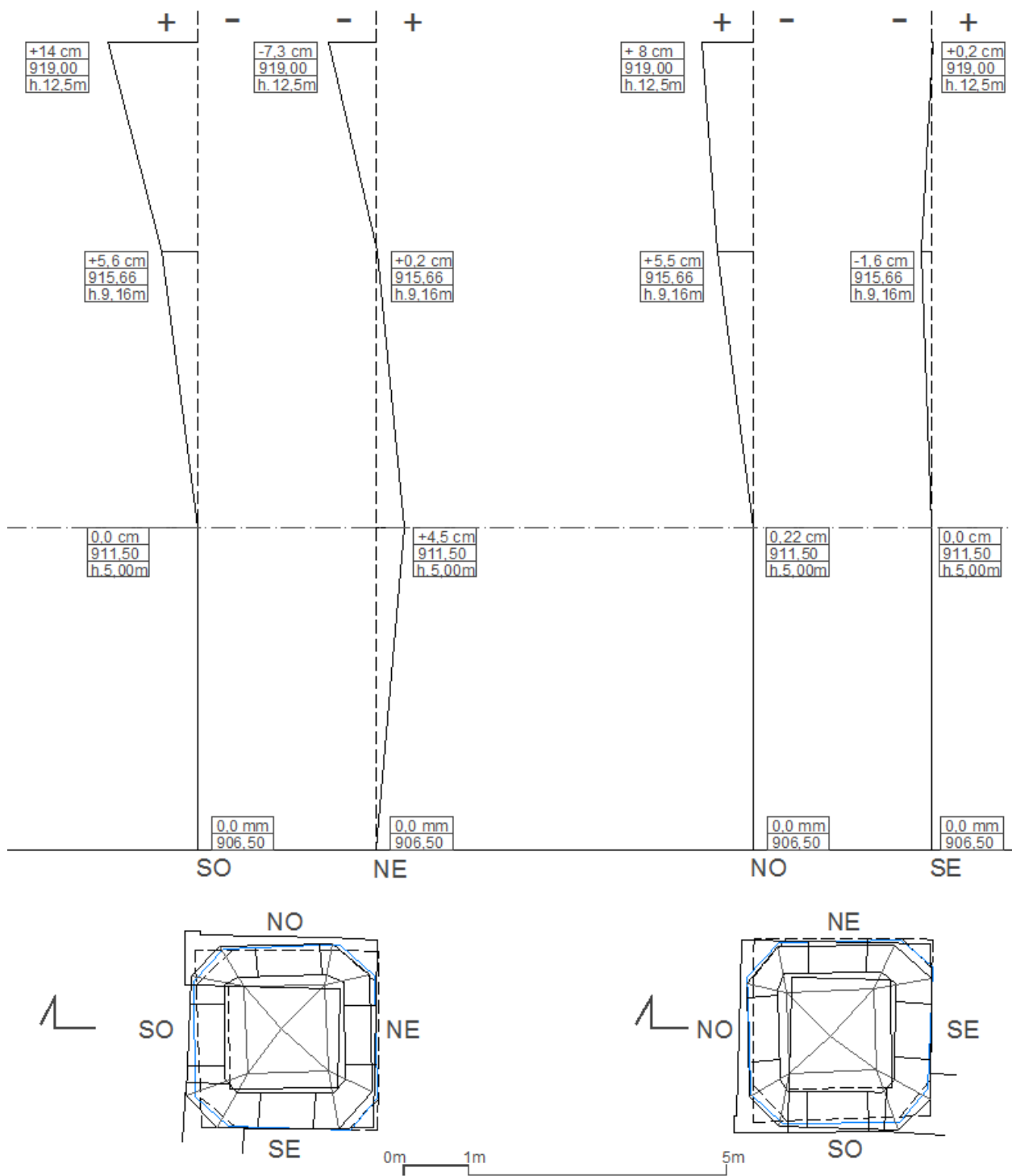
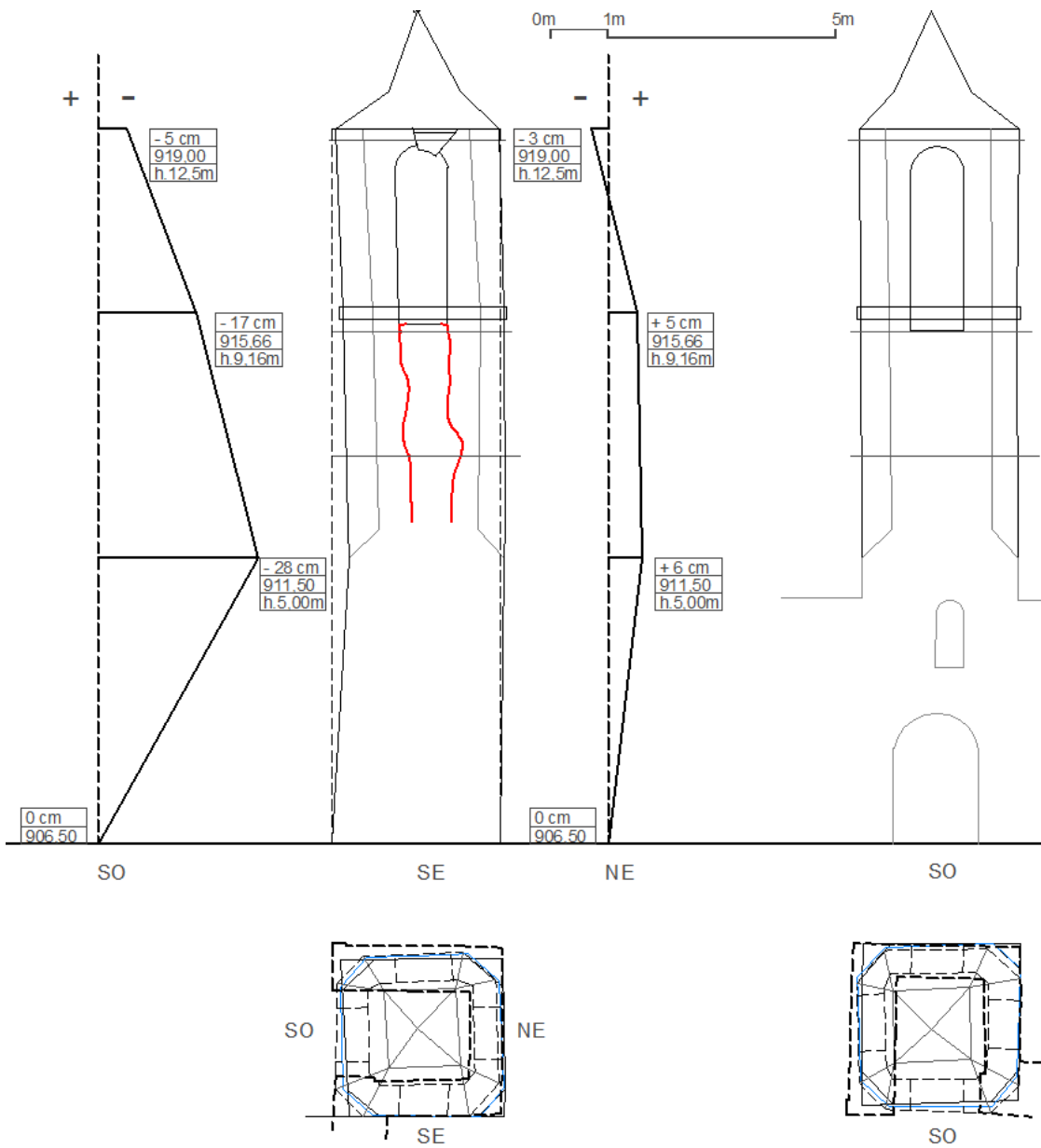


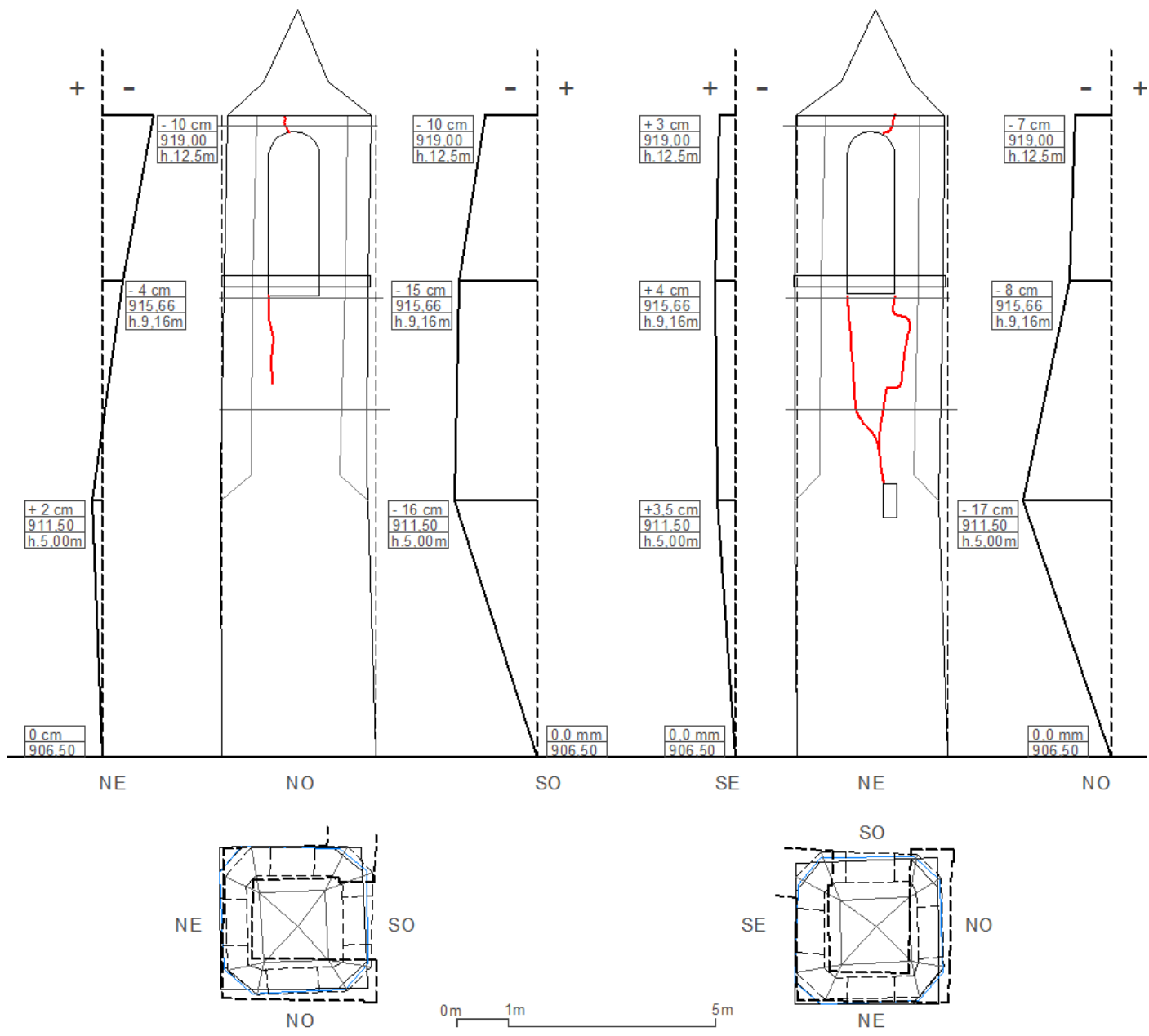
Fig. 10 Desploms multiplicats per 10.

Comprovació dels desplaços del campanar. En positiu els desplaços dels murs cap a l'exterior, en negatiu els desplaços cap a l'interior.



**Fig. 11** Desploms multiplicats per 10.

Comprovació dels desplaços del campanar. En positiu els desplaços dels murs cap a l'exterior, en negatiu els desplaços cap a l'interior.



**Fig. 12** Desploms multiplicats per 10.

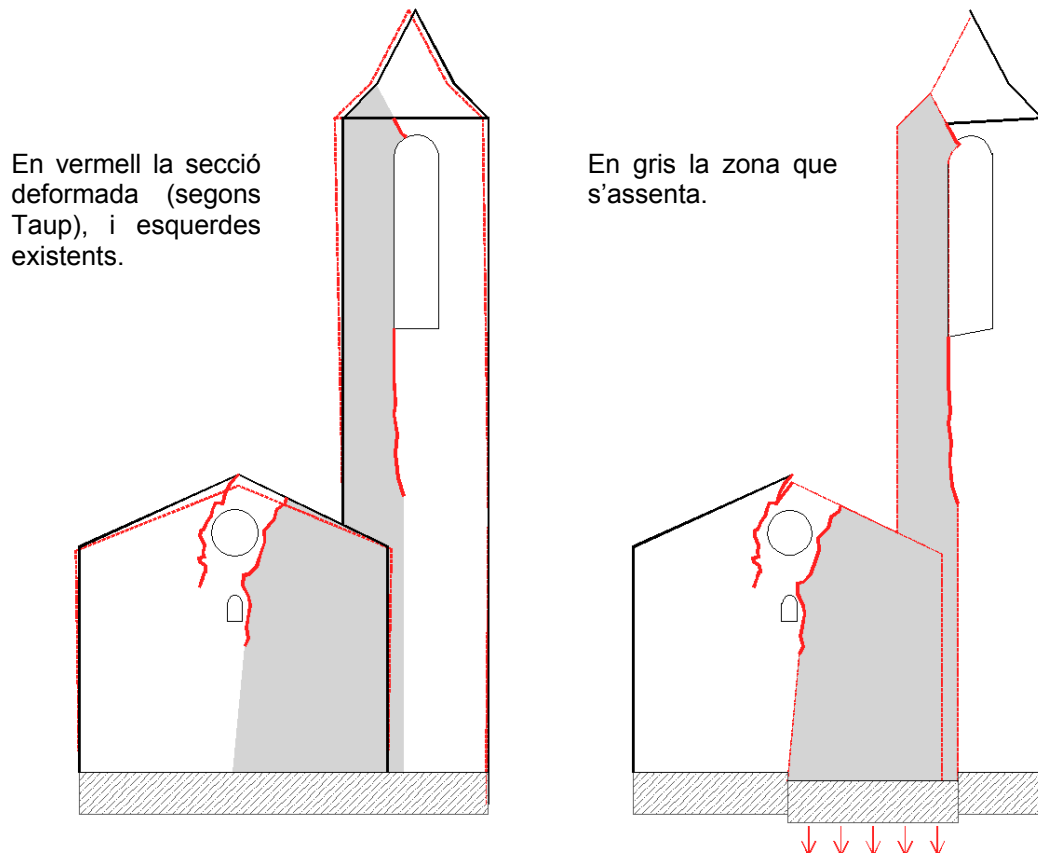
Comprovació dels desplaços del campanar. En positiu els desplaços dels murs cap a l'exterior, en negatiu els desplaços cap a l'interior.

**Es planteja una primera hipòtesi d'acord amb tot el què s'ha plantejat:**

L'església es troba en un terreny en pendent, on hi ha molta quantitat d'aigua d'escorrentia. Al voltant de l'església l'aigua corre pel terreny, procedent de les cotes superiors. Aquesta humitat sumada a la possible existència de guixos, fa que pugui haver-hi zones poc estables.

S'observa clarament que a l'extrem est de la nau el terreny presenta un desnivell més pronunciat, i que el fort pendent segueix en sentit SE i en sentit est.

Aleshores la seqüència d'esfondrament podria ser la següent: el terreny cedeix en aquest punt que sembla ser més dèbil, l'església pateix un assentament diferencial tal com mostra la figura inferior (les fotografies històriques i els càlculs semblen corroborar-ho). A causa de l'assentament l'església pateix deformacions en no resistir les traccions, i justament on el terreny pateix el desnivell més pronunciat, és on la nau de l'església té la secció més fràgil, ja que en aquesta zona no té contraforts. (Les comprovacions de l'estabilitat de la nau mostren com justament en aquesta secció (TC) la línia de pressions surt fora del terç central. Aquest fet, sumat al terreny de poca qualitat en aquest punt, permet als murs obrir-se per efecte de l'empenta de la volta, fins al punt que la volta cap dins la llum, i cau). O també l'enderroc de la coberta, que en cedir els suports cedeix i permet l'entrada d'aigua.



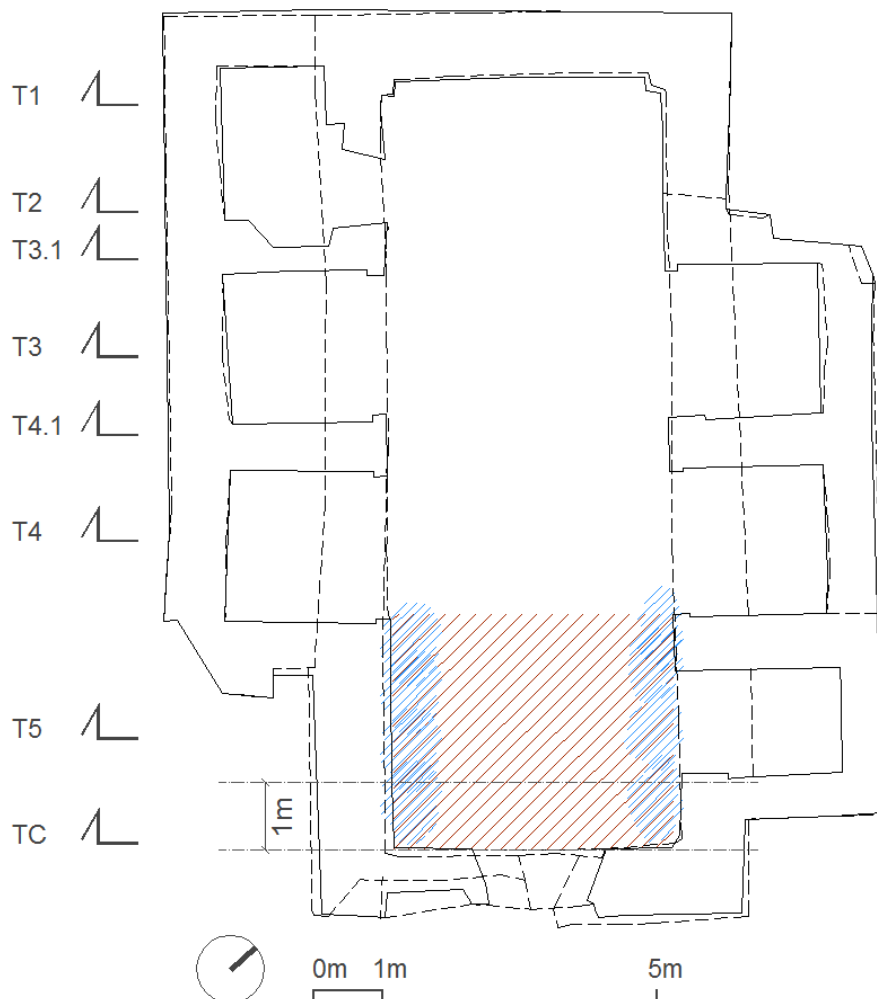
**Fig. 13** Procés de ruïna

En començar a entrar aigua per la coberta, la coberta comença a deteriorar-se i les voltes i els ronyons s'omplen d'aigua, la coberta s'esfondra sobre les voltes, que col·lapsen parcialment, seguint un procés accelerat de ruïna.

La coberta actual es troba en molt mal estat, i a la meitat SE la coberta i la volta han desaparegut. Els murs, les capelles laterals i la resta de la volta de la meitat NO que resten dempeus, es troben exposats a les inclemències del temps. Es desconeix l'estat del morter en les zones més elevades.

Es procedeix a comprovar l'estabilitat de la nau.

Es suposa una distribució lineal de les tensions, amb una tensió de compressió nul·la coincidint amb el punt de fractura, d'acord amb la teoria de l'elàstica simple. Això condueix a la regla del terç central: per a una secció transversal rectangular apareixeran traccions si la força normal s'aplica fora del terç central de la secció. Aquest punt de vista està inspirat en Heyman (1992).



**Fig. 14** Planta de l'església de Castelló de Tor.

En discontinua els murs superiors, en contínua els murs inferiors. Es marca amb una trama vermella la zona de la coberta enderrocada, i amb una trama blava la zona dels ronyons on es contempla acumulació d'aigua i per tant, augment de pes i d'empenta.

Es senyalen les seccions realitzades a l'església. Les seccions T1, T2, T3, T4 corresponen a les proporcionades per l'aixecament topogràfic de l'empresa Taup.

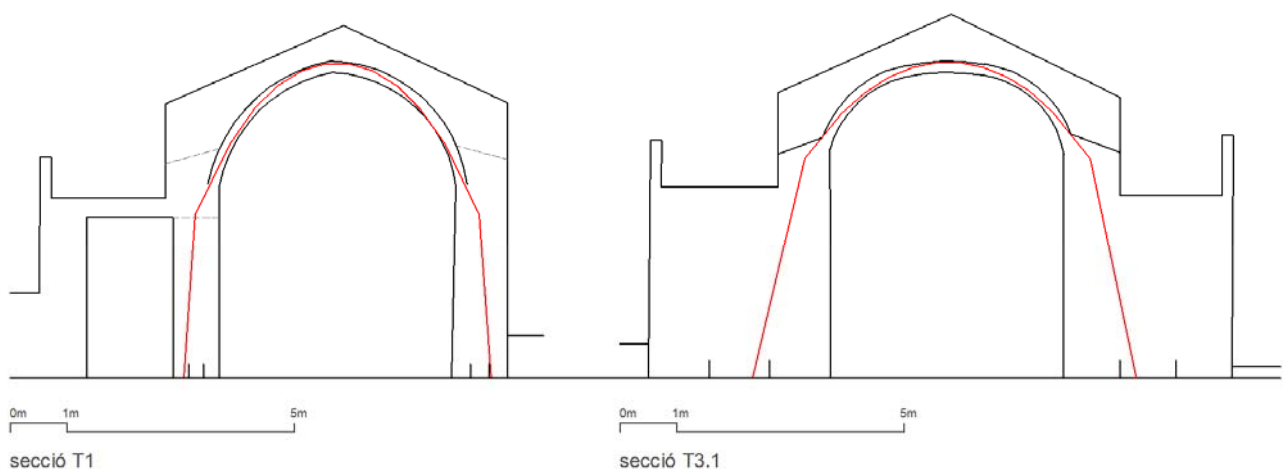
La secció T5 és la proporcionada per l'empresa Taup però afegint-hi la volta deformada de la secció T4, per tal de poder comprovar quin va ser l'estat límit de tensions abans de l'esfondrament.

Les seccions T3.1 i T4.1 corresponen a les seccions T3 i T4 respectivament però efectuant el tall per la zona dels contraforts, per tal de poder verificar correctament la seva efectivitat.

La secció TC s'ha realitzat per tal de verificar la hipòtesi de fragilitat d'aquest punt, tant pel què fa al terreny com a la secció original de la nau. Pe això s'ha considerat una amplada d'un metre en la zona on el mur no té estreps i la volta actualment està enderrocada. S'ha dibuixat la secció sense deformar i deformada.

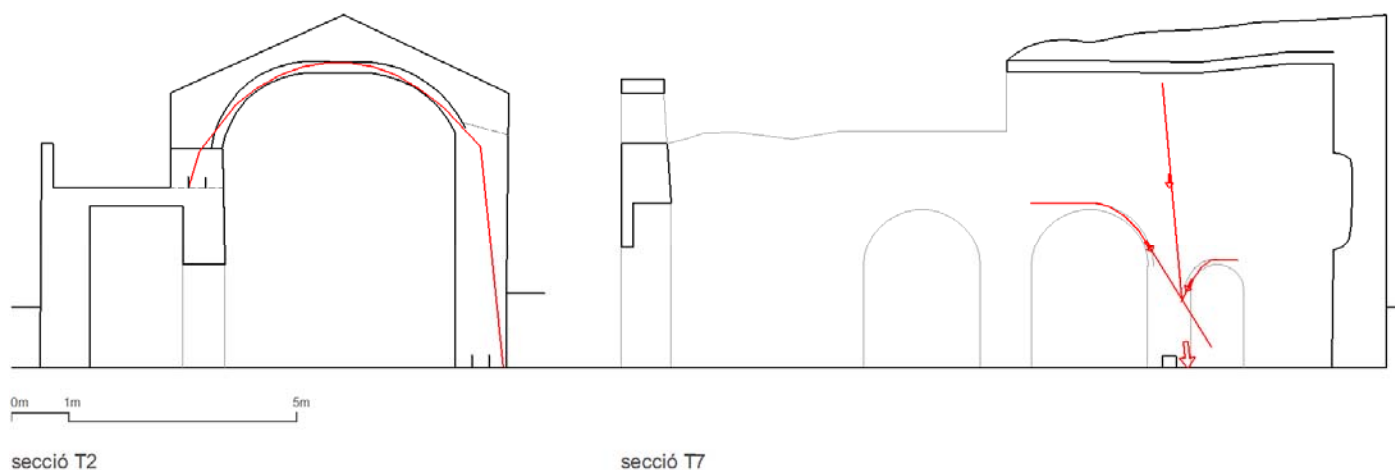
Es procedeix a comprovar, aplicant l'Anàlisi Límit, l'estabilitat de les seccions T1, T2, T3, T4. També es realitzarà la comprovació teòrica de la secció T5. I la comprovació teòrica de la secció TC amb l'arc dempeus sense deformar i amb l'arc deformat abans de l'esfondrament.

Estabilitat de les seccions T1, T2, T3, T4.



**Fig. 15** Anàlisi de l'equilibri de la nau.





**Fig. 15** Anàlisi de l'equilibri de la nau.

A la secció T1 la línia de pressions queda fora del terç central. Això fa que variacions del terreny o presència d'humitat pugui afavorir fàcilment el desplom dels murs cap a l'exterior. Al mur de la dreta, malgrat la línia de pressions quedi fora del terç central, l'existència de la capella ajudaria a frenar el moviment. Tot i així, aquest fet dependrà en última instància de la capacitat del terreny.

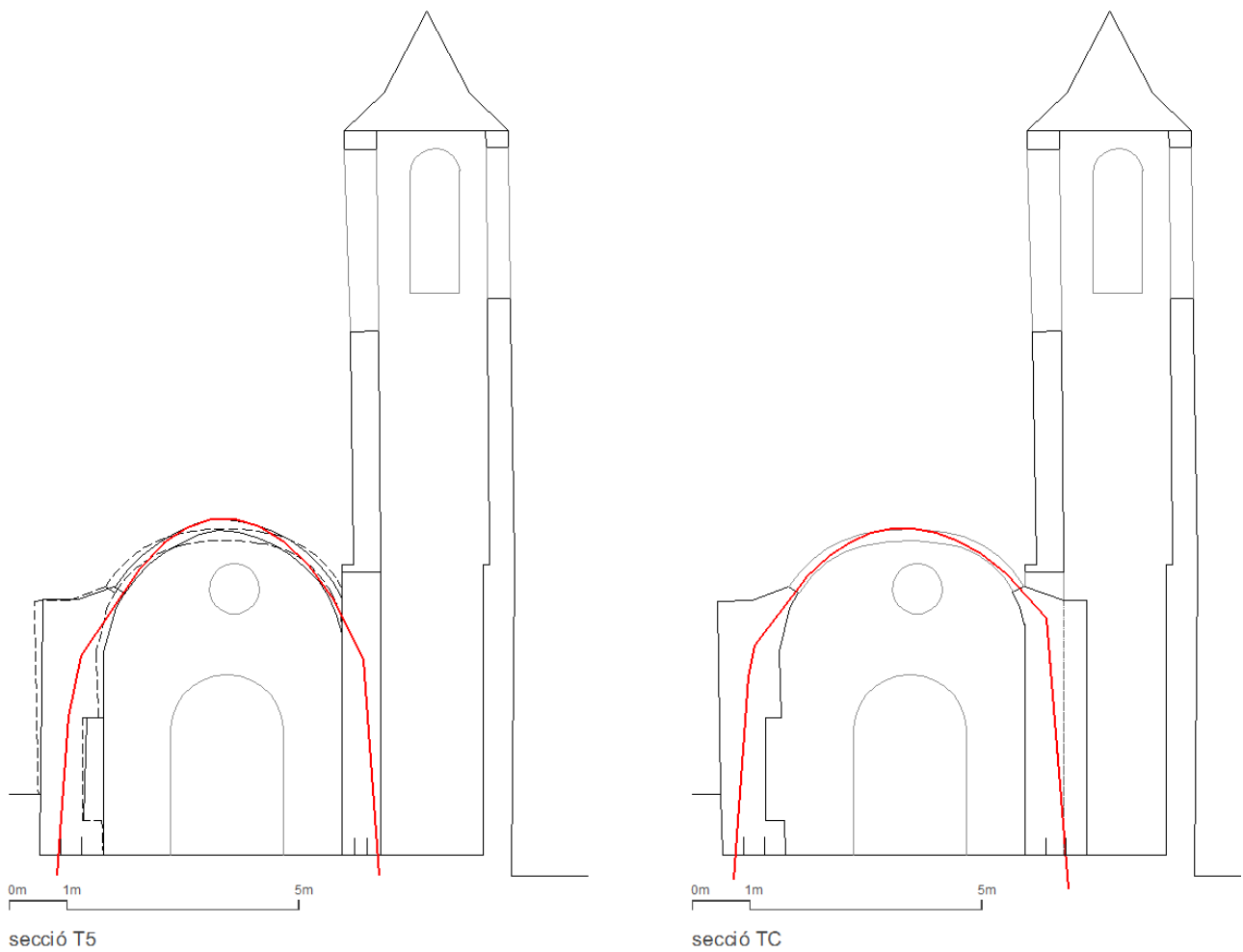
A la secció T3.1 la línia de pressions queda perfectament dins el terç central de l'estrep. Amb aquesta comprovació es verifica la seguretat dels estreps de l'església.

Cal tenir present que l'estat en què es troba l'església, envoltada de plantes, ha dificultat enormement l'aixecament topogràfic. Això afegit al fet que la coberta es troba en ruïnes, fa molt difícil determinar els recolzaments de la coberta sobre murs i volta. Per això, cal tenir present que estudis més aprofundits, o la redacció d'un projecte, ha de contemplar la comprovació del replè dels ronyons, ja que, com s'observa en les seccions, la línia de pressions va molt al límit de la secció d'aquest replè teòric proposat.

A la secció T2 s'observa com de nou el mur sense estrep (dreta) sembla ser insuficient per a resistir l'empenta de la volta, ja que la línia de pressions surt del terç central de la seva secció.

Cal tenir present que la interpretació dels resultats exposats va encaminada a donar una visió general del comportament actual de la ruïna, en vistes a afinar el càlcul en cas de redactar un projecte executiu. Les comprovacions del present informe han de servir per a establir pautes i criteris de partida, que tot projecte executiu haurà d'ajustar, validar i justificar.

**Fig. 16** Comprovació teòrica de la secció T5:



A la secció T5 s'observa com de nou el mur sense estrep (esquerra) no centralitza la càrrega, quedant fora del terç central. Cal tenir present que en aquest cas no s'ha descartat el pes de la coberta, perquè no hi ha coberta. Tot i així, tampoc no hi ha volta, ja que en aquesta zona s'ha esfondrat.

El càlcul proporciona una idea força entenedora de l'esfondrament de la volta en aquesta zona i el mal estat del mur (enderrocat en la seva major part. La fulla interior i part de l'argamassa queda dempeus).



1997

Fig. 17



acatualitat

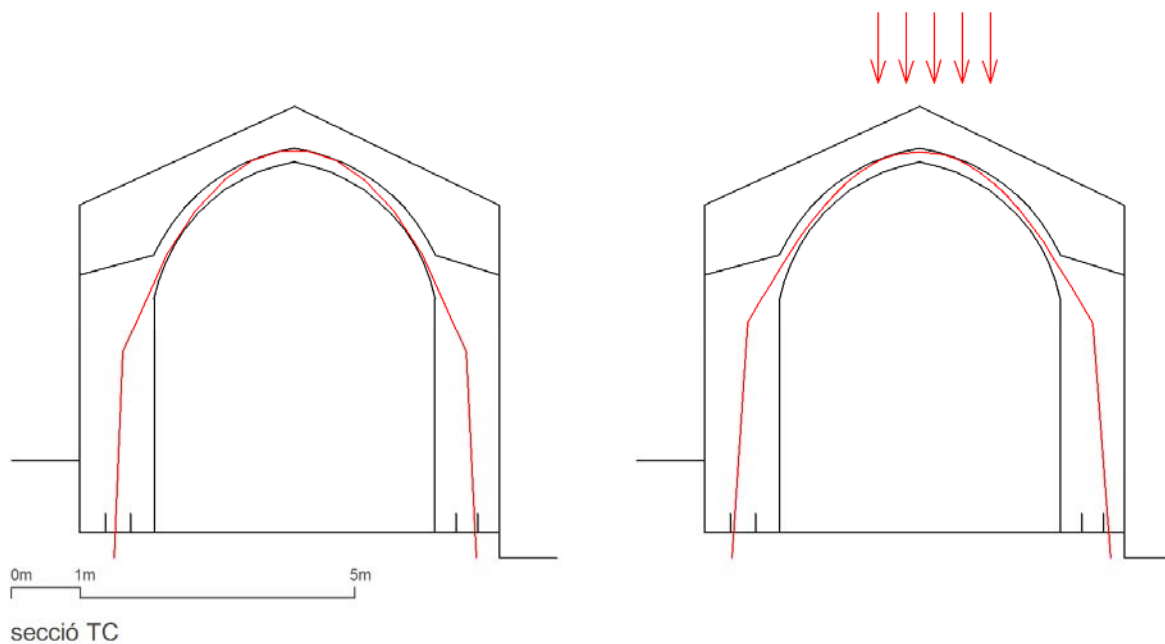
El mur dret de la secció T5 és el mur del campanar, s'ha realitzat una hipòtesi amb el gruix del mur del campanar i la línia de pressions surt fora del terç central. Tot i així la realitat constructiva possiblement s'assimili més a la secció TC, on malgrat que el mur de la dreta és més gruixut, la línia de pressions també s'apropa molt al límit exterior del terç central.

La relació i la lectura d'aquestes dues seccions per a comprendre l'esfondrament és clara:

El terreny menys compacte en aquest punt produeix assentament diferencial que deforma la volta augmentant-ne l'empenta (secció TC), fet que n'accentua la deformació. Pel què fa al mur esquerre l'empenta de la volta sense deformat ja queia fora del terç central, si a això s'hi afegeix la volta deformada, l'excentricitat creix i en conseqüència la possibilitat de bolcament. Un cop la volta ha deformat, la presència d'humitat al terreny o qualsevol altre moviment es converteix en irreversible, ja que, tal com ha succeït la volta s'esfondraria. Efectivament, s'observa com la línia de pressions de la volta surt lleument per sota de l'intradós, sobretot a la banda de la dreta, on va iniciar-se l'esfondrament d'acord amb les fotografies històriques que s'han trobat.

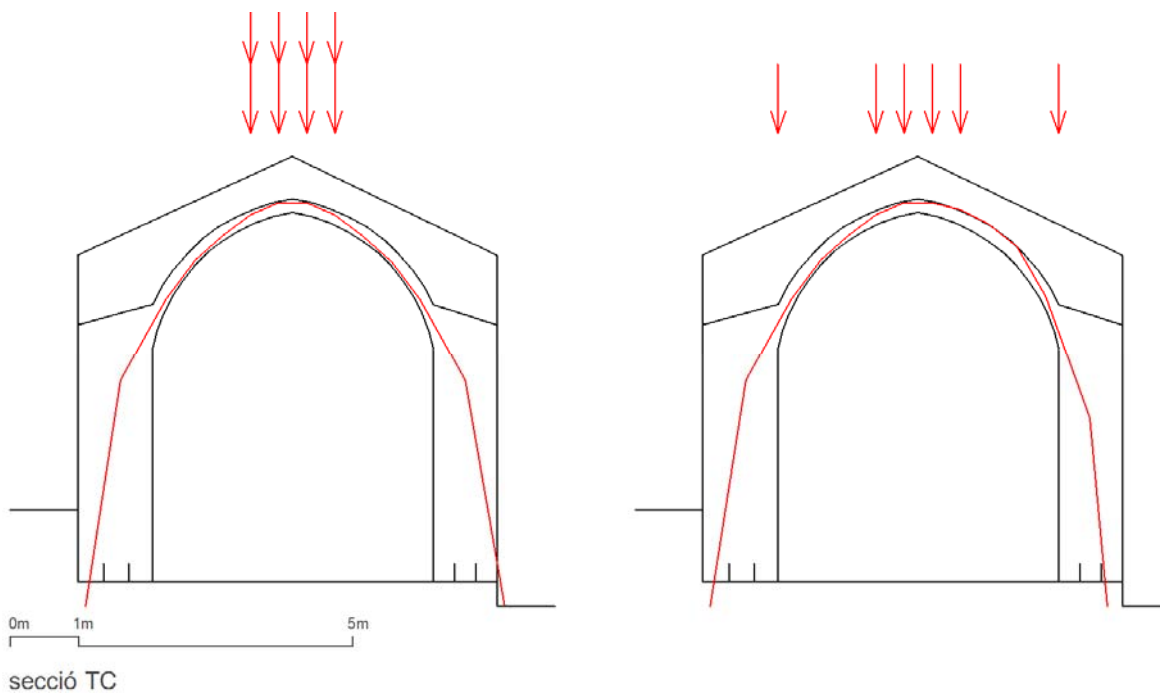
Per a verificar aquesta hipòtesi d'esfondrament de la volta i inici de deteriorament dels murs, es realitza la comprovació de la secció TC. Aquesta secció es considera la més fràgil, ja que els murs no tenen estreps i existeix un desnivell considerable en el terreny. Es realitzen diferents comprovacions que serviran per a verificar la hipòtesi plantejada:

Comprovació teòrica de la secció TC amb l'arc dempeus sense deformat i amb l'arc deformat abans de l'esfondrament.



**Fig. 18** Secció TC sense deformat

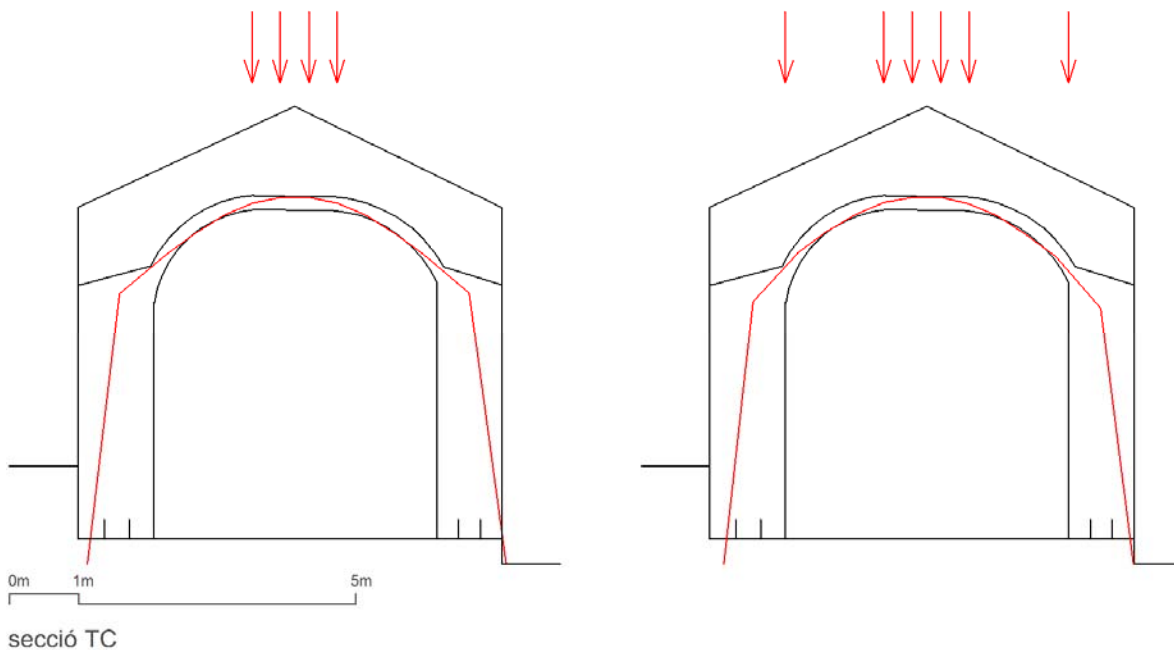
Secció de Comprovació TC aplicant la càrrega i l'empenta de la volta (esquerra) i aplicant la càrrega i l'empenta de la volta amb la coberta reformada segons els criteris del XVIII, col·locant una pilastra central (dreta). S'observa com en el primer cas la línia d'esforços queda dins el terç central de la secció, mentre que en el segon, quan la coberta carrega sobre el centre de la volta a través de la pilastra centrada, al mur de l'esquerra la línia s'acosta molt al límit del terç central i al mur de la dreta sobresurt d'aquest límit.



**Fig. 19** Secció TC

A la Figura 19, secció de Comprovació TC aplicant la càrrega i l'empenta de la volta més el pes de la coberta sobre la pilastra central i augmentant aquest pes considerant que part de la coberta ha fallat (esquerra); i aplicant la càrrega de la volta i la càrrega de la part de la coberta enderrocada més l'augment de pes dels ronyons per possible entrada d'aigua (dreta).

S'observa com en el primer cas la línia de pressions surt del terç central i fins i tot al mur de la dreta surt de la secció, fet que hauria comportat l'esfondrament del mur; per això, una situació més realista és la segona, on l'augment de pes dels ronyons recentralitza la càrrega. Tot i així l'estabilitat no és la desitjada, ja que la línia sobresurt del terç central.



**Fig. 20** Secció TC amb volta formada

A la Figura 20, secció de Comprovació amb la càrrega i l'empenta de la volta deformada (esquerra) i el pes de la coberta sobre la pilastra central; i amb la volta deformada, la càrrega de la part de la coberta més l'augment de pes dels ronyons (dreta). S'observa com la línia de pressions surt del terç central i fins i tot surt de la secció al mur dret del primer cas.

S'observa com abans de fallar els estreps fallaria la volta (com ha estat el cas), ja que la línia de pressions s'acosta perillosament al límit inferior de la secció o, en el segon cas, sobresurt pel límit de l'intradós de la secció de la volta, fet que indicaria el seu esfondrament, tal com efectivament va succeir.

#### 4.9.4 Hipòtesi de l'origen de les lesions i conclusions

Al segle XVIII es van realitzar modificacions de la coberta, de manera que en comptes de lloses que recolzaven directament sobre la volta es va optar per un sistema de pilastres, com es feia en moltes esglésies de l'època. Les pilastres recolzaven sobre l'extradós de la clau de la volta i sobre els murs perimetrals, d'aquesta manera es podien sostenir les bigues de coberta que en configuraven les vessants.

Això causava un augment de l'empenta de la volta en els punts on les pilastres recolzaven. Una d'aquestes zones coincidia amb la secció més dèbil de la nau (TC), on no hi ha capelles i el gruix de l'estrep és el gruix del mur, també és la zona on el terreny és menys compacte i fa un pendent pronunciat.



**Fig. 21** Fotografies de les pilastres de coberta

La reforma de la coberta que es va dur a terme als voltants del segle XVIII va originar un augment de l'empenta de la volta de la nau que en la secció més dèbil i on el terreny és menys compacte va derivar en el moviment dels murs i el col·lapse de la volta en aquest punt, quan aquesta va cabre dins la llum.

Recomanacions:

- Abans de realitzar qualsevol treball de neteja cal consolidar la coberta del campanar o almenys, eliminar-ne els elements en perill de desprendiment, també treure les campanes i altres elements solts. Això s'ha de fer, per exemple, amb una plataforma elevadora des del vial.
- Es desconeix l'estat del morter, sobretot a dalt del campanar, caldria realitzar operacions de rejuntat d'urgència amb morters adequats en cas d'apreciar peces soltes, per tal de consolidar abans de començar a netejar i esbossar a sota.
- Cal comprovar l'estat de l'anell metàl·lic i del forjat amb què està connectat. Cal comprovar el nivell d'oxidació i com afecta a les parts dels murs del campanar.
- Les comprovacions de l'estabilitat de la nau mostren com hi ha seccions dèbils que si s'hi suma el pes de la coberta enderrocada que recolza sobre la volta poden augmentar el desplom dels murs amb el consegüent augment de la pèrdua de geometria i per tant, d'estabilitat. Tot projecte executiu ha de comprovar, amb l'església neta, l'estabilitat d'aquestes seccions i si continua el moviment; i prendre les mesures pertinents (mínimes, no invasives i reversibles) i justificar-les.
- Cal que un cop consolidat mínimament el campanar i part dels elements de la coberta i coronament dels murs que es poden despendre, es realitzi una esbossada de l'entorn. Amb l'entorn net cal tornar a efectuar els càlculs pertinents.



- Els desploms de la façana SE són considerables i caldria assegurar la capacitat del terreny per a frenar-los en cas que segueixin vius. Hi ha diverses solucions econòmiques i gens invasives per a aconseguir-ho.
- Cal refer la part de la coberta on la volta no s'ha esfondrat i evitar l'entrada d'aigua. També s'ha d'assegurar que la nova coberta restitueix els replens dels ronyons en la proporció i magnitud necessàries per a l'estabilitat i que es recolza adequadament sobre les preexistències.
- Cal consolidar els coronaments dels murs amb mètodes adequats.
- Cal refer la coberta del campanar i evitar l'entrada d'aigua.
- Tot projecte executiu ha de comprovar la viabilitat del cercol metàl·lic existent al campanar, així com el seu estat.
- Cal allunyar el pas de l'aigua d'escorrentia de les bases dels murs del temple, i assegurar que l'aigua no s'entolla en el subsòl.
- Cal tenir present que la interpretació dels resultats exposats va encaminada a donar una visió general del comportament actual de la ruïna, en vistes a afinar el càlcul en cas de redactar un projecte executiu. Les comprovacions del present informe han de servir per a establir pautes i criteris de partida, que tot projecte executiu haurà d'ajustar, validar i justificar.
- Es considera perfectament viable la consolidació de l'edificació existent, realitzant-hi actuacions de consolidació mínimes, no invasives i reversibles.

## 4.10 Anàlisi de l'estabilitat de la Catedral de Bogotà

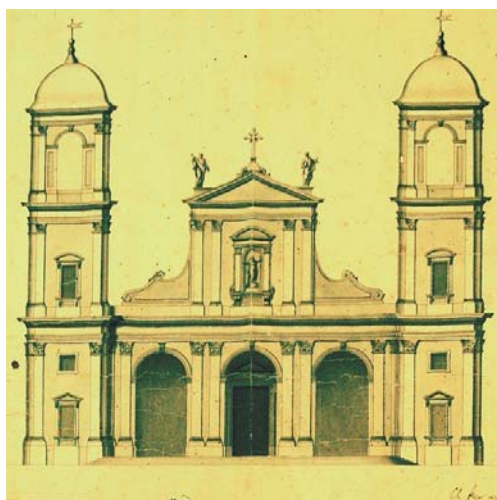
La Catedral de Bogotà (Colòmbia), va ser projectada per fray Domingo Petrés i es va construir entre el 1807 i el 1823. Fra Domingo Petrés procedia dels territoris de la Corona d'Aragó<sup>1</sup>, igual que fra Manel Sanahuja, que construí la Catedral de Potosí (Bolívia) entre 1808 i 1838.

### 4.10.1 Antecedents

Es va realitzar una visita a la Catedral de Bogotà en data 26 de desembre de 2015. Es va poder accedir a l'extradós de les voltes i es va comprovar que són de rajola doblada. El Sr. Andrés Camilo Moreno Bogoya va facilitar l'accés a l'extradós de les voltes.

També es va poder accedir a la documentació de l'Arxiu del Bisbat sobre la Catedral de Bogotà, per la qual cosa es va realitzar una petició formal al Degà i Capítol de la Catedral de Bogotà, Mn. Jaime Alberto Mancera Casas, que la trameté al canonge arxiver.

Segons la historiadora Maria Garganté, la concepció de les façanes de les catedrals de Potosí i de Bogotà és molt diferent. I atribueix a Petrés un model més acord amb el classicisme romà (com les obres dels enginyers militars Pedro Marín i Josep Prat, o com la Catedral de Lleida o l'església de Vilallonga del Camp), i en canvi atribueix a Sanahuja una concepció més barroca, que es desprèn de la sensibilitat popular de les parròquies de l'antiga Corona d'Aragó<sup>2</sup>.

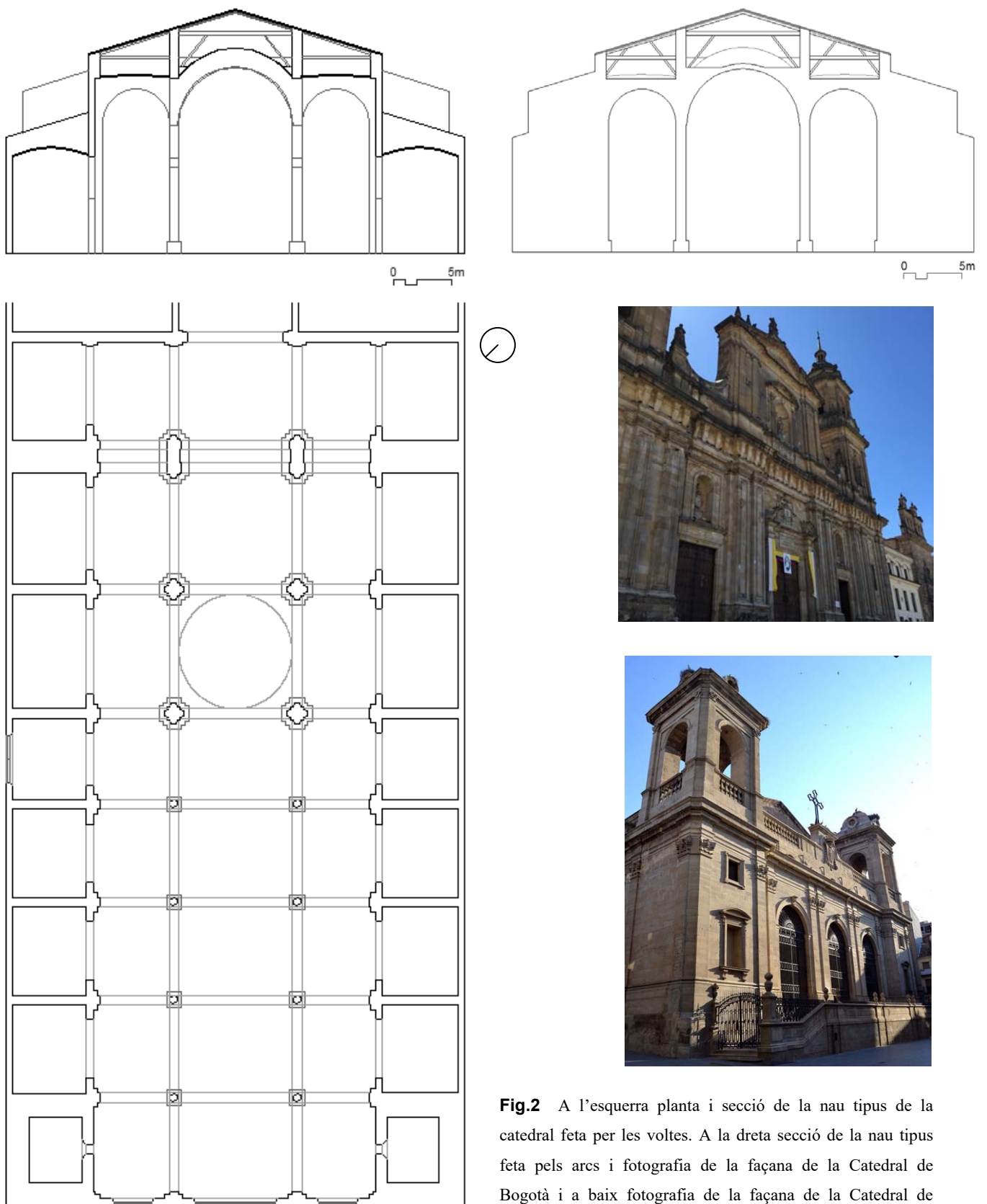


**Fig.1** A l'esquerra façana de la Catedral de Bogotà, a la dreta dibuix de la façana projectada per Pedro Martín Cermeño per a la Catedral de Lleida. La similitud és evident.

<sup>1</sup>GARGANTÉ LLANES M., 2008. Introducción al imaginario constructivo de Sanahuja: La arquitectura religiosa en la zona de Lleida y Tarragona durante la segunda mitad del siglo XVIII.

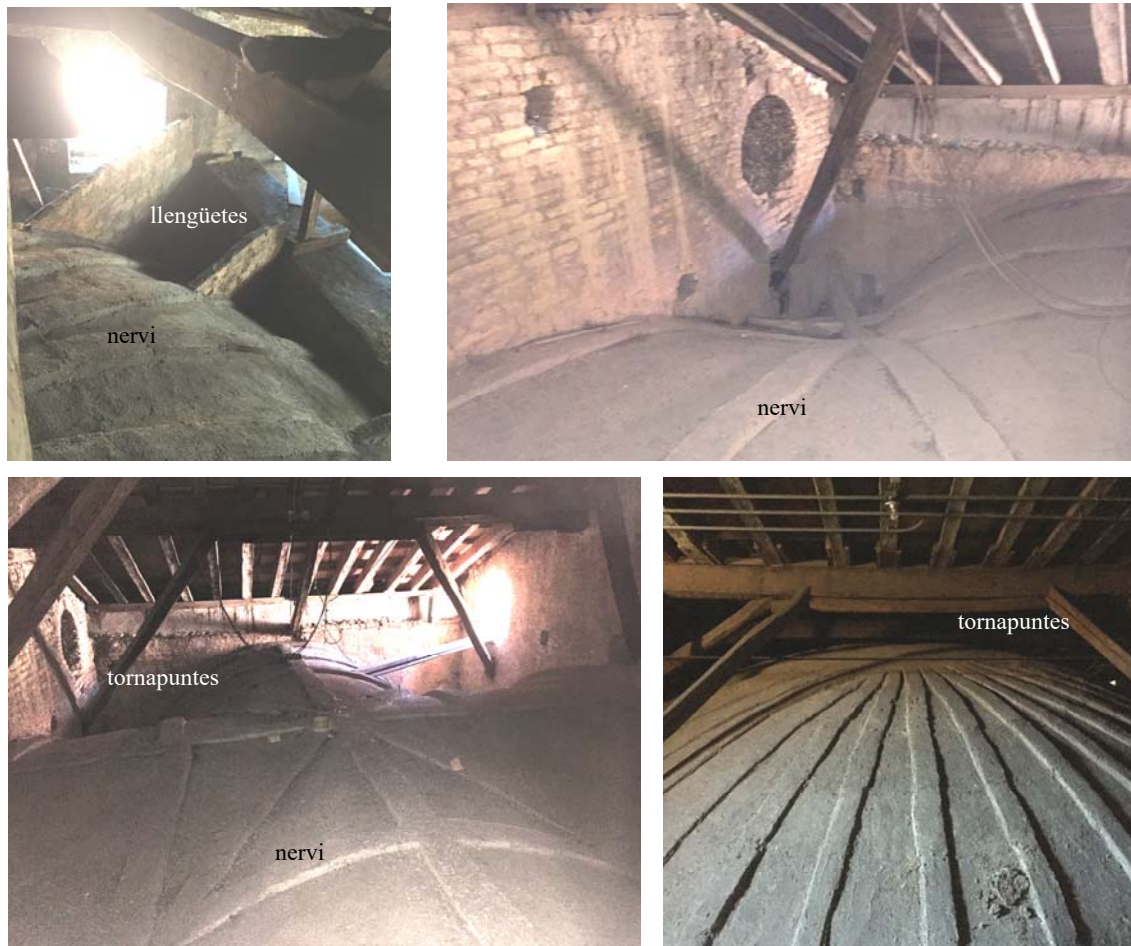
<sup>2</sup>GARGANTÉ LLANES M., 2013. Un franciscano en Potosí: influencias vernáculas en la nueva Catedral. Cepesepublicación.

Tal com s'explica a l'apartat 4.11., a les dues catedrals se'ls atribueix una filiació amb la Catedral de Lleida.



**Fig.2** A l'esquerra planta i secció de la nau tipus de la catedral feta per les voltes. A la dreta secció de la nau tipus feta pels arcs i fotografia de la façana de la Catedral de Bogotà i a baix fotografia de la façana de la Catedral de Lleida.

Les voltes de la Catedral de Bogotà són de mocador, i en conseqüència tenen nervis a l'extradós formats per una filada més de rajola i repartits radialment, en el sentit dels meridians, per tot l'extradós. També es poden observar les llengüetes. La coberta està formada per un entramat de jàsseres, biguetes i tornapuntes de fusta. Aquesta solució de coberta recorda la solució d'algunes esglésies barroques estudiades, com la capella de la Universitat de Cervera o la col·legiata d'Alcañiz.



**Fig.3** Fotografies de l'extradós de la Catedral de Bogotà en l'actualitat. S'observen els tronapuntes de la coberta, les llengüetes i els nervis de les voltes.



**Fig.4** Tornapuntes a l'extradós de la coberta de la capella de la Universitat de Cervera. 1718-40.



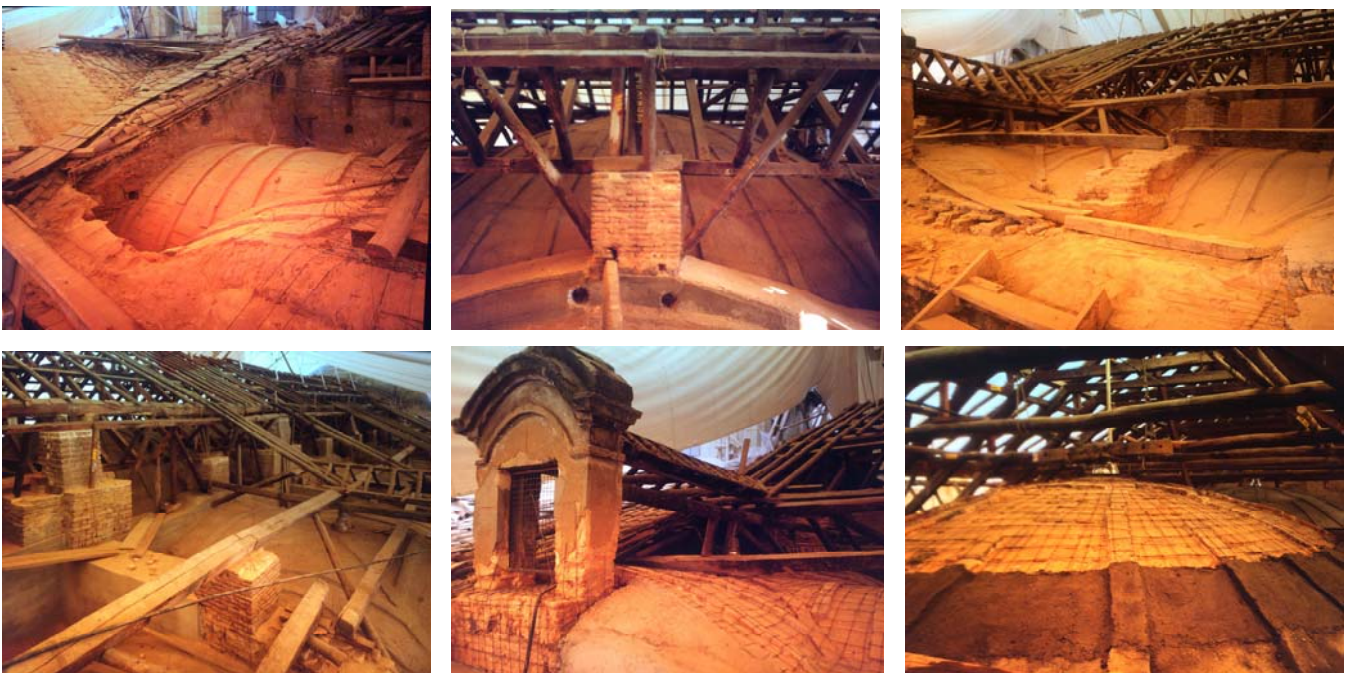


**Fig.1** Tornapunts a l'extradós de la coberta de la col·legiata d'Alcañiz. 1736-79.



**Fig.5** Llengüetes i nervis de les voltes de rajola doblada de la Catedral de Lleida. 1761-90.

El 2006 es va realitzar la rehabilitació de la coberta consistent en desmuntar l'entramat de bigues de fusta existent, col·locar una capa de compressió de formigó sobre les voltes i recol·locació de l'entramat de fustes noves o reutilitzades de la coberta seguint els patrons de l'estat original prèviament documentat.



**Fig.6** Fotografies del desmuntatge de les fustes de la coberta i de la col·locació de la capa de compressió. Arxiu Diocesà de Bogotà.



A la Figura 6 es mostra la configuració de l'entramat de fusta de la coberta durant el desmuntatge i el posterior mallat i formigonat de les voltes.

A la Figura 7 s'observa molt clarament la construcció de les voltes de rajola doblada reforçades amb nervis radials en el sentit dels meridians. Els elements de l'extradós es van numerar i documentar. Posteriorment es van col·locar rodons d'acer per a formigonar i crear una capa de compressió de formigó armat.



**Fig.7** Fotografies de les voltes durant el desmuntatge de la coberta. Els treballs van comportar la catalogació de tots els elements.



#### 4.10.2 Estabilitat

Es procedeix a estudiar el comportament estructural de la Catedral de Bogotá. S'aplicarà l'estàtica gràfica al tram de la nau tipus amb les voles sense "reforçar" (en el què hauria de ser el seu estat original), i amb les voltes "reforçades" amb el sobrepès afegit de la capa de compressió de formigó armat. Es considera una capa de compressió de 5cm de gruix.

Es considera la geometria ideal sense deformar amb l'aixecament realitzat amb les mesures preses in situ.

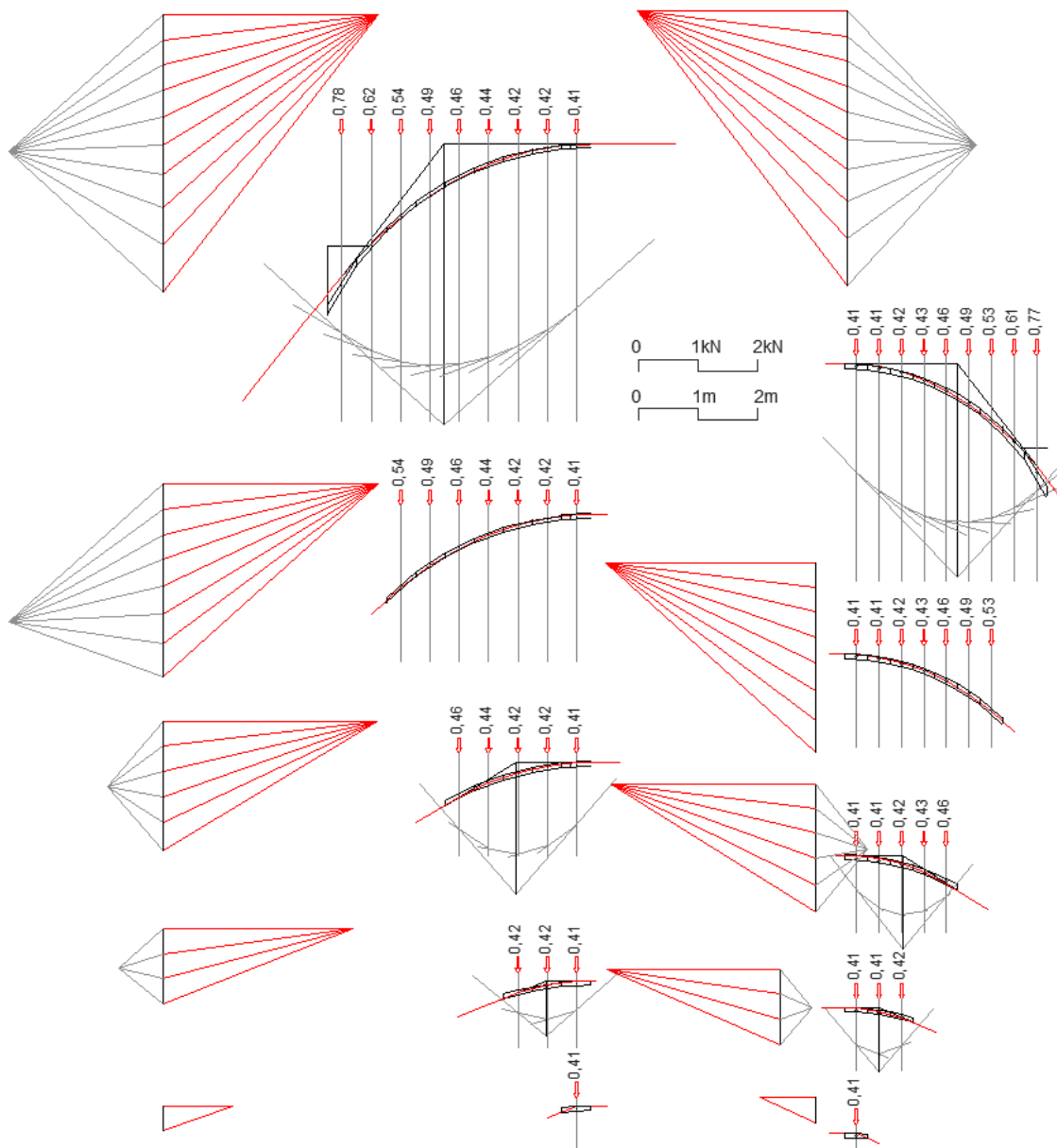
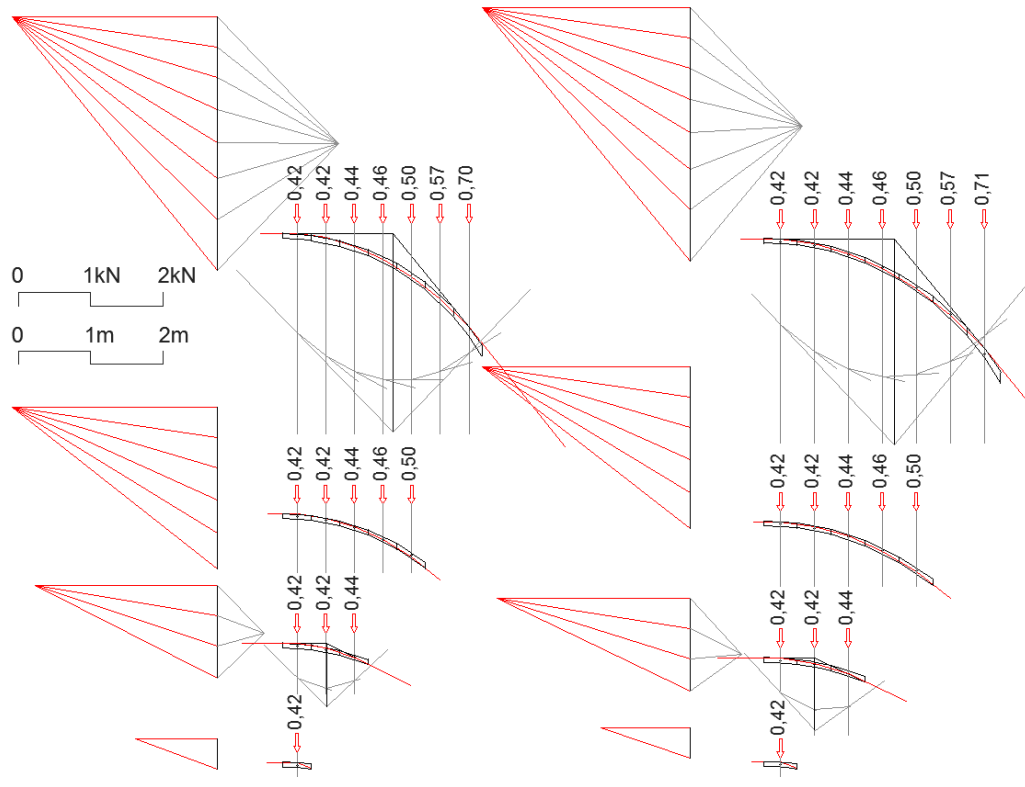
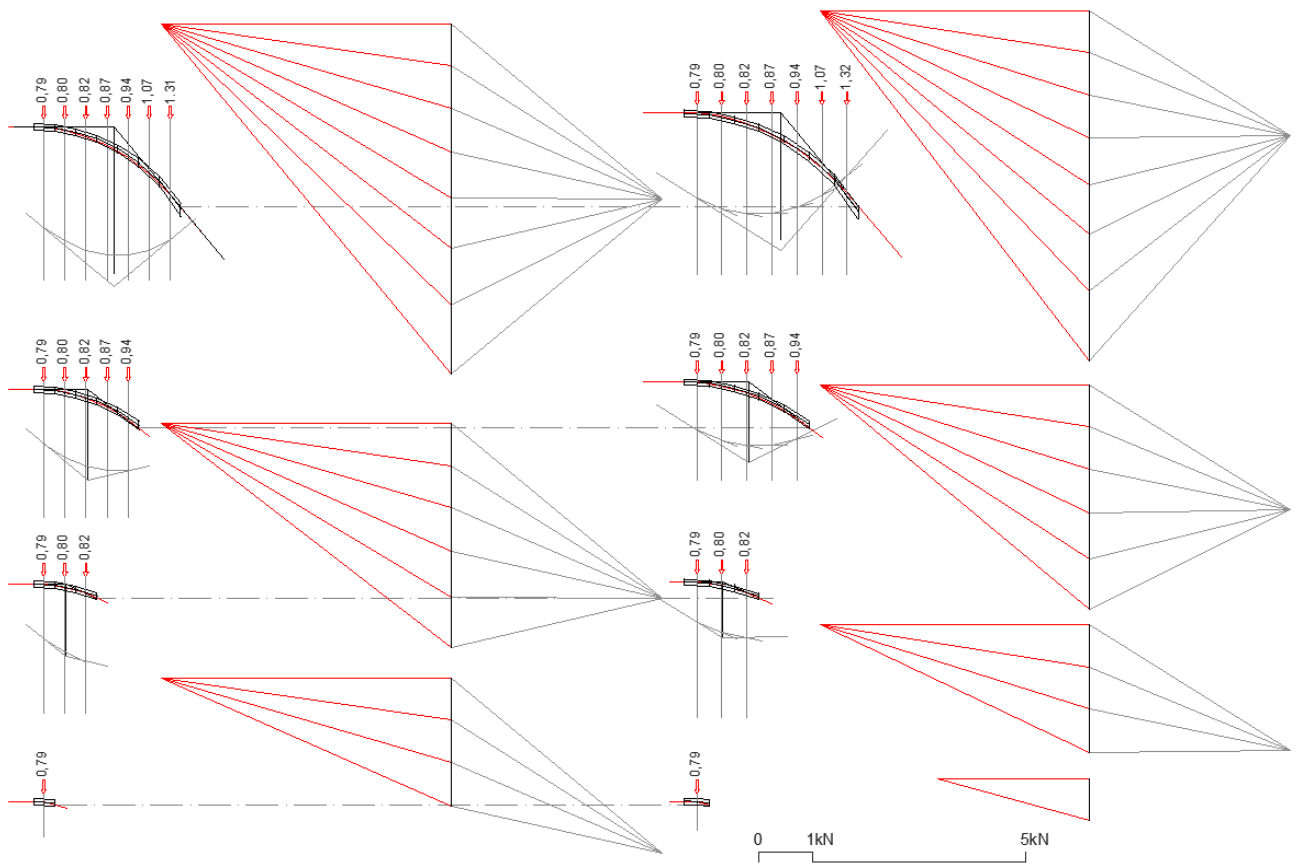


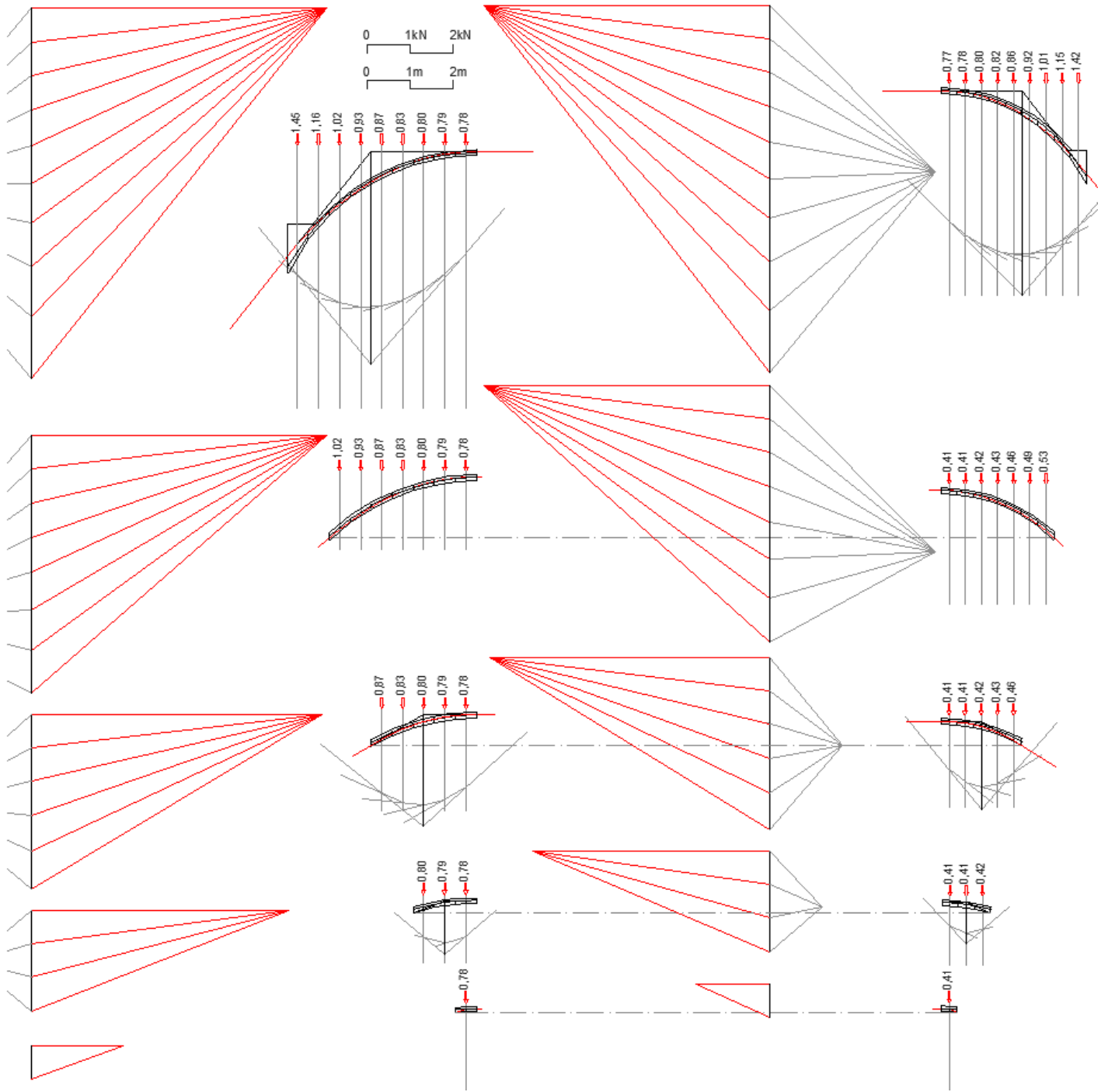
Fig.8 Estabilitat de les voltes de la nau central sense capa de compressió.



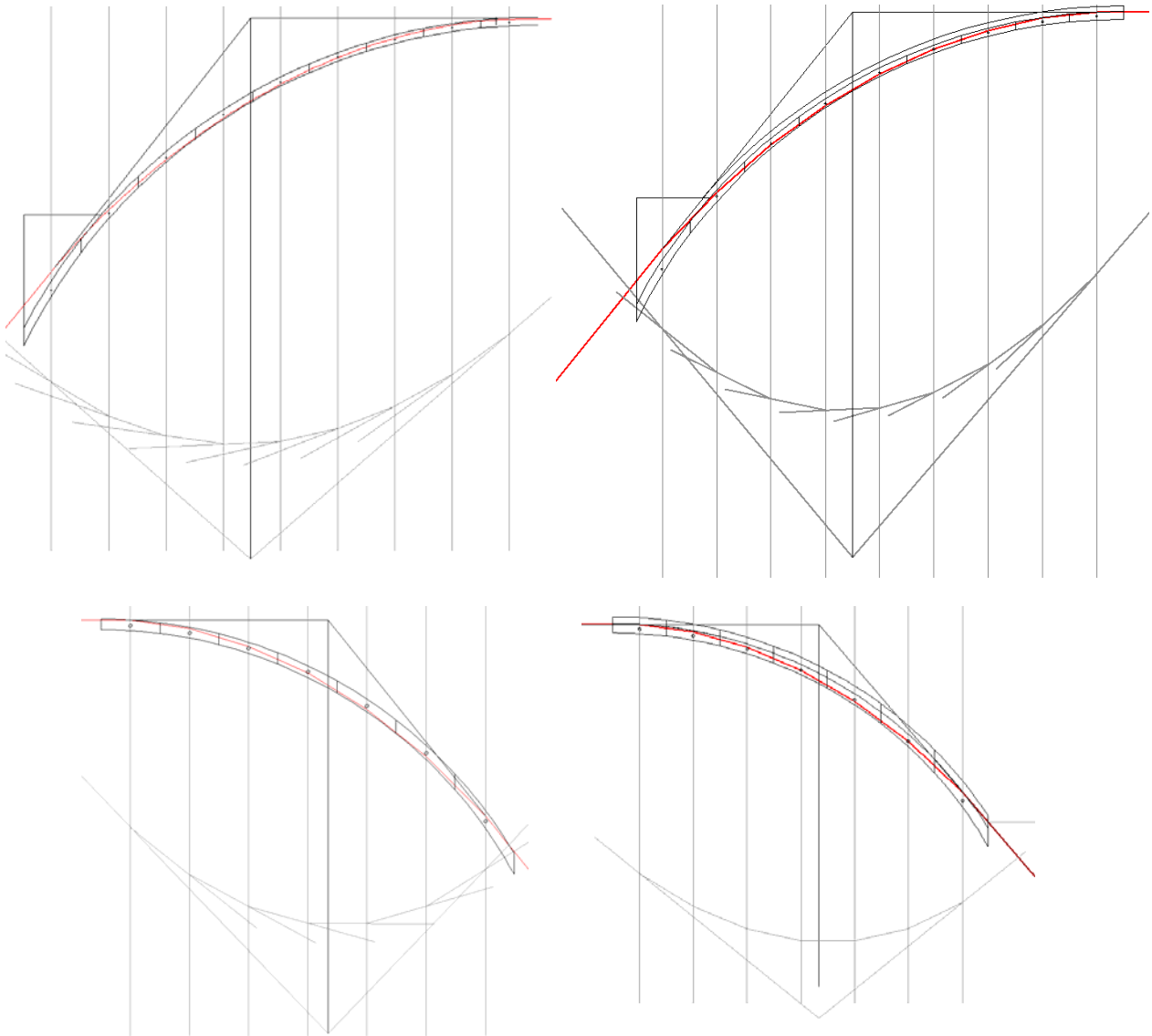
**Fig.9** Estabilitat de les voltes de les naus laterals sense capa de compressió.



**Fig.10** Estabilitat de les voltes de les naus laterals amb capa de compressió.



**Fig.11** Estabilitat de les voltes de la nau central amb capa de compressió.



**Fig.12** Comparació de l'estabilitat de porcions de les voltes, a l'esquerra estabilitat per a la nau central i la nau lateral sense capa de compressió, a la dreta, estabilitat per a la nau central i la nau lateral amb capa de compressió. La línia de pressions entra dins de la secció en els dos casos.

Les voltes de rajola doblada de la Catedral són perfectament estables sense la necessitat d'una capa de compressió. Tant sols hagués calgut assegurar-se que el morter està en bones condicions i que no hi ha pèrdua alarmant de la geometria, com és el cas.

El sobrepès que representa la capa de compressió de formigó significa un augment considerable de l'empenta de les voltes. Tal com mostra la Taula 1, la capa de compressió augmenta el doble el pes de les voltes i també duplica l'empenta (Hx). Es procedeix a valorar la seguretat de la secció de la nau amb les voltes "reforçades" i sense "reforçar".

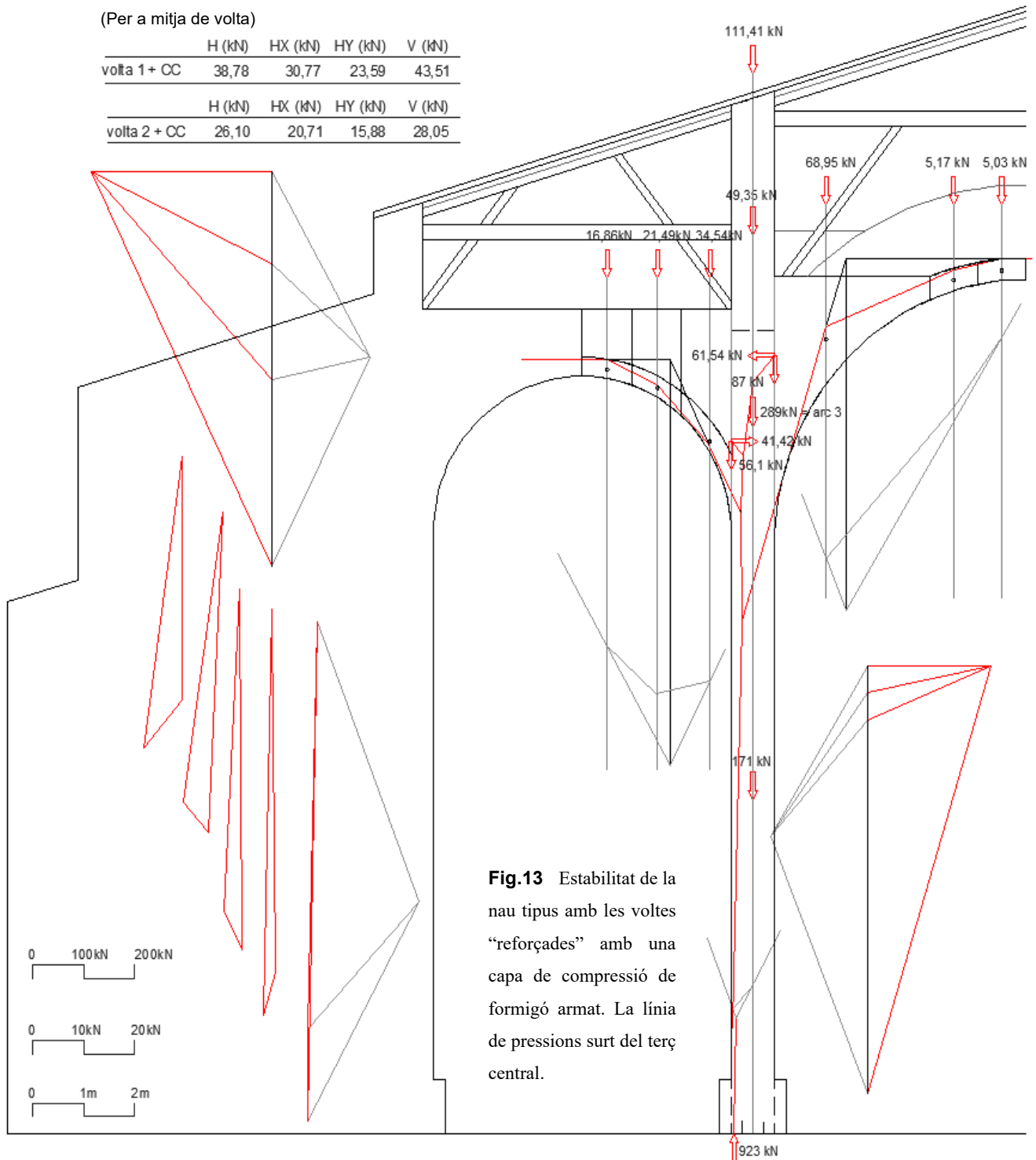
	Pes	Empenta (Hx)
volta nau central	46,6 kN	32,94 kN
volta nau lateral	29,8 kN	17,28 kN
volta nau central amb capa de compressió de formigó	87 kN	61,54 kN
volta nau lateral amb capa de compressió de formigó	56,1 kN	41,42 kN

**Taula 1** Comparació dels pesos i l'empenta de les voltes sobre el pilar, sense i amb capa de compressió.

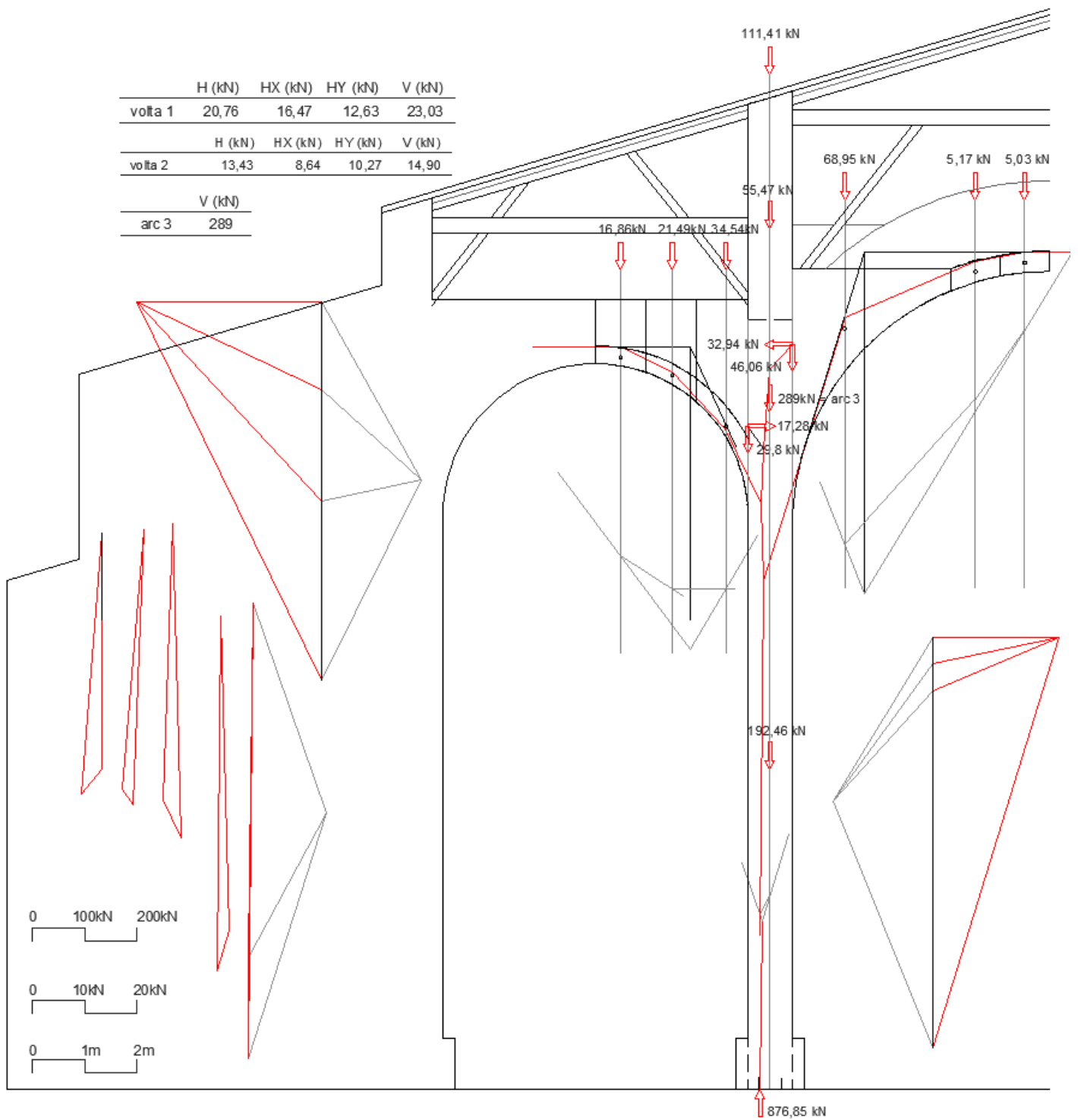
(Per a mitja de volta)

	H (kN)	HX (kN)	HY (kN)	V (kN)
volta 1 + CC	38,78	30,77	23,59	43,51

	H (kN)	HX (kN)	HY (kN)	V (kN)
volta 2 + CC	26,10	20,71	15,88	28,05

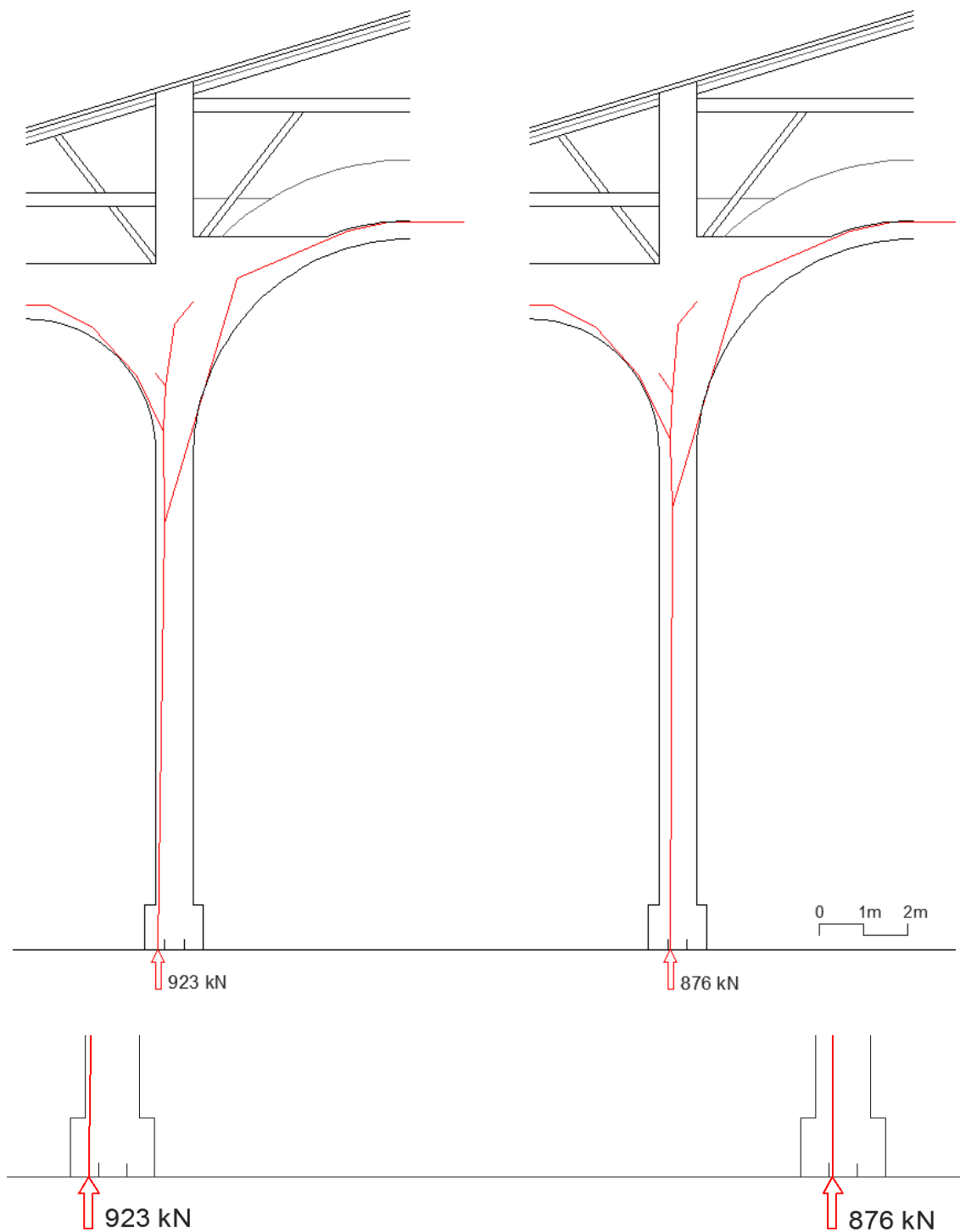


**Fig.13** Estabilitat de la nau tipus amb les voltes “reforçades” amb una capa de compressió de formigó armat. La línia de pressions surt del terç central.



**Fig.14** Estabilitat de la nau tipus amb les voltes de rajola doblada sense “reforçar”. La línia de pressions entra dins el terç central.





**Fig.15** Comparació dels dos casos. A l'esquerra línia de pressions per a la secció pel pilar considerant les voltes de rajola doblada i una capa de compressió de formigó armat de 5cm. A la dreta línia de pressions per a la secció pel pilar considerant les voltes de rajola doblada.

L'increment de pes de les voltes afegint-hi una capa de compressió, no beneficia l'equilibri de la secció a la zona del pilar. Per a la nau tipus sense deformar la secció era estable abans de la intervenció. Tot i així, caldria realitzar els càlculs amb la secció "real" obtinguda d'un aixecament topogràfic precís que en mesurés els desploms.

El desconeixement sobre l'estabilitat de les voltes de rajola doblada fa que es prenguin decisions d'intervenció inadequades. La rigidesa del formigó no beneficia l'estructura de la Catedral de Bogotà. Reparar una volta no és només calcular els seus esforços, sinó comprendre quines són les seves accions internes, avaluar-les i aconseguir que segueixi funcionant com en origen. L'estructura ha de mantenir una forma correcta, el problema no és tant de resistència, sinó de geometria.

Colòmbia es troba en una zona d'elevat risc sísmic. Col·locar formigó armat sobre les voltes és una solució que no s'avé amb la concepció estructural de l'edifici de fàbrica. Els elements de la Catedral de Bogotà, com els de totes les esglésies històriques, no tenen resistència a flexió, per això, davant una acció dinàmica s'originen esquerdes i desplaçaments de les masses.

Davant d'un sisme, la capa de compressió de formigó armat aportaria molta més massa a l'oscil·lador, convertint-se en un element molt perjudicial davant les sol·licitacions d'un terratrèmol.

L'estructura té dret a sobreviure amb l'expressió del seu propi mecanisme estructural original: "Un edificio histórico ha de conservar su derecho a existir dentro de los límites de su propia concepción estructural y ésa es la que hay que reforzar"<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup>MAS-GUINDAL, A.J., 1996. Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico. Informes de la Construcción.

## 4.11 Catedral de Potosí

La Catedral de Potosí (Bolívia), va ser projectada per Fra Manel Sanahuja i es va construir entre el 1808 i el 1838. El frare arquitecte procedia dels territoris de l'antiga Corona d'Aragó <sup>1</sup>. La historiadora Maria Garganté ha investigat la vida i obra de Fra Manuel Sanahuja i les filiacions de la Catedral de Potosí amb les esglésies barroques catalanes<sup>2</sup>.

### 4.11.1 Antecedents

Es van obtenir plànols en CAD (planta, seccions i alçats) de la Catedral de Potosí, prèvia sol·licitud formal enviada al senyor Williams Cervantes Beltrán, Alcalde del Govern Autònom Municipal de Potosí, i gràcies a l'ajuda de l'arquitecta Shirley Céspedes, qui també ha facilitat informació sobre la construcció de les voltes de la Catedral amb rajola. També s'ha obtingut informació facilitada per l'arquitecte William Morales Guzmán, resident a Potosí.

L'arquitecta Gisela Rossana Paredes Verastegui, ha facilitat les referències bibliogràfiques següents:

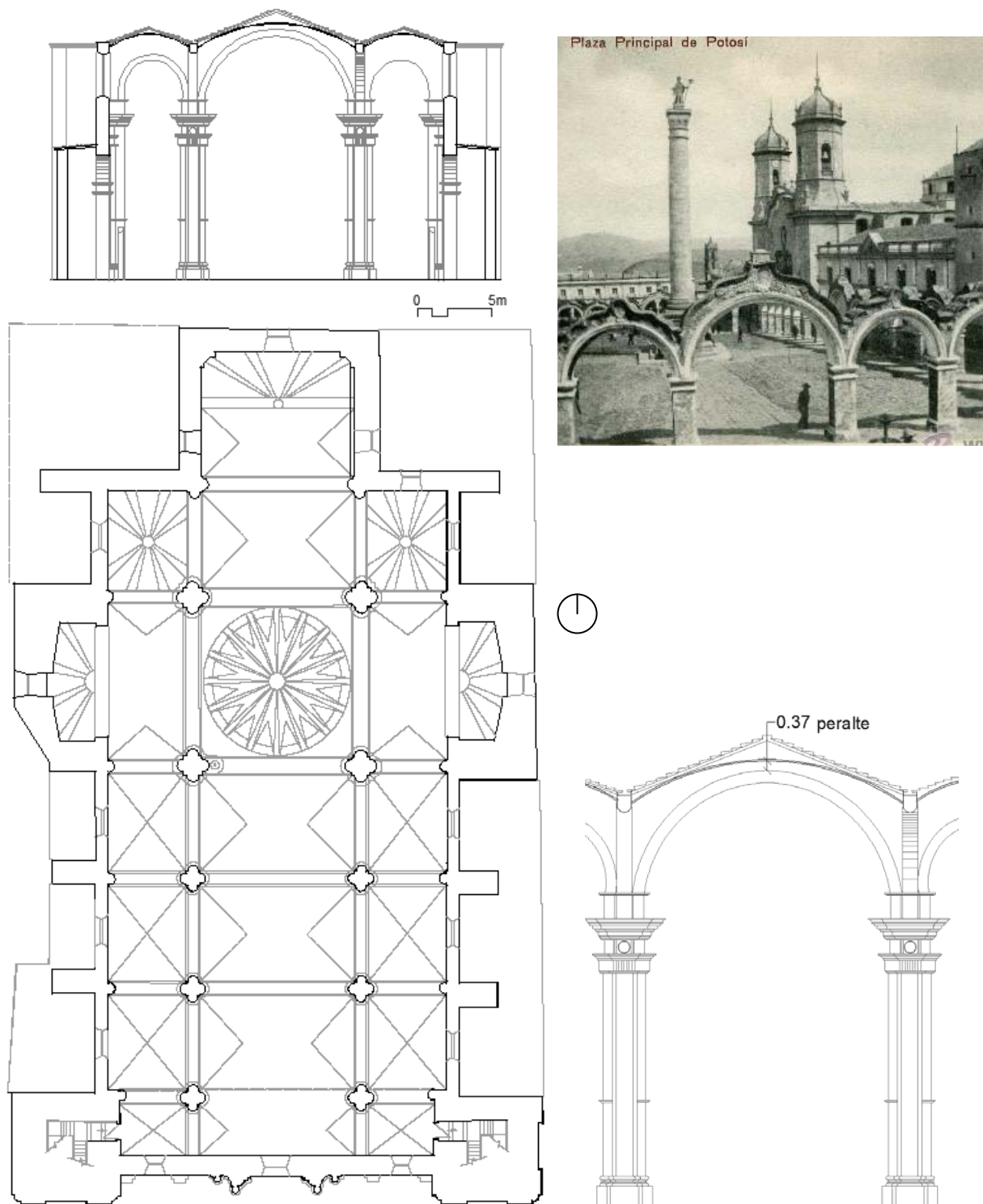
- Honorable Gobierno de Potosí, Juanta de Andalucia, Consejeria de Obras Públicas y Transporte, Embajada de España, Agencia Española de Cooperación. *Guia de Arquitectura Potosi, Bolivia*, 2004.
- Mesa de Jose, Teresa Gisbert. *Monumentos de Bolivia*. Editorial Gisbert. La Paz, Bolivia, 2002.



**Fig.1** Fotografia històrica de la plaça Principal de Potosí. Font. [www.historicopotosi.net](http://www.historicopotosi.net)

<sup>1</sup>GARGANTÉ LLANES M., 2008. Introducción al imaginario constructivo de Sanahuja: La arquitectura religiosa en la zona de Lleida y Tarragona durante la segunda mitad del siglo XVIII.

<sup>2</sup>GARGANTÉ LLANES M., 2007. La filiación catalana de la catedral de Potosí: aproximación a un modelo. LOCVS AMCENVS 9, ps. 249-276.



**Fig.1** A l'esquerra planta i secció de la Catedral de Potosí. A la dreta fotografia històrica de la plaça i detall de la volta peraltada de la nau central segons l'aixecament proporcionat.

Segons l'aixecament aconseguit, les voltes de la nau central, de canó amb llunetes, són voltes peraltades, amb una magnitud de diferència d'alçada entre la clau de la volta i la clau de l'arc faixó similar a la de les esglésies barroques catalanes estudiades (37cm). Per a realitzar un estudi complet de la Catedral caldria disposar d'un aixecament topogràfic precís, d'un estudi històric i fer una inspecció visual.



**Fig.2** Vistes interiors de la Catedral de Potosí. *Guia de Arquitectura Potosí, Bolivia, Potosí-Sevilla 2004. Monumentos de Bolivia. 2002.*

La nau central de la Catedral és de volta de canó amb llunetes, lleugerament peraltada segons l'aixecament obtingut. Les voltes de les naus laterals són d'aresta i al creuer hi ha una cúpula de mitja taronja sobre un cimbori.

Diversos autors comparen la Catedral de Potosí amb la Catedral de Lleida<sup>3</sup> (1761-1790). Però la façana exterior mostra la clara similitud amb les esglésies de saló barroques catalanes populars, com per exemple Maials, Alcarràs, Torres de Segre o Vinyols i els arcs. I també amb la Col·legiata d'Alcañiz, on va treballar Francesc Melet, mestre de cases que participà al concurs per a la construcció de la Catedral de Lleida. El seu projecte no fou el seleccionat, i es va construir el de l'academicista Pedro Martín Cermeño.



**Fig.3** A l'esquerra projecte de Francesc Melet per la Catedral de Lleida, no executat. Al centre façana de la col·legiata d'Alcañiz (1736-79). A la dreta façana de la Catedral de Potosí. Font: GARGANTÉ, M. La filiación catalana de la Catedral de Potosí.

<sup>3</sup> WETHEY, H., 1961. *Arquitectura virreinal en Bolívia*, La Paz, UMSA.



#### 4.11.2 Característiques de la Catedral de Potosí

Segons la documentació obtinguda, les voltes de la nau central de l'església són de canó amb llunetes, i les de les naus laterals són bufades.

S'observa com en aquesta església no hi ha grans encavallades de fusta per a sostenir la coberta. Aquesta solució es dona en moltes esglésies de Potosí, possiblement per pal·liar la dificultat per adquirir fusta o la manca de bons fusters a l'època. Les teules acostumen a adoptar la geometria arrodonida de les voltes, o es poden col·locar replens lleugers per a obtenir una geometria recta. Sigui com sigui, l'espai entre les teules i les voltes és mínim. A les esglésies estudiades aquesta solució de coberta no s'aplicava, únicament a l'església de La Selva del Camp (1586), obra de Pere Blai, és possible que s'apliqués aquesta solució. A l'església de Borges del Camp hi ha una solució d'envanets de sostre mort.



**Fig.3** A dalt imatge de les cobertes de la Catedral de Potosí. A l'esquerra església de San Francisco i a la dreta església de San Lorenzo, totes dues a Potosí.



Tal com afirma Arturo Zaragoza referint-se al gòtic: “...el imaginario colectivo de la arquitectura medieval nos remite a cubiertas inclinadas de gran pendiente construidas con grandes estructuras de madera. Esto fue así en el Norte de Europa. Una abundante bibliografía ha divulgado esta solución. Pero no en todos los lugares sucedió así. En el Mediterráneo la presencia de tradiciones constructivas tardo romanas dio lugar a soluciones específicas.”

Joan Bassegoda<sup>4</sup> documenta els replens de morter de calç i terra barrejat amb àmfores buides per a aconseguir una espècie de “formigó lleuger” en diverses esglésies catalanes des del segle XIII al segle XVIII. Segons aquest autor “...casos de bóvedas aligeradas con alcarrería en la Iglesia de San Agustín de València, en la torre de Serranos (...), en el monasterio de Sijena (Huesca), en la Iglesia de la Asunción de Biar (Alicante), en El Salvador y Santa María de Gracia de Carmona (Sevilla) y también en varios edificios de la Ciudad de Guadalajara en Jalisco (México), de los siglos XVII y XVIII”.

Perquè no podria haver-se aplicat aquesta solució constructiva a la Catedral de Potosí?

Segons Bassegoda “se trata de una técnica, con diversas variaciones y modalidades, que se utilizó en zonas de clima templado desde fines del siglo XIII hasta el XVIII”.

A l'església de Canet lo Roig, obra on intervingué l'arquitecte Francisco Jurado<sup>5</sup>, es pot apreciar molt bé aquest tipus de construcció. Les voltes de la nau central són gòtiques de rajola doblada amb nervis de pedra, i les teules descansaven sobre d'elles. En refer la coberta es va poder constatar que la coberta original estava formada per rajoles i morter de calç. Francisco Jurado va conservar la coberta original col·locant un geotèxtil sobre les rajoles originals i al damunt successives capes de morter de calç (alguna armada amb fibra de vidre), i finalment un nou paviment de maó massís col·locat en forma d'espiga.

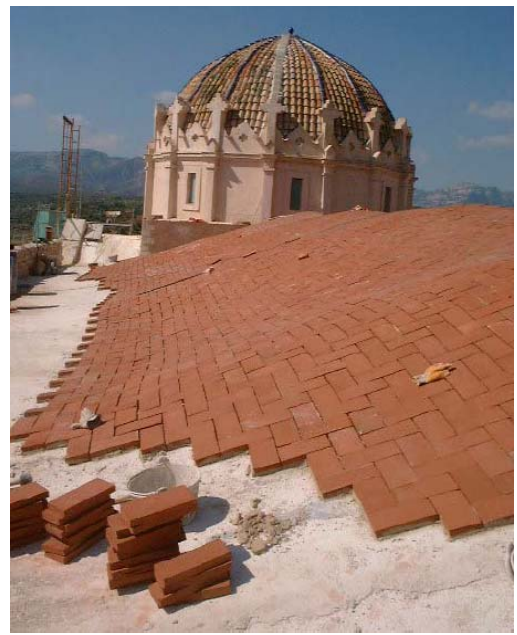
A la Catedral de Potosí hi ha una coberta de teula. Les fonts consultades no han pogut facilitar dades precises del tipus de construcció, tant sols han destacat que “ la persona que restauró las cubiertas de la catedral de Potosí me indica que las bóvedas y cúpulas son de rasilla o ladrillo que es el nombre que utilizamos a nivel local y el mortero es de cal”<sup>6</sup>. És possible que la solució establerta fos la definida per Bassegoda i que posteriorment es col·loquessin les teules sobre el “sistema normal de azoteas de ladrillo” que aquest autor defineix.

---

<sup>4</sup>BASSEGODA, J., 1989. La construcción de las bóvedas góticas catalanas. Boletín académico núm. 11.

<sup>5</sup>JURADO, F., 1998. Restauración de la cúpula, bóvedas del crucero y cubiertas de la iglesia de San Miguel Arcángel en Canet Lo Roig. Castellón.

<sup>6</sup>e-mail de Shirley Céspedes de 4 de gener de 2017.



**Fig.4** Coberta original de rajola que va aparèixer en retirar les teules de la nau principal gòtica. A JURADO, F., 1998. Restauración de la cúpula, bóvedas del crucero y cubiertas de la iglesia de San Miguel Arcángel en Canet Lo Roig. Castellón.

Segons les fonts consultades<sup>7</sup>, l'any 2009 es va realitzar una intervenció a la coberta de la Catedral de Potosí consistent en retirar les teules existents, col·locar sobre les voltes (o replè amb acabat de rajola i morter de calç?) una membrana asfàltica revestida d'alumini i a sobre les teules. Cal destacar que la solució aplicada no permet a les voltes transpirar.

A la Catedral de Potosí la solució original de la coberta podia haver estat com la solució de Canet lo Roig. Caldria realitzar cates per a verificar-ho, però els antecedents mostren indicis. Fra Manel Sanahuja podia haver exportat el sistema constructiu propi de moltes cobertes de voltes mediterrànies per a resoldre les cobertes de la Catedral de Potosí, facilitant el cobriment de l'edifici sense necessitat de fusta.

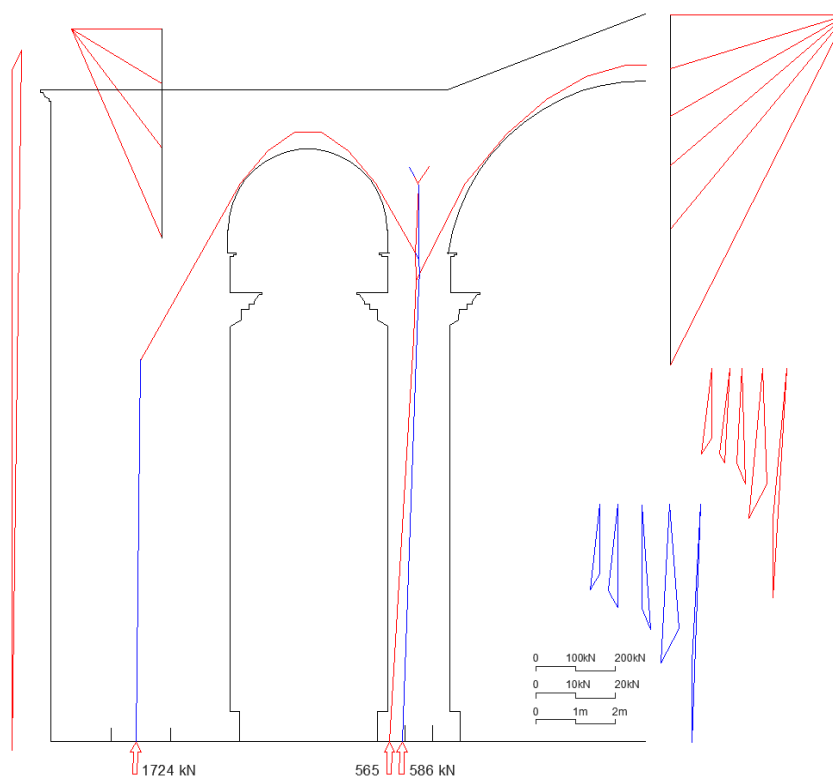


**Fig.5** Fotografia de la façana lateral est de la Catedral. S'observa la coberta sobre la volta de rajola doblada. <httpwww.alamy.com>

<sup>7</sup> PERIÓDICO, 24/11/2011. Patrimoniohistórico de Potosí brilla restaurado.

### 4.11.3 Estabilitat

Per a comprovar la hipòtesi plantejada per a la solució de la coberta es realitza una comprovació de l'estabilitat de la nau. Es realitza un primer intent considerant les voltes de rajola doblada sobre les quals hi hauria un replè lleuger per a donar la forma dels pendents de la coberta sobre el qual descansarien les teules. S'adopta la geometria de l'aixecament obtingut en CAD. Segons aquest aixecament, la volta de la nau central és de canó amb llunetes lleugerament peraltada.

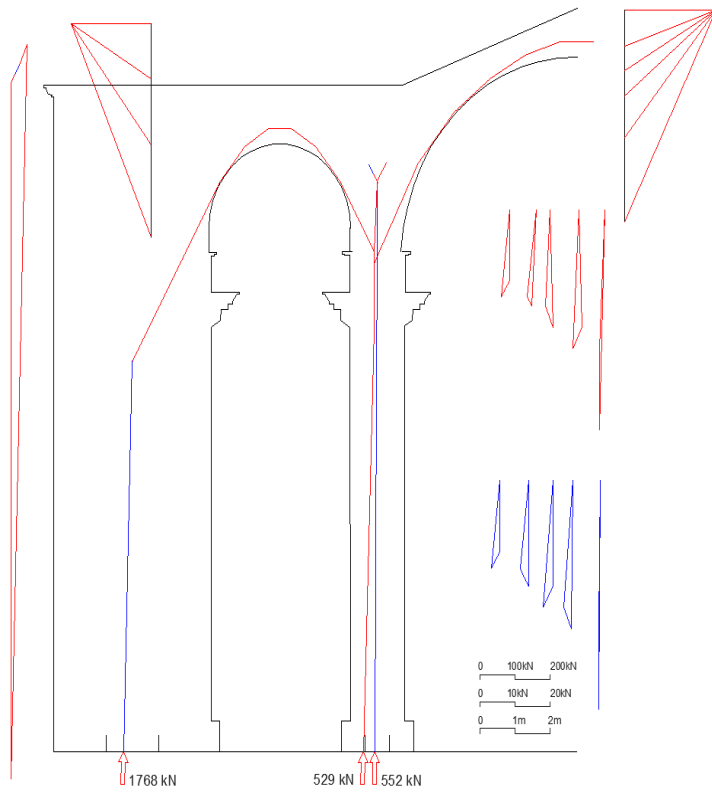


**Fig.6** Estabilitat de la nau considerant la hipòtesi segons la qual la coberta està resolta col·locant les teules sobre una capa de replè de morter i terrissa que descansa sobre les voltes. En blau la solució amb l'empenta de les voltes de la nau lateral majorades

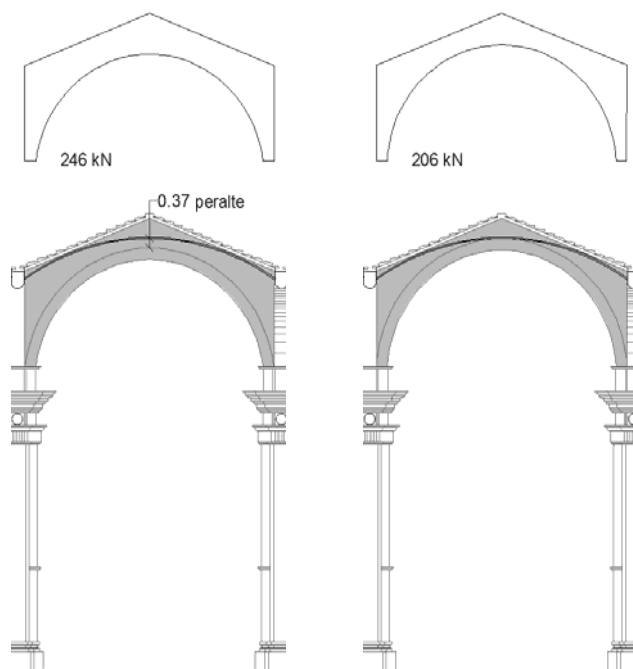
Realitzant l'estàtica gràfica, la línia de pressions surt del terç central al peu del pilar. Es realitza un altre intent (grafiat en blau a la figura 6) augmentant l'empenta de la volta de la nau lateral. Es considera que a les concavitats de l'extradós de les voltes de les naus laterals hi podria haver material de replè que no fos alleugerit o, fins i tot, podria ser maó massís. Això augmentaria l'empenta de les voltes de les naus laterals podent contrarrestar amb més eficàcia l'empenta de la nau central. Els estreps ho suportarien, però al pilar la línia de pressions segueix sortint del terç central.

Es considera que podrien haver-hi imprecisions en la geometria. Les fotografies de l'interior de la nau no permeten apreciar si realment la volta de la nau central és lleugerament peraltada. De vegades irregularitats en el paviment o imprecisions en la presa de dades que raonablement poden esdevenir-se en

no disposar d'un aixecament topogràfic podrien provocar una distorsió de la geometria de la volta. Els 37 cm de "peralte" podrien no existir. En cas de no estar peraltada, els arcs faixons de la nau central produirien una empenta molt menor, que com es pot veure a la Figura 7, aquesta empenta permet ser compensada per l'empenta de la nau lateral. En cas de majorar l'empenta de la volta de la nau lateral com en el cas anterior (grafiat en blau), la solució encara és més satisfactòria.

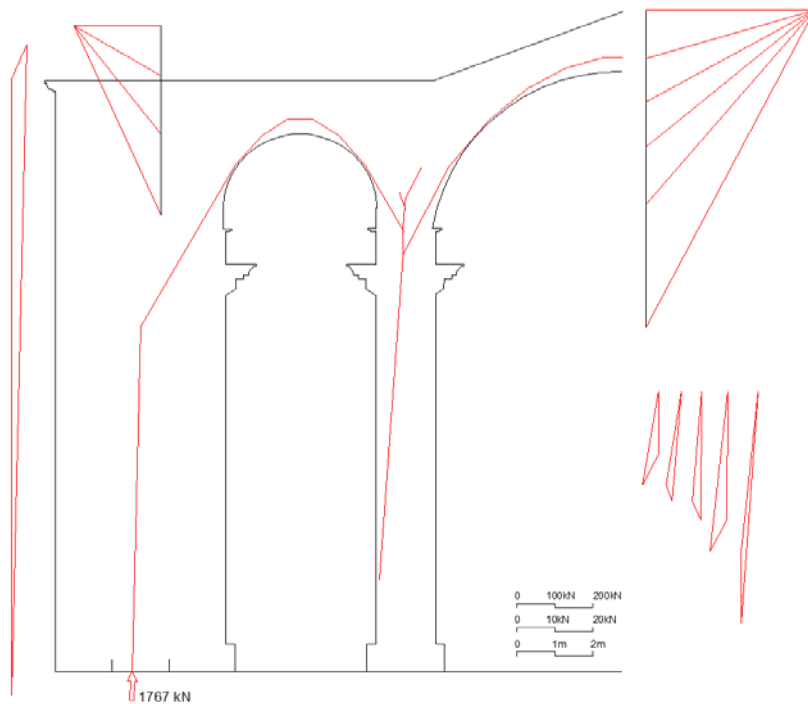


**Fig.7** Estabilitat de la nau considerant la hipòtesi segons la qual la coberta està resolta col·locant les teules sobre una capa de reple de morter i terrissa que descansa sobre les voltes, i amb les voltes de la nau central sense peraltar. En blau la solució amb l'empenta de les voltes de la nau lateral majorades.

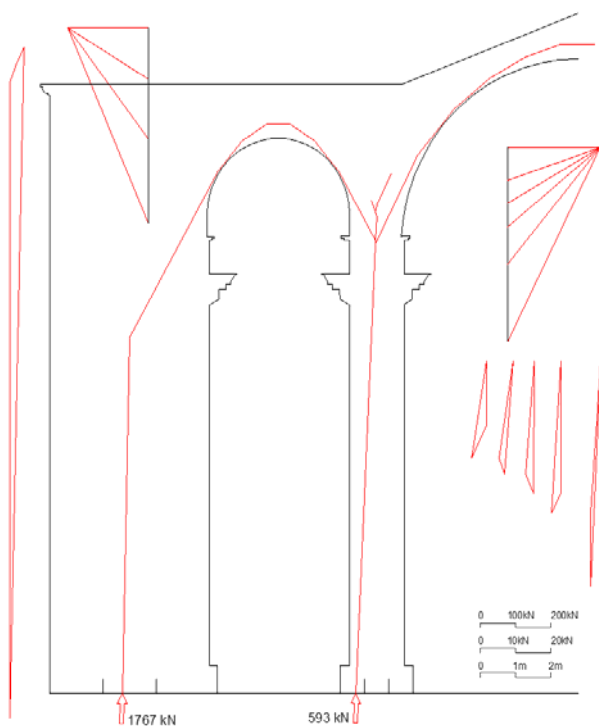


**Fig.8** Secció de la nau central per la clau de les voltes. A l'esquerra volta de la nau central peraltada, tal com és a l'aixecament obtingut. A la dreta volta de la nau central sense peraltar.

Per tal de descartar la possibilitat que les voltes de la Catedral siguin de maó a sardinell, o de més gruixos de rajola, es realitza una comprovació de l'estabilitat considerant un gruix de voltes de 20cm amb el replè alleugerit. S'observa a les Figures 9 i 10 que fins i tot majorant l'empenta de les voltes de la nau lateral la solució surt del terç central.



**Fig.9** Estabilitat de la nau considerant les voltes de 20cm de maó i amb reblert alleugerit formant els pendents de coberta.

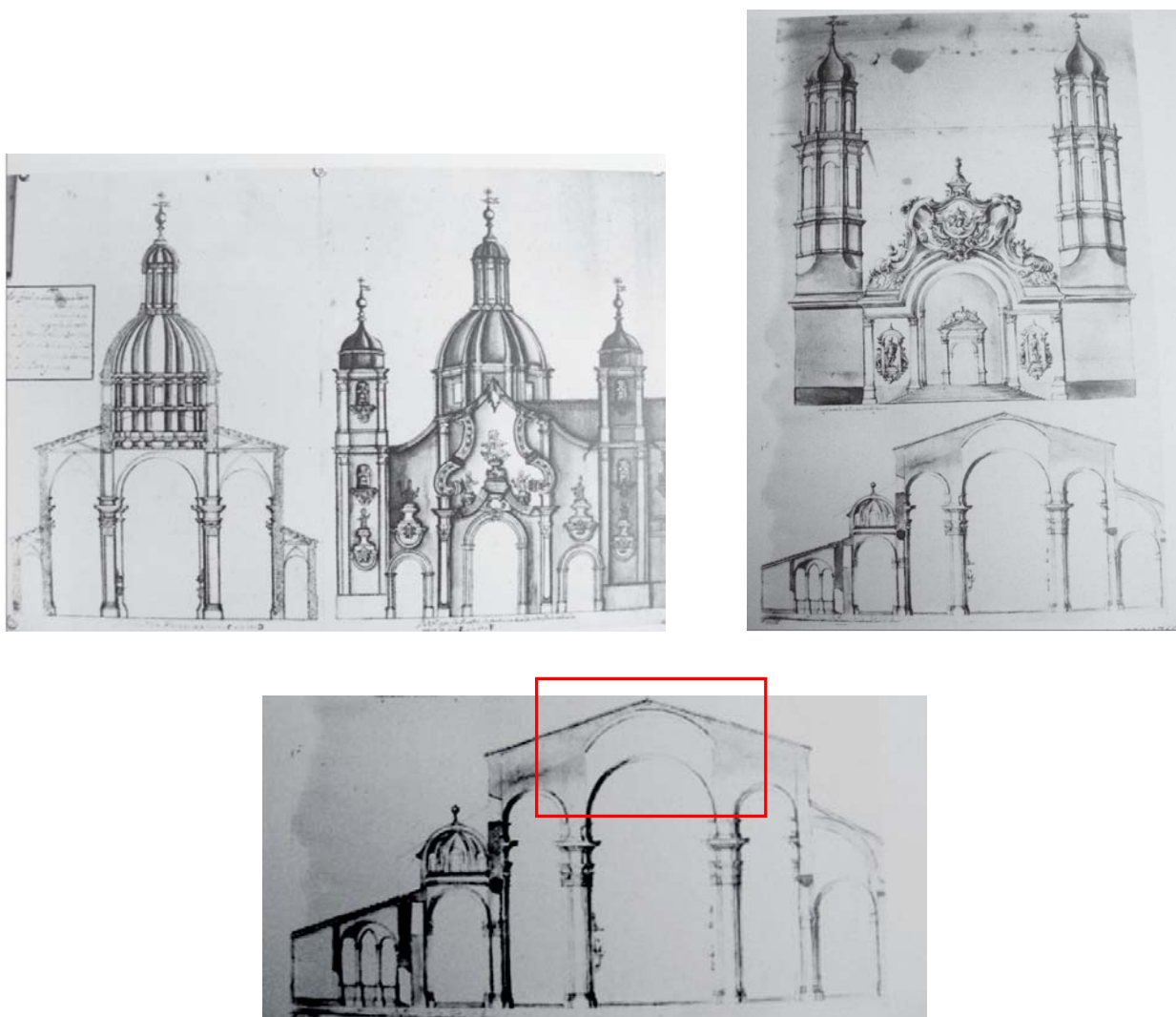


**Fig.10** Estabilitat de la nau considerant les voltes de 20cm de maó i amb reblert alleugerit formant els pendents de coberta. Majorant l'empenta de la nau lateral.

Podria ser que la coberta estigués executada amb una solució que no contradís l'aixecament i que satisfés les exigències d'equilibri?

Tal com s'ha esmentat a l'inici, diversos historiadors denoten les similituds i filiació de la Catedral de Potosí amb la Catedral de Lleida. Fra Manel Sanahuja va cóneixer segur l'edifici i també degué conèixer els projectes que es van presentar per al concurs per a la contrucció de la Seu Nova de Lleida. Tot i que el projecte guanyador que es va executar era obra de l'enginyer militar Pedro Martín Cermeño, els mestres de cases Josep Burria i Francesc Melet es van presentar al concurs amb les seves propostes respectives.

Els projectes de Melet i Búrria s'apropen més a l'estil barroc popular, tal com ho fa la Catedral de Potosí. Fixant-nos en la solució que Francesc Melet proposa per la coberta de la catedral, s'observa que es tracta d'un sistema de doble arc sobre els pilars, que possiblement a la zona de les voltes esdevenia un sistema d'envanets de sostre mort. Aquesta solució permet una coberta encara més lleugera que si s'executa amb replens alleugerits i el conseqüent estalvi de material.



**Fig.11** Projectes de Josep Burria (esquerra) i Francesc Melet (dreta) per al concurs per a construir la Catedral de Lleida. El projecte executat és de Pedro Martín Cermeño (1761-1790). A sota secció del projecte de Francesc Melet amb doble arc.

Tornant a l'església de Canet Lo Roig restaurada per Francisco Jurado, la volta de sobre el presbiteri era una construcció del segle XVIII. Aquesta volta no era gòtica, com les què estaven resoltes amb una



coberta de replè alleugerit, i estava coberta per un sistema d'envanets de sostre mort sobre els quals recolzava la coberta. De fet, l'arquitecte aplica la mateixa solució en reconstruir la volta de rajola doblada i construir-hi de nou els envanets per a recolzar la coberta. Els envanets tenen molt poca entitat, tal com passaria a Potosí com es pot comprovar d'acord amb la geometria.



**Fig.12** Volta barroca del presbiteri de l'església de Canet lo Roig restaurada per l'arquitecte Francisco Jurado. Font: JURADO, F., 1998. Restauración de la cúpula, bóvedas del crucero y cubiertas de la iglesia de San Miguel Arcángel en Canet Lo Roig. Castellón.

Aquesta solució, si fos la que està executada a Potosí, permetria construir les voltes peraltades amb rajola doblada, tal com indica l'aixecament, i permetria rigiditzar adequadament aquestes voltes lleugerament bufades amb els envanets que actuarien com llengüetes. La solució aplicada a la secció permet que la línia de pressions entri dins el terç central al peu del pilar (Figura 14).

Altres esglésies barroques valencianes presenten aquesta solució de coberta. Fra Manel Sanahuja l'hauria pogut conèixer, ja que era originari de Les Voltes (Tarragona), algunes esglésies del bisbat de Tortosa poden estar resoltes amb aquesta solució. Per exemple, l'església de Santiago Apóstol a Albaterra (Alacant) té una composició de coberta formada per les teules que recolzen sobre una capa de replè de 20-30cm, col·locada sobre la rajola dels envanets de sostre mort sobre la volta de rajola doblada.



**Fig.13** Envanets de sostre mort originals sobre les voltes de rajola doblada a l'església d'Albatera. A la dreta la reforma del 96. Font: PÉREZ-SÁMCHÉZ, JC., PIEDECAUSA-GARCÍA, B., PÉREZ-SÁNCHEZ, VR., MORA-GARCÍA, RT., 2015. La construcción de sistemas abovedados en la iglesia de Santiago Apóstol de Albatera (Alicante).

A l'església d'Albatera els envanets de sostre mort van causar esquerdes a les voltes, segons els autors de l'article<sup>8</sup>, *“el escaso espesor de dichos tabiquillos (unos 3cm), el empleo de yeso en su ejecución, la presencia de humedad por falta de estanqueidad en la cubierta y el excesivo peso del relleno superior provocaron que cedieran en muchos de los casos observados durante la intervención”*. El 1996 es va finalitzar una intervenció consistent en retirar els envanets originals, construir una capa de formigó armat sobre les voltes esquerdades, i tornar a construir envanets i coberta. (Figura 13).

La hipòtesi que es formula per a la solució de coberta de la Catedral de Potosí és la següent:

- sobre els arcs faixons de la nau central hi ha un arc separat uns 50cm i construït amb rajola doblada que sosté la coberta.
- Sobre les voltes de rajola doblada hi ha envanets de sostre mort de molt poca entitat sobre els quals recolza la coberta.
- La coberta està formada per una base de tauler o ceràmica recolzada sobre els envanets i al damunt les teules.

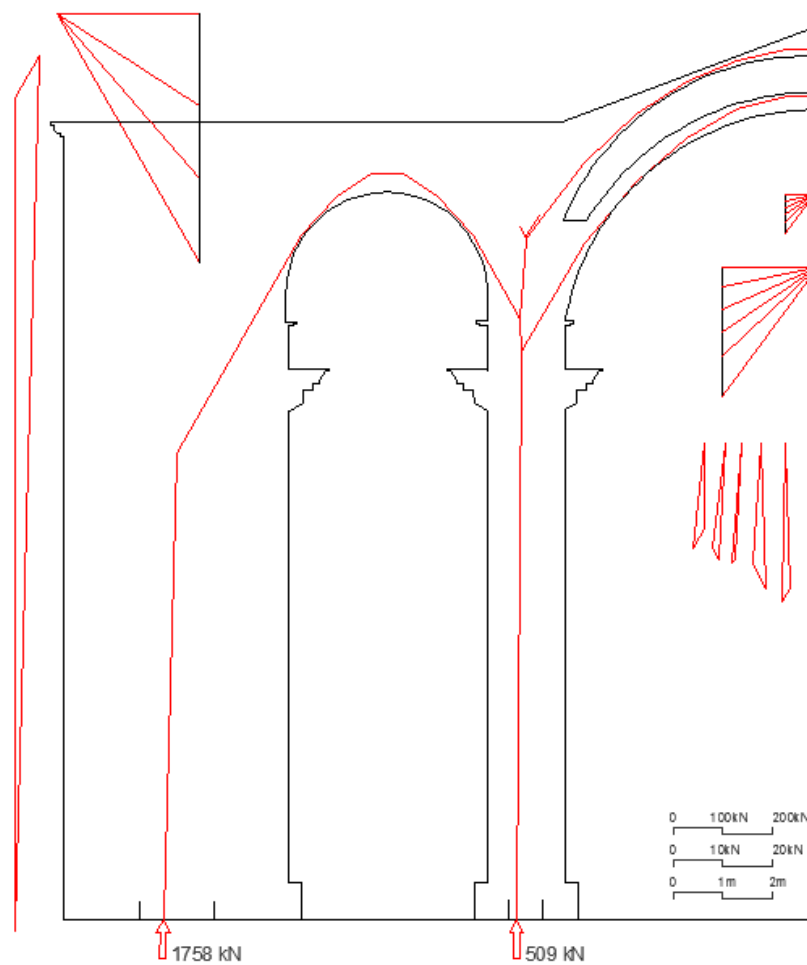
Aquesta hipòtesi aplicada a la geometria obtinguda, sense deformat, ofereix una solució d'estabilitat satisfactòria (Figura 14). Tot i així, és possible que petites variacions de la geometria descartessin aquesta hipòtesi, de tal manera que la solució d'estabilitat deixés de ser vàlida.

Òbviament, les hipòtesis plantejades s'haurien de verificar d'acord amb un aixecament topogràfic que medís els desploms i la geometria exacta de les voltes i els arcs, un estudi històric, la realització de cates

<sup>8</sup> PÉREZ, JC., PIEDECAUSA, B., PÉREZ, VR., MORA, RT., 2015. La construcción de sistemas abovedados en la iglesia de Santiago Apóstol de Albatera (Alicante).

per a la comprovació constructiva (gruixos de voltes, murs, elements de coberta i materials,...) i una acurada inspecció visual de les possibles lesions.

Tot i així, aquest apartat planteja un intent d'aproximació a l'estabilitat estructural de la Catedral de Potosí que, com es demostra, és extremadament sensible als canvis de geometria i de configuració constructiva de la coberta. I aporta informació sobre altres solucions de coberta per a les esglésies de saló estudiades situades fora de l'àmbit català.



**Fig.14** Estabilitat de la nau considerant la hipòtesi segons la qual la coberta està resolta construint envanets de sostremort sobre les voltes i un doble arc sobre els arcs faixons de la nau central.

## 4.12 Conclusions del capítol

L'església de Maldà mostra com la por davant la deformació dels arcs fa que es prenguin solucions exagerades. Amb un coneixement precís de la geometria deformada i una anàlisi gràfica s'haurien pogut determinar les parts més deformades i recuperar-ne la geometria en cas que estèticament es cregués convenient, ja que estructuralment existeien solucions segures. Conèixer el comportament hagués evitat incidir en lesions que no representen cap amenaça i actuar de manera mesurada.

L'església de Falset mostra com altres solucions de coberta són possibles i segures, sempre que els esforços estiguin equilibrats. La solució de coberta amb un arc que recull les biguetes és vàlida i en el seu temps evitava problemes de podriment de la fusta però si no està ben dimensionat l'arc pot fletxar. Avui en dia no s'hauria de considerar un sistema millor que una encavallada, tenint en compte que la resistència de la fusta actual és molt superior (tractaments, tipus de fusta i solucions per a les encavallades).

El cas de l'església de Rocafort de Queralt demostra que malgrat les acusades esquerdes que poden afectar les voltes, això no significa que hagin perdut l'estabilitat i no siguin segures. L'estudi dels desploms dels suports i el coneixement sobre el comportament estructural de les voltes ajuda a determinar la seva seguretat.

El cas de l'església de Palau d'Anglesola, amb els seus esvelts pilars, demostra com els mestres de cases que s'atrevien amb aquestes estructures havien de tenir coneixements que els permetessin avaluar la seva estabilitat geomètrica. L'esveltesa dels pilars fa que l'estabilitat d'aquesta església es vegi compromesa per qualsevol redistribució dels esforços en coberta, ja que els pesos han d'estar ben acotats i equilibrats per tal que els esforços caiguin dins el terç central dels esvelts pilars. La solució de la rehabilitació realitzada demostra que la manca de coneixement sobre les necessitats reals d'equilibri porta a actuacions que si bé poden funcionar, són sobredimensionades. L'actuació de "tensar" tota l'església sense discretitzar no és una solució acotada a les necessitats reals d'intervenció i representa una despesa addicional prescindible.

A l'església de Borges del Camp, l'anàlisi de la seva construcció i de l'estabilitat demostra com el sistema d'envanets de sostre mort, que va ser molt popular a la postguerra i que es va introduir en algun moment al temple, no és un bon sistema, ja que introdueix molt més pes sobre les voltes, augmenta les empentes que han de suportar els pilars i els estreps, i a més la retícula d'envanets és molt rígida i no deixa que les voltes esquerdin segons els patrons de comportament habituals. Com que no poden deformar adequadament, apareixen múltiples esquerdes generalitzades per tot el temple que no representen una amenaça per la seguretat, però que malmeten enormement la seva imatge. L'extradós de la volta és

inaccessible i es poden produir condensacions. Seria convenient refer la coberta de fusta recolzada adequadament sobre els suports, accessible, i eliminar els envanets de sostre mort. També es demostra que el desconeixement en el seu comportament fa perdurar decisions errònies en el temple, compromentent a la llarga la seguretat. En aquest cas, si s'hagués conegut l'inapropiat dels envanets no s'hauria invertit en rehabilitar tota la coberta refent-los i recuperant-los.

També es demostra com l'empenta de les cúpules és molt menor. Actuant l'efecte de membrana.

A l'església d'Almacelles es demostra com existeixen defectes d'origen en alguns d'aquests temples i com alguns projectes no es van construir tal com el mestre de cases havia projectat, ja que no es corresponen amb els dissenys dels estudis històrics. Això causava desperfectes al temple. El coneixement de la construcció de les esglésies del XVIII en general i les de saló en concret permet entendre l'origen de les lesions del temple i poder proposar solucions mínimes, no invasives i reversibles.

També es demostra que una església de tres naus amb les naus laterals més baixes i fins i tot en forma de capelles també pot veure compromesa la seva estabilitat a causa de les modificacions en el disseny de la coberta (no només a causa del mal estat de la coberta, sinó a causa dels canvis en les condicions d'equilibri). A l'església d'Almacelles l'augment de l'alçada dels murs perimetrals per a convertir la coberta d'una església de tres naus en una coberta unitària com si fos una església de saló, compromet la seguretat del temple.

Es demostra, doncs, que les regles de proporcions de Fray Lorenzo són segures quan la coberta de l'església es resol tal com el tracista determinava en el seu exemple gràfic, però quan s'introdueixen variacions, l'estabilitat també pot estar compromesa malgrat la migradesa del gruix de les voltes davant la gran magnitud dels estreps.

L'Anàlisi de l'església d'Almacelles també demostra que l'empenta de les voltes de rajola doblada no es en cap cas menyspreable malgrat la seva esveltes i poc pes.

L'anàlisi de l'església d'Almacelles també demostra que l'empenta de les encavallades de fusta de la coberta, quan el tirant es comença a donar, pot deformar els arcs i les voltes compromentent la seva seguretat (perquè l'encavallada pot començar a recolzar) i pot comprometre l'equilibri de la nau creant una empenta no desitjada sobre els murs laterals.

A l'església de Fonollet es demostra com el desconeixement del comportament estructural de les voltes de rajola posa en entredit la seva capacitat portant, que es jutja molt precària en base a la seva esveltesa. Això fa que es prenguin decisions d'enderroc que no caldrien, perdent part del patrimoni construït. També

es demostra com les voltes de rajola, malgrat la seva esveltesa, exerceixen una empenta considerable sobre els murs que les sostenen, que, en cas d'estar mal dimensionats, poden no ser capaços d'absorbir.

També es demostra que relegar un estil arquitectònic davant d'altres no està justificat, sobretot perquè l'estil original pot haver estat tant modificat que ja és impossible recuperar-lo en "estat pur" i segon perquè els diversos estils poden conviure ajudant al monument a persistir com a document històric.

A l'església de Castelló de Tor es demostra com els canvis en la coberta realitzats durant el segle XVIII van desestabilitzar una església romànica i per tant, es demostra que la capacitat per analitzar l'equilibri dels pesos que intervenen en cada monument és fonamental per a salvaguardar-lo i rehabilitar-lo adequadament. Es demostra com en aquest cas una intervenció barroca pot comprometre l'estabilitat d'un monument més antic.

El cas de la Catedral de Bogotà demostra que les voltes d'aquesta Catedral són de rajola doblada. També demostra que aquesta Catedral té filiació amb les esglésies de saló estudiades. També demostra com el desconeixement del funcionament estructural de la volta de rajola doblada porta a rehabilitacions del tot inapropiades i sobredimensionades, com en aquest cas la disposició de molt més pes afegit (capa de compressió de formigó armat) sobre les voltes, incrementant-ne l'empenta i podent desestabilitzar la nau. Falta afegir l'anàlisi d'aquesta església amb les voltes rehabilitades i sense rehabilitar.



## 5 CONCLUSIONS

## 5 CONCLUSIONS

El desenvolupament d'aquesta tesi ha permès donar resposta a les preguntes formulades inicialment i que es responen en aquest apartat a mode de conclusions i de manera argumentada.

Efectivament, els coneixements que s'han adquirit amb el desenvolupament de la investigació permeten saber com es construïen les esglésies barroques catalanes amb voltes de rajola doblada, quins tipus s'adoptaven, quins materials s'utilitzaven i quines solucions constructives s'aplicaven.

D'altra banda, la tesi també dóna resposta a perquè les esglésies del tipus saló només es van construir a la zona de Lleida i Tarragona.

El desenvolupament d'aquesta investigació també permet afirmar que les esglésies catalanes del segle XVIII es construïen sempre amb voltes de rajola doblada i s'explica com es construïen aquestes voltes.

També es dóna resposta en com els mestres de cases s'encertien de la seguretat de les esveltes fulles que conformen les voltes de rajola doblada i quines geometries adoptaven.

Coneguda la geometria de les voltes de rajola doblada, es pot respondre si era un factor que n'assegurava l'eficàcia, com s'establien la forma i els gruixos "segurs" de les voltes, i si gràcies a l'ús de les voltes de rajola doblada es van construir temples rurals de dimensions monumentals.

L'estudi en profunditat de diverses esglésies, sobretot del tipus saló, ha permès respondre perquè amb el tipus saló s'assolien esglésies de majors magnituds i si el tipus saló reportava avantatges respecte d'altres.

L'estudi en detall de les tabes, de les lesions i de les construccions ha permès respondre com aconseguien els constructors que no disposaven de coneixements teòrics amplis bastir aquests edificis amb aquestes voltes. Com intuïen l'estabilitat de l'estructura. Si la seva experiència es basava en mètodes empírics o existien normes tàcites per al correcte disseny. Com dimensionaven adequadament els estreps i el gruix dels murs i dels pilars per a suportar l'empenta. Com establien com calia repartir els pesos per aconseguir l'equilibri. I si altres elements com la coberta podien ser part activa en l'estabilitat global.

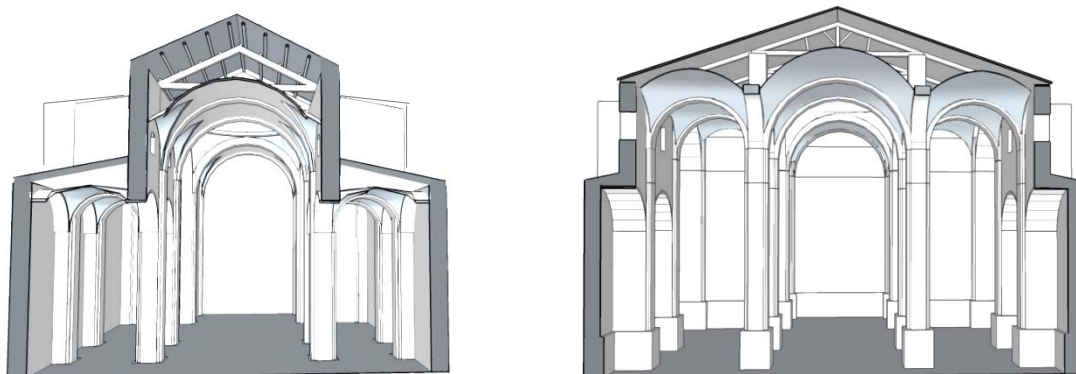
També es respon com les lesions afecten la seguretat. Si el despreniment d'una rajola o part del revestiment d'enguixat compromet la seguretat dels temples. Fins a quin punt són preocupants les deformacions de les voltes i els desploms dels murs. Si les voltes de rajola doblada són segures malgrat les deformacions. Si els pilars i murs desplomats comprometen la seguretat de les voltes. O si les esquerdes revelen un col·lapse imminent. Finalment, s'han pogut determinar les causes que provoquen aquestes lesions i les possibilitats de revertir-les.

## Com es construïen les esglésies barroques catalanes amb voltes de rajola doblada i quins tipus s'adoptaven?

Tal com afirmen els historiadors, durant el període considerat, es poden identificar dos tipus d'esglésies barroques catalanes. Les de tres naus i les de saló. La investigació realitzada sistematitza la formalització dels dos tipus i els identifica.

Les esglésies de tres naus estan formades per una nau central més elevada que les naus laterals. Aquesta configuració es manifesta a la coberta, de tal manera que el volum de la nau central emergeix per sobre dels volums de les naus laterals. La il·luminació es produeix a través de les finestres situades als murs perimetrals que delimiten la nau central, per sobre les naus laterals que queden més baixes. En aquest tipus d'esglésies l'empenta de la volta de la nau central es contraresta mitjançant contraforts de dimensions considerables que emergeixen a l'exterior (Figures 1 i 2).

Les esglésies de saló estan formades per tres naus situades gairebé a la mateixa alçada, creant la percepció d'un espai unitari, com un gran saló. La coberta també és unitària, formalitzant-se en un únic volum, de tal manera que la il·luminació es realitza a través de les finestres situades als murs perimetrals de tancament de les naus laterals. En aquestes esglésies les naus laterals són les que contraresten l'empenta de la nau central, i això fa que els contraforts siguin de dimensions més contingudes (Figures 1, 2 i 3).



**Fig.1** A l'esquerra església de tres naus, a la dreta església de saló.

En tots dos casos pot haver-hi un creuer amb una cúpula central sobre un cimbori, amb una cúpula de mitja taronja amb llunetes. En el cas de les esglésies de saló, de vegades el creuer es formalitza amb la construcció d'una volta de mocador que recolza directament sobre els arcs torals, sense necessitat de cimbori. En aquest darrer cas la cúpula s'anomenava "falsa cúpula" i el seu volum queda integrat dins de la coberta unitària, sense manifestar-se a l'exterior com passa en cas d'haver-hi cimbori.

La diferència d'alçada entre la nau central i les laterals, en les esglésies de saló, oscil·la entre els 0,6m (Sant Miquel del Port) i els 2,5 m (Mont-roig del Camp), aproximadament. En canvi, la diferència d'alçada entre la nau central i les laterals en les esglésies de tres naus, oscil·la entre els 3m (Castelldans) i els 11m (Les Borges Blanques).

Es demostra que es poden identificar dos grups dins de les esglésies de tres naus, que els historiadors no han identificat. Les que tenen capelles laterals i les que tenen naus laterals. Les capelles són espais situats entre murs, i s'estenen a banda i banda de la nau central. En la majoria dels casos es comuniquen entre si per un pas de l'ordre de 0,8-1m d'amplada, però pot no haver-hi comunicació. Les naus laterals són espais situats entre els arcs que s'estenen al llarg de cada banda de la nau central.

La historiadora Maria Garganté anomenen l'església de Serós com la primera església de saló apareguda al principat, en canvi es tracta d'una església de tres naus (les naus laterals estan 6,72 m més baixes que la nau central i la coberta no és unitària) . Possiblement la confusió es degui al fet que les naus laterals de Serós estan àmpliament comunicades entre si, de tal manera que la percepció espacial comença a semblar la de les esglésies de saló, però sense ser-ho encara.

Segons els historiadors, les esglésies de saló rurals catalanes es comencen a construir el 1750. En canvi, les esglésies d'aquest tipus executades pels estaments acadèmics o pels estaments militars, es construïren en dates més avançades del segle XVIII.

Això demostra que malgrat existir la filiació que explica la historiadora Maria Garganté entre les grans obres d'enginyers militars ( Catedral de Lleida, la Col·legiata d'Alcañiz, Universitat de Cervera) i les esglésies de saló rurals. Aquestes esglésies rurals possiblement tinguin el seu origen en el coneixement gremial dels mestres de cases.

Hi ha diversitat d'opinions entre els historiadors sobre l'autoria de les primeres esglésies de saló catalanes. L'església aragonesa de Calaceit (1695-1710 (al segle XVIII pertanyent al Bisbat de Tortosa)) i l'església d'Arnes (Terra Alta) (1693-1698), van ser les primeres esglésies de saló de la zona construïdes amb volta de rajola doblada. Durant la revisió bibliogràfica s'ha comprovat que els historiadors no coincideixen en l'autoria d'aquests temples. Maria Garganté atribueix l'església de Calaceit a artífexs bascos i francesos (Ibargüens) però el catàleg de patrimoni de l'església i altres historiadors consultats (J. Massip) ratifiquen l'autoria dels Xambó, mestres de cases de Vic, que treballaven pel bisbat de Tortosa. D'acord amb J. Massip <sup>1</sup>, sembla lògic que dos artífexs que treballaven pel Bisbat de Tortosa a la zona de la Terra Alta construint l'església d'Arnes, també construïssin l'església de Calaceit, municipi que al segle XVIII també formava part del bisbat de Tortosa.

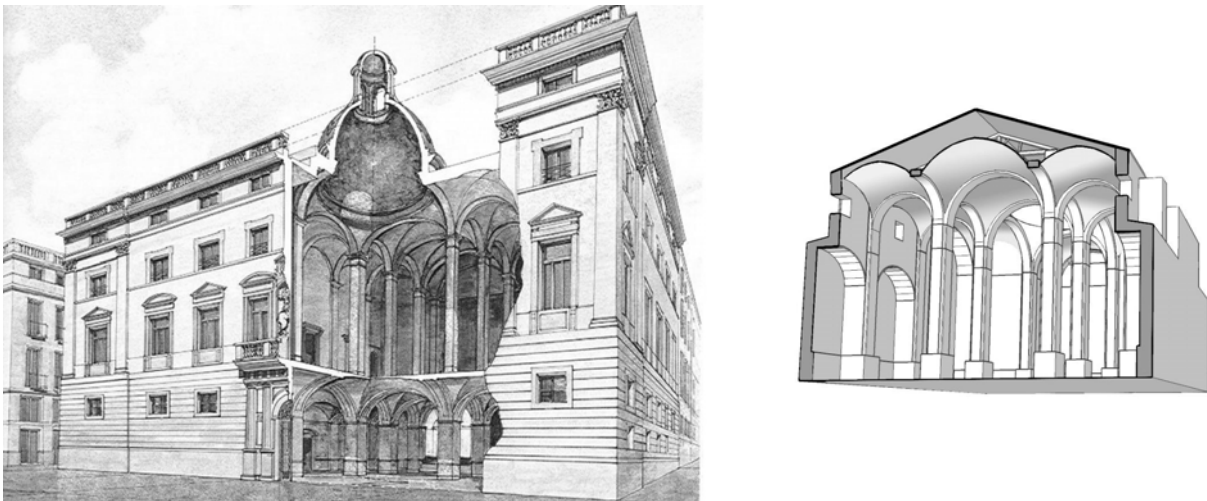
---

<sup>1</sup> MASSIP FONOLLOSA, J., (1995). "Aportacions a l'estudi de les relacions entre l'església de Calaceit el Bisbat de Tortosa". Cicle de Conferències del 300 aniversari de la col·locació de la primera pedra de l'Església de Calaceit

Més enllà del què plantegen els historiadors, es pot traçar un relat del possible origen de les esglésies de saló de la Catalunya Nova. Com s'ha esmentat, al segle XVIII, Arnes i Calaceit formaven part dels territoris de l'antic Bisbat de Tortosa. El Bisbat de Tortosa tenia connexió directa amb l'Escola del camp de Tarragona, de la qual van emergir figures com Pere Blai i Jaume Amigó. Si bé a aquests artífexs se'ls hi atribueix la introducció del model d'església contrareformista de tres naus (Cornudella de Montsant (1615) i La Selva del Camp (1582)), també és cert que Pere Blai va construir el primer espai considerat de tipus saló cobert amb volta de rajola a Catalunya, la Capella (després anomenada Saló) Sant Jordi del Palau de la Generalitat (1597-1619) <sup>2</sup>.

S'ha demostrat, mitjançant comprovacions in-situ i les tabes, que les esglésies de Cornudella de Montsant i La Selva del Camp (a les naus laterals) <sup>3</sup>, construïdes per Pere Blai i Jaume Amigó, tenen volta de rajola. També a les esglésies de Calaceit i Arnes s'ha comprovat in-situ aquest fet. Tenint en compte les similituds constructives, estructurals i espacials, seria raonable al·ludir la possibilitat d'una connexió entre l'origen de les esglésies de saló a la zona, construïdes amb volta de rajola doblada, amb els coneixements de l'Escola del Camp de Tarragona i un possible origen en la Capella Sant Jordi de Pere Blai.

Els artífexs Josep i Roc Xambó, vinculats al Bisbat de Tortosa (i per tant, a l'Escola del Camp de Tarragona) amb tota probabilitat coneixien l'obra de Pere Blai, i adquirint-la com a referent, haurien construït les primeres esglésies de saló a la zona de la Catalunya nova.



**Fig.2** A dalt model del Saló (abans Capella) Sant Jordi de la Generalitat. A baix model de l'església de Torres de Segre.

<sup>2</sup> GARGANTÉ LLANES, M., 2006. Arquitectura religiosa del segle XVIII a la Segarra i l'Urgell. Condicionants, artífexs i pràctica constructiva. Estudis, 35. Fundació Noguera.

<sup>3</sup> RÀFOLS, JF., 1934. Pere Baly i l'arquitectura del renaixement a Catalunya. Associació d'Arquitectes de Catalunya. Barcelona.

Es podria afirmar que les esglésies de saló barroques catalanes recullen part de la tradició gòtica i renaixentista. Es pot observar com el resultat recull elements de les dues tradicions. Es podria afirmar que les esglésies de saló barroques recullen les virtuts dels diversos elements gòtics o renaixentistes per a assolir un disseny que garanteixi major rapidesa de construcció i economia de materials.

Es podrien determinar les raons per les quals es recullen uns elements i no uns altres de cada una de les tradicions constructives. En aquest sentit s'hauria optat pel model de saló a causa de l'economia de materials que representa (estreps més prims, menys pedra,...), per la major rapidesa en l'execució que això significa, i per la qualitat espacial que s'obté. S'hauria optat per l'arc de mig punt i les voltes d'aresta i de canó amb llunetes per la geometria circular adoptada per a la construcció sense cintra de les voltes. Les voltes de mocador, malgrat el bombament, també parteixen de la geometria circular dels arcs. S'hauria optat, majoritàriament, per la volta de rajola doblada per la rapidesa d'execució i les possibilitats d'executar-la sense cintra.

<i>Esglésies de saló gòtiques</i>	<i>Esglésies del renaixement</i>	<i>Esglésies de saló barroques</i>
model de tres naus situades gairebé a la mateixa alçada	model d'una nau central i capelles laterals	model de tres naus situades gairebé a la mateixa alçada
arcs apuntats	arcs de mig punt	arcs de mig punt
voltes de creueria	voltes d'aresta i voltes de canó amb llunetes	voltes d'aresta i voltes de canó amb llunetes
voltes de creueria cupuliformes		voltes de mocador
volta a la catalana per a la plementeria i nervis de pedra	tendència a eliminar els nervis de pedra, essent tota la volta a la catalana	Voltes a la catalana

**Taula 1** Mixtura estructural que origina el model de saló barroc a Catalunya.

L'estalvi de material, la rapidesa en la construcció i les magnituds monumentals de les esglésies catalanes del XVIII construïdes amb voltes de rajola doblada, van convertir-les en un tipus idoni per a ser exportat al Nou Món per a la construcció de Catedrals. La historiadora Maria Garganté estableix una possible filiació entre les esglésies de saló construïdes a la zona de Lleida i Tarragona amb les Catedrals de Bogotà i Potossí<sup>4</sup>. Aquesta tesi demostra que espacialment i constructivament aquesta filiació existeix i que, a més, aquestes catedrals es van construir amb voltes de rajola doblada.

Amb el tipus saló amb voltes de rajola doblada s'assolien esglésies de grans dimensions construïdes en molt poc temps. Per això el tipus es va exportar a Amèrica per a construir Catedrals. Fra Manuel Sanahuja

<sup>4</sup> GARGANTÉ LLANES, M., 2007. La filiació catalana de la catedral de Potosí: aproximación a un modelo. LOCVS AMCENVS 9. P. 249-276.



(Les Voltes (Baix Camp) 1755 – La Paz (Bolívia) 1834) i Fra Domingo Petrés (Petrés (València) 1759 – Colòmbia 1811), va construir les catedrals de Potossí (1808-38) i Bogotà (1807-23) respectivament.

Al segle XVIII molts frares tracistes van emigrar al nou món, i Fra Manuel Sanahuja i Fra Domingo Petrés, van construir altres temples a Bolívia i Colòmbia respectivament, per això, no seria d'estranyar que existissin diversos monuments construïts amb aquest sistema que haurien de ser objecte d'una futura investigació.

## Quins materials s'utilitzaven i quines solucions constructives s'aplicaven?

Els materials amb què es construïen aquestes esglésies s'especifiquen a les tabes, i també s'han comprovat en les múltiples visites realitzades als diversos temples. La historiadora Maria Garganté explica a la seva tesi doctoral que les tabes descrivien el procés de les obres i els materials a emprar, amb més o menys precisió segons els casos. També esmenta la referència que sovint fan a la traça i als models, és a dir, plànols i maquetes. La historiadora també relata el procés d'elaboració del projecte, de la taba i la subhasta de l'obra. I adverteix que les tabes no acostumen a donar gaire informació sobre el projecte en si. D'altra banda, de plànols a penes si se'n conserven i dels models (maquetes) tant sols se'n coneix l'existència perquè s'esmenten en alguna taba. La historiadora també realitza una descripció molt interessant del procés de construcció de les esglésies i dels materials emprats, des de la col·locació de la primera pedra fins a l'obra acabada. En aquest procés però, no adverteix de tres fets fonamentals per a comprendre el funcionament constructiu i estructural d'aquestes esglésies. El primer és l'ordre en el procés de construcció, que passa inadvertit i té una importància cabdal. El segon és que atribueix l'ús del guix tant sols als enguixats i les motlures, i aquest s'emprava també per a prendre la primera filada de les voltes. I el tercer és que les voltes es construïen sempre amb rajola doblada.

Per al desenvolupament de la present tesi s'han estudiat 50 tabes de diverses esglésies i per a poder contrastar-les amb la realitat construïda, s'han visitat 78 esglésies de les quals s'ha realitzat l'aixecament i les comprovacions dels materials constructius que les configuren. L'estudi realitzat ha permès sintetitzar l'ordre en el procés de construcció, que era el següent:

1. Es construïa una bassa per a amarrar la calç al costat d'on es realitzaria l'obra, tant si es tractava d'una església construïda sobre una d'existent (romànica o gòtica) o si es tractava d'un solar sense edificar on es procedia a alçar el nou temple.
2. Després es construïen els fonaments i s'anivellaven, per a construir les bases dels murs i dels pilars que havien de ser de pedra.
3. Després es construïa la façana principal, també de pedra.
4. Posteriorment es construïen la resta de murs. Aquests murs eren de paredat, i les cantoneres eren de pedra ben escairada. “ (...) las cantonadas que entreveuen en dita obra deuran ser de pedra picada aboxardada”.<sup>5</sup>
5. Després es construïen els pilars de pedra amb les lligades corresponents. “ (...) que en ditas columnas hi haze de sinch palms unas lligadas que travésian (...) ”.<sup>6</sup>
6. Seguidament es construïen els arcs. En general els arcs faixons eren de rajola doblada, o de tres gruixos, i s'anomenaven “falsos arcs”, perquè no carregaven cap pes. Els arcs torals i els arcs

---

<sup>5</sup> 1776. Església de Guissona. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>6</sup> 1783. Església de Granyena de Segarra. Taba. Veure Annex Documental.

formers eren de maó a sardinell, i en alguns casos podien ser de pedra fins als terços i després continuar amb el maó a sardinell, també en algun cas són de rajola doblada o de tres gruixos. En alguns casos els arcs formers també són de maó a sardinell, però no és tant comú.

7. Sobre els arcs es construïen murs de pedra i argamassa fins als terços i els pilars es continuaven alçant per damunt de la clau dels arcs.
8. Un cop fets els arcs es cobria l'església col·locant les encavallades que sostindrien les bigues sobre les quals recolzarien les llates que suportarien les teules. Les teules es col·locaven en sec sobre les llates, excepte a la zona dels ràfecs on s'assentaven amb argamassa.
9. En cas d'haver-hi cúpula, es construïen les petxines i l'anell per a pujar el cimbori. Sobre els murs del cimbori es construïa un ràfec i es recolzava un enteixinat de fusta on descansarien les teules.
10. Un cop coberta la nau, el creuer, el presbiteri, i el cimbori, és a dir, **un cop coberta tota l'església, es procedia a construir les voltes**. Es començava per fer la cúpula amb les finestres i llunetes corresponents. Concloua la cúpula es construïen les voltes, que generalment eren d'aresta a les naus laterals i de mitja aresta, és a dir, de canó amb llunetes a la nau central. Totes eren de rajola doblada.
11. Es construïa també la volta del cor amb rajola doblada, minorant-ne el pes: “ En ningún rincón o seno de la bóveda del coro, de vera poner nada de tierra, pues de vera aligerarlas formando tabiques o bovedillas hasta enrasarlas para recibir el piso que de vera ser de ladrillo y yeso.”<sup>7</sup>
12. Finalment es realitzaven els acabats interiors, enguixats, paviments (de rajola quadrada “quadrons”) i pintats.
13. A l'exterior es deixaven els murs i cantonades de pedra ben escairada vistos, i la resta s'arrebossava i es pintava. “y blanquejar-la de guix de part de dins y arrebossar-la a pedra vista de part de fora”<sup>8</sup>. Generalment la pedra ben escairada es deixava vista: “Las paredes arrebossadas per part de fora y enblanquinadas ab llet de cals, terraguixat tot y allisat per dins ab morté y enblanquit ab pinsell; però los archs y cartelas y pilastras ab color de pedra”<sup>9</sup>.

El procés constructiu descrit és vàlid tant per les esglésies de saló com per les esglésies de tres naus. En molts casos s'aprofitaven els materials de l'església vella: “Mas, sera obligacion del maestro el derribar la yglesia vieja, aprovechar todos los materiales como son madera, texa y cal.”<sup>10</sup>

**Es demostra que la coberta sempre es construïa abans de construir les voltes. És a dir, el temple ja estava cobert i les voltes es construïen des de dins, per sota, amb l'ajuda de bastides i sense cintra. Protegides de la intempèrie, evitant que el guix que s'emprava per a prendre almenys la primera filada, o les dues filades, es deteriorés.** “ Que concludido todos los tejados tabicará lo primero la media

---

<sup>7</sup> 1764. Església de Batea. Taba. Veure Annex Documental.

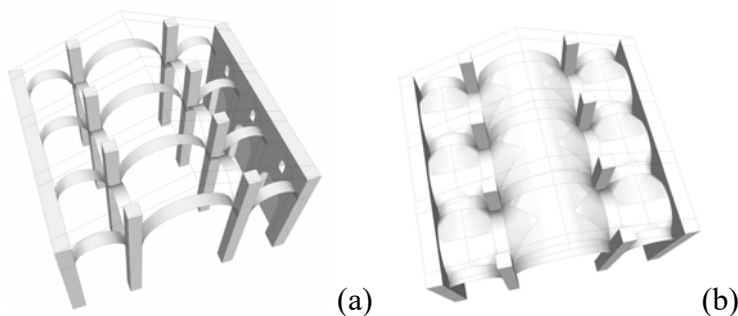
<sup>8</sup> 1790. Església de Riner. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>9</sup> 1787. Església de Bergús. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>10</sup> 1764. Església de Batea. Taba. Veure Annex Documental.

naranja (...). Que concluida la media naranja, haya de tabicar todas las bovedas de la iglesia de dos farfas de ladrillo y por la parte conbexa se haya de echar su capa de yeso y por la concaba se han de passar todas raspando”.<sup>11</sup>

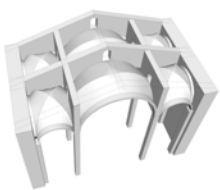
**D’acord amb el procés constructiu explicat l’estructura de l’església ja havia d’estar en equilibri abans de construir les voltes, es podria parlar d’una estructura primera, formada per fonaments, murs, pilars, arcs i coberta; i una estructura última formada pels elements esmentats i les voltes. També es demostra que aquesta estructura primera, sobretot en el cas de les esglésies de saló, havia d’estar adequadament dimensionada per a suportar posteriorment l’empenta de les voltes. Aquesta estructura primera havia d’estar correctament dimensionada per tal de poder absorbir canvis en les condicions d’equilibri causats per possibles deformacions raonables originades pel moviment dels estreps.**



**Fig. 3** (a) Conjunt estructural d’una nau preparada per a rebre les voltes, s’ha executat tota l’estructura primària i la coberta. (b) La mateixa nau un cop executades les voltes, a les cavitats entre les voltes hi va el replè.

La distància entre l’extradós de les voltes i la coberta era important, ja que l’equilibri global de l’església en depenia. I la teulada en cap cas podia carregar sobre les voltes. “ (...) la teulada no deu carregar sobre la volta sinó que ha de ser ab bigas y llatas (...). Y desde la volta de la Yglesia a la teulada hi ha de haver la proporció y distancia que se demostra en la planta”.<sup>12</sup>

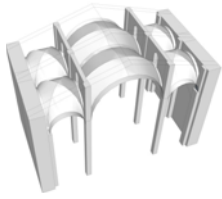
Durant l’elaboració de la tesi s’han detectat diverses solucions de coberta, sobretot en les esglésies de saló, que no s’ajusten sempre al sistema d’encavallades de fusta que sostenen les biguetes descrit pels historiadors. Les solucions de coberta que s’han detectat en la recerca realitzada són les següents:



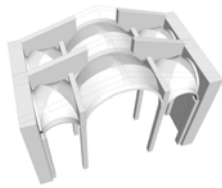
Murs sobre tots els arcs. Solució que consisteix en carregar els arcs faixons i els arcs formers, que són de maó a sardinell, amb murs de paredat que arriben fins a la cota de la coberta i en configuren el pendent, de manera que no calen encavallades, ja que els murs recullen les biguetes. Aquesta solució s’ha observat en esglésies com Vinyols i els Arcs o Sant Miquel del Port, entre altres.

<sup>11</sup> 1764. Església de Torres de Segre. Taba. Veure Annex Documental.

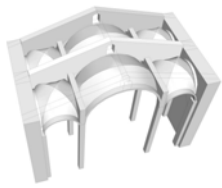
<sup>12</sup> 1792. Església Barberà de la Conca. Taba. Veure Annex Documental.



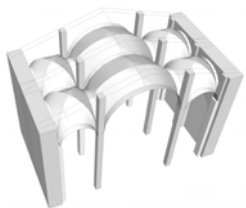
Murs sobre els arcs formers. Es carreguen els arcs formers que generalment són de maó a sardinell amb murs de paredat que arriben fins a la cota de la coberta. Aquests murs tenen un mínim pas que permet la comunicació entre les naus laterals i la central, podent ventilar tota la coberta. Els murs recullen les encavallades de fusta que cobreixen la nau central i les biguetes de fusta que cobrien les naus laterals. En general en aquests casos els arcs formers són de rajola doblada o de “tres farfes”. Algerri i Barberà de la Conca, entre altres, presenten aquesta solució.



Murs sobre els arcs faixons de les naus laterals. Aquesta solució carrega els arcs faixons de les naus laterals i la zona dels ronyons dels arcs de la nau central amb murs de paredat que arriben fins a la coberta, adoptant la forma de la vessant. En aquest cas les encavallades de fusta poden ser de dimensions més reduïdes. Els arcs formers poden estar carregats amb un petit muret que arriba fins l'extradós de la clau de l'arc. Aquesta solució s'assimila a una solució habitual per a les esglésies de tres naus. Rasquera i Cervià de Garrigues presenten aquesta solució.

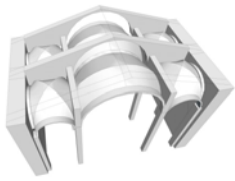


Murs sobre els arcs faixons de la nau central i laterals. Es carreguen els arcs faixons amb murs de paredat fins a l'alçada de la coberta configurant el pendent i recollint les biguetes. Es deixa un petit pas per comunicar les diverses crugies. Amb aquesta solució s'estalviaven les encavallades de fusta. Aquesta solució es pot observar a l'església del Pla de Santa Maria, entre d'altres.

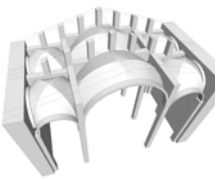


Pilastres en continuïtat amb la vertical dels pilars. Es construeixen pilastres sobre els pilars com si aquests continuessin a l'extradós de les voltes. Aquestes pilastres, que poden ser de paredat o de maons, recullen les encavallades que cobreixen la nau central i les biguetes que cobreixen les naus laterals, configurant la coberta unitària. Aquesta solució s'aplica a l'església de Granyena de Segarra, entre altres.

Aquest sistema de pilastres era l'emprat en les esglésies de saló construïdes pels enginyers militars o els frares tracistes al nou món. En aquests casos, moltes vegades sofisticaven el sistema construint tornapunts que sostenen el tirant de les encavallades i condueixen els pesos de la coberta a la vertical dels murs i dels pilars, optimitzant el funcionament estructural del temple. És el cas de la capella de la Universitat de Cervera, la Col·legiata d'Alcañiz, o la Catedral de Bogotà.

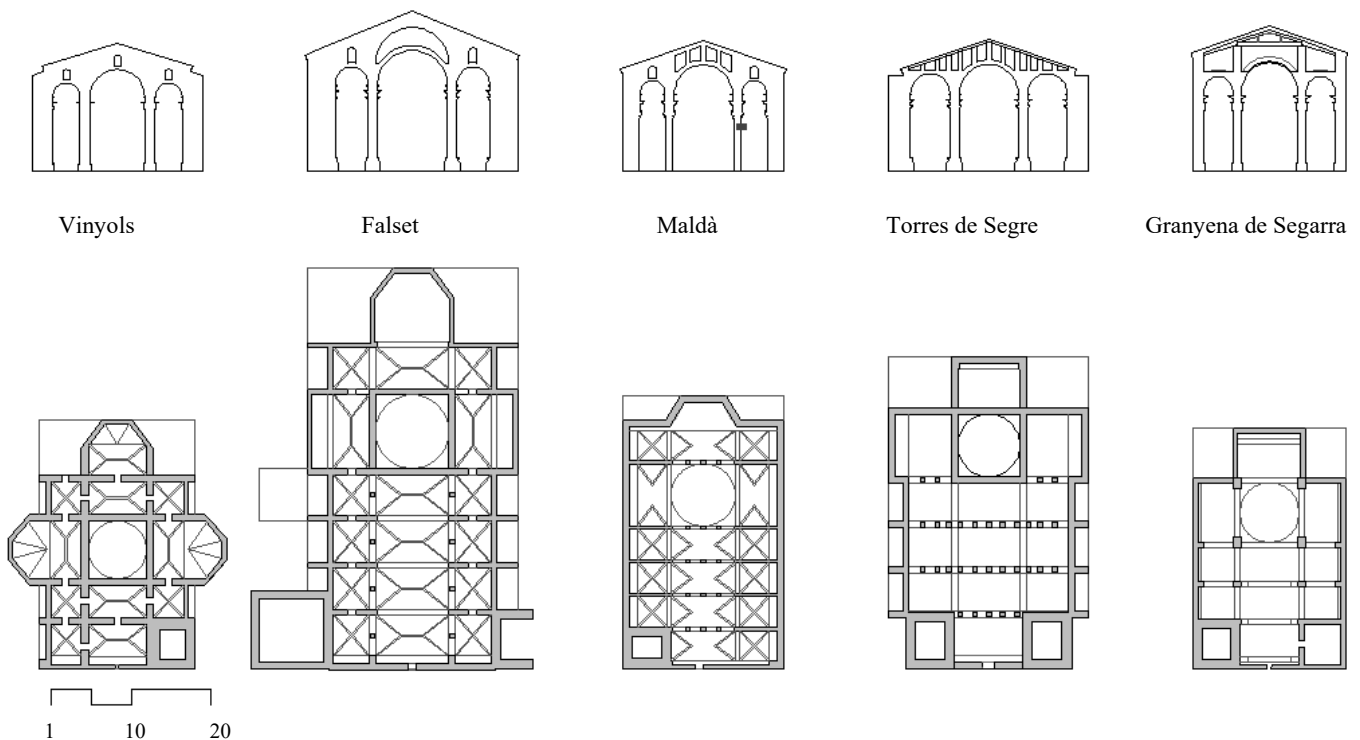


Doble entramat d'arcs. Es construeixen arcs paral·lels als arcs faixons de la nau central col·locats a una major alçada i es carreguen amb murets de paredat els arcs faixons de les naus laterals configurant les dues vessants de la coberta. En aquests casos els arcs faixons de la nau central són de rajola doblada. Amb aquesta solució s'estalviaven encavallades de fusta. Falset o Batea són esglésies resoltes amb aquest sistema. Aquesta solució era ben valorada per l'estalvi de fusta i material que representava. La taba de l'església de Batea s'especifica que es construiran arcs per a sostenir la coberta i que *“dichos arcos son a fin de escusar tixerias y mayor permanència de dicha obra”*.



Pilastres sobre els arcs. Es construeixen pilastres no només seguint la vertical dels pilars, sinó també altres pilastres disposades sobre la clau dels arcs faixons de les naus, o només sobre la clau dels arcs faixons de les naus laterals, o sobre els terços i la clau dels arcs faixons de la nau central, etc. Amb aquesta solució també s'estalviaven de col·locar encavallades de fusta quan hi havia pilastres sobre la clau dels arcs faixons de la nau central. L'església de Torres de Segre està resolta amb aquest sistema.

En tots els casos poden existir murets fins l'alçada de la clau dels arcs que no estan carregats. Sempre que estan carregats amb murets o amb pilastres els arcs són de maó a sardinell o de pedra. També poden existir pilastres disposades sobre la clau dels arcs de maó a sardinell o de pedra.



**Fig.5** Diverses solucions per al sota-coberta. Secció per la zona dels pilars i contraforts i planta sota-coberta. Des de la càrrega de tots els pilars amb murs, fins a l'ús de pilastres exemptes situades sobre els pilars i com a continuïtat d'aquests.



## Perquè només a la zona de Lleida i Tarragona van aparèixer les esglésies de saló?

En l'explicació sobre el procés constructiu, Maria Garganté i altres historiadors expliquen com s'emprava la fusta per a l'embigat de les cobertes. La historiadora parla de la importància que la fusta fos pi de melis i que fos tallada "de lluna de agosto", d'acord amb el què especifiquen les tabes.

La fusta havia de ser, com s'ha dit, de bona qualitat. "Sepa el asentista que deberá construir el texado con buena madera de la que baxa por el río Noguera y Segre (...) bien escuadreada y del grueso correspondiente según pidiere la obra"<sup>13</sup>. Es demostra que la zona geogràfica i les vies terrestres de comunicació, influenciaven en les possibilitats de disposar de fusta.

L'àmbit de Catalunya on es van construir esglésies de saló, són zones properes a la desembocadura dels rius Noguera Pallaresa, Noguera Ribagorçana i el Segre, i emmarcades dins l'àmbit de les vies terrestres principals del segle XVIII.

Aquestes rius transportaven fusta de bona qualitat imprescindible per a la construcció de vaixells, aquesta fusta continuava el seu recorregut pels camins de rodes fins a arribar al port de Tarragona. No és d'estranyar que les esglésies de saló només s'esdevinguin en la zona geogràfica catalana on conflueixen la desembocadura dels rius catalans, principals transportadors de fusta, amb els camins de rodes que arribaven al port. Només en aquest àmbit geogràfic es podien obtenir amb facilitat les bastides, les encavallades i les bigues de coberta necessàries per a les llums i dissenys del tipus saló.

El plànol de la Figura 12 mostra els Rius Noguera Pallaresa, Ribagorçana i Segre i els principals camins de rodes del segle XVIII. El riu Ebre també devia ser un bon conductor de fusta fins a Tortosa. S'observa com la desembocadura dels rius i la traça dels camins emmarquen la zona de major concentració de construcció d'esglésies de saló (grafiada en vermell més intens). La taca vermella es va difuminant, mostrant la irradiació del tipus saló cap a l'Aragó i el País Valencià, però amb l'epicentre a la Catalunya Nova.

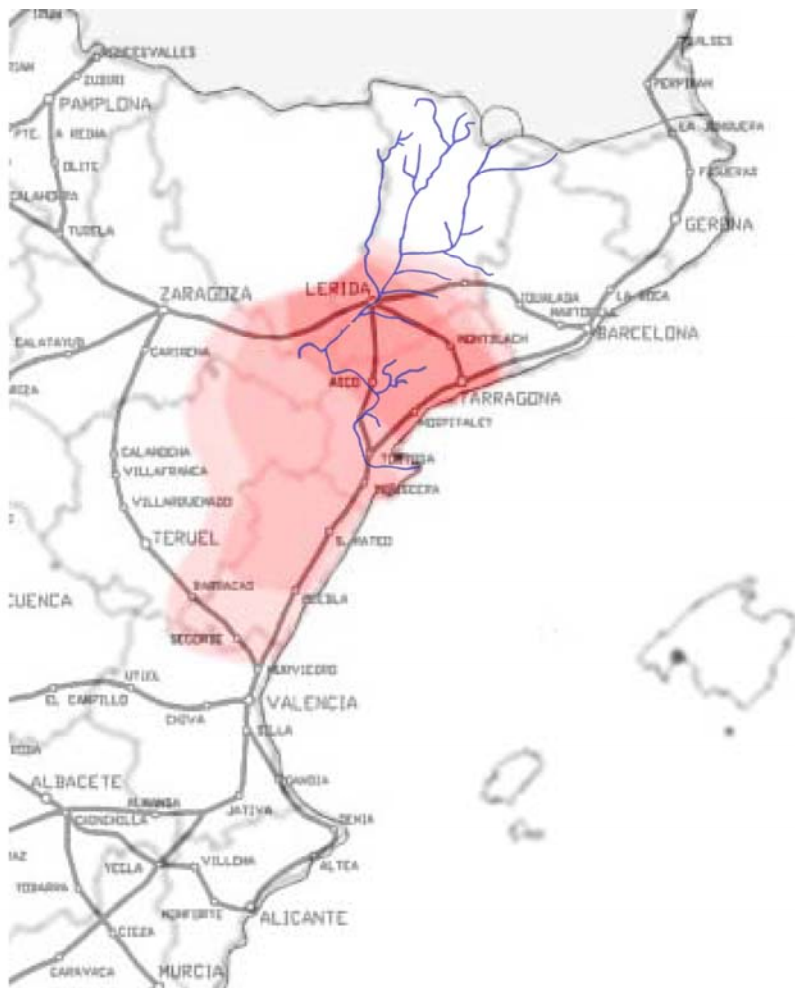
Al segle XVIII es van construir moltes esglésies a tot Catalunya, però només a la zona de Lleida i Tarragona es van construir esglésies de saló. Els fets que s'exposen donen una explicació raonable a la localització geogràfica del tipus saló.

Per tant, es demostra com **disposar de fusta feia possible la construcció de les esglésies de saló, i que la construcció d'esglésies de saló a la zona de Lleida i Tarragona es va esdevenir per la disponibilitat directa de fusta procedent de la Noguera i el Segre, que després es transportava al**

---

<sup>13</sup> 1770. Església de la Fuliola. Taba. Veure Annex Documental.

**port de Tarragona per camins de rodes.** L'abundància de fusta en aquesta zona feia factible que una part del material es quedés pel camí per a bastir les esglésies. L'ús de la volta de rajola doblada permetia estalviar en fusta (construir sense cintres) i cobrir grans llums amb un sistema fàcil, ràpid i econòmic. La fusta es destinava només a les cintres pels arcs (si no eren "falsos arcs"), a les bastides i a les cobertes.



**Fig.4** Superposició del plànol inicial de la Figura x sobre un plànol de camins de rodes del segle XVIII.

Per tant, es pot afirmar que el traçat dels rius principals transportadors de fusta i el traçat dels principals camins que conduïen la fusta cap al port de Tarragona, van propiciar que aquest enclavament geogràfic on la fusta transcorria en abundància fos l'única zona de Catalunya on aparegueren les esglésies de saló.

Les esglésies de tres naus en general són de dimensions més reduïdes que les de saló, i resolien la coberta col·locant una encavallada de fusta recolzada sobre els murs perimetrals de la nau central. I a les naus laterals, més baixes, es disposaven biguetes de fusta en el sentit del pendent. En alguns casos, ja fos per manca de fusta o de bons fusters, es disminuïa la magnitud de les encavallades augmentant l'alçada dels murets a la zona dels ronyons dels arcs de la nau central. Com que aquest tipus d'esglésies tenen uns grans contraforts, l'augment de l'empenta a causa de la càrrega als ronyons dels arcs faixons de la nau central es podia veure compensada.

**En les esglésies de tres naus hi havia un estalvi de fusta respecte les de saló, ja que les seves dimensions en general són més reduïdes, i els entramats de fusta de la coberta són més senzills.**

Com s'ha constatat, la qualitat de la fusta era molt important: “La fusta aja de ser de la millor calitat de pi bort o melis de la que y a en dit territori, lo més lluny de cosa de una ora y mitja de distància”<sup>14</sup>. Per això, si no es disposava d'ella calien recursos diferents per a poder bastir l'obra. De vegades la fusta es prestava o es reutilitzava: “ (...) se li facilitarà per a mentres duria tota la obra tota la fusta la qual deurà retornar concluida que sia la dita obra en lo mateix estat en que serà entregada”<sup>15</sup>.

Sembla evident que depenent de la disponibilitat de fusta es prenguessin unes o altres decisions per al disseny de la coberta, tot i que les solucions amb encavallades de fusta es consideraven, en general, més apropiades: “ Pero si lo impresari vol cubrir las teuladas majors ab tirants y estisora com està en Porrera y altres del Priorat podrà pues es lo modo més segur y en tal cas deurà elevar las parets y teuladas uns dos palms més y continuar las columnas per poder assentar los tirans o cavalls y no tindrà que fer ningun arch doble sinó cubrir lo cascaró del presbiteri”<sup>16</sup>. S'observa com la taba es debat entre una solució de dobles arcs o una solució d'encavallades de fusta, i que per a cada solució les alçades i proporcions varien.

---

<sup>14</sup> 1732. Església de Bufagranya. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>15</sup> 1823. Església parroquial de Sants, Barcelona. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>16</sup> 1774. Església parroquial de Vilanova de Prades. Taba. Veure Annex Documental.

Es podria afirmar que les esglésies catalanes del segle XVIII es construïen sempre amb voltes de rajola doblada?

La historiadora Maria Garganté esmenta l'ús de maons per fer els arcs de “cap i través” i la rajola de dos gruixos per a bastir les voltes, però no hi incideix.

Les 78 esglésies visitades estan construïdes amb volta de rajola doblada. De les 46 tabes estudiades, la majoria fan referència a les voltes de rajola doblada. La visita realitzada a la Catedral de Bogotà i la informació aconseguida sobre la Catedral de Potosí, demostren com aquestes catedrals estan construïdes amb volta de rajola doblada.

**Aquesta tesi demostra que la rajola doblada per a la construcció de les voltes era un fet habitual i consolidat. Totes les esglésies del XVIII catalanes eren construïdes amb aquest sistema estructural i precisament per això aquestes esglésies van poder assolir les dimensions monumentals que tenen.**

El gruix de les rajoles era molt inferior al d'un maó massís. Cada rajola mesura de 1,5 a 2 cm de gruix, en alguns casos s'han trobat gruixos de fins a 4cm, com per exemple a la Catedral de Lleida, però es tracta de casos més aïllats i generalment responen a projectes acadèmics, obra dels enginyers militars.

Independentment del gruix de les rajoles, en tots els casos les voltes es construïen amb dues filades. Així ho demostren les tabes estudiades que en fan referència. Per exemple la taba d'Alcañiz: “bóvedas de el grueso de dos falfas de yeso y ladrillo” <sup>17</sup>. O a la taba de l'església d'Ivars d'Urgell: “Las voltas de las capellas las deurà fer bufadas de dos gruixos de rajola, las de mitg ab llunetas, segons demostre lo pla y perfil y la volta del cor, segons lo pla y perfil, de dos gruixos de rajola ab sas faixas y la del cor ab sos carreuons y enrajolada.” <sup>18</sup>. “Sàpia lo dit mestra que per totas las voltas se auran de fer de rajola de dos gruixos y bona qualitat de guix pardo y adresades, ab ses arestas de llunetas y archs.” <sup>19</sup>

Els arcs podien ser de maó a sardinell o de rajola doblada o de tres gruixos de rajola. “ Fer los archs de la mitja taronja de la nau major, del cor, de les capelles, de guix y rajola, y hagen de tenir tres pams de ample, y tres y mitg de gruix, mes deura fer totes les boltes de la nau major, y Presbiteri, crusero, y capelles segristies de dos rajoles de guix” <sup>20</sup>.

<sup>17</sup> 1736 – ALCAÑIZ. Capitulación y concordia entre la junta de fábrica de la iglesia colegial de Alcañiz y los maestros de obras, Silvestre Colás y Miguel de Aguas, para la fábrica de la nueva iglesia colegial de dicha ciudad. Fundació Quílez Listerri.

<sup>18</sup> 1785 – IVARS D'URGELL. Contracte entre els regidors del Comú d'Ivars d'Urgell i Francisco Albareda, mestre de cases d'Os de Balaguer, per a la construcció de l'església parroquial de Sant Andreu d'Ivars d'Urgell. AHCC: FN Tàrraga. Marià Lloses. Fol. 14r-17v.

<sup>19</sup> 1732. Església parroquial de Bufagranya. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>20</sup> 1752. Església parroquial d'Alcanó. Taba. Veure Annex Documental.

S'han estudiat 46 tabes que s'adjunten com a Annex Documental, moltes de les quals especifiquen que l'església s'havia de construir amb voltes de rajola doblada. Altres vegades no s'esmenta com s'han de construir les voltes, o es recalca que es construiran “en la misma forma que se acostumbra en las iglesias del País.”<sup>21</sup>

L'omissió sobre la construcció de les voltes o comentaris com l'anterior, demostren l'ús generalitzat i l'hàbit en la construcció de voltes de rajola doblada. Les voltes de rajola doblada també les denominaven “voltes de piso”, ja que amb les rajoles es construïen els paviments dels diversos pisos dels edificis d'habitatges.

Les tabes silencien temes de fonamental interès, ja que anaven dirigides als mestres de cases, que coneixien molt bé els principis de disseny de les esglésies barroques del país.

És algunes esglésies de dimensions més reduïdes, situades en zones del pre-pirineu, o executades a l'inici del segle XVIII, es construïen voltes de pedra. Però en tot cas, es tracta de casos minoritaris i existeix una clara transició del canvi de l'ús de la pedra per l'ús de la “rajola” per a construir les voltes<sup>22</sup>.

Per a ratificar el contingut de les 46 tabes estudiades, s'han realitzat inspeccions visuals per a comprovar que les esglésies del XVIII catalanes estan construïdes amb volta de rajola doblada. S'han inspeccionat 17 esglésies de les quals s'ha pogut estudiar la taba corresponent. S'han inspeccionat 64 esglésies més, de les quals no s'ha aconseguit la taba.

Els 81 casos inspeccionats, així ho han ratificat. Les esglésies de saló del Baix Aragó i del Matarranya també es construïen amb rajola doblada, s'ha comprovat in-situ a Calaceit, Mas de las Matas, la Sorollera i Alcañiz. També a través de les tabes. Les esglésies de saló valencianes també<sup>23</sup>. També s'ha comprovat “in-situ” a la Catedral de Bogotà i s'ha obtingut la informació que ho avala respecte la Catedral de Potosí. El fet que la volta de rajola doblada s'exportés al nou món demostra la familiaritat que els mestres de cases tenien amb aquest sistema constructiu.

**Tenint en compte tot l'exposat, és raonable afirmar que les esglésies catalanes del segle XVIII es construïen de manera generalitzada amb volta de rajola doblada.**

---

<sup>21</sup> 1718 – ESGLÉSIA DEL PARC DE LA CIUTADELLA. Fragmento del asiento de las obras de la Ciudadela a favor de Juan Bertran y Compañía. AHCC: FN Barcelona.

<sup>22</sup> BASSEGODA, J., 1936. Transició de les voltes de pedra a les voltes de maó de plà en les esglésies de Catalunya. Memòries de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, 25, pp. 353-357.

<sup>23</sup> SÁEZ RIQUELME, B., 2015. Iglésias de salón valencianas del XVIII. Levantamiento gráfico, análisis geométrico y constructivo, patología común. Tesi Doctoral. Universitat Jaume I de Castelló.

## Com es construïen les voltes de rajola doblada?

Per a construir aquestes voltes s'emprava guix per prendre-les i argamassa o morter de calç per a la segona filada, tot i que es podien fer completament amb guix. Caldria un anàlisi del morter en cada cas, però l'ús del guix és evident, d'acord amb les referències a les tabes i la construcció sense cintra.

Les tabes en cap cas relacionen l'ús de cintra amb l'execució de les voltes. Tot i així, en la relació de materials que havia de proporcionar el contractista, en algunes tabes s'esmenten les cintres. “ Sàpia lo impresari que serà de son càrrech y cuydado de tot lo que se necessitarà, tant per bastides y cindres.”<sup>24</sup>. “(...) fusta y demás necessari per los sindriats”<sup>25</sup>. “(...) fusta necessària per fer las sindrias.”<sup>26</sup>

L'estudi de les tabes demostra que l'ús de les cintres es limitava a la construcció dels arcs, quan eren de maó a sardinell o de pedra. La taba que millor ho exemplifica és la de l'església parroquial de Sants, obra de Josep Renart: “Las cindrias dels archs se afluxarán per igual després de collats estos y se trauran dites cindrias quatre o cinc dies després, debent emperò per això estar carregats a la menos fins als tersos ab las parets que com se ha expressat, se han de construir sobre ells”<sup>27</sup>.

Les voltes s'executaven a l'aire, un cop la coberta closa, i no es requeria una cintra completa de tota la superfície, sinó tant sols per a l'execució d'arcs auxiliars o de punts concrets de geometria més complexa, com per exemple les llunetes: “ Ítem, així mateix dit Sagerí dèguia passar la volta de dita capella ab sas llunetas de rajola sensilla y la volta del nitxo del camaril com se demonstra en lo perfil: corrent a son gasto la fusta, mans y claus per los cindris”<sup>28</sup>.

En alguns casos la coberta es construïa situada a una alçada suficient perquè a l'extradós de les voltes s'hi pogués treballar. Però en la majoria dels casos, l'extradós està massa a prop del pla de la coberta impossibilitant desenvolupar-hi qualsevol tasca. A més, la construcció de les mitges taronges de rajola doblada s'havia de realitzar sense cintra, ja que l'extradós del cimbori en cap cas és practicable.

**D'acord amb l'exposat, es demostra que les esglésies barroques catalanes es construïen amb rajola, col·locada plana i presa amb guix, sense l'ús de cintres perquè el guix ja sostenia les peces, i se'n feien tant sols dues filades. El gruix total per a les voltes és de 5 cm a 7 cm. I s'executaven des de l'interior de l'església, amb la coberta ja acabada. Les llums que es salvaven amb aquestes magnituds tant esveltes són de l'ordre de 5m a 12m.**

---

<sup>24</sup> 1779. Església parroquial de Sant Martí Sesguioles. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>25</sup> 1792. Església parroquial de Barberà de la Conca. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>26</sup> 1732. Església del Convent de Sant Domènec, Cervera. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>27</sup> 1823. Església parroquial de Sants, Barcelona. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>28</sup> 1753. Capella de Nostra Senyora de la Mercè de la Catedral de Solsona. Taba. Veure Annex Documental.



## Com s'encertien de la seguretat de les esveltes fulles que conformen les voltes de rajola doblada? Quines geometries adoptaven?

L'ús de la volta de rajola doblada era habitual. Però els documents històrics consultats als Arxius d'intervencions realitzades en aquestes esglésies al s.XIX, vaticinen que es comença a desconèixer com es construïen. L'arquitecte diocesà que intervé a l'església de Rocafort de Queralt al segle XIX, per a reparar-ne la coberta, explica que el gruix de les voltes és insuficient i que cal reforçar-lo afegint una filada de maó ja que “actualmente tiene solo dos gruesos”.

Aquest tècnic també posa en entredit que les voltes estiguin preses amb guix i estableix que l'edifici està mal construït “sin la observancia de los mas rigidos preceptos de la cinencia y el atre”. En canvi, les voltes han aguantat més de dos segles sota una coberta en males condicions, estan preses amb guix, i malgrat tot la seva seguretat està demostrada<sup>29</sup>. Els càlculs realitzats també ho avalen.

El 1828, un tècnic del bisbat comenta sobre l'església de Maldà que es va executar “*sin dinero y sin la inteligencia y precaución en el Impresario, que es de menester (...)*”.<sup>30</sup>

Es tracta de comentaris aïllats, però suficientment representatius, ja que provenen de tècnics diocesans que gaudien d'un cert ressò mediàtic i d'autoritat. Malgrat no ser representatius, **són un indicatiu de la possible pèrdua gradual de coneixement sobre la construcció de les esglésies barroques catalanes.**

La historiadora Maria Garganté defineix els tipus de voltes amb que es solien cobrir les esglésies del XVIII. Segons la historiadora les voltes són de canó amb llunetes per a la nau central, de vegades poden ser bufades, i són de volta d'aresta a les naus laterals. Es demostra en aquesta tesi que les voltes també poden ser peraltades, això és un híbrid entre volta de canó amb llunetes i volta bufada, i que existeixen altres combinacions possibles.

Els mestres de cases anomenaven les voltes de canó amb llunetes voltes de *mitja aresta*. S'ha escatit el mètode que empraven els mestres de cases per a definir la geometria de les llunetes i es demostra com aquest mètode coincideix amb el proposat per Fray Lorenzo a “*Arte y Uso de Arquitectura*” (1639).

**El mètode el defineix Pere Blai a la taba de l'església de La Selva del Camp (1582), 57 anys abans que Fray Lorenzo, i es compleix en la majoria d'esglésies mesurades: “que la punta d'elles (llunetes) arriba a la tercera part de la volta llisa a punt rodó”<sup>31</sup>.**

---

<sup>29</sup> Veure apartat 4.4. Estabilitat de l'església de Rocafort de Queralt.

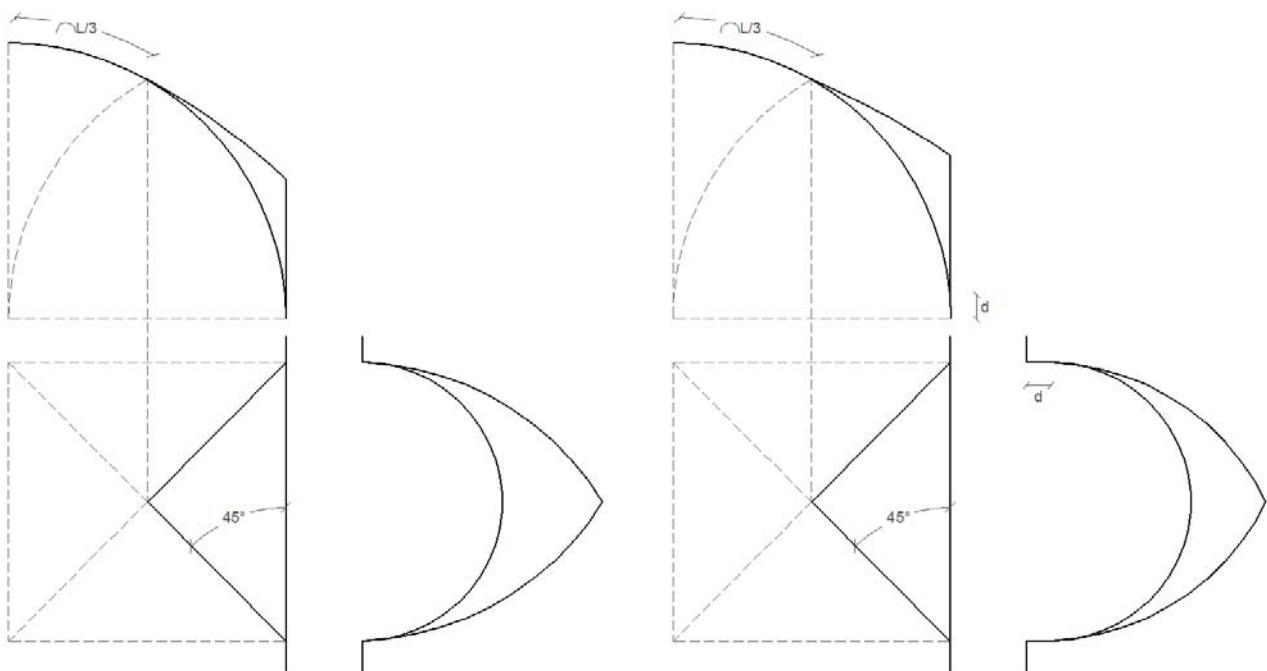
<sup>30</sup> Veure apartat 4.2. Estabilitat de l'església de Rocafort de Queralt.

<sup>31</sup> RÀFOLS, JF., 1934. Pere Baly i l'arquitectura del renaixement a Catalunya. Associació d'Arquitectes de Catalunya. Barcelona.

Fray Lorenzo definia un mètode consistent en què la posició de la punta de la lluneta vingués determinada pel traçat d'un radi igual a la meitat del radi de la volta de canó, aleshores la projecció de la lluneta en planta és un triangle isòsceles rectangle, en el qual els dos catets formen un angle de 45° amb la hipotenusa, que és la imposta de la volta. L'altre mètode descrit per Fray Lorenzo consistia en traçar un quadrat en planta i dels angles tirar cordills traçant la diagonal, i on es toquen amb la creu formalitzar la lluneta.

A la Figura 6 s'apliquen els tres mètodes i s'observa com les tres descripcions són la mateixa solució. **S'observa com Pere Blai definia el mateix mètode, amb altres paraules, 57 anys abans de l'aparició del tractat de Fray Lorenzo. Això ratifica l'existència dels coneixements gremials i la seva transmissió succincta.**

Per tal de construir llunetes amb menys pendent, els mestres de cases construïen els arcs formers a una certa alçada respecte la imposta de la volta de canó. El resultat són llunetes "capialçades", que simplifiquen l'execució de l'aresta, tenen menys pendent, i tenen una superfície geomètricament poc regular, però fàcil en la pràctica de la paletaeria. D'aquesta manera les llunetes podien adoptar geometries més rectes o amb més pendent depenent de si aquest arc arrancava a més o menys alçada. Altres vegades la lluneta adopta un cert bombament que pot ser més o menys pronunciat. També s'ha observat que en alguns casos les llunetes no segueixen aquestes regles geomètriques i que responen a traçats intuïtius.



**Fig.6** Geometria de lluneta segons Fray Lorenzo (1636), Pere Blai (1582), i com s'ha mesurat a les esglésies. Dreta lluneta capialçada.

Les voltes també podien ser de mocador o bufades. Tant per a cobrir les naus centrals com les laterals. De la mateixa manera que les voltes del gòtic tardà eren voltes d'aresta lleugerament peraltades, algunes d'aquestes esglésies tenen voltes de canó amb llunetes lleugerament peraltades, situades a la nau central.

Això significa que la clau central de la volta és més elevada que la clau dels arcs faixons. La diferència d'alçada oscil·la dels 20 als 60cm depenent dels casos.



**Fig.7** A l'esquerra volta de canó amb llunetes i volta d'aresta lleugerament peraltades. A la dreta volta d'aresta del gòtic tardà segons Huerta (Huerta, 2005).

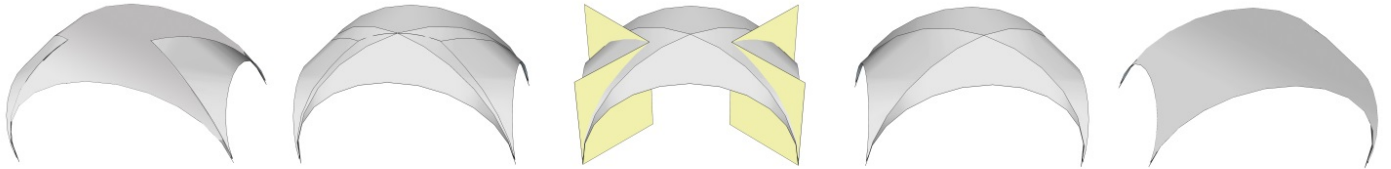
En aquestes voltes de canó amb llunetes peraltades, la corba de la volta té més alçada que la corresponent al semicercle, tal com passa a les voltes de mocador. Per tant, es podria dir que es tracta de voltes híbrides entre una volta de mocador i una volta de canó amb llunetes.

La seva geometria és com la definida per Manuel Fortea <sup>32</sup> per a les voltes extremenyes. Una geometria composta formada per la intersecció de diverses figures senzilles o primàries però que són de doble curvatura. Són voltes de canó amb llunetes de doble curvatura. Segons Foreta, per a les voltes extremenyes el “peralte” de la fletxa és aproximadament  $1/5$  de la llum. Per a les voltes de les esglésies barroques catalanes és molt menor, de l'ordre d'entre  $L/12$  a  $L/25$ .

Els mestres de cases anomenaven les voltes de canó amb llunetes “voltes de mitja arista”. S'observa com entre els diversos tipus hi ha una relació i una evolució, de tal manera que de la volta d'aresta i la volta de mocador, s'obté la volta d'aresta lleugerament peraltada. També partint de la volta de canó amb llunetes i la volta de mocador, s'obté la volta de canó amb llunetes lleugerament peraltada.

<sup>32</sup> FORTEA, M., LÓPEZ, V., 2000. Patología de bóvedas de doble curvatura. Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla. P. 68.

Les combinacions de tipus de volta que cobreixen les naus són diverses. Es prioritza la volta de canó amb llunetes (lleugerament peraltada o no), per a les naus centrals, i la volta d'aresta per a les naus laterals. Però poden haver-hi voltes de mocador a tot el temple, mocador a la nau central i aresta a les laterals, o canó amb llunetes a la nau central i mocador a les laterals.



**Fig.8** De dreta a esquerra:Esquema del pas d'una volta de mocador, a una volta d'aresta peraltada, a una volta de canó amb llunetes peraltada (amb les llunetes més o menys altes), i finalment a una volta convencional de canó amb llunetes.

Els arcs es construïen primer que les voltes, i servien de guia per a definir la seva geometria. Quan els arcs faixons són “falsos arcs” (són de rajola doblada), les voltes passen per sobre d'aquests arcs sense recolzar-hi. Les deformacions naturals que pot patir l'edifici al llarg del temps fan que la clau dels arcs pugui descendir i que les voltes no es moguin, o deformin menys, de tal manera que en moltes esglésies es pot observar com els arcs han deformat independentment de les voltes.

Quan els arcs faixons són arcs de maó a sardinell, les voltes queden limitades per la cara vertical, ja que hi entreguen a mitja alçada, sense recolzar-hi. El mateix passa amb els arcs formers.

La geometria de les voltes de rajola doblada era un factor que n'assegurava l'eficàcia? Com s'establien la forma i els gruixos "segurs"? És gràcies a l'ús de les voltes de rajola doblada que es van construir temples rurals de dimensions monumentals?

La majoria de voltes amb llunetes i amb arestes tenen reforçats els "plecs" mitjançant la col·locació d'una filada extra de rajola en aquestes zones. Fins i tot s'especificava a les tabes: "Sepa el assentista que estará obligado a formar y construir todas las bóvedas del cuerpo de la Iglesia, media naranja, capillas y sacristias y la del coro de tabique grueso de dos ladrillos sentados con yeso, con sus faxas correspondientes a la parte cóncava y convexa, a fin de quedar con la mayor Seguridad y hermosura" <sup>33</sup>.

També a Les Olugues: " (...) fer los archs y voltes tant de la nau, com del cor, capelles y sagristia, los archs de mahons y las voltes de guix y rajola a dos gruixos ab las fayxas competents y necessàries, y a las voltas de las capelles y cor hi ha de fer contravoltas o carreuons per posaro pla" <sup>34</sup>.

**Es demostra com els mestres de cases sabien que les arestes són zones de concentració d'esforços, i que una manera de fer encara més efectiva la seguretat de les voltes, és regruixant les arestes.**

"Las voltas, tant de la nau com de las capellas, an de ser de rajola doblada ab sas faixas als diagonals de las llunetas y al mitg, y esto a càrrech de dit mestre" <sup>35</sup>.



**Fig.9** Església d'Algieri i Església de Vinyols i els arcs, nervis de la lluneta regruixats per l'extradós.

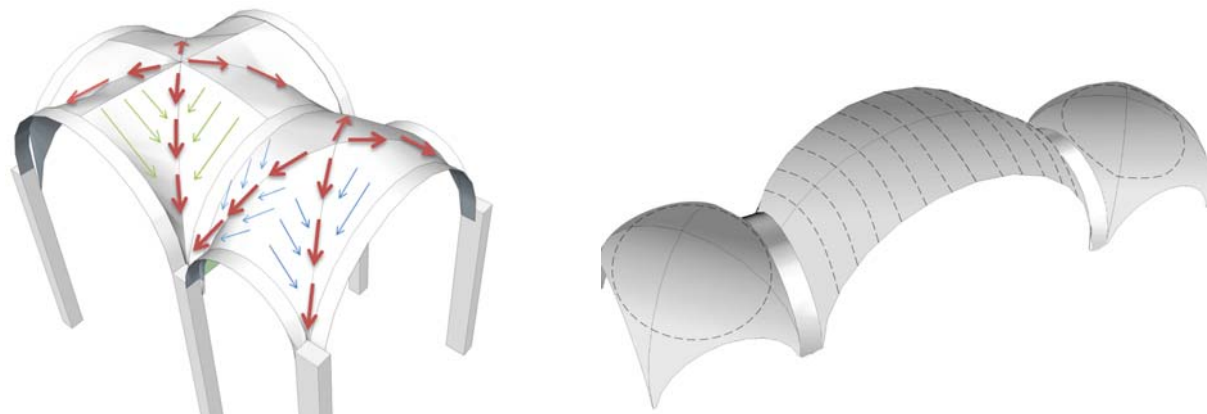
El regruixat també pot servir per a rigiditzar les cúpules o les voltes de mocador construïdes com a closques molt fines, tal com passa a la Catedral de Lleida. Per això, quan les voltes son bufades, en alguns casos es construïen nervis radials repartits en superfície per a rigiditzar la closca. És el cas, per exemple,

<sup>33</sup> 1770. Església parroquial de La Fuliola. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>34</sup> 1756. Església parroquial de Les Olugues. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>35</sup> 1771. Església parroquial de Madrona. Taba. Veure Annex Documental.

de la Catedral de Lleida i la Catedral de Bogotà. **Els mestres de cases saben que era bo reforçar l'esveltesa de les làmines fines que treballen com una membrana.**



**Fig.10** A l'esquerra funcionament estructural dels nervis de les voltes d'aresta, els esforços són conduïts cap als suports i es concentren a les arestes. A la dreta mètode dels talls amb sistema d'arcs a la nau central i casquets esfèrics treballant com una membrana a les voltes de mocador de les naus laterals.

**Les voltes estan pensades per a conduir les càrregues cap a la vertical dels pilars i els murs, i és possible imaginar les línies d'esforços diagonals que condueixen l'empenta cap als ronyons fins a trobar aquesta vertical. Els esforços poden trobar altres recorreguts en cas de deformacions.**

**Els mestres de cases saben que tant les llunetes com el bombament de les voltes ajuda a l'estabilitat i/o en disminuir l'empenta.**



**Fig.11** Nervis radials a la Catedral de Lleida (esquerra) (que serveixen per a circular per l'extradós), i a la Catedral de Bogotà.

Als casos analitzats amb més detall a l'apartat 4 d'aquesta tesi, s'observa com els replens dels ronyons són necessaris per a garantir l'equilibri de les voltes, i és gràcies a aquest replè que en cas de deformacions i/o a càrregues puntuals sobre les voltes, aquestes poden absorbir la línia d'esforços. En totes les voltes els ronyons estan replens fins els terços o més de la meitat de l'alçada de la volta.



Els mestres de cases també empraven sistemes de falca per a les voltes de mocador, com la construcció d'envanets fins els terços (llengüetes), seguint les regles de Fray Lorenzo. Algunes voltes peraltades també tenen envanets a l'extradós, evidenciant el seu possible comportament com una membrana.



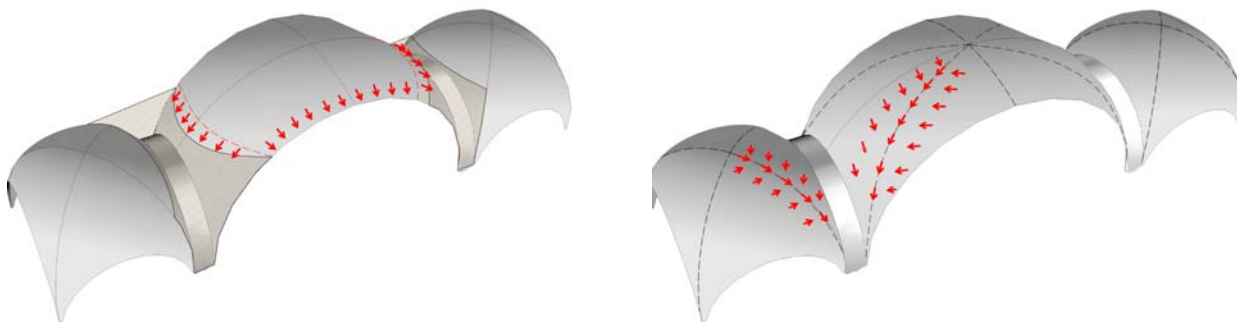
**Fig.12** Llengüeta a la Catedral de Lleida (esquerra), i llengüetes a la Catedral de Bogotà (dreta).

Les diverses deformacions que pateixen les esglésies produeixen les esquerdes típiques definides per a les voltes de fàbrica. Això és, esquerdes de Sabouret, a la clau i del mur. Aquestes esquerdes evidencien que les esglésies han patit deformacions. Amb les deformacions l'equilibri de l'estructura varia, de tal manera que les voltes autoportants que en origen no recolzaven sobre els arcs, a causa d'haver deformat lleugerament, poden començar a fer-ho. Això no té perquè representar un problema per a l'estabilitat de l'església, ja que el pes de voltes i arcs segueix sent el mateix i les empentes haurien de seguir-se compensant malgrat el lleuger augment causat per la deformació. Això demostra que els esforços poden trobar diversos recorreguts segurs, i per tant, es pot afirmar que el grau de seguretat de les voltes és molt elevat.

Les voltes de mocador poden treballar com una membrana i poden empènyer en totes direccions. Tot i així, les voltes de mocador, en estar construïdes sobre una base rectangular, han d'allargar els seus extrems per anar a trobar els ronyons, de manera que poden aparèixer, a més d'esquerdes meridianes, esquerdes de Sabouret, del mur i de la clau. Aleshores aquestes voltes acaben treballant com les voltes de canó amb llunetes, podent imaginar les línies d'esforços en diagonal o en arcs paral·lels. Les voltes peraltades, en tenir un lleuger bombament, també poden treballar com una membrana.

Per tant, el comportament de les voltes de mocador i de les voltes peraltades pot ser combinat, de tal manera que es pot produir l'efecte de membrana però també poden actuar com un sistema d'arcs (diagonals o no). **Com que la condició de membrana implica disminuir molt l'empenta, s'aconsella que els càlculs es realitzin considerant un sistema d'arcs, afavorint la seguretat.**

També es podria afirmar que les voltes de canó amb llunetes peraltades encara són més segures que les voltes de canó amb llunetes sense peraltar, ja que el lleuger bombament els permet treballar com una membrana, adaptant-se encara més a les possibles deformacions del temple.



**Fig.13** Diversos comportaments de les voltes de rajola doblada.

En general, comportament combinat de les voltes els permet recolzar sobre els arcs o no, depenent de les deformacions que pateixi l'església. Això no representa un problema per l'equilibri i és una situació que pot canviar amb el temps si s'esdevenen altres deformacions. Els recolzaments també poden ser parcials, havent-hi parts de les voltes que recolzin sobre els arcs i altres que no. Atesa la versatilitat que presenten les voltes de rajola doblada, es dedueix que la seguretat de les esglésies se'n veu beneficiada, ja que els esforços poden trobar diverses vies de pas.

En base als casos analitzats a l'apartat 4 d'aquesta tesi, també es demostra que les voltes produeixen empenta i que aquesta no és irrisòria, ja que és activa en l'equilibri global de les esglésies. **Les voltes són estructurals i intervenen en l'equilibri general de l'església.** Són molt lleugeres en relació als pesos que actuen, però l'empenta que produeixen és considerable. Malgrat no estar pensades per a suportar càrregues, són segures davant determinades càrregues puntuals que puguin patir, per exemple sobrecàrregues per manteniment, etc. I poden seguir sent segures davant les deformacions, sempre que no es produeixin pèrdues de geometria que no permetin el pas de la línia d'esforços, o desplaçaments dels suports que permetin a la volta cabre dins la llum.

La pèrdua de part de la volta tampoc té perquè comprometre la seva seguretat, ja que com s'ha esmentat les voltes tenen la capacitat de trobar altres vies pel pas dels esforços. Cal comprovar, però, que l'estat del morter (guix i/o morter de calç) sigui bo.

**Per tot l'exposat, es pot concloure que els dos gruixos de rajola es donaven sempre per segurs si es complien les condicions geomètriques que asseguraven l'eficàcia de les voltes: canó amb llunetes, peraltada i d'aresta, amb replè com a mínim fins als terços. De mocador amb llengüetes i/o replè.**

D'altra banda, no s'entén la construcció d'aquestes esglésies de dimensions monumentals, erigides pel poble sovint al marge dels estaments religiosos i militars, sense l'aplicació d'un sistema constructiu lleuger que els permetés una construcció ràpida, segura i econòmica, sense necessitat de cintres. Cal tenir present que el termini d'execució que s'atorgava a l'empresari per a l'execució dels temples va dels 18 mesos als 6 anys, depenent de la seva magnitud. Per exemple, per a l'església d'Altet (300 m<sup>2</sup>) haurien de ser 2 anys, per a Barberà de la Conca (500 m<sup>2</sup>) 3 anys, per a Batea (1500 m<sup>2</sup>) 6 anys. Per tant, s'aprecia que l'ús de la rajola doblada per a construir les voltes d'aquestes esglésies va permetre assolir la seva insòlita monumentalitat i va afavorir l'elevat nombre de construccions.

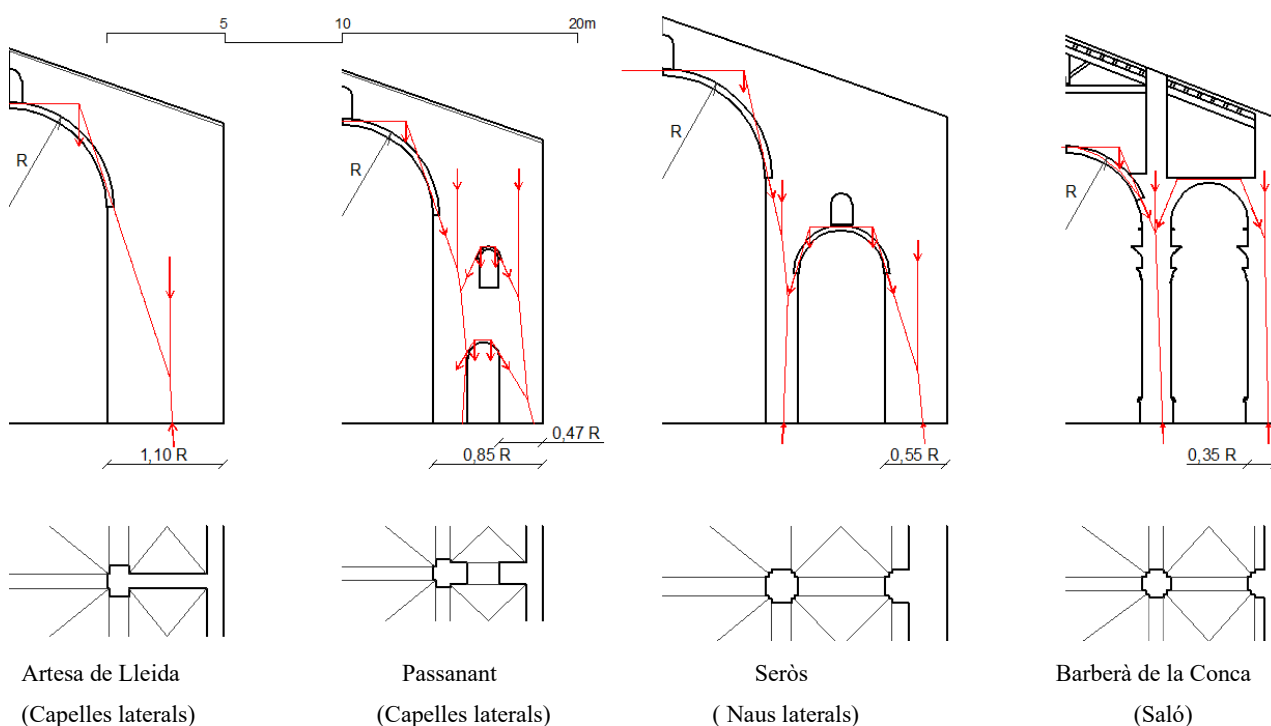
**Es pot afirmar que l'ús de voltes de rajola doblada augmenta la seguretat de les esglésies barroques del XVIII i que va ser un dels factors determinants que van permetre la construcció d'esglésies rurals de dimensions monumentals.**

És clar que amb el tipus saló s'assolien esglésies de majors magnituds. El tipus saló reportava avantatges respecte d'altres? Perquè adoptant el tipus saló s'assolien temples més grans?

A la Figura 14 es comparen els diversos tipus d'esglésies catalanes del XVIII. S'observa com les esvelteses dels elements estructurals de suport cada vegada són majors (d'esquerra a dreta).

**Com menys massiu és el contrafort, l'equilibri de forces ha de ser més precís, per tal que la línia d'esforços pugui entrar dins de la secció.** Les esglésies de tres naus necessiten un contrafort molt massiu per a contrarestar l'empenta de la nau central, en canvi, les esglésies de saló verticalitzen les empentes de la nau central contrarestant-les amb les de les naus laterals.

**Les esglésies de saló catalanes del XVIII adquireixen dimensions més agosarades i proporcions més esveltes que les seves coetànies de tres naus.** D'aquí es pot deduir que les esglésies de saló permetien un estalvi de material respecte les de tres naus. Això també implicava, tal com es conclou més endavant, la necessitat d'un major domini de la tècnica per part dels mestres de cases per tal de poder assegurar les situacions d'equilibri.



**Fig.14** D'esquerra a dreta: diferents tipus: església de tres naus on les naus laterals són capelles que no estan comunicades entre si (Artesa de Lleida). Església de tres naus on les naus laterals són capelles comunicades entre si per un pas mínim (Passanant). Església de tres naus amb naus laterals àmpliament comunicades entre si (Seròs). Església de saló.

Rodrigo Gil de Hontañón (Madrid, 1500-1577) afirmava que les esglésies de saló medievals permetien més esveltesa dels pilars respecte les de tres naus: “ El estribo no tan solo sustenta al arco de su capilla, mas tambien al arco de la colateral y de la maior, las quales si fueren echas a un alto ayudale mucho al arco de la una a la otra, como el de la colateral a la maior. Mas si fuese mas baja la colateral que la maior el pilar sobre la que carga es menester mas grueso que quando ba la una al peso de la otra.”<sup>36</sup>

D'altra banda, Rodrigo Gil també considerava que les esglésies de saló medievals eren més segures: “yendo asi a un alto es el edificio mas fuerte porque todo se ayuda uno a otro lo qual no hace quando la principal sube mas, porque es menester que desde la colateral se le de fuerza a la maior y desde la ornacina a la colateral lo qual se da con arbotantes y a este que no se puede subir a un alto o por menoridad de gestos, o por las luces que se fueren a un alto no se le podrían dar que gozabe mas de la una nave.”<sup>37</sup>

La Figura 22 i 23 mostra les diverses solucions d'estabilitat per a l'església de saló barroca de Palau d'Anglesola<sup>38</sup>. Com s'ha dit, en les esglésies de saló l'empenta de la nau central és contrarestada per l'empenta de les naus laterals. Per tant, les naus laterals, més estretes que la nau central, han de poder transmetre una empenta que sigui la justa per a equilibrar la nau central, i per a ser suportada per un estrep a l'altra banda. Aleshores, la disposició dels pesos de la coberta i a l'extradós de les voltes és fonamental per a assolir l'equilibri. **En les esglésies de saló els pesos han d'estar disposats de manera precisa per a assolir l'equilibri, d'acord amb les proporcions del temple en cada cas.**

En les esglésies de tres naus barroques l'empenta de la nau central segueix cap al contrafort contigu, que en ser molt massiu pot absorbir-la fàcilment. A les esglésies de saló barroques, l'empenta de la nau central es verticalitza quan es troba compensada per l'empenta de les naus laterals. En el primer cas l'empenta de la nau central es contraresta amb una gran massa. En el segon cas, l'empenta es contraresta amb una altra empenta.

**Per això, es pot convenir que les esglésies de saló barroques són igual de segures que les de tres naus, però l'equilibri es pot veure compromès amb més facilitat que en les de tres naus.**

A les esglésies de tres naus medievals, els arcbotants compensen l'empenta de la volta de la nau central mitjançant una disposició molt precisa dels pesos, de tal manera que Rodrigo Gil considera que en el tipus saló la disposició de pesos és menys compromesa, ja que el control dels esforços per a trobar el terreny es contraresta amb l'empenta de les naus laterals, estalviant-se un delicat recorregut a través dels arcbotants.

---

<sup>36</sup> HUERTA, S., (2004). “ Arcos, Bóvedas y Cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid. P. 209.

<sup>37</sup> HUERTA, S., (2004). “ Arcos, Bóvedas y Cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica”. Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid. P. 209.

<sup>38</sup> Veure capítol 4.5.

En el cas de les esglésies de tres naus barroques l'afirmació de Rodrigo Gil no es compleix, perquè el contrafort és molt massiu (no tenen arcbotants), donant coeficients de seguretat molt elevats. En canvi, en les esglésies barroques de saló, l'esveltesa dels elements les converteix en més vulnerables davant possibles canvis en les condicions inicials d'equilibri, sobretot produïts per modificacions de la coberta.

**Per tant, es pot concloure que en les esglésies de saló l'esveltesa dels elements de suport, en comparació amb les esglésies de tres naus, redueix les possibilitats d'equilibri. També que en les esglésies de saló les dimensions poden ser majors a causa de l'estalvi de material que els proporciona la seva esveltesa.**

La comparació de les proporcions dels dos tipus evidencien la diferència d'esvelteses. A la taula 2 s'enumeren les esglésies de tres naus que s'han visitat, mesurat i dibuixat. S'especifica l'alçada de les naus central (H1, H1c) i laterals (H2, H2c), la llum de les naus central (L1) i laterals (L2) i el gruix dels estreps (d1 (en cas de naus laterals), i d2 ).

Es demostra que en les esglésies de tres naus es compleixen les regles de proporcions geomètriques de Fray Lorenzo de San Nicolàs (1593-1679), Taula 3.  $L/2$  a  $L/5$  per a voltes "tabicadas" de canó amb llunetes. Fray Lorenzo donava valors molt segurs, que per a les esglésies de tres naus donaven proporcions segures. Però les esglésies de saló, més esveltes, no compleixen aquestes proporcions.

A la taula 4 s'enumeren les esglésies de saló que s'han visitat i mesurat. En groc es destaquen les aragoneses. En rosat les del País Valencià. S'especifica l'alçada de les naus central (H1) i laterals (H2), la llum de les naus central (L1), laterals (L2), el gruix dels pilars (d1), i el gruix dels estreps (d2 ).

Es demostra que per a les esglésies de saló el valor estrep/llum s'acosta més als valors establerts per Josep Renart i Closes (1746-1824). Renart va treballar com a mestre de cases a la Barcelona del segle XVIII, coneixia segur la construcció de les esglésies barroques catalanes, recollint les regles de la tradició constructiva del XVIII.

Als seus Quinzenaris estableix relacions de proporcions estrep/llum per a diversos tipus de voltes "tabicadas" (Taula 2). Els documents són ambigus, i no deixen clar si el gruix de l'estrep es refereix a pilars o si es refereix a murs, tampoc al tipus d'edificis. Però és molt probable que quan anomena les voltes de "mig punt amb llunetes", les voltes de "mitja taronja" i la "mitja taronja rebaixada", es refereixi a voltes que cobreixen les naus de les esglésies, atès que amb aquestes voltes no es cobrien habitatges.

**És possible que Renart intentés establir les mateixes relacions que Fray Lorenzo, però per a les esglésies de saló barroques catalanes.**



Fray Lorenzo	Tipus de volta		Estrep necessari
	sense contraforts		L/5
	amb contraforts (mur)		L/8
	amb contraforts (contrafort)		L/4

Renart	Tipus de volta		Estrep necessari
	mig punt sense llunetes		L/10
	mig punt amb llunetes		L/11
	rebaixada (f=L/6) sense llunetes		L/9
	rebaixada (f=L/6) amb llunetes		L/10
	mitja taronja de mig punt		L/10
	mitja taronja rebaixada		L/9
	volta de mocador i d'aresta		L/10
	esquifada de mig punt amb llunetes		L/12
	esquifada rebaixada		L/9
	esquifada rebaixada amb llunetes		L/11
	el·líptica rebaixada (f=L/7)		L/12

**Taula 2** Relació entre la llum de la nau principal (L) i el gruix dels estreps segons Fray Lorenzo i Josep Renart.

	Església	Any	H1	H2	H1c	H2c	L1	L2	d1	d2	d2/(L1)	
1	Omellons	175?	11,28	6	11,18	5,85	5,85	2,13	0,9	0,98	0,17	proporció 1/6
2	Vallmoll	1771-75	14,23	6,88	14,23	6,48	8,91	2,38	1,1	1,7	0,19	proporció 1/5
3	Vilall. Del Camp	1795-?	16,43	8,38	15,48	7,43	9,88	3,05	1,4	2,12	0,21	
4	Alcoletge	1763-67	11,5	5,52	11,4	5,42	6,39	2,65	1,09	1,45	0,23	
5	Cervià de G.		13,89	7,68	13,67	6,7	7,27	2,68	1,26	1,74	0,24	
6	Almatret	1753-58	9,9	4,88	9,73	4,29	5,92	2,49	0,94	1,43	0,24	
7	Juneda	1740-47	13,23	7	13,1	6,66	7,49	3,51	1,32	1,85	0,25	proporció 1/4
8	Granyena G	1763-82	10,91	6,16			6,15	3,37	1,11	1,54	0,25	
9	Granyena de G.	1782	10,92	6,16	10,78	6	6,15	3,37	1,14	1,54	0,25	
10	Albi	1746	14,79	6	14,59	5,29	8,45	2,06	1,48	2,13	0,25	
11	Alcanó	1752-57	10,66	4,53	10,51	4,36	6	2,49	1,01	1,52	0,25	
12	Poboleda	1750-73	15,98	5,97	15,98	5,4	9,39	2,97	1,26	2,42	0,26	
13	Vilella Baixa	1780	11,22	5,4	11	4,92	6,1	1,99	1,07	1,64	0,27	
14	Albagés	1746-52	11,42	6	11,24	5,91	5,92	2,96	0,92	1,64	0,28	
15	Capçanes	1791-97	13,43	7	13,23	6,8	7,1	2,95	1	2	0,28	
16	Catllar, el	1776-90	15,88	6,7	15,68		9	2,25	2	2,54	0,28	
17	Capafonts	1793	12,94	5,58	12,82	5,46	6,82	2,16	1,26	1,93	0,28	
18	Lloar, el	1777-80	10,99	5,73	10,79	4,96	5,91	1,86	1,15	1,7	0,29	
19	Seròs	1735-45	15,08	8,36	14,78	8,06	8,72	3,7	1,4	2,6	0,30	
20	Ginestar	1779-84	15,6	8,4	15,5	8,02	8,76	3,85	1,26	2,77	0,32	proporció 1/3
21	Sarral	1748-57	17,21	8,32	17,11		11,79			4,1	0,35	
22	Cornudella		16,18	8,74			11,08			5,13	0,46	
23	Llardecans	1766-76	13,38	6,83	13,18	6,63	7	3	1,57	3,3	0,47	
24	Borges Bl.	1752-57	19	7,93	18,67		11,33			5,75	0,51	proporció 1/2
25	Almacelles	1774-1776	12,58	6,14	7,1	3	8,5			4,4	0,52	
26	Rocafort V	1775-?	10,15	5,21	9,98		6,52			3,58	0,55	
27	Solivella	1780	14,38	7,83	14,28		9,2			5,15	0,56	
28	Artesa de Lleida		13,58	5,73	13,36		8,32			4,94	0,59	
29	Arbeca	1686	16	7,97	15,27		10,57			6,31	0,60	
30	Passanant	1770-78	12,85	5,68	12,66		7,69			4,66	0,61	
31	Juncosa G.	1746-49	11,25	5,65	11,06		6,76			4,25	0,63	
32	P. Cérvoles		11,9	5	11,54		6,9			4,57	0,66	
33	Castellidans		8,53	5,23	8,35		5,71			3,9	0,68	
34	Puigverd de Lleida		11,4	6,16	11,3	3,25	7			4,81	0,69	
35	Aspà	1746-52	11,38	6	11,18		6,47			4,5	0,70	
36	Alió	1760-67	14,12	5,97	14		7,6			5,55	0,73	
37	Puigròs		9,85	5,21	9,67		5,66			4,25	0,75	
38	Rourell, el	1777-?	12,5	5,12	12,4		7,39			5,64	0,76	

Esglésies de tres naus amb naus laterals

Esglésies de tres naus amb capelles laterals

**Taula 3** Mesures de les esglésies de tres naus visitades. La línia marca el límit on per sota són esglésies amb capelles laterals i per sobre esglésies amb naus laterals.

	Església	Ang	H1	H2	HC	L1	L2	d1	d2	d1/L1	
1	Catedral de Bogotà	1807-1823	15,78	14	23,75	9,78	5,8	0,85	8,3	0,09	relació 1/11
2	Palau Angl.	1790-1802	12,2	10,79	13,75	7,14	2,95	0,66	1,94	0,09	relació 1/11
3	Capella st Jordi	1597-1619	8,88	7,9	13,25	6,08	3	0,61	0,67	0,10	relació 1/10
	Coves de Vinromà	1774-93	14,06	12,12		7,99	4,12	0,81	2,65	0,10	
	Vilar de Canes	1781-86	9,28	7,9		5,65	2,75	0,6	1,56	0,11	relació 1/9
	Portell de Morella	1742-50	10,25	8,93		5,93	2,57	0,65	2,07	0,11	
4	Maldà	1790-96	13,27	11,32	15,63	7,59	3,31	0,91	2,15	0,12	relació 1/8
5	Univ. Cervera	1750-62	10,2	8,49	14,51	6,62	3,73	0,81	0,92	0,12	
6	Falset	1774-80	15,08	12,97	21,99	8,78	4,1	1,19	3,51	0,14	relació 1/7
7	Corbera	1780-1827	16,2	14,3		8,4	4,6	1,15	3	0,14	
8	La Palma d'Ebre		14,67	12,45	23,42	7,35	3,48	1,01	2,65	0,14	
9	Alcarràs	1760-65	14,9	12,75	22,54	8,4	3,73	1,16	1,81	0,14	
	Culla	?-1781	7,97	6,98		5,31	2,13	0,75	0,8	0,14	
10	Rasquera	1763-72	11,71	10,3	13,05	6	3,02	0,85	1,45	0,14	
11	La Sorollera	1734	10,17	9		5,41	2,93	0,77	1,75	0,14	
	Castell de Cabres	1750-63	9,14	8,39		5,51	3,57	0,79	1,02	0,14	
	Montàn	1781-87	11,61	10,95		5,88	2,72	0,85	2,59	0,14	
12	Biosca	17??	12,61	10,81		6,5	2,45	0,94	1,2	0,14	
13	Batea	1764-72	16,68	15,45	26,43	8,24	4,37	1,2	4,01	0,15	
14	Guissona	1776-97	16	13,79		8,28	3,94	1,22	1,52	0,15	
	Vilafranca del Cid	1773-94	8,07	7,25		4,41	1,97	0,65	1	0,15	
	Sant Vicenç de Pedrah	1770-81	12,01	10,05		6,44	2,55	0,95	2,24	0,15	
15	Alguaire	1774-83	13,38	11,5		8	4,23	1,24	3,05	0,16	relació 1/6
	Cinctorres	1763-82	17,49	15,4		8,96	4,38	1,4	3,12	0,16	
16	Roc. Queralt	1792-98	13,5	12,01	15,26	7,62	3,38	1,2	2,18	0,16	
17	Algerri	1768-72	11,97	11	15,86	6,4	3,65	1,01	2,79	0,16	
18	Borges del C.	1777-86	14,55	12,2	21,56	7,48	3,92	1,2	2,17	0,16	
19	Sudanell		12	10,54	19,27	6,85	3,15	1,11	2,63	0,16	
	Vinaròs	1780-99	8,77	7,66		4,75	2,42	0,77	1,55	0,16	
20	Torres de S.	1749-59	13,29	12,14	20,55	7,4	4,9	1,2	2,7	0,16	
21	Montroig d Camp	1798-?	17,94	15,4	29,38	10,4	5,13	1,7	4,47	0,16	
22	Granyena S.	1786-	13,53	11,79	15,34	6,97	3,56	1,14	1,39	0,16	
	Catedral de Potossí	1808-1838	16,31	14,68		9,69	3,84	1,68	4,5	0,17	promig 0,17
23	Espluga Calba	1772	13,49	12	19,74	7,38	3,35	1,24	2,19	0,17	
24	Mas de las Matas		15,61	13,76		8,55	4,42	1,44	2,95	0,17	
	Càlig	1773-85	12,37	10,69		6,15	2,85	1,07	2,05	0,17	
25	Soleràs, el	?-1805	12,31	10,79		6	2,84	1,07	1,83	0,18	
26	Arbolí	1799	11,19	9,83		5,8	2,9	1,04	1,57	0,18	
	Vilareal	1752-54/171	24,27	22,31		11,22	7,15	2,02	6,05	0,18	
	Suera	1773-97	13,44	11,96		6,48	3,37	1,18	1,89	0,18	
27	Barb. Conca	1792-96	11,51	10,19	13,8	6,48	3,28	1,2	1,17	0,19	
28	Torrefarrera	1796-99	10,44	9,1	11,5	5,53	2,77	1,03	1,64	0,19	
29	Aitona	1745-54	14,52	12,81	24,43	8,15	3,61	1,53	3,04	0,19	
30	Cogul, el		11	9,8	14,78	5,64	2,21	1,06	1,78	0,19	
31	Vinyols	1761-72	12,69	10,95	18,63	6,85	3,4	1,3	2,54	0,19	
	Ribesalbes	1766-81	11,6	10,12		5,75	2,37	1,1	1,4	0,19	
32	Tivissa	1773	10,95	9,36	16,57	6,05	2,99	1,16	1,91	0,19	
33	Calaceit	1734	16,55	14,1		8,81	3,91	1,72	4,9	0,20	relació 1/5
	Quart de les Valls	1776-95	14,06	12,58		7,51	2,32	1,47	1,35	0,20	
34	Alcañiz		23	21		10	7,11	2	6,62	0,20	
35	Maials	1760-65	15	13,31	23,96	8,15	4,36	1,76	2,33	0,22	
36	Pla Sta Maria	1773-79	15,74	14,27	23,72	8,26	3,99	1,8	2,98	0,22	
	Benifarló de Valls	1773/68-90	14,12	12,19		6,83	3,08	1,5	2,58	0,22	
37	Catedral de lleida		21,2	19,55	23,75	9,99	6,57	2,23	7,25	0,22	
38	Riba Roja	?-1770	12,02	10,6	19,99	6,13	2,98	1,5	1,96	0,24	
	Vallat	1753-?	9,91	8,69		4,3	2,47	1,07	1,11	0,25	relació 1/4
39	el Port Barcelona	1753-55	10,41	9,73	14,65	5,91	4,04	1,63	1,45	0,28	

**Taula 4** Mesures de les esglésies de saló visitades (enumerades) o que s'ha obtingut documentació. En color salmó es marquen les esglésies del País Valencià, i en groc les aragoneses. La relació estrep/llum s'assimila a la proporció definida per Renart.

Tot i els avantatges que reportava l'ús de les voltes de rajola doblada, com aconseguien els constructors que no disposaven de coneixements teòrics amplis bastir aquests edificis amb aquestes voltes? Com intuïen l'estabilitat de l'estructura? La seva experiència es basava en mètodes empírics o existien normes tàcites per al correcte disseny? Com dimensionaven adequadament els estreps per a suportar l'empenta? I el gruix dels murs i dels pilars? Com establien els mestres de cases com calia repartir els pesos per aconseguir l'equilibri?

**Tot sembla indicar que els mestres de cases havien de disposar dels coneixements suficients per a dissenyar solucions d'equilibri. Es podria afirmar que disposaven de coneixements gremials. En moltes tabes es parla de proporcions o de “regles de l'art”:** “(...) plantejar tota la dita obra, per tant la delineada segons las trassas, planos y pactes sobre referits ab tota aquella regla del art.”<sup>39</sup>. “Que hauran de fer las sis bóvedas que demana la nau de la Iglesia y de la rajola doblada i formades ab sas llunetes corresponents y proporcionades sobre cada una de las capelles, y alsant las parets de dessobre los archs de dites capelles només que ab lo gruix y alsada, de manera segons bon art la altura de dites llunetas.”<sup>40</sup>

**És possible que s'utilitzessin models per a establir proporcions d'equilibri**, ho fan pensar frases com aquesta: “Sàpia lo impressari que deurà fer tota la obra ab las altures y amplades, gruixos de parets, voltas, (...) tota la arquitectura com **se demostra en lo perfil de guix.**”<sup>41</sup>

De fet la majoria de tabes parlen de “planta i perfil”. Sembla que es refereixin a la planta i a la secció. Però l'anàlisi detallat de les tabes fa pensar que quan es parla de “perfil” podria tractar-se d'una maqueta o “model·lo” com s'anomena en altres tabes.

La taba per a la construcció de la nova capella d'Ivorra, proporciona informació rellevant sobre els mètodes de disseny emprats pels mestres de cases. En aquest cas, queda molt clar que a més dels plànols i de la taba el constructor disposava d'una maqueta de fusta molt detallada:

“(...) Primo, que dits Garrigas se obligan en fer y fabricar dita capella ab son propi gasto segons dos trassas: **una trassada en pergami** per Fra Matheu, religiós de l'orde de predicadors, **y altra eo modelo de fusta** fet per Francisco Nadal, Fuster de dita ciutat de Solsona.”<sup>42</sup>

“(...) Ítem, que dits Garriga ajan de picar todas las pedras per cantonadas de las parets foranes, las finestras y rexas **segons estan trassadas en dit model·lo**, ab faixa alrededor de ditas reixas y finestras per a donar claror als aposentos, sagristia y camaril de dita capella.

<sup>39</sup> 1776. Església parroquial de Guissona. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>40</sup> 1732. Església del Convent de Sant Domènech, Cervera. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>41</sup> 1779. Església de Sant Martí de Sesguioles. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>42</sup> 1701. Capella d'Ivorra. Taba. Veure Annex Documental.

(...) Ítem, que dits Garrigas àjan de fer dos portals per entrar a la sagristia y dos per a entrar al presbiteri de pedra picada, **segons la trassa de dit model·lo**. Y àjan també de picar las vasas de pedra seran menester per dita capella, segons la trassa de dit model·lo.

(...)Y agen de enguiscar y terraguixar tota la obra ab perfecció total, **segons la dita trassa y model·lo, deixant los portals traçats ab mollera imposta que són en la traça de pergamí, que no se han de fer ni són traçats en dit model·lo de fusta.**

(...)Y tot lo demés que.s faltó a explicar ab dits capítols ho hàjan de fer segons la traça de dit model·lo ab total perfecció.

(...) Ítem, que acabada dita obra se aja de judicar per dos mestres elegidors per dita administració si dita obra serà feta segons art y ab la pefecció de las traças sobreditas, fetas una en pegamí y la altra de fusta. Y en cas hi faltàs alguna cosa o dita obra no fos feta segons art ho hàjan de fer y reparar dits Garrigas a son gasto fins que estiga ab total perfecció y segons art, segons ditas traças.”<sup>43</sup>

El model (maqueta) de fusta era molt detallat, a jutjar pel text citat. Això fa pensar que havia de tenir unes dimensions considerables per tal de poder treballar adequadament el grau de detall. Les maquetes servien per a explicar el projecte, per a resoldre la geometria i per a comprovar l'estabilitat de l'estructura. “Un modelo a gran escala servia para muchas cosas: para mostrar el proyecto al que lo encargaba, para resolver problemas de estereotomia y, por último, para comprobar la estabilidad de la estructura acabada a tamaño real.”<sup>44</sup>

Maqueta, plànols i taba es complementaven per tal de facilitar la informació el més detallada possible. D'altra banda el mestre havia de seguir escrupolosament les definicions de la maqueta i els plànols.

Els detalls dels plànols devien ser molt treballats, ja que algunes tabes s'hi referencien citant fins i tot figures. Per a la construcció de l'església de Madrona la taba diu que “deurà dit mestre posar las impostas de las capellas tant de las pilastras de fora com de dins de guix, **com apar a la figura de número 10**”.

A més es realitzaven “visures” de les obres, és a dir, controls realitzats per tècnics externs que en detectaven els defectes, que en cas de ser-hi caldria refer. “(...) pagant lo empresari lo gasto de las visuars si se encuentre que la obra no se fabrica segons la tabba, pla y perfil, y en cas de encontrar-se no estar dita obra en lo estat y perfecció que es requiereix, la haurà de desfer y tornar-la a construir de nou, però si se encontra que tot va segons la tabba, pla y perfil lo gasto de visuras lo deurà pagar el comú.”<sup>45</sup>

<sup>43</sup> 1701. Capella d'Ivorra. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>44</sup> HEYMAN, J., 1995. Teoria, historia y restauración de Estructuras de fábrica. ps. 339.

<sup>45</sup> 1785. Església parroquial d'Ivars d'Urgell. Taba. Veure Annex Documental.

“(…) después de finida tota la dita obra deurà ésser visurada per dos o quatre mestres de cases àbils e idòneos elegidors dos per quiscuna part (...)”<sup>46</sup>. “La població tindrà llibertat de fer visurar dita obra per algun arquitecto u altre al gust de la població en qualsevol part que estiga la obra, y en cas de haver alguna part falsa que no sia sòlida com li correspon a judici del arquitecte se ha de tornar a fer a expenses del mateix mestre de la obra.”<sup>47</sup>. “Tota dita fenyà a de ser ben acabada a ús y costum de bon oficial, visurada de una part y altra.”<sup>48</sup>.

**Es pot afirmar que sempre es disposava de plànols que no han arribat a l'actualitat, i seria raonable afirmar que també es disposava d'una maqueta de fusta o de guix de dimensions considerables. Els plànols i la maqueta eren molt detallats, i completaven la informació de la taba.**

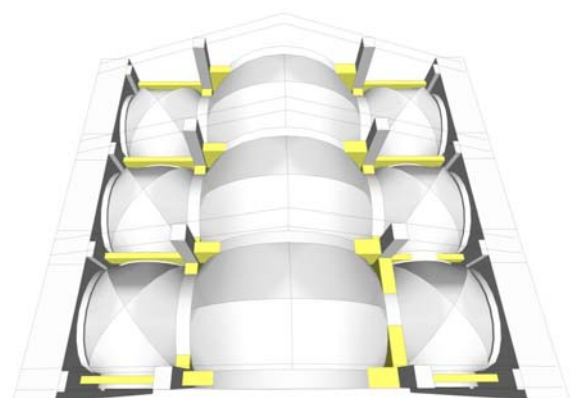
“Sapia dit impresari que per a evitar disputa o dificultat per quant algunes coses no se demostran en la planta, entenguia dit impresari que si en la tabba le explica alguna cosa que en la planta no se demostria no obstant ho haurà de fer, segons, y del modo canta la tabba, per més que en la planta no se declaria.”<sup>49</sup>.

Les maquetes no han persistit fins a l'actualitat, i d'acord amb l'historiador Ramon Planes dels plànols “se'n feia un únic exemplar que quedava en poder del mestre, car l'havia de menester”<sup>50</sup>. El mateix historiador explica que no era infreqüent que al llarg de l'obra es variés el traçat original del temple.

El detall dels plànols i maqueta establia els gruixos dels murs i la situació de la coberta: “(...) desde la volta de la Yglesia a la teulada hi ha de haver la proporció y distancia que se demostra en la planta”.<sup>51</sup>

Maqueta i plànols establien la disposició dels pesos morts, fonamentals per a garantir l'equilibri d'aquestes estructures. “Sàpia lo impresari que deurà pujar de paret las tardosas dels archs, y en las navecillas ha de continuar la paret fins a la calçada del arch del crusero.”<sup>52</sup>

**Fig.15** Col·locació de pesos morts en una coberta de pilastres amb encavallades. Els pesos ajuden a equilibrar l'estructura.



<sup>46</sup> 1752. Església parroquial de Les Borges Blanques. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>47</sup> 1752. Església parroquial de Les Borges Blanques. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>48</sup> 1732. Església parroquial de Bufagranya. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>49</sup> 1792. Església Barberà de la Conca. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>50</sup> Planes, R. 1985. Contractes d'obres al Bisbat de Solsona 1661-1790. p. 21.

<sup>51</sup> 1792. Església Barberà de la Conca. Taba. Veure Annex Documental.

<sup>52</sup> 1783. Església parroquial de Granyena de Segarra. Taba. Veure Annex Documental.

## Altres elements com la coberta podien ser part activa en l'estabilitat global?

Les esglésies de saló mostren més varietat en la configuració de la coberta, ja que l'equilibri de pesos no s'efectua mitjançant l'ús de murs massius (com els contraforts de les esglésies de tres naus), sinó que s'aconsegueix com en una balança, compensant les empentes de la nau central amb les empentes de la nau lateral. Això fa que les solucions per a la coberta tinguin un paper fonamental en l'equilibri de la nau, aconseguint-lo mitjançant la disposició precisa dels pesos que garanteixi l'estabilitat. **La varietat de solucions demostra que els mestres de cases havien de disposar dels coneixements suficients per a poder valorar l'equilibri de les esglésies.**

Es pot afirmar que els mestres de cases buscaven l'equilibri entre pes de l'estructura i funcionament òptim de l'estructura. Buscaven optimització de mitjans constructius i materials i màxima eficàcia. De fet, aplicaven la teoria de Fray Lorenzo, segons el qual:

*“Conserua a un cuerpo, segon sienten los Phisicos, una mediana en el sustento; porque la abundancia la acaba, y la falta le destruye; assiento que passa en los edificios, que mucho peso, o grueso les haze abrir quiebras, y falta de grueso les hace perecer: assi, que conviene que guarde una mediana para conseruarse”.* L'excés de pes en el dimensionat pot ser tant perjudicial com quedar-se curt.

L'apartat 4 d'aquesta tesi demostra la importància del disseny i situació de la coberta en l'equilibri global de les esglésies, sobretot en el cas de les esglésies de saló.

En alguns casos, com per exemple Palau d'Anglesola i Rocafort de Queralt, les variacions en la disposició de la coberta efectuades al llarg dels segles no han beneficiat l'estabilitat de l'estructura, ja que han introduït pesos i empentes que no s'han vist adequadament compensats, induint les deformacions actuals.

En casos com Les Borges del Camp, la solució de coberta pot raspassar les repercussions estructurals i propiciar problemes de compatibilitat en les dilatacions i moviments inherents als materials.

En tots els casos estudiats amb detall a l'apartat 4, que són representatius per les deformacions i/o lesions que presenten, les modificacions realitzades a la coberta al llarg del temps (modificacions de reparació), han tingut un paper rellevant en les deficiències estructurals detectades actualment. **Es pot afirmar que la coberta és part activa en l'estabilitat global de les esglésies, sobretot en el cas de les esglésies de saló.**



Tot i aconseguir l'equilibri, les esglésies pateixen lesions. Com afecten la seguretat? El despreniment d'una rajola o part del revestiment d'enguixat compromet la seguretat dels temples? Fins a quin punt són preocupants les deformacions de les voltes i els desploms dels murs? Són segures les voltes de rajola doblada malgrat les deformacions? Els pilars i murs desplomats comprometen la seguretat de les voltes? Les esquerdes revelen un col·lapse imminent?

Tal com s'ha demostrat, els mestres de cases construïen tota l'església, coberta inclosa, i després executaven les voltes un cop l'estructura primera ja estava conclosa. En molts casos l'extradós de les voltes és impracticable per la proximitat del pla de la coberta, que no permet el pas d'una persona entremig, almenys còmodament. Aquest fet ha sigut i segueix essent la causa principal de lesions importants en aquests temples.

A l'Església de Palau d'Anglesola, el 1790, els visuradors que van a controlar l'obra de l'artífex Francesc Albareda, manifesten el seu desacord perquè consideren que a les pilastres de sota coberta els faltava alçada. Aquesta església està resolta amb el sistema de pilastres en continuïtat amb la vertical dels arcs.

D'alguna manera, **els mestres de cases eren conscients que la proximitat de les voltes amb els tirants de les encavallades podia significar futurs problemes d'estabilitat.** No estaven errats, ja que aquesta església ha patit deformacions evidents dels arcs causades per recolzaments puntuals de la coberta.

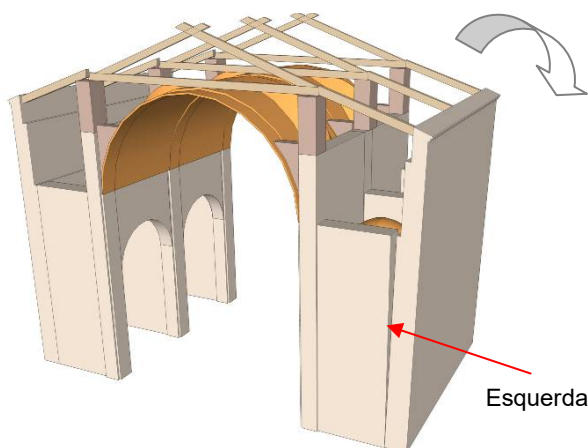
**Les esglésies de saló, a causa de la seva composició basada en l'equilibri de pesos, són més sensibles a les lesions derivades del mal estat de la coberta.** Les lesions més comuns que s'han observat són les següents:

- Lesions produïdes per la fletxa del tirant de fusta de les encavallades El tirant deforma recolzant part del pes de la coberta sobre la clau o zones properes a la cau dels arcs. El tirant pot fletxar perquè la fusta cedeix al llarg del temps, o si l'encavallada té monjos, perquè els mecanismes d'unió dels monjos fallen. O la fusta, mecanitzada en aquests punts, es deteriora per l'oxidació dels connectors metàl·lics. Aleshores els monjos es desprenen permetent al tirant deformat, i si es troba a prop de l'extradós dels arcs, recolzar-hi. En recolzar el tirant sobre els arcs aquests deformen i transmeten major empenta sobre els pilars. Si els pilars de la nau són esvelts o si la nova empenta no pot ser contrarestada per l'empenta efectuada per les naus laterals, l'equilibri es pot veure compromès. Aquesta lesió és molt freqüent quan l'extradós dels arcs és molt proper als tirants de les encavallades, que és en la majoria dels casos. Es podria dir que els mestres de cases subestimaven la fusta.

- Lesions produïdes per esfondraments de part de la coberta La fusta de les encavallades pot deteriorar-se fallant i esfondrant-se sobre part dels arcs. També les biguetes de fusta poden deteriorar-se i fallar, produint l'esfondrament d'una part de la coberta sobre les voltes. La càrrega puntual que això suposa produeix deformacions i augment de l'empenta.
- Lesions per entrada d'aigua El mal estat de les encavallades i/o de les biguetes produeix la dislocació de les teules i la conseqüent entrada d'aigua, que acumulada a la zona dels ronyons augmenta l'empenta dels arcs i les voltes. L'aigua també degrada el guix d'unió de les rajoles de les voltes, produint deformacions.
- Lesions produïdes per l'empenta dels elements de coberta El deteriorament del tirant de les encavallades de coberta pot inutilitzar-lo de manera que els cabells produeixin una empenta no desitjada sobre els elements de suport.

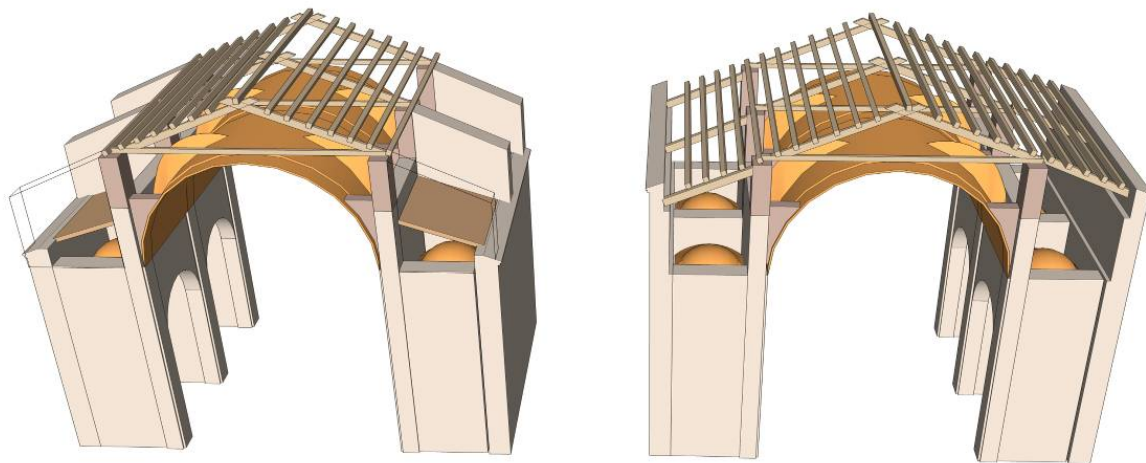
En el cas del les cobertes resoltes amb arcs paral·lels als arcs formers de la nau central, la deformació dels arcs a causa d'un augment del pes de la coberta pot fer-los deformar, augmentant-ne l'empenta que no pot ser contrarestada per les naus laterals. La deformació dels arcs podia esdevenir-se per un augment prolongat del pes a la coberta, per exemple a causa d'una nevada com sembla ser el cas de Falset, on l'augment de l'empenta dels arcs de coberta va provocar que els estreps giressin lleument i la llum d'aquests arcs augmentés, dislocant les teules i permetent l'entrada d'aigua.

- Lesions produïdes per errors o modificacions en la configuració de la coberta S'ha observat que algunes esglésies de tres naus tenen una configuració de coberta unitària com si es tractés d'una església de saló. Aquesta configuració que no encaixa amb el tipus pot ser d'origen o causada per intervencions efectuades al llarg del temps. Potser intervencions que donaven resposta a la moda de l'època, intentant que l'església de tres naus recordés una església de saló. O volien guanyar més espai.



**Fig.16** Empenta de les encavallades sobre els murs perimetrals a l'església d'Almacelles.

L'església d'Almacelles il·lustra aquest fet. En l'apartat 4.7, on es desenvolupa el seu estudi, es demostra com possiblement el defecte es produí d'origen. Tot i així caldria un estudi arqueològic.

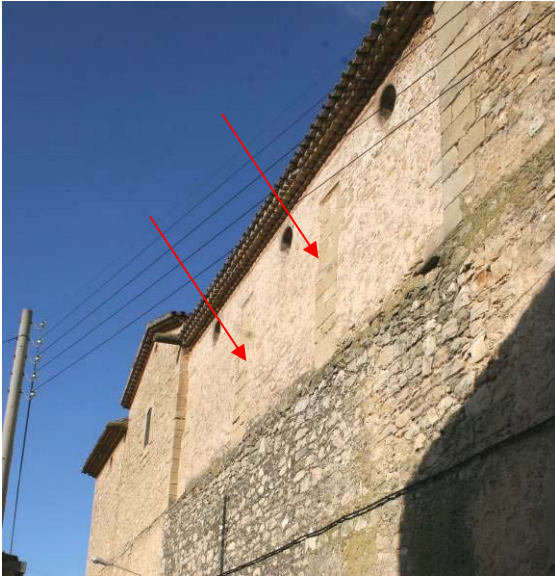


**Fig.17** A l'esquerra església d'Almacelles amb la configuració de coberta que l'hi tocaria acord amb el tipus de tres naus. A la dreta esquema del tipus de coberta unitària que la cobreix i que origina lesions al temple.

La Figura 17 mostra, a l'esquerra, l'església d'Almacelles amb la configuració de coberta que l'hi tocaria acord amb el tipus de tres naus. A la dreta, l'esquema del tipus de coberta unitària que la cobreix i que origina lesions actuals al temple. Altres esglésies presenten aquesta particularitat. Per exemple l'església de La Pobla de Cérvoles.



**Fig.18** Església de tres naus amb coberta unitària a Artesa de Lleida (esquerra), s'observa la diferent factura dels murs. Església de tres naus amb coberta unitària a Rocafort de Vallbona.



La Pobla de Cérvoles (s. XVIII). Els contraforts que afloraven a l'exterior van quedar absorbits dins el nou mur de tancament que permetia la construcció d'una coberta unitària. La coberta es va reformar, però encara es conserva el ràfec original que s'observa des de l'extradós de les naus laterals.



**Fig.19** Església de La Pobla de Cérvoles.

**Es demostra que el gran problema de l'estabilitat de les esglésies catalanes del segle XVIII és el mal estat de la coberta que afecta especialment el tipus saló, ja que la coberta és part activa en l'equilibri global dels temples. Aquest problema, en la majoria dels casos s'ha arrossegat durant decennis, i fins i tot segles, sense que cap església s'hagi esfondrat. Això demostra que malgrat les deformacions i les lesions, el grau de seguretat d'aquestes esglésies és molt elevat.**

**A l'apartat 4 d'aquesta tesi, es determina el grau d'estabilitat de diverses esglésies malgrat la deformació de murs, arcs i voltes. I es determinen possibilitats de reparació, que poden ser mínimes, no invasives i reversibles si es coneix el comportament i la construcció d'aquestes estructures.**

## Es poden determinar les causes que provoquen aquestes lesions i es poden revertir?

Dels documents històrics consultats als arxius, es desprèn que les reparacions realitzades a les cobertes gairebé sempre han estat a precari, aprofitant part dels materials, i amb molt poc pressupost, limitant-se a reparacions puntuals i recol·locació i substitució d'algunes teules.

A l'hora d'intervenir per a reparar la coberta, es repeteixen unes constants que després poden ser causa de lesions més greus o poden comprometre l'estabilitat de les esglésies. Altres vegades les actuacions de reparació es realitzen a les voltes. Les reparacions que es solen realitzar es descriuen a continuació.

- Reparacions de la coberta que comporten un augment de l'alçada El mal estat de les encavallades obligava, en alguns temples, a substituir tota la coberta. Tal com s'ha explicat, les voltes es construïen un cop la coberta ja estava finalitzada. En la majoria dels casos, això feia que les voltes s'executessin des de sota amb l'ajuda de bastides i sense cintra. De tal manera que sovint els tirants de les encavallades quedaven molt a prop de l'extradós dels arcs. En substituir la coberta per una de nova es tendia a augmentar l'alçada dels murs i/o pilastres de suport per tal, possiblement, de què no es tornés a repetir la mateixa lesió. També per a poder treballar més còmodament des de l'extradós. La nova coberta es construïa a una alçada més elevada que la coberta original.

**A les esglésies de Palau d'Anglesola i de Rocafort de Queralt, a les quals es va substituir la coberta, es pot apreciar com l'alçada dels murs laterals de tancament ha augmentat. L'augment d'alçada comporta un augment dels pesos i sovint canvis en la morfologia de la coberta propiciant possibles desequilibris. S'ha comprovat que per a la solució original de la coberta (situada més baixa) aquestes esglésies són estables, en canvi, la situació de la coberta a una cota superior compromet la situació d'equilibri dels dos temples.**



**Fig.20** Església de Rocafort de Queralt.

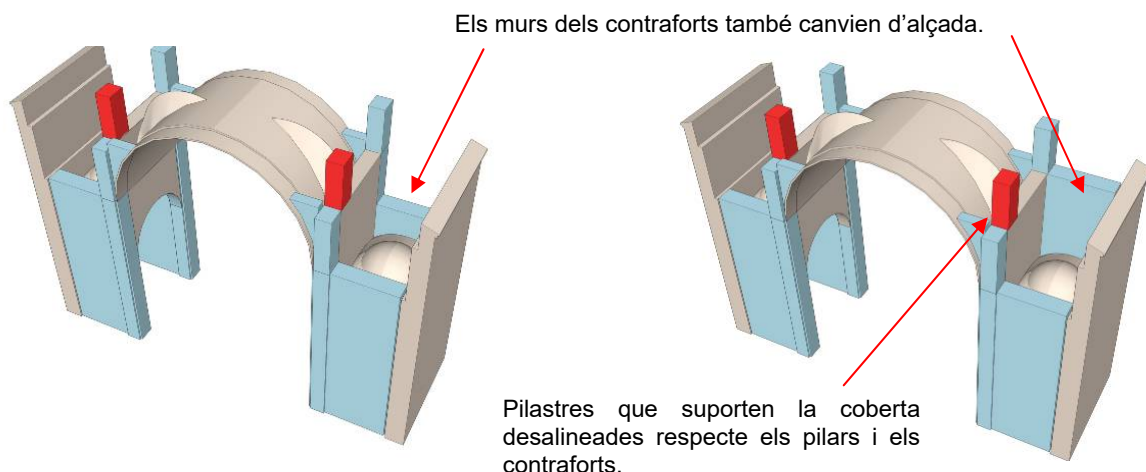


- Reparacions de coberta que comporten una nova distribució dels pesos En alguns casos no es disposava de capital suficient per a substituir tota la coberta, o les reparacions afectaven elements puntuals que havien fallat. Aleshores les reparacions consistien en afegir pilastres sobre la clau dels arcs formers, per exemple, per tal de sostenir un trencallums que reforçés les biguetes debilitades. També es podien col·locar pilastres sobre la clau i/o als terços dels arcs formers, sobretot si aquests eren de maó a sardinell, per a sostenir un tirant massa fletxat.

Altres vegades es construïa una encavallada paral·lela a l'original deteriorada, sense desmuntar l'original que ja no servia. De tal manera que per a sostenir la nova encavallada es construïa una pilastra descentrada respecte la vertical dels pilars, produint empentes no desitjades que poden desestabilitzar l'estructura. El cas de l'església d'Almacelles il·lustra molt bé aquest fet. La nova situació d'equilibri que s'esdevenia no era l'adequada per a la geometria de l'església, que veia compromesa la seva estabilitat en alguns punts. Les pilastres que apareixen recolzades sobre la clau i/o terços d'arcs formers o faixons, manifestament presenten una factura més moderna que la resta d'elements de la nau, això s'ha observat en moltes esglésies.

Altres vegades s'eliminen elements que d'origen sostenien la coberta, creient que tant sols realitzaven aquesta funció, quan en realitat ajudaven a equilibrar els pesos de tota la secció. A Rocafort de Queralt s'elimina una pilastra col·locada d'origen sobre la clau dels arcs faixons de les naus laterals. Això disminueix l'empenta que produeixen els arcs de les naus laterals i aleshores l'empenta dels arcs de la nau central no es pot veure correctament compensada.

**Per tant, es pot concloure que el canvi de les condicions d'equilibri originals, causat per les intervencions realitzades a l'extradós de les voltes, per a millorar les condicions de la coberta deteriorada, comprometen l'estabilitat de les esglésies. I aquest fet s'accentua quan es tracta d'esglésies de saló.**



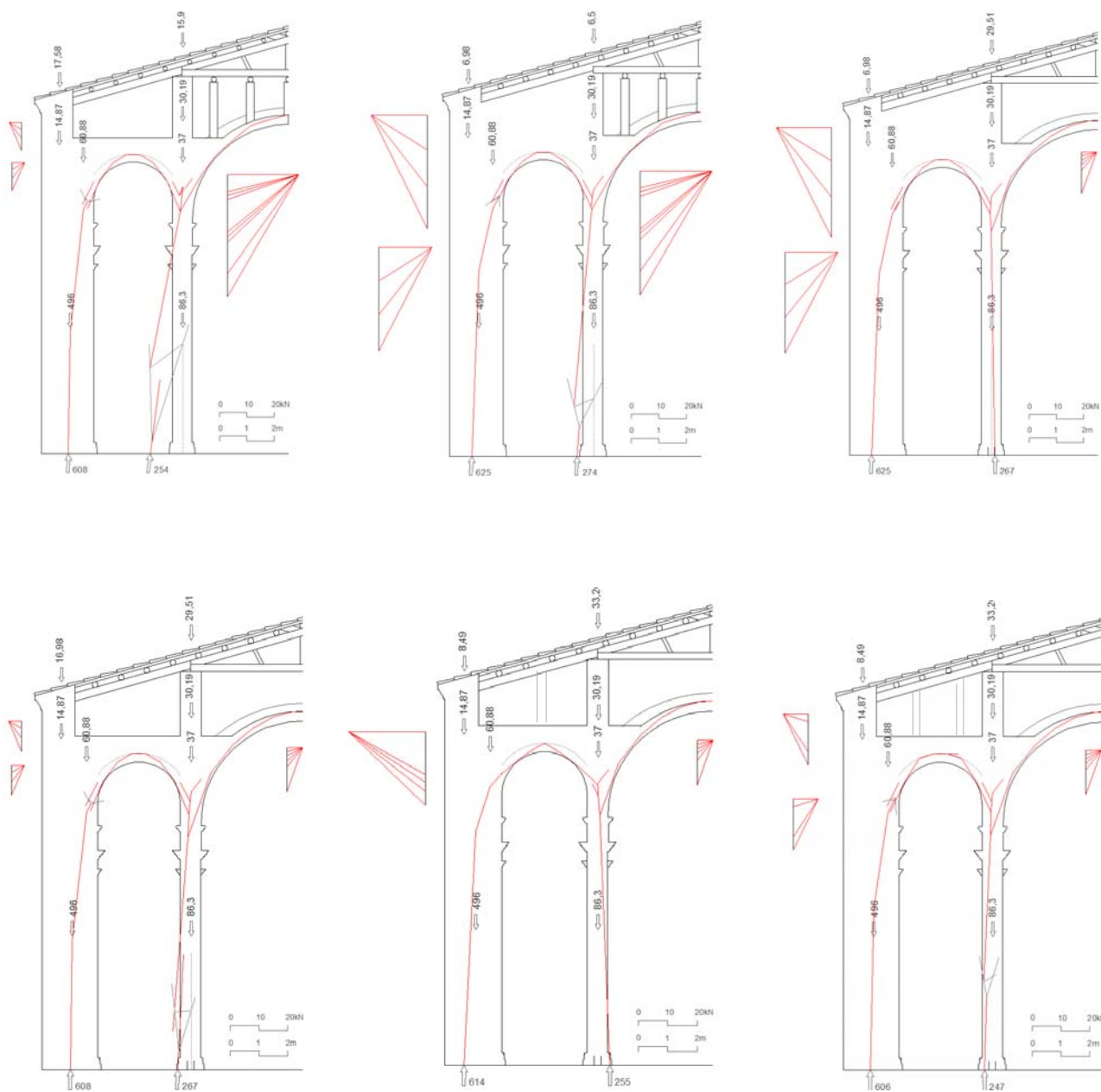
**Fig.21** Canvis en les condicions d'equilibri originals a l'església d'Almacelles, de tres naus.



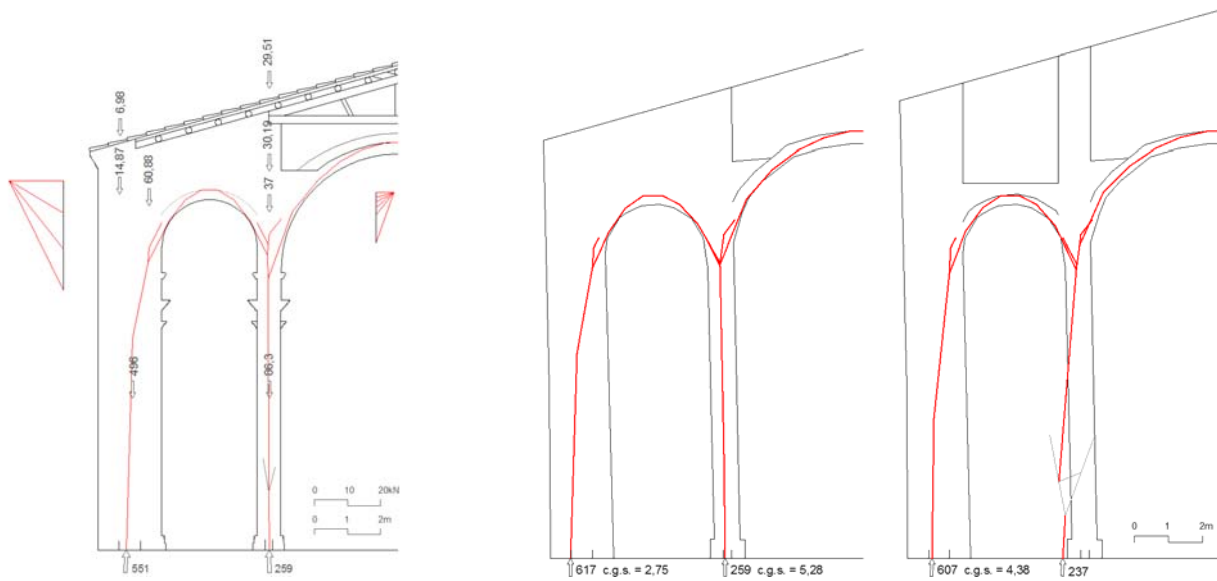
Es demostra com, en les esglésies de tres naus, malgrat complir les proporcions estrep/llum establertes per Fray Lorenzo, es poden produir situacions d'inestabilitat a causa de canvis de configuració de la coberta.

Casos com el de Palau d'Anglesola demostren que malgrat haver patit deformacions, si la disposició dels pesos de la coberta i de l'extradós de les voltes és l'adequat, l'equilibri no es veu compromès (Figura 16).

**Per tat, en cas de reparació de la coberta la disposició adequada dels pesos pot estalviar actuacions sobredimensionades i innecessàries.**



**Fig.22** Estabilitat de l'església de Palau d'Anglesola segons diverses solucions de coberta.



**Fig.23** Estabilitat de l'església de Palau d'Anglesola amb la solució de coberta que permet l'equilibri. Aquesta solució coincideix amb la possible solució original proposada per a la coberta d'aquest temple.

- Actuacions a l'extradós de les voltes que augmenten el seu pes i les rigiditzen Una actuació de reparació més moderna i molt habitual consisteix en formigonar l'extradós de les voltes suposant que d'aquesta manera s'augmenta la seva seguretat. El formigó es pot abocar en massa o sobre la disposició d'una malla d'acer, creant una capa de compressió. Aquesta actuació, lluny d'ajudar les voltes a augmentar la seva seguretat, compromet el seu equilibri i el de l'església. Tal com s'ha explicat, una de les virtuts de les voltes de rajola doblada és que augmenten la seguretat dels temples perquè la seva versatilitat, davant canvis raonables de les condicions originals d'equilibri, permet als esforços trobar diverses vies de pas. Això es produeix perquè les voltes poden deformar. La col·locació d'una capa de compressió que rigiditza aquestes estructures impedit les deformacions naturals del material compromet l'estabilitat de les esglésies, ja que en cas de deformar els estreps, les voltes no poden acomodar-se a tals deformacions, i les línies d'esforços poden veure impedit el seu recorregut fins a arribar al terreny.

El cas de la Catedral de Bogotà exemplifica molt bé aquesta situació. Incidint també en què davant d'un sisme les voltes confinades pel formigó actuarien com una gran massa rígida que desestabilitzaria la nau.

El cas de l'església de les Borges del Camp, explica una solució de coberta insòlita amb envanets de sostre mort que també rigiditza excessivament les voltes. Això impedeix les deformacions naturals per a aquestes estructures i els transmet les dilatacions de la coberta, produint-se esquerdes diverses i aleatòries en tota la seva superfície.

L'adició del formigó representa l'afegitó d'uns pesos que no són els adequats pel disseny i les dimensions d'aquests edificis, que com s'ha demostrat treballen com un conjunt de pesos perfectament col·locats en equilibri.

Tal com explica el professor Jose-Luis González, moltes vegades les voltes a la catalana es reforcen amb mètodes inadequats pel desconeixement que es té del seu comportament real.

“La conclusión no puede ser otra que las bóvedas tienen una capacidad portante que en realidad solo viene limitada por la deformación de los muros en los que están apoyados, y que son siempre superiores a las cargas reales de servicio a las que están sometidas. Quede, en consecuencia, esta ponencia como una comprobación de la inutilidad de los muchos refuerzos que se hacen en bóvedas precisamente por el hecho de no conocer su capacidad portante real.”<sup>53</sup>



**Fig.24** Voltes d'Algèria amb una capa de formigó



**Fig.25** Voltes de Falset, amb una capa de compressió de formigó.



**Fig.26** Intervenció realitzada a la Catedral de Bogotà el 2003. Font: Arxivo de la Catedral de Bogotà, Colòmbia.



**Es demostra com el coneixement de la construcció i el comportament estructural d'aquestes esglésies permet discernir les causes de les lesions i revertir-les.**

<sup>53</sup> González Moreno-Navarro, Jose-Luís: Configuración constructiva y comportamiento mecánico de las bóvedas tabicadas. Estudio de dos edificios abovedados del siglo XIX en el Baix Llobregat (Barcelona). Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción. 2000.

## Es compleix la segona hipòtesi plantejada a l'inici de la investigació?

Aquesta tesi ha demostrat que la segona hipòtesi plantejada a l'apartat 1.7. es compleix, ja que la síntesi de la informació proporcionada pels historiadors amb la lectura intencionada de les tabes, l'aixecament, l'aproximació estratigràfica, el mapa de lesions, l'anàlisi de l'estabilitat, i l'avaluació de la seguretat (instruments propis de l'arquitecte); permet donar resposta a cada una de les 23 qüestions formulades a l'inici i durant la investigació.

La informació facilitada pels historiadors, i dels arqueòlegs<sup>54</sup>, s'ha d'interpretar mitjançant l'anàlisi del monument aplicant els instruments propis de l'arquitecte. D'aquesta manera es podrà explicar una successió cronològica i donar sentit a la presència de lesions evitant identificar-les a priori com un fet alarmant.

---

<sup>54</sup> FORTEA, M., 2011. Historia de la Construcción y Arqueología: el análisis constructivo de la vida del monumento. Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Santiago de Compostela.

## 6 FUTURES INVESTIGACIONS

Les futures investigacions haurien d'anar encaminades en estudiar les esglésies del XVIII i principis del XIX de sud Amèrica per tal de poder concretar si l'ús de la volta de rajola doblada era habitual.

També caldria aprofundir els coneixements sobre la influència que aquestes esglésies infongueren sobre l'obra de Guastavino, tenint en compte les similituds del hall de la Biblioteca de Boston.

També caldria estudiar en profunditat la composició dels temples per a intentar trobar possibles "normes" geomètriques que podien servir de guia als mestres de cases.

També caldria incidir en com eren els plànols i les maquetes que els mestres realitzaven per a construir aquests temples.