

Eth romanica dera Val d'Aran. Era recèrca der equilibri

Josep Lluís e Ginovart
Cinta Lluís e Teruel

Era existència der Institut d'Estudis Aranesi - Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana, e aguesta publicacion, son possibles gràcies ara ajuda de:

Generalitat de Catalonha

Departament de Cultura

Departament de Justícia

Gobierno de España

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Deputacion de Barcelona

Deputacion de Lhèida

Institut d'Estudis Ilerdencs

Baqueira Beret S.A.

Ajuntament de Naut Aran

Tolo&Associats

Donacions privades

Era seccion aranesa der Institut d'Estudis Aranesi - Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana ei formada per Jusèp Loís Sans, Angelina Cases, Ròsa Maria Salgueiro, Miquèu Segalàs, Jèp de Montoya, Elvira Riu, Lourdes España, Bernat Arrous e Ramon Sistac. Formen era seccion estandard Joan Salas Lostau, Patrici Pojada, Jacme Taupiac, Florian Vernet, Felip Carbona, Claudi Balaguer, Franc Bardou e Myriam Bras.

Era Societat Filiation d'Istòria, Patrimòni e Identitat der Institut d'Estudis Aranesi - Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana ei formada per Thaïs Rodés, Álvaro Aunòs, Carlos Fañanas, Maria Pau Gómez, Isaure Gratacós, Josep Lluís, Patrici Pojada, Joan Carlos Riera e Alberto Velasco.

Direccion dera Istòria d'Aran: Josep Maria Canabal

Correccion: Miquèu Segalàs Sala

© Josep Lluís Ginovart e Cinta Lluís Teruel

© Institut d'Estudis Aranesi - Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana

1èra edicion: noveme 2025

ISBN: 978-84-0979-345-7

DL: L 881-2025

Imprés en Arts Grafiques Bobalà

ENSENHADOR

1. PRESENTACION	5
2. PROPÒSIT	9
2.1. Collaboradors ena investigacion	10
3. ETH CONTÈXTE DETH ROMANIC DERA VAL D'ARAN	13
3.1. Era teorizacion dera arquitectura romanica aranesa	19
3.2. Eth Conselh d'Aran e eth redescurbiment deth patrimòni	23
3.3. Er interès deth patrimòni aranés pes Acadèmies	27
3.4. Era sintèsi d'Aran me fecit	33
4. ES VÒUTES ARANESES E ERA SUA CONDICION D'EQUILIBRI	37
4.1. Tecniques d'aproximacion ara analisi arquitectonica	38
4.2. Teoria des estructures arquitectoniques de construccion	41
4.3. Teoria entara comprension des vòutes araneses.....	46
4.4. Era terminologia des vòutes dera Val d'Aran	50
4.5. Tipologia des vòutes dera Val d'Aran	53
4.6. Tecniques d'aproximacion ara realitat constructiva	55
5. ER EQUILIBRI E GRANES DEFORMACIONS	61
5.1. Metodologia entara analisi constructiva.....	64
5.2. Teoria der equilibri entara analisi arquitectonica	66
6. CARACTERIZACION DES ELEMENTS CONSTRUCTIUS	81
6.1. Analisi geometrica des vòutes	83
6.2. Consideracions formaus des vòutes araneses	92
6.3 Verificacion deth dimensionamient de vòutes.....	94
6.4. Eth desplaçament des pilars	98
6.5. Es granes deformacions enes vòutes romaniques	107
6.6. Era eterogeneïtat des murs de barratge	114
7. ES ELEMENTS DER EQUILIBRI DERA ARQUITECTURA	123
7.1. Elements passius de resistència.....	125
7.2. Elements actius de resistència.....	133
7.3. Collapses e reparacions estructuraus	146
8. BIBLIOGRAFIA	167

1. PRESENTACION

En aguesta naua entrèga des nòsti autors, Josep Lluís e Ginovart e Cinta Lluís e Teruel, auem ua òbra practicament inedita, frut de fòrça ans de trabalh d'investigacion, contornejant es limits entre era recèrca e era passion per un mestièr. Eth resultat ei ua produccion que jo, personaument, considèri ua vertadera òbra d'art, en çò que hè referéncia ara exquisita recèrca der equilibri entre era presentacion d'un trabalh istoric e un trabalh metodologic, scientific, portat ath maxim enes innovacions scientificques actuaus e damb eth detalh istoric que tota òbra merèish.

Era basa deth present trabalh se sosten enes estudis e investigacions deth professor Dr. Josep Lluís e Ginovart e dera Dra. Cinta Lluís e Teruel. Estudis de fòrça e fòrça ans de recèrca deth nòste Patrimòni Sacre, qu'aué auem eth privilègi de poder contemplar en article presentat pera Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana, laguens dera òbra *Istòria d'Aran*.

Eth professor Dr. Josep Lluís Ginovart (Tortosa, 1958) ei licenciat en Arquitectura pera Universitat Politècnica de Catalonha, catedratic en Intervencion de Patrimòni Arquitectonic, e eth sòn extens curriculum ja ei citat en eth sòn prumèr article *Arqueometria Romanica Aranesa*.

Cinta Lluís Teruel, arquitecta pera Universitat Internacionau de Catalonha e doctora pera madeisha universitat, ei tanben coautora der article *Arqueometria Romanica Aranesa*, num. 44a dera òbra *Istòria d'Aran*.

Abordar era arquitectura romanica dera Val d'Aran des deth punt de vista dera lectura introspectiva deth sòn pròpri equilibri, e especiaument des dera construccion des vòutes, que representen un des elements identitaris dera cultura aranesa des prumèrs sègles dempús der an 1000, en çò que tanh as glèises dera Val d'Aran, e qu'incidís dirèctament ena nòsta cultura patrimoniau, ei un des pilars dera nòsta forma d'existir, d'èster e de reafirmar-mos ath long deth temps.

Es construccions sacres son analisades a trauès de procediments e mesuraments de registres indirèctes, *Close Range Photogrammetry (CRP)* e *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*, metòdes scientificament innovadors que permeten trabalhar de manèra non invasiva sus eth modèl constructiu des mèstres constructors romanics des sègles X, XI e XII.

Es 42 glèises romaniques tractades, estudiades e redefinides —32 des quaus se tròben a mès de 1000 mètres de nautada, en zòna montanhosa de condicions climatologiques dificiles qu'incidiràn dirèctament ena forma e tipe de construccions—, son analisades enquiath sòn darrèr detalh pes nòsti autors, enquia arribar a un grad d'analisi tan elevat coma jamès s'auie hèt en estudis anteriors. Per tant, ei ua primícia editorau poder compdar damb un article de tanta relevància.

Era presenta publicacion ei un trabalh de sintèsi de diuèrsi estudis realizats ena Val d'Aran ath long des ans, damb era participacion de diuèrsi investigadors implicats academicament ena mission de descorbir, investigar, actualizar e potenciar era esséncia d'un des pilars dera nòsta existéncia coma pòble e coma cultura milenària qu'èm: eth Romanic. Un magnific exercici de combinacion istorica e scientifica que compause aguesta òbra excepcionau.

Eth trabalh presentat abòrde era Arquitectura Romanica dera Val d'Aran des d'un punt de vista que tracte er equilibri, hèt especiau mencion ara construccion des vòutes. Des multiples estudis hèti enes nòstes glèises, accediram ath documet *Aran me Fecit*, a on s'expausen era planimetria e documentacion grafica deth conjunt des 42 espacis sacres estudiadi. Estudis sus eth contèxte istoric e era istòria der art, e es estudis de patrimonni arquitectonic. Es autors hèn especiau referéncia a estudis prèvis realizadi en nòste País, trabalhs que sajaràn d'explicar eth perqué dera forma de resòler es espacis sacres construïts. Entà citar-ne bèri uns, er arquitecte francés Emmanuel Viollet-le-Duc en 1833, Lluís Domènec e Montaner en 1905, Josep Lluís Puig e Cadafalch en 1907 ena sua expedicion scientifica enes glèises dera Ribagòrça e d'Aran, ei aciu a on sorgirà era ipotèsi de qu'es nòstes glèises iniciaument sigueren cubertades damb estructura de husta, entà, posteriorament transformar-les damb construccions de vòutes de canon, conservant es pilastres circulars inicials. Era prumèra grana catalogacion de José Serrate Forga 1975 en volum *Catalunya Romànica*, Jèp de Montoya en estudi dera Capèla de Sant Blas de Les en 1983, aciu serà a on prenerà còs eth concèpte de "Patrimonni Immateriau" deth lòc, sense desbrembar

es administracions publiques coma eth departament de Patrimòni Arquitectonic dera Deputacion de Lhèida, lheuaments de plans (1988), es servicis tecnicos deth Conselh Generau d'Aran (1992), s'actuarà en Santa Maria d'Arties, era Seccion de Restauracion deth Servici de Patrimòni Arquitectonic deth Departament de Cultura dera Generalitat de Catalonha, e tanti d'alti academics qu'es autors referiràn en sòn trabalh enquia completar eth meravilhós article actuau, que transforme as nauï tempsi e espacis, utilizant tecnologies d'avantgarda, entà explicar era complexitat deth mon arquitectonic deth nòste Romanic.

Er estudi des vòutes araneses e era sua condicion d'equilibri ei un pretzhèt fòrça dificil, pera complicada geometria e eth sòn equilibri estructurau que mos portarà as granes deformacions qu'an apareishut ath long deth temps. Era resisténcia, er equilibri qu'a agut de patir Aran ath long deth temps entà suberviuer e contunhar d'exisitr deuant deth mon, en tot saber difóner era nòsta cultura millenària, non tostemp a estat facil. Era fòrça, era resisténcia, eth saber hèr e actuar entà arribar as nòsti dies. Era importància des investigacions des autors d'aguest trabalh, Josep Lluís Ginovart e Cinta Lluís Teruel, son primordiaus, essenciaus, entà salvar eth nòste patrimòni culturau. Es nòsti auantpassats bastiren er enòrme patrimòni qu'auem ena Val, eth sòn legat a d'èster protegit, divulgat e transmetut ena sua mès pura esséncia. Es sues, que son es nòstes, construccions millenàries son un referent unic en mon, pera sua solidesa, equilibri, beresa, majestuositat, etc. e nosati èm responsables transmissors entàs generacions futures, der esfòrç de bastir aguestes construccions e der esfòrç per conservar-les.

Voi arregraïr as autors era sua implicacion damb era cultura e eth patrimòni aranes, era sua complicitat damb eth nòste País, des de hè molti ans, e era sua dedicacion per preservar eth nòste patrimòni. Era nòsta felicitacion per tant magnifica òbra que passarà a formar part deth patrimòni aranes a trauès des sègles.

JOSEP MARIA CANABAL SUBIRÀ
Director dera Istòria d'Aran

2. PROPÒSIT

Eth trabalh que presentam, *Eth romanica dera Val d'Aran. Era recèrca der equilibri*, ei frut d'aquerò que comencèc com eth *Sòni d'ua net d'ostiu* deth 2012, quan aconselhat per Ferran Peus e en Tolosa me metí en contacte damb Elisa Ros. Posteriorament e dera man der alavetz conselhèr deth Conselh Generau d'Aran, Sr. Marcos Vilò, m'apròpi ath Conselh entà entamenar ua collaboracion entre era Escòla Superiora d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e dempús dera Universitat Internacionau de Catalonha damb eth Conselh Generau d'Aran entar estudi dera arquitectura aranesa. Era idia auèc de bon principi er entusiasme e ajuda deth Govèrn d'Aran, en aqueth moment presidit peth Sindic d'Aran Carlos Barrera Sánchez, e deth Delegat de Cultura deth Conselh Generau d'Aran, Jèp de Montoya Parra. Eth projècte compdèc tanben damb era aprobacion e collaboracion deth bisbat de La Seu d'Urgell, presidit per Mons. Joan-Enric Vives Sicília, eth Vicari generau Mn. Josep M. Mauri Prior, e eth Archiprèste dera Val d'Aran, Mn. Pere Balagué Bajona.

Per açò, era presentacion d'aguest relat ei ath còp ua combinason entre eth desvolopament dera docéncia ena Val d'Aran entre es Corsi (2012-2013) e (2016-2017) e era investigacion des grops reconeishudi Architectural Heritage (PATRIARQ) e Architectural Heritage Research (AHR), desvolopadi autan ena Universitat Rovira i Virgili com ena Universitat Internacionau de Catalonha. Tanben servic entà realizar era Universitat d'Ostiu ena Val d'Aran, 8-9-10-11 de junhsèga deth 2014, damb eth títol *Reconeishment deth Patrimòni. Era Val d'Aran. Patrimòni immateriau, naturau, immòble e mòble*, e posteriorament eth *Reconeishment des valors patrimoniaus dera Val d'Aran*, entre eth 29 de junh e eth 2 de junhsèga deth 2015. Frut d'aguest prètzhèt se publiquèren en an 2016 es libres *Thrantem Lapides MMXVI*, per part dera Universitat Rovira i Virgili, e des *glèises en còrnaenclin de voutes Esgarramingades*, en collaboracion damb era Universitat Rovira i Virgili e er Institut d'Estudis Ilerdencs.

Tanben ne siguec era tèsi doctorau deth Dr. Sergio Coll Pla, titolada *Estudi des glèises en còrnaenclin de voutes escarramingades* e que defenie en Santa

Maria d'Arties en an 2017, e era actuau en cors de Mónica López Piquer, “*Iglesias basilicales románicas de la Val d'Aran. La geometría oculta de su diseño y construcción*”.

2.1. Collaboradors ena investigacion

Per aquerò era publicacion que presentam ei un trabalh de sintèsi de diuèrses investigacions realizades ena Val d'Aran damb era participacion e collaboracion deth Dr. Sergio Coll Pla, Dr. Agustí Costa Jover, Dr. Josep Maria Puche-Fontanillas, Dr. Ricardo Gómez Val, Dr. e Mónica López Piquer. Pendent aguest periòde s'an publicat e sosmetut a revision en diuèrses revistes indexades entre es que subergessen: Vernacular construction in the Spanish Pyrenees. The Strain process of Vall d'Aràn churches, *International Journal of Heritage Studies* (2017). Evaluation of large deformations on Romanesque masonry pillars: The case of Santa María de Arties (XII-XIII) at Valle de Arán, Spain, *Revista de la Construcción* (2018). Initial studies of the deformations of Val d'Aran churches, *International Journal of Heritage Architecture* (2018), Granes deformacions en vòutes de canon: de formes antifuniculares a vòutes funiculares, *Revista Ingeniería de Construcción* (2021), Vernacular Constructions in the Spanish Pyrenees: The deformation process of Vall d'Aran churches, *Journal of the International Society for the Study of Vernacular Settlements* (2022), *Acercamiento formal y estudio estructural de la arquitectura románica del Valle de Arán* *Revista Arquis* (2022) y *la Datación cronológica de las iglesias pertenecientes al primer románico en el Valle de Arán*, *Arqueología y Territorio Medieval* (2023).

Era investigacion sus era Val d'Aran a agut ua ampla difusion internacionau a compdar dera participacion en diuèrsi Congrèssi qu'an estat tanben publicadi, com: *Patrimonio del Valle de Aran. La búsqueda del equilibrio a través de la deformación. Hacia una declaración de Patrimonio Mundial*, presentat en Jornades d'Estudi a la Val d'Aran. Era Batalha de Murèth, 1213. Era Querimònia, 1313 e Era Grana Patzeria, 1513. Tres hites importants entara Val d'Aran. (2013). Posteriorament se presente era ponéncia *Large deformations on a XII Century Romanic church at Val d'Aran (Spain)* en 9th

International Masonry Conference en Guimarães (2014). En an 2015 se celebrèc era session especiau n° 8, ena quau se tractèc dera *The masonry construction of Vall d'Aran* en Congrès Internacionau, Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV organizat peth Wessex Institute de UK, a on se presentèren es ponéncies: *Masonry strain in the Vall d' Aran churches* J. Lluís i Ginovart, S. Coll y M. López, *FEM assessments on roofing constructive solutions applied to a twelfth century Romanesque church at Vall d' Aran (Spain)*. A. Costa, G. Fortuny, J. Fabregat y A. Royo y *The movable and immovable heritage of the Aran Valley and its management* de Elisa Ros. En an 2016 se presenten es investigacions: *Large deformations in the Romanesque churches of Vall d'Aran (XII-XIII)* en el *5th International Conference on Heritage and Sustainable Development* y *Las iglesias románicas del valle de arán y sus secciones antifuniculares*, *6th Euro-American congress on construction pathology, rehabilitation technology and heritage management Rehabend* (2016), com era de Topografia de les esglésies de la Vall d'Aran. *Mecànica de fàbrica al romànic en 1616 Ordinacions. Pragmatica e Edictes Reiaus dera Val d'Aran*.

Pendent er an 2017 se publique *Assessment of large deformations on romaneseque masonry pillars: the case of Santa María de Arties (XII-XIII) at Valle de Aran, Spain*, en la *15th International Conference on Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture* y la *The great deformations of the vaults at the Val d'Aran in Spain. The formation of anti-funicular arches* en el *3rd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures* y *Methodologic evolution assessment of large deformations on romaneseque masonry in the Val d'Aran (XII-XIII), Spain* *12th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC* (2020).

Atau donques, abordam era arquitectura romanica dera Val d'Aran deth punt d'enguarda dera lectura introspectiva deth sòn pròpri equilibri, e especiaument dera construccion des sues vòutes, qu'ei ua des qüestions identitàries des inicis dera cultura aranesa enes prumèri sègles dempús der an mil enes prumères glèises dera Val d'Aran e qu'incidís dirèctament

enes valors deth coneishement de çò qu'aué tenguem coma científic. Aguest tèma provòque inexorablament un apropament complexe ara arquitectura, a on s'abòrde era investigacion damb ua metodologia quantitativa centrada en estudie analisidera realitat constructiva d'aguestes glèises. Aguesta construccion ei analisada a trauès de procediments de medicion de registres indirèctes Close Range Photogrammetry (CRP) e Terrestrial Laser Scanner (TLS). Damb aquerò a estat possible realizar experiments grafics sus es objèctes arquitectonics e obtier ues explicacions contrastades a compdar des ipotèsis basades en aqueri principis basics dera estabilitat des sues construccions.

Es resultats obtengudi d'aguesti registres de mesura s'analisen en sòn tractament estadistic e per metòdes d'estatica grafica tengudi a trauès de sistèmes Computer aided design CAD. Es valors numeriques obtengudes an estat sosmetudes parallèlament a un tractament explicatiu, en tot sajar de determinar es causes e conseqüències dera estabilitat d'aguesti espacis sacres.

Era amassada de donades se realizèc amassa damb es doctors Agusti Costa Jover e Sergio Coll Pla, e eth sòn processament se deuec a Monica Lopez Piquer, Ivette Martin-Moreno Felix, Denitsa Nikolaeva Kavgadzhivska, Noelia Martinez Garcia, Anna Royo Bareng, Alejandro Serrano Montero, Genis Boix Oliva, Alba Campos Cambra, Tamara Carballal Rodriguez, Albert Gas Llatge, Joan Mateo Franch, Raquel Mora Pallas, David Moreno Garcia, Sergi Pinyol Roig, Anna Saballs Fernandez, Ana Maria Solis Lorenzo, Stoyana Zaharaieva Nedkova.

Josep. Lluis i Ginovart; <http://orcid.org/0000-0001-5957-762X>

Cinta. Lluis-Teruel; <http://orcid.org/0000-0002-5280-1147>

3. ETH CONTÈXTE DETH ROMANIC DERA VAL D'ARAN

Ena Val d'Aran, damb ua extension de 634 Km², se consèrven quaranta dues glèises en pè, o damb rèstes sufisentament significatives, des quaus trenta dues se tròben a mès de mil mètres. Aguesta circumstància orografica tan particulara pera condicion climatica incidís dirèctament ena tipologia edificatòria e qu'ei accentuada pera condicion montanhosa, e que s'a representat tostemp ena sua cartografia (Figura 1).



Figura 1. A. Martín editor. *Geografia general de Catalunya. Provincia de Lleyda* (1914)

Es assetiaments urbans des sègles X-XIII, establits sus eth cors der arriu Garona a trauès de çò que se coneisherà com *Camin Reiau*, se genèren mejançant era adaptacion ad aguesta via de comunicacion e ara complicada topografia. S'obsèrven dues tipologies: es nuclèus sorgits ena arribèra der arriu Garona sus terrenes de penents doces, e es nuclèus desvolopadi en penents sus es pales des montanhes, en tot crear ua característica comuna, qu'ei era irregularitat dera morfologia des espacis urbans destacada dejà enes ans seishanta abans dera grana explosion urbanistica dera Val.

(Ortiz de Zeballos 1976, 16-28)

Aguesta singularitat topografica ja siguec remercada ena cartografia de 1691, pr'amor qu'acompanhèc ar escrit de Roger de Gaignières (1642-1715) realizat entara localizacion dera husta entar emplec enes talhèrs navaus dera Armada francesa, (Basset; Genna 2023, 62-63). En era se representen es poblacions dera Val d'Aran identificades peth perfil des sues glèises (BnF, R086634 [Vb-157 (4)-Fol.]) (Figura 2).



Figura 2. Detalh de Naut Aran ena Planimetria dera Val d'Aran (1691) de Roger de Gaignières (1642-1715). Vista des campanaus de Sant Andrèu de Salardú [37] e Santa Naut Eulària d'Unha [38] de Sant Fèlix de Bagargue estant [40]

Ena disposicion geografica, es poblacions son direccionades en foncion deth traçat dera Garona, per açò aufrissen desparières posicions respècte ath sòn cors, e seràn determinantes entara orientacion d'aguesti espacis sagradi (Lluis i Ginovat; López-Piquer; Coll-Pla, Costa-Jover 2017, 14, e059). Aguest perfil montanhós predispausarà eth condicionament deth terren entara sua construccion (Figura 3). Aguestes glèises s'inicièren abans dera restauracion dera diocèsi de Comenge en 1080 per Bertand de l'Isle (1050-1123), e qu'eth sòn periòde iniciau arribarie enquiath pontificat de

Raymond Bertrand de Gòt (1262-1314) en Comenge e dempús Papa coma Clemente V (1305-1314) (Solé 2016, 13-20).



Figura 3. Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]. Diferència de nivèu de façada de tramontana a on se place eth Cementèri e damb era meridionau.

Ena Val d'Aran se consèrven un totau de 42 glèises en pè e damb un possible usatge liturgic que se distribuissen geograficament en territòri enes costats deth cors dera Garona (Figura 4).



Figura 4. Distribucion deth patrimòni sacre dera Val d'Aran en tot seguir eth cors dera Garona

En çò que tanh ara classificacion de romanica an existit diuèrsi critèris entad aquerò. Un a estat elaborat a trauès des elements escultorics que conten era arquitectura, elaborat per Marcel Durliat (1917-2006), qui cèrque en simbolisme d'aguestes formes era sua identitat (Durliat; Allègre 1969, 173-209).

Un aute critèri ei eth de José Sarrate Forga, qui determinarà ua classificacion territoriau deth romanica aranés, en tot distinguir es de Naut Aran, Miei Aran e Baish Aran. Aquest prumèr inventari concludirà damb er *Esquema del Arte Románico Aranés* (Sarrate 1976b, 116, 54-63). D'auti ac an hèt a compdar dera analisi dera mampostaria des sòns murs (Coll-Pla; Puche-Fontanillas; Costa-Jover; Lluís i Ginovart 2023, e7915).

Mès era taxonomia mès generalizada partirà deth critèri generau deth romanica catalan impausada per Puig i Cadafalch (1867 – 1956), qui auançarà uns modèls de çò qu'eth definís coma prumèr periòde deth romanica enes sègles X-XI (Puig i Cadafalch 1920, 8-24) e un dusau periòde entre es sègles XII e XIII (Puig i Cadafalch 1920, 24-703).

Aguesta consideracion classica influirà ena classificacion des periòdes deth romanica iberic, en tot partir dera tèsi doctorau der ispanista nòrd-american Walter Muir Whitehill (1905-1978) ena Universidad de Londres (1939) e publicada coma *Spanish Romanesque Architecture of the Eleventh Century* (1941)¹ introduirà eth concèpte d'un periòde iniciu e ua dusau fasa constructiva (Whitehill; 1973, 13, 60). D'autes consideracions generalistes son es aportades per Elianne Vergnolle, qui classifiquèc eth romanica en cinc agropacions cronologiques: era prefiguracion (980-1020), eth periòde de creacion (1020-1060), eth dera explosion (1060-1090), eth de maduresa (1090-1140) e fin finau eth de trincaments e mutacions (1140-1180) (Vergnolle, 1994. 383, 483).

Entà determinar eth critèri dera classificacion d'aguestes 42 glèises dera Val d'Aran, era investigacion recurrirà ara istoriografia, de manèra qu'incorporarà aqueres glèises que pertanhen totau o parciaument ara identificacion de prumèr romanica e que, peth sòn sentit primigèni, es mès interessantes deth punt d'enguarda dera estructura (Garlang 2012, 82-105)

(Figura 5). Agustest son: Santa Maria de Cap d'Aran [41], Sant Estève de Tredòs [39], Santa Eulària d'Unha [38], era nau de Sant Pèir d'Escunhau [31], era absida e es rèstes d'ua part des murs de Santa Maria de Mijaran [25]. Tanben, Sant Pèir de Betlan [21] Sant Joan d'Arròs e Vila [16], Sant Miquèu de Vilamòs [15], eth mur Nòrd deth presbitèri e part centrau dera absida de Sant Ròc de Begós [14], atau com tanben es naus e era tor-campanau de Santa Maria de Vilamòs [12], Sant Fabian d'Arres de Jos [9] e Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6].

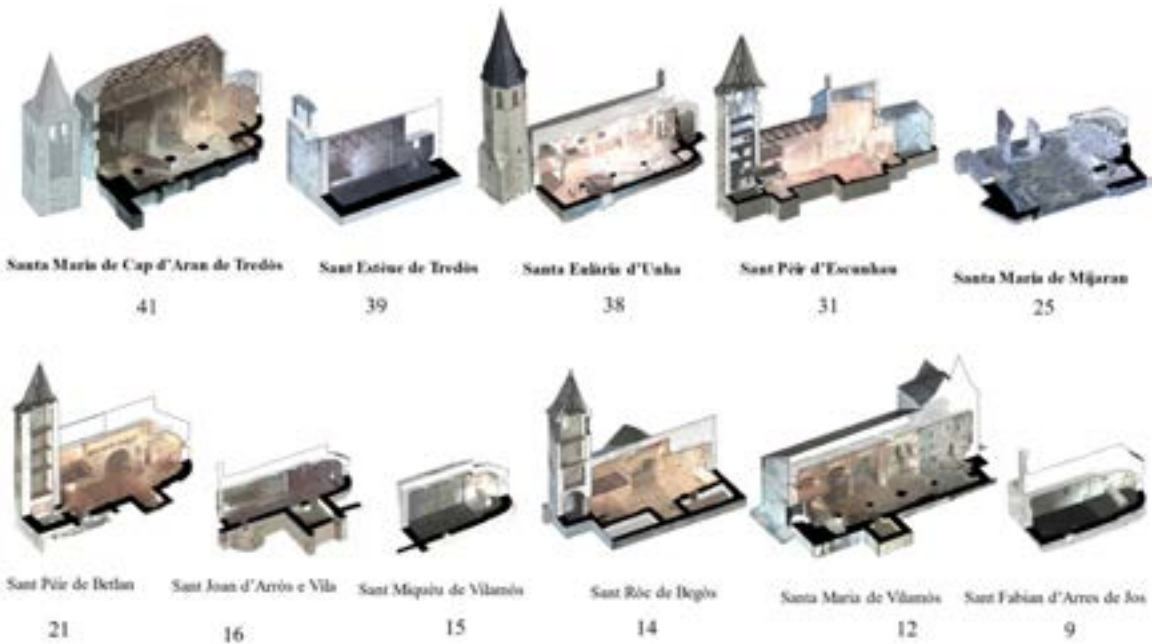


Figura 5. Glèises dera Val d'Aran considerades coma prumèr romanica

Completaràn er estudi aqueres bastisses sacres que tradicionalment s'an trobat entre es cronologies deth periòde medievau aperat romanica-gotic. A còps, ena Val d'Aran, ei de mau delimitar aquest dusau periòde damb era sua trobada damb eth reneishement (Ros 2015, 469-480) (Figura 6)



Figura 6. Plantes des glèises romaniques ena Val d'Aran

Es considerades glèises romaniques dera Val d'Aran deth dusau periòde son: San Fèlix de Bagerge [40], Sant Andrèu de Salardú [37], Santa Maria d'Arties [34], Sant Tomàs de Casarilh [30], Sant Estèue de Betren [29], Sant Miquèu de Vielha [28], Sant Andrèu de Casau [27], Sant Martin de Tours de Gausac [26], Sant Fèlix de Vilac [24], Sant Estèue de Montcorbau [22], Sant Martin d'Aubèrt, [20], e Sant Blas de Les [4] (Figura 7).

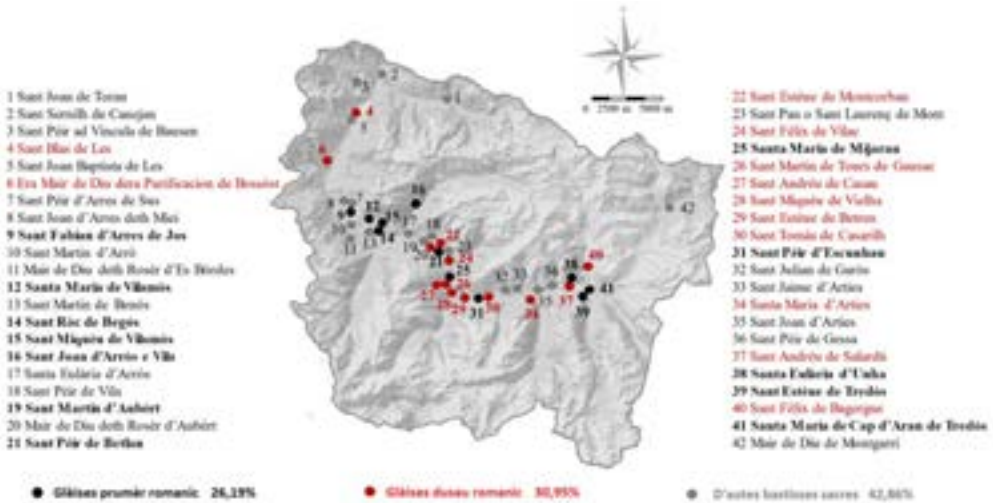


Figura 7. Localizacion des glèises ena Val d'Aran en tot remercar es dus periòdes deth romanic

3.1. Era teorizacion dera arquitectura romanica aranesa

Er interès pera montanha auie amiat ar arquitecte Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879) a visitar eth Pirenèu francés en an 1833 (Viollet-le-Duc 1972). Agust realize ua sèria de visites ath Pirenèu aranés en junh de 1833 en tot diboishar eth sòn paisatge (POP. AP03R00225). Posteriorament visitarà Bossòst eth 21 d'agost deth madeish an (Español 2013, 13-16), a on diboisharà era absida dera glèisa dera Mair de Diu dera Purificacion [6] damb mina de plom sus papèr (0,340 x 0,197m) (POP. AP03R00144) (Figura 18). Era madeisha perspectiva dera bastissa serà difonuda ar encastre internacionau, realizada peth fotograf Girault de Prangey (1804-1892), reproducida de *L'Univers. Histoire et description de tous les peuples* por Joseph Lavallée (1801-1878) entre es milhores òbres dera arquitectura espanhòles (Lavallée 1847, ilustracion 54, 13-C) (Figura 8).



Figura 8. a) Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (1814-1879) absida dera Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] (1833); b) Reproduccion *L'Univers. Histoire et description de tous les peuples* publicada per Joseph Lavallée (1801-1878).

Era analisi arquitectonica des glèises dera Val d'Aran cambièc damb era visita scientifica de Lluís Domènech i Montaner (1850-1923). Aguesta figura auie obtengut era licenciatura en Sciéncias Exactes pera Universitat de Barcelona en 1870 e dempús era d'arquitecte ena Real Academia de San Fernando de Madrid en 1873. En tot seguir es ensenhaments recebudi ena Escòla de Madrid, organizèc era excursion scientifica tara Val d'Aran com activitat didactica entàs escolans e a on se realizauen plans, diboishi, fotografies, fiches descriptives (Granel; Ramon 2006).

D'aguesta manèra organizèc eth viatge en 1905, en tot passar peth Rosselló e eth Capcir e les portarà finaument ena Val d'Aran, a trauès deth ferrocarril de Banhères de Luishon, a miei noveme. En aguesta expedicion realizèren visites as glèises de Bossòst, San Martin de Aubèrt, Vilac, Santa Maria de Mijaran, Vielha, Betren, Arties (Figura 9.a), Salardú (Figura 9.b) e Cap d'Aran en Tredòs.

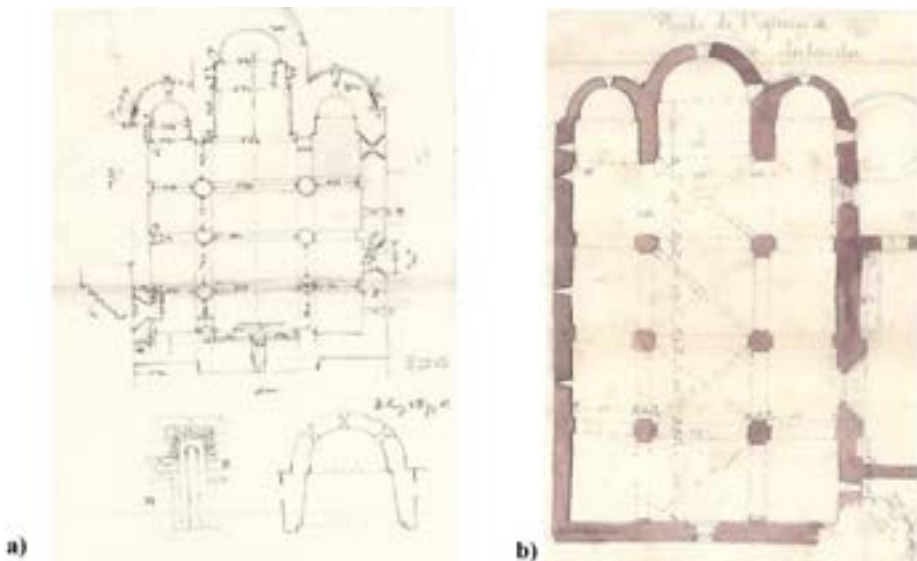


Figura 9. Lheuats topografics deth viatge de 1905 de Lluís Domènech i Montaner

Ua naua expedicion tara Val d'Aran e era Ribagòrça (1907), propiciada *Missió Arqueològica de l'Institut d'Estudis Catalans als Pirineus* e dirigida per Josep Puig i Cadafalch.

Comparà a mèis damb era preséncia der arquitecte Josep Goday i Casals (1882-1936), deth sacerdot, arqueològ e istorian der art Josep Gudiol i Cunill (1872 -1931), de Guillem Maria de Brocà de Montagut (1850-1918) istorian deth Dret, e deth fotograf Adolf Mas Ginestà (1860 -1936).). Puig i Cadafalch e Goday realizèren diboishi des glèises de Bossòst, Mijaran, Gausac, Betren, San Juan e Santa Maria d'Arties e Salardú, e preneç nòtes des de Casau e Gausac (Figura 32), (Lorés; Guardia 2013, 44-45).

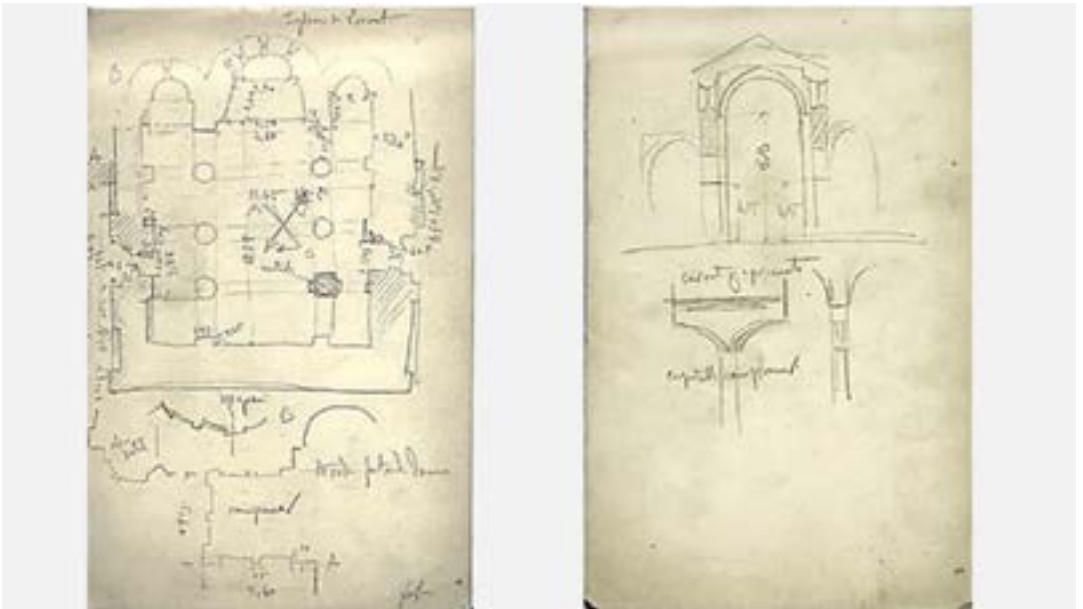


Figura 32. Blòc de nòtes Josep Puig i Cadafalch (1907). Quaderns CR 104.818 i CR 104.817 (Arxiu Nacional de Catalunya)

Dera visita gessec er estudi titolat *Les iglesies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls De Bohí y d'Aran* (1908) a on s'establic era ipotèsi qu'incipiamet es glèises dera Val d'Aran sigueren cubertades damb estructura de husta. Se prepausa que posteriorament aquestes bastisses sigueren transformades amb era construccion de vòutes de canon, en tot conservar coma supòrts es pilastres inicials de seccion circulara.

Ei sus aguesta ipotèsi que se bastís era grana diferéncia entre es glèises dera Val de Boí e es dera Val d'Aan, e en tot representar era seccion des cindres de husta (Figura 11.b), ena òbra publica, ath delà des plantes e seccions de Sant Andrèu de Salardú [37] (Figura 11.a). e Santa Maria d'Arties [34] (Figura 11.c), a mès des plantes de Santa Maria de Mijaran [25] e Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] (Puig i Cadafalch 1908, 119-136).

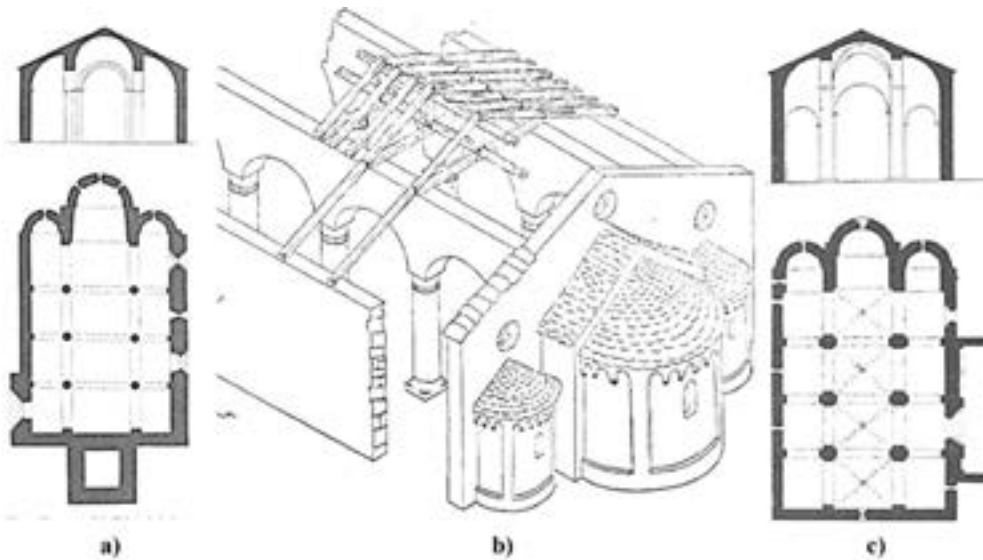


Figura 11. *Les iglèsies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls De Bohí y d'Aran* (1908)

Era planimetria serà reproduïda per Ceferí Rocafort (1872-1917) ena *Geografia general de Catalunya. Província de Lleyda* acompanyada per fotografies (Rocafort 1914, 902-938)¹. Bères ues sigueren realizades per Juli Soler i Santaló (1865-1914), qu'illustre es bastisses d'Arties, (AFCEC_SOLER_DV_001-00022) (Figura 12.a) e Bossòst, qu'illustre a mès damb detalh arquitectonic, es façades d'Arres, Betren, Gausach e Vilach (AFCEC_SOLER_D_1064) (Figura 12.c) e es portalades d'Escunhau (AFCEC_SOLER_D_108) (Figura 12.b), Tredòs e Vilach.

1. Planta Mig Aran (pág. 902) *Clixé de G. Mora*, planta y sección Arties (pág. 905), planta Bossòst (p. 922) y planta y sección de Salardú (p. 938) *Clixé de X. Pares*, Francesc Xavier Parés i Bartra (1875-1955)?.

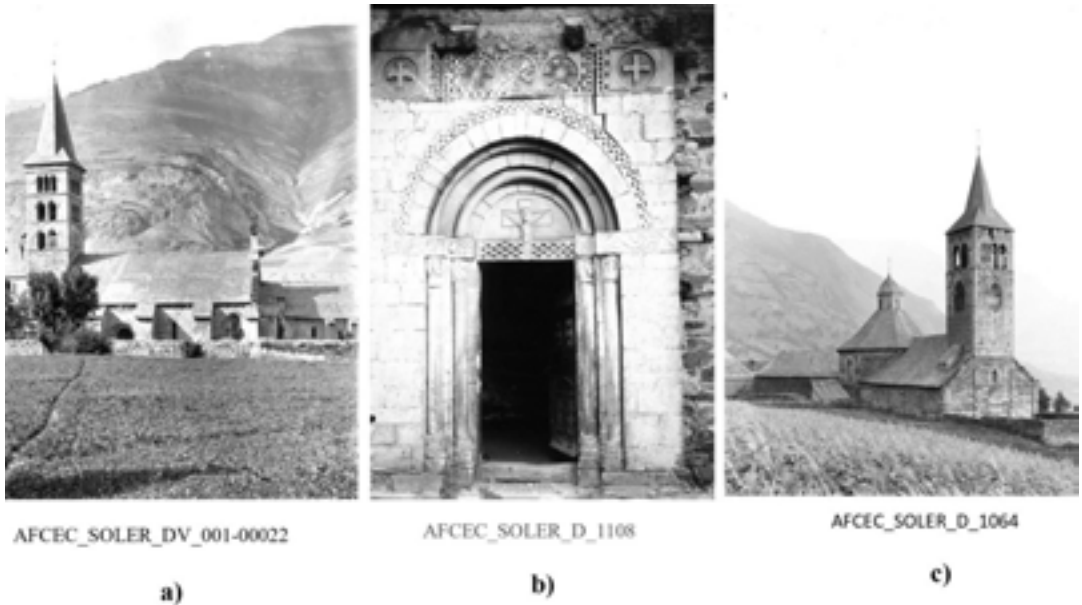


Figura 12. *Geografia general de Catalunya. Provincia de Lleyda* (1914) Ceferí Rocafort (1872-1917)³²

3.2. Eth Conselh d'Aran e eth redescurbiment deth patrimòni

Calerà demorar un long periòde entà dar pas ara prumèra grana catalogacion de José Serrate Forga, qui determinarà ua classificacion territoriau deth romanica aranés damb diboishi de Jesús Serrate Boneu. Serrate ac hè en foncion dera sua localizacion geografica, e per açò era topografia distinguís es de Naut Aran (Serrate 1975a), Miei Aran (Serrate 1975b), e Baish Aran (Serrate 1976a). Era difusion der art romanica aranés aurà ua vision enciclopedia laguens deth volum dedicat ara Val d'Aran de *Catalunya Romànica* (Junyent, Mazcunen; Bargallo; Pladevall; Adell 1987, 305-453). Elisa Ros Barbosa, responsabla der airau de Patrimòni Culturau deth Conselh Generau d'Aran publicarà un inventari de bens mòbles en relacion damb es imatges fotografiques existents en article *Coneixement del patrimoni artístic aranés a través de fotografies i documents dels primers turistes* (Ros 2012, 239-268).

23. <https://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000012895&page=1>

En tot remarcar bèri exemples restacadi damb eth detalh dera construccion dera bastissa: Crist de Cap d'Aran, imatge fotografica 386-05 de Josep, Salvany i Blanch (1866-1929) dera Biblioteca de Catalonha (Figura 13.a); interior dera glèisa de Sant Miquèu de Vielha, der Album Fotografic de Laurière, 1885 dera colleccion privada B. De Gorsse.

Dera madeisha colleccion se recuelh eth Santuari de Santa Maria de Mijaran, eth Calvari de husta sus era arcada dera absida de Sant Andrèu de Casau (R-5350) deth hons des frairs Gabriel e Joan Roig i Font der Archiu Bastardes) (Figura 13.b), e recuelh er aspècte der interior dera glèisa de Bossòst (C 722 1651 1 CITM UPC).

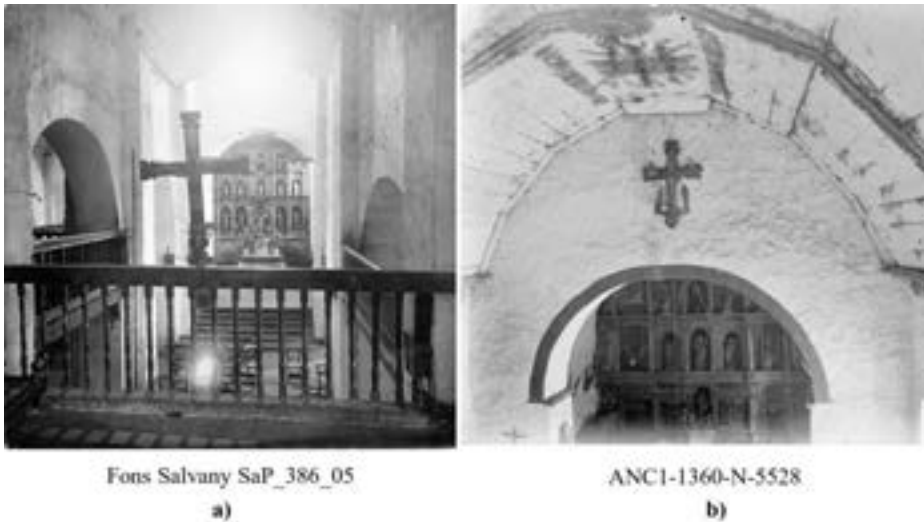


Figura 13. Imatge fotografica deth detalh des vòutes de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41], e Sant Andrèu de Casau [27]

Bères aportacions especificas sus er estudi de Sant Blas de Les [4], realizat per Jèp de Montoya e Parra en tot resautar per prumèr còp eth concèpte de patrimòni immateriau deth lòc. En petit opuscle se relate ua descripcion dera bastissa e era sua evolucion constructiva. Detalhe damb era representacion dera planta e ua seccion constructiva amassa damb un auçat, a on se relate era desparièra tipologia dera mampostaria emplegada enes sues fases edilícies (Montoya 1983, 13) (Figura 14).

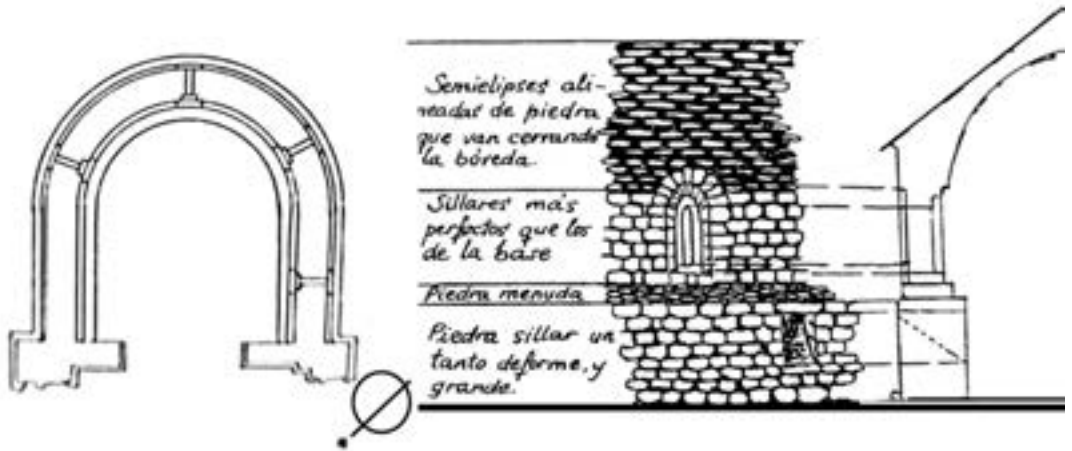


Figura 14. Detalh dera planta orientada, auçat parcial e seccion de Sant Blas de Les [4]

Per ua auta part, ei important eth ròtle jogat pes administracions publiques a trauès des actuacions sus eth patrimòni arquitectonic, e especiaument enes glèises màgers de planta basilicau. En cas deth Departament de Patrimòni Arquitectonic des Servicis Tecnicos dera Deputacion de Lhèida en tot realizar en mai de 1988 er *Aixecament de Plànols de l'Església de l'Assumpció. Bossòst*, diboishat per Antoni Mora, jos era direccion der arquitecte Melitó Camprubí e er engenhaire topografic Joan R. Salvadó (Figura 15.b). aguesta planimetria servirà de basa entara incoacion de B.C.I.N., realizada pes Servicis Tecnicos deth Conselh Generau d'Aran, jos eth títol *Glèisia dera Mair de Diu dera Pirficacion. Bossòst. Expedient de declaracion B.C.I.N.* de junh de 2009. Com tanben era realizada per aguest madeish departament de declaracion en mai, *Glèisia de Sant Andrèu. Salardú. Naut Aran Expedient de declaracion B.C.I.N.* Monumet Istoric de Carles Llobet (Figura 15.a).

Eth realizat pera Seccion de Restauracion deth Servici deth Patrimòni Arquitectonic dera Direccion Generau deth Partimòni Culturau, deth Departament de Cultura dera Generalitat de Catalonha d'octobre de 1992, titolat *Aixecament Planimètric. Església Santa Maria d'Arties* realizado por Josep Àngel Corbella i García (Figura 15.c).



Figura 15. Planimetria des Administracions publiques.
Servicis Tecnicos deth Conselh Generau d'Aran

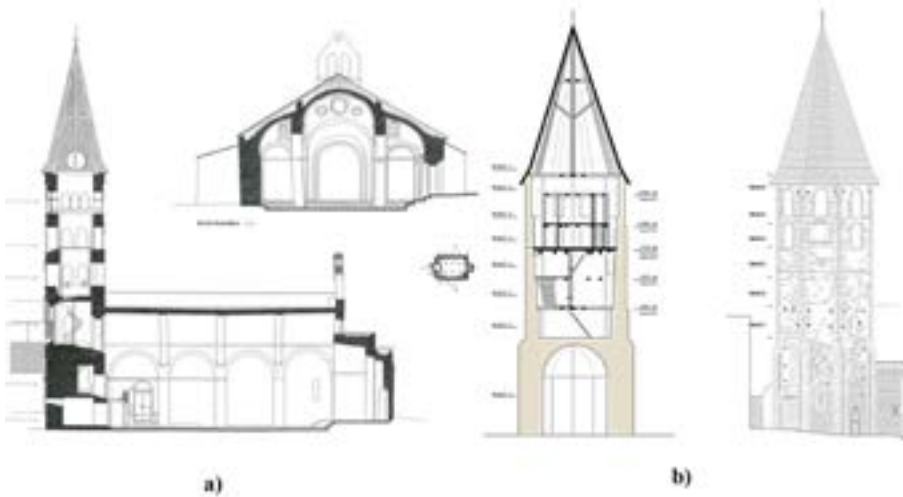


Figura 16. Planimetria d'intervencion en patrimoni arquitectonic.
Servicis Tecnicos deth Conselh Generau d'Aran

Com tanben era realizada pera redaccion de projectes d'intervencion en patrimoni arquitectonic, com eth *Projecte Basiic i d'execució de les obres de restauració de l'església de Sta. Maria d'Arties 1era Fase* de deseme de 2005, entara Seccion de Restauracion e Consolidacion deth Patrimòni Culturau

immòble der Airau de Planificacion e Accion Territoriau deth Departament de Cultura dera Generalitat de Catalonha der arquitecte Joan Josep Polo i Berroy, e deth madeish autor e títol de noveme de 2007 e es elaboradi entath Bisbat d'Urgel que serviren de basa entara retauracion de Santa Maria d'Arties [34], (Figura 16.a) (Ros 2013, 93-112). Tanben cau remercar era metodologia dera planimetria desvolopada entara realizacion deth projècte qu'amiam coma *Projecte bàsic i execució d'accessibilitat al campanar de l'església de Sant Andrèu de Salardú* damb era collaboracion de Mònica López Piquer (Figura 16.b).

3.3. Er interès deth patrimoní aranés pes Acadèmies

Er interès pes glèises romaniques dera Val d'Aran a portat as Acadèmies a apropar-se ad aguesta arquitectura ena Val. Ei eth cas deth projècte finau de carrèra qu'eth sòn objècte ei er estudi e lheuath arquitectonic dera glèisa de Sant Miquèu de Vielha, presentat en 2011 entara obtencion dera titolacion d'arquitectura tecnica deth plan 2002 ena Universitat Politecnica de Catalonha. Eth trabalh titolat *Levantamiento arquitectónico y estudio físico constructivo de la iglesia de Sant Miquèu de Vielha* realizat per Miquel Tumeu Vidal Rosó e dirigit per Juan Serra Santasusagna (Figura 17).

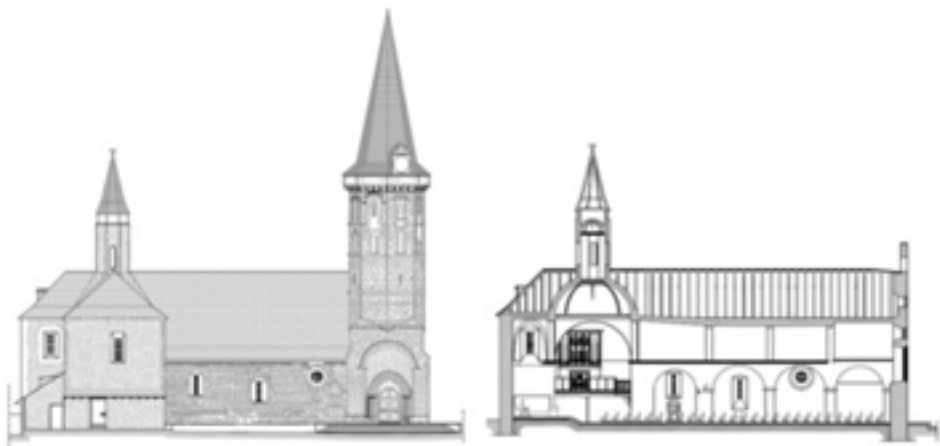


Figura 17. *Levantamiento arquitectónico y estudio físico constructivo de la iglesia de Sant Miquèu de Vielha* r (2011) Miquel T. Vidal Rosó

professionau (Figura 19). Aguesta vision dirècta d'aguestes bastisses per tanti observadors desparièrs, en un grad de formacion, incorporèc ua grana informacion grafica entar estudi dera arquitectura dera Val d'Aran.



Figura 19. Cors (2013-2014-19). Glèisa de Sant Peir d'Escunhau. Helena Forcadell, Marta Gonzalvo e Mónica. López,

A part des visites in situ, se realizèren uns còrsi optatius e seminaris, com eth de *Tratamiento informático de datos gráficos para el análisis constructivo de edificios históricos* en los cursos (2013-2014) y (2014-2015), qu'eth sòn objectiu siguec era parametrizacion des donades obtengudes deth reconeishement d'aguestes bastendes istoriques. *Comprobación estructural y análisis constructiva de edificios históricos* durante (2013-2014) dedicat ara comprovacion estructurau dera òbra de maçonaria. Pendent 2014 e 2015 se prepausèc eth seminari *Intervenciones arquitectónicas en edificios patrimoniales*, en tot plantejar era intervencion arquitectonica en bastisses en desusatge. Se plantegèc tanben ua formacion a nivèu interuniversitari, entre es titolacions de Grad en Arquitectura Tecnica e Edificacion dera Escòla Politecnica Superiora (UdL) e Grad en Arquitectura dera Escòla

d'Arquitectura de Reus (URV), titolat *Aprendiendo del Patrimonio arquitectónico del Valle de Arán*. (Lhèida 22 seteme 2016. Val d'Arán 23 e 24 seteme 2016). Ath delà, se realizèren dues edicions dera Universitat d'Ostiu. Era prumèra auec lòc entre eth 8 e eth 11 de junh deth 2014 ena Aubèrja Era Garona de Salardú, jos eth títol *Reconocimiento del patrimonio. El Valle de Aran. Patrimonio inmaterial, natural, inmueble y mueble*, e ua dusau edicion damb eth nòm de *Reconocimiento de los valores patrimoniales del Valle de Arán*, entre es dies 29 e 30 de junh, tanben en Salardú. Es resultats docents se sintetizèren sistematicament en cada cors en foma de panèus, de manèra que se plantegèc era difusion des lheuats e estudis obtengudi en tot realizar tres exposicions monografiques, *Trahntem lapides MMXVI* en Collègi d'Arquitectes de Catalonha. Demarcacion de Tarragona, entre eth 10 març e eth 29 d'abriu deth 2016 (Lluis i Ginovart; Costa; Coll 2016a) (Fiigura 20).



Figura 20. a) Glèisa de Sant Blas de Les. Borrás, Oriol; Gallego, Aitor; De Bois, Paola (2013-2014); b). Glèisa de Sant Roc de Begós. Martínez, Albert; Millán, Osear; Salas, Isidro (2014-2015); c) Glèisa de Sant Estèue de Tredòs, Espeja, Javier; Guerrero, Sergi; Puente, Olaf (2015-2016)

Entre eth 21 de junhsèga e eth 2 d'octobre deth madeish an se celebrèc en Institut d'Estudis Ilerdencs era exposicion *Glèises en còrnaenclin de vòutes escarramingades* damb era addicion de naui exercicis, e a on se publique per prumèr còp eth resultat des escaners laser des glèises dera Val d'Aran realizadi peth grop d'investigacion Architectural Heritage (PATRIARQ) (Lluís i Ginovart; Costa; Coll 2016b) (Figura 21).

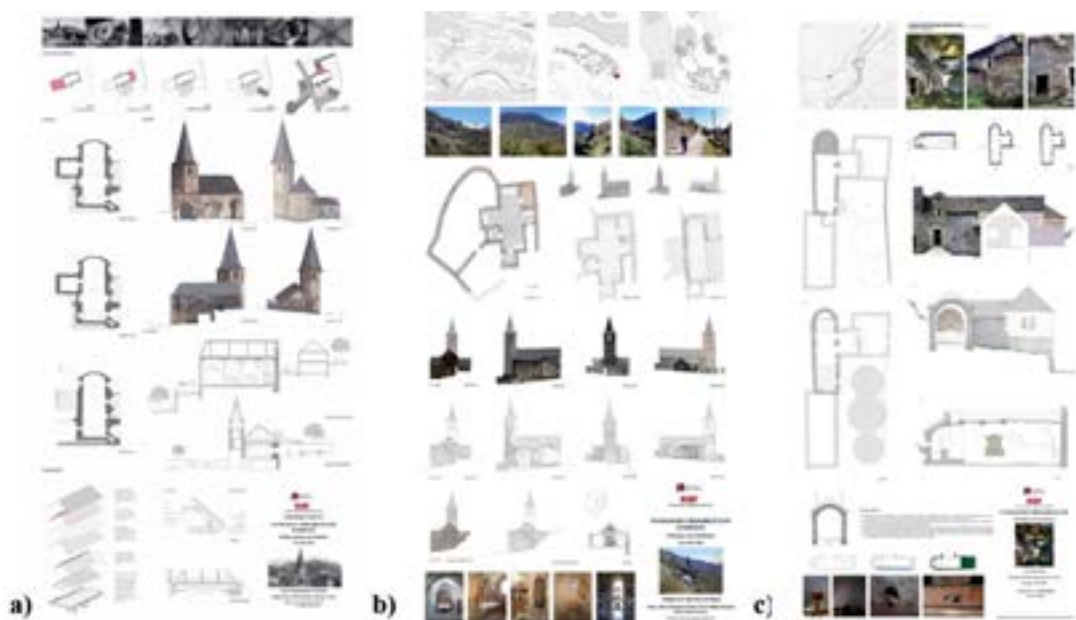


Figura 21. a) Glèisa de Sant Martin de Gausac. Gallego, Isaac; Martín, Sandra; Sánchez, Carlos, b) Glèisa de Sant Ròc de Begós. Martínez, Albert; Millán, Oscar; Salas, Isidro; c) Glèisa de Sant Joan d'Arròs e Vila. Ibáñez, Rubén; Margelí, Javier; Navarro, David

Posteriorament se celebrèc era exposicion *Estudi Grafic des glèises en cornaenclin dera Val d'Aran* ena Delegacion Urgell deth Collègi d'Arquitèctes de Catalonha ena Seu d'Urgell, deth 29 de març ath 30 d'abriu deth 2017, damb era ampliacion dera exposicion realizada en Institut d'Estudis Ilerdencs damb es exercicis deth cors 2016-2017.

Per ua autapart, es trabaills realizadi peth grop d'investigacion Architectural Heritage (PATRIARQ), a traùs dera exploracion dera maçonaria mejançant tecniques Close Range Photogrammetry (CRP) e Terrestrial Laser Scanner

(TLS), an aportat informacion fòrça relheuanta. En Santa Maria d'Arties se realizèc en 2013 ua prumèra aproximacion deth lheuath damb tecnicas de captura massiva de donades mejançant metòdes indirèctes. Es campanhes entath lheuath des glèises deth prumèr romanica aranés s'organizèren de manèra qu'ena prumèra, deth 19/12/2014 ath 24/12/2014, d'escanejèren era dera planta basilicau de Santa Maria de Vilamòs e Santa Eulària d'Unha (Figura 22.a).

Era dusau campanha, deth 7/01/2015 ath 11/01/2015, s'organize ath torn des glèises de Sant Pèir d'Escunhau e Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs (Figura 22.b). era tresau se realizèc entre eth 8/04/2015 e eth 14/04/2015 e abordèc era glèisa dera Purificacion de Bossòst (Figura 22.c). Era quatau campanha, entre eth 8/04/2015 e eth 14/04/2015, desvolopèc eth lheuath des glèises de Sant Ròc de Begòs, Sant Miquèu de Vilamòs, Sant Fabian d'Arres de Jos e Sant Joan d'Arròs e Vila (Figura 22.d). Finaument, era cincau campanha de prenuda de donades, entre eth 15/05/2015 e eth 19/05/2015 se dedique as glèises de Sant Estèue de Tredòs e Santa Maria de Mijaran (Figura 22.e)

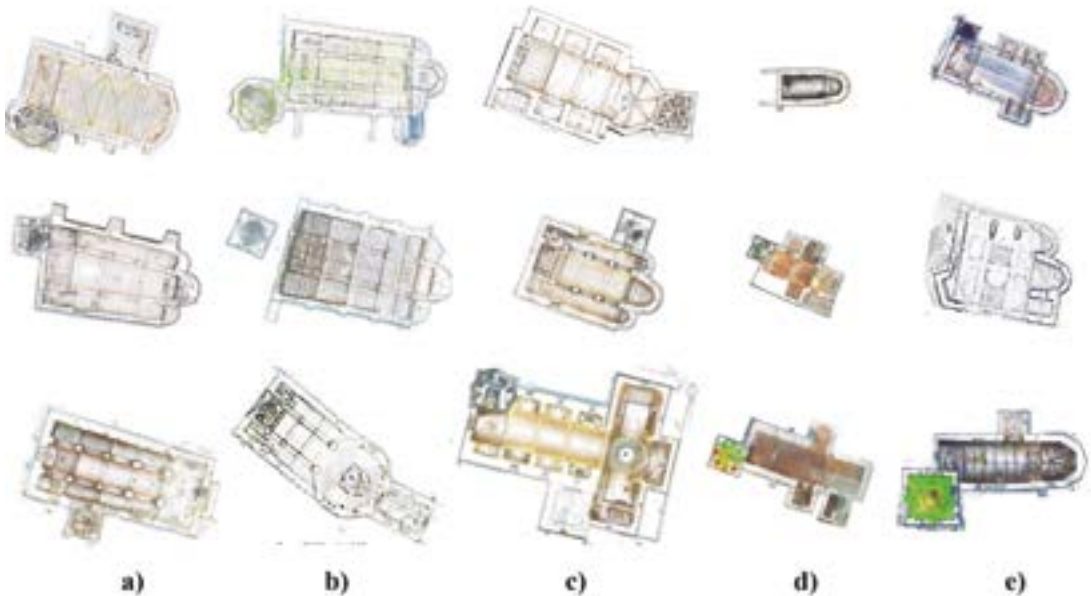


Figura 22. Campanhes de prenuda de donades des glèises romaniques

3.4. Era sintèsi d'Aran me fecit

Era culminacion d'aguest trabalh siguec era exposicion titolada ARAN ME FECIT, organizada peth Conselh Generau d'Aran, eth bisbat d'Urgell, eth Musèu dera Val d'Aran, era Escola Superior d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili e era Escòla Superiora d'Arquitectura dera Universitat Internacionau de Catalonha, a on s'expausèren era planimetria e documentacion grafica des quaranta dues glèises que se consèrven ena Val d'Aran (Figura 23).

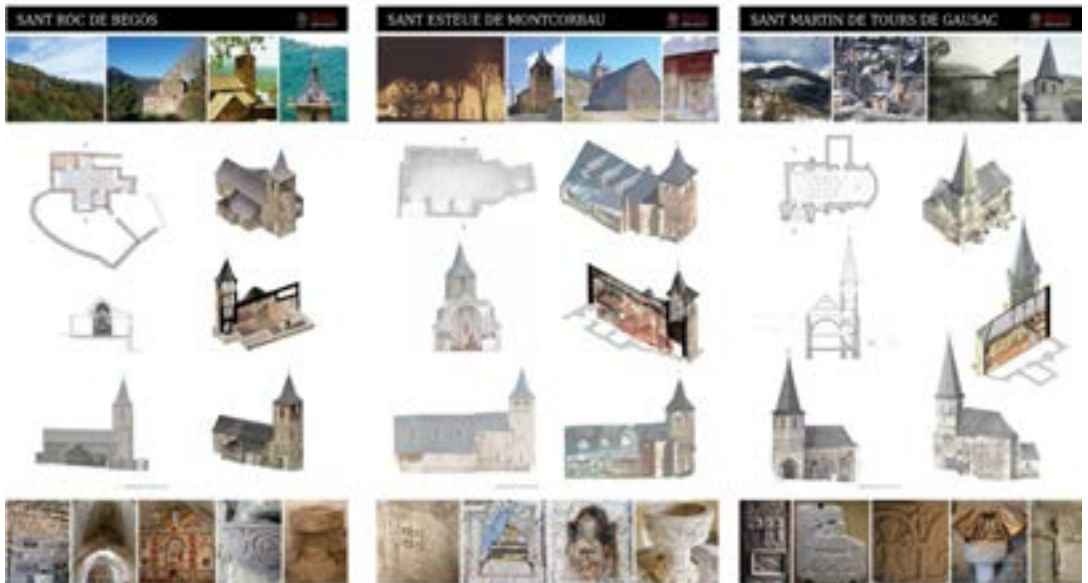


Figura 23. Planimetries de glèises romaniques publicades en *Aran me fecit Des màstres constructors ara recèrca deth patrimòni sacre* (2018)

Eth contengut siguec recuelhut ena publicacion *Aran me fecit Des màstres constructors ara recèrca deth patrimòni sacre* (Ros cor.2018), qu'eth sòn comitè editoriau ei integrat per Jèp de Montoya, assessor de Cultura deth Conselh Generau d'Aran, Elisa Ros Barbosa, responsabla der Airau de Patrimòni Culturau deth Conselh Generau d'Aran, Mn. Josep M^a Mauri Prior, vicari generau deth Bisbat d'Urgell, Josep Lluís Ginovart, Catedratic dera Escola Superior d'Arquitectura dera Universitat Internacionau de Catalonha e Agustí Costa, professor dera Escòla Superiora d'Arquitectura

dera Universitat Rovira i Virgili. Era publicacion auec tres parts definides en foncion dera investigacion realizada, a on era prumèra ei dedicada as estudis sus eth contèxte istoric e era istòria der art. Ua dusau dedicada ath patrimòni arquitectonic sus es estudis des escòles d'arquitectura des Universitats Rovira i Virgili e Internacionau de Catalonha, e eth grop de recèrca PATRIARQ, a on se publiquèren: *Era valor patrimoniau excepcional de las glèises romaniques dera Val d'Aran* de Josep Lluís i Ginovart; es trabalhs *Eth projecte docent tar estudi des glèises dera Val d'Aran* e *Era recèrca der equilibri ena Val d'Aran*. *Eth cas de Santa Maria d'Arties* d'Agustí Costa Jover; es articles d' *Estudis arquitectonics sus eth romanica aranès* de Sergio Coll Pla; *Recèrca der espaci des glèises romaniques dera Val d'Aran* y *Ecclesiae ad orientem vertuntur ubi sol oritur* de Josep Lluís i Ginovart y Mònica López Piquer; *Glèisa de Santa Eulària d'Unha. Ua analisi constructiva e estructurau* de Jaume Fabregat González, Anna Royo Bareng; *Diboish e analisi arquitectonica ena Val d'Aran. Des metòdes tradicionaus ara fotogrametria digitau* de Cèlia Mallafrè Balsells; Marta Genaro Muñoz, Carlos Esteve Llauredó; Regina Bau Pericón; Albert Gas Llatge, A; David Moreno Garcia, Stoyana Zahara Nedkova, S.; Agustí Costa Jover, A. (Figura 24).

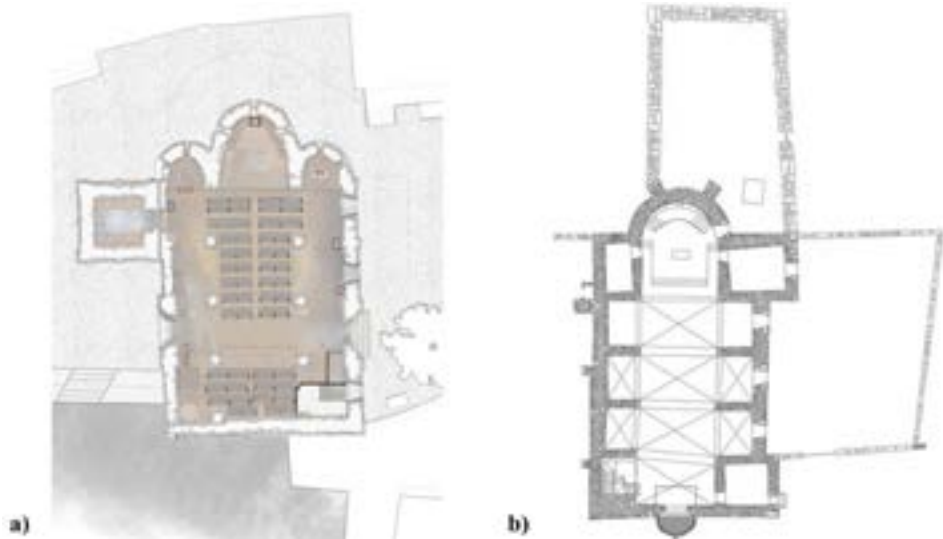


Figura 24. Plantes publicadas coma *Diboish e analisi arquitectonica ena Val d'Aran. Des metòdes tradicionaus ara fotogrametria digitau*

Tot aquerò amièc a un cors dera Universitat Internacionau d'Iuèrn Aran Me Fecit, celebrat entre deth 27 ath 27 de gèr, organizat peth Conselh Generau d'Aran damb era collaboracion dera Universitat de Navarra, dera Escòla Superiora d'Arquitectura dera Universitat Rovira i Virgili (ETSA/URV), dera School of Architecture dera Universitat Internacionau de Catalonha, de Musèus dera Val d'Aran, deth Musèu Nacionau d'Art de Catalonha, dera Universitat de Barcelona, deth Bisbat d'Urgell, dera AUGGA e der Institut d'Estudis Aranesi- Acadèmia Aranesa dera Lengua Occitana.

4. ES VÒUTES ARANESES E ERA SUA CONDICION D'EQUILIBRI

En ua primèra classificacion s'obsèrve qu'entre eth corròp de glèises deth primèr romanica dera Val d'Aran, eth 36,36% son de planta basilicau damb tres naus, en tot qu'eth 63,64% restant son de nau unica. Laguens d'aguesta classificacion, eth 54,55% des glèises mantien ena actualitat vòuta de maçonaria, deuant deth 45,45% restant, que dispausen entara sua cubertura d'estructures d'armadura de husta. Bères ues d'aguestes glèises deueren auer vòutes de maçonaria e auer agut un collapse estructurai, e per aquerò aqueres estructures deueren èster substituïdes modèrnament per aguestes estructures de husta coma basa des sues cubèrtes.

Mès enlà des primères construccions araneses, e damb era tèsi de Puig e Cadafalch qu'iniciaument sigueren cubèrtes damb estructura de husta e posteriorament transformades damb era construccion de vòutes de canon (Puig i Cadafalch 1908, 119-1369). Çò de cèrt ei inclús posterior ath romanica, e a excepcion de bères glèises deth Baish Aran, com Sant Sernilh de Canejan [2] (Figura 25), era apòsta constructiva dera arquitectura dera Val d'Aran ei era dera utilizacion generalizada de vòuta de maçonaria.

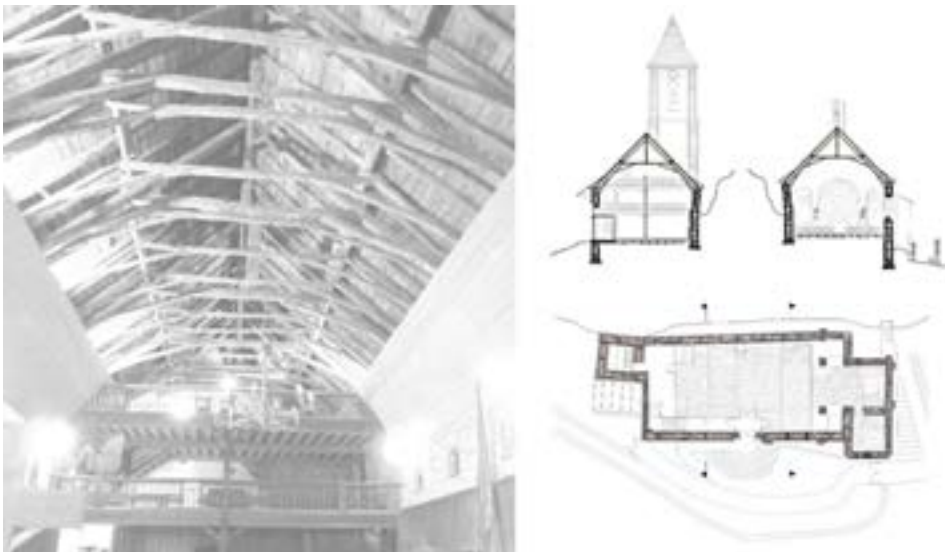


Figura 25. Cubèrta d'armadures de husta de Sant Sernilh de Canejan [2]

Per tant, non ei pas aisit d'explicar eth romanica aranés sense considerar dues qüestions basiques: prumèr, era sua complicada geometria, e en dusau lòc eth sòn concèpte d'equilibri estructurai pr'amor des sues granes deformacions. Era apreciacion e analisi d'aguestes fabriques depen dera pression des metòdes de presa de donades der observador. Era definicion e precision geometrica dera arquitectura romanica dera Val d'Aran depen dera tecnica d'observacion e accessibilitat, des tecnicas d'instrumentalizacion e dera terminologia lingüistica des vòutes.

4.1. Tecnicas d'aproximacion ara analisi arquitectonica

Era precision ei frut dera metodologia utilizada, en tot tier en compde qu'es vòutes non son pas accessibles. Era inspeccion visuau e era fotografia son aproximacions organoleptiques e, per tant, non dispausen pas de precision geometrica e en tot préner coma referéncia Santa Maria d'Arties, ei eth cas de Puig i Cadafalch (1908) (Figura 26.a) o Joan Bassegoda Nonell e Luis Villanueva (1971)(Figura 26.b), e en tot tier en compde qu'eth lheuau topografic dirècte des vòutes mer mejans manuaus non ei pas possible, perque non son accessibles. En aguesti casi s'estime ua valor d'error ena geometria des punts propèra sth 2,00 %. Es tecnicas d'aproximacion d'objèctes qu'an de besonh er instrumentau topografic tradicionau per Doménech i Montaner damb ua precision aproximada deth 1,00 %, com tanben en emplegades per Ester Coll e Jaume Fresquet (2005) (Figura 26.c), o Joan Polo i Berroy (2009) (Figura 26.d). D'autres com era de Marta Bunysech Martimpé (2010) damb ua estacion totau propèra ath 0,50 % (Figura 26.e). Es naues tecnicas com era fotogrametria son de grana relheuànça entara documentacion e conservacion deth patrimòni culturau (Pavlidis; Koutsoudis; Fotis; Vassilios; Christodoulos 2007. 93-98). Gràcies ara sua simplicitat, er emplec de procediments com era Close Range Photogrammetry (CRP) (Yilmaz; Yakar; Gulec, Dulgerler 2007, 428-433) e aqueri basadi en algoritmes de Structure From Motion (SFM), se generalizen ena arquitectura, mès tanben en d'autres disciplines com era geosciéncia

(Smith; Carrivick, Hooke; Kirby 2014, 1914-1927) o era arqueologia (De Reu; Plets, Verhoeven; De Smedt; Bats; Cherretté; De Clercq 2013, 1108-1121). Entà objèctes arquitectonics ei possible d'obtier resultats de nauta qualitat, ja qu'es textures des paraments favorissen era deteccion de punts comuns (Koutsoudis; Vidmar; Ioannakis; Arnaoutoglou; Pavlidis; Chamzas 2014, 73-79), aguesta tecnica aumete considerablament eth nombre de punts de referéncia e presente un error d'entre [0.05-0.03 m]. Aguest ei eth cas dera emplegada per ETSA (URV) de M. Cartanyà, A. Escarré, T. Jacas, J. Martí, X. Padró, D. Rodriguez (2013) (Figura 26.f) e Balcells, S. Gonzalez, A. Pont (2015) (Figura 26.g)¹. Ua auta tecnica ei er escaner laser terrèstre (TLS), eth quau permet ua topografia sense contacte, non invasiva, en tot obtier ua quantitat de punts d'informacion geometrica e ràdiometrica d'ua superfícia (Pesci; Bonali; Galli; Boschi 2012, 215-220)

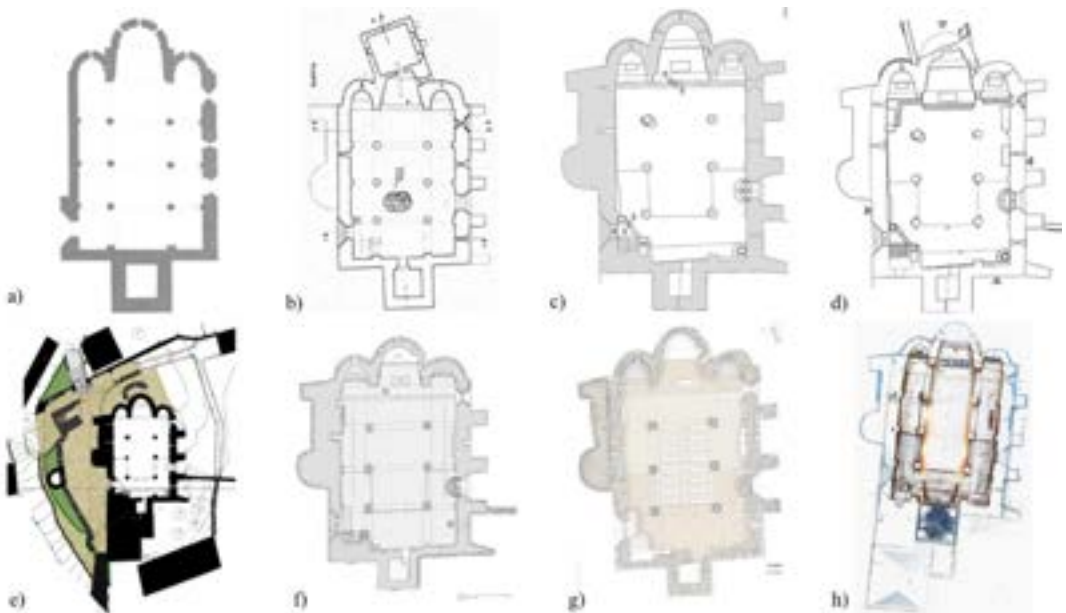


Figura 26. Lheuat planimetric. Hònts: Servicis Tecnicos deth Conselh Generau e grop d'investigacion PATRIARQ

1. S'utilizèc ua estacion Total Topcon IS-203 e ua camera Nikon D7000, damb era quau se realizèren bères construccions parciaus en 3D des vòutes mejançant era fotogrametria.

Era exactitud d'aguestes tecnologies a estat amplament provada entar estudi geomètric de bastisses (Guarnieri; Vettoe; Remondino 2004, 1-15) e qu'era sua precision estimada deth conjunt de punts obtengudi d'aguest procès lo determinam per un error [0,020-0,010 m], en tot èster aguest eth cas dera tecnica emplegada peth grop d'investigacion PATRIARQ (2015)² (Figura 26.h).

Non i a dopte qu'es observacions sus es vòutes, realizades pes autors classics, se basèren en techniques dirèctes. Es sues definicions sigueren corrèctes en foncion as donades de qué dispausauen, es bases sus es quaus se basèren èren fòrça limitades en comparança ad aqueri que mos aufrís era tecnologia actuau damb es techniques de captura massiva de donades com era fotogrametria (CRP) o er escaner laser terrèstre (TLS) qu'auem utilizat entar estudi dera arquitectura romanica dera Val d'Aran.

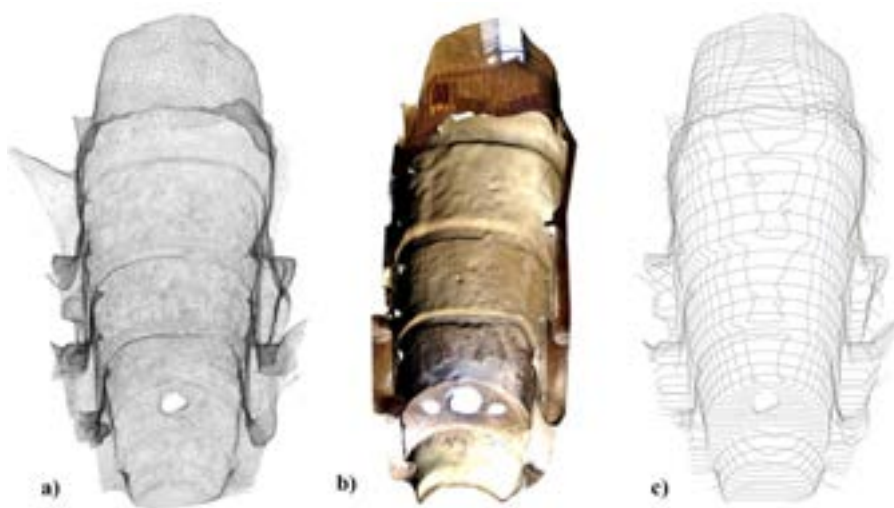


Figura 27. Vòutes de Santa Maria d'Arties observades mejançant mtòdes Close Range Photogrammetry (CRP) e Terrestrial Laser Scanner (TLS).

2. Scanner model Scan Station P20 de Leica, qu'es sues caracteristiques tecnicas son: eth tipe de laser ei de temps de vòl de nauta velocitat milhorat damb era tecnologia Waveform Digitising (WFD). Er ample de banda ei de 808nm (invisible)/658 (visible) e aguesta ei de classe 1 (d'acòrd damb IEC60825:2014). Era ràtio der escaneg ei de 1000000 punts e eth tapatge ei a 100 mètres de 9.0 mm en colors neres, 4.30 mm en colors grises, 1.5 mm en colors blanques. Eth camp de vision ei de 360° en orizontau e 270° en verticau. Er Scanner pren donades autan de distància com de color des paramètres estudiadi.

Aguestes tecnicas mos permeten d'apreciar es granes deformacions ena sua construccion, podent crear ua imatge precisa der objècte (Figura 27.b), era representacions des sòns punts damb un hilat espacial (Figura 27.a), atau com eth sòn tipografiat (Figura 27.c). aguest hèt, amassa damb era asimetria dera geometria des sves glèises, ei ua des granes caracteristiques formaus des glèises romaniques araneses damb errors inferiors a 0,005 m.

4.2. Teoria des estructures arquitectoniques de maçonaria

Entà explicar era ostentacion constructiva d'aguestes glèises cau referir-se a qu'era sciència modèrna des estructures non apareisherà enquiàs *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* (1638) de Galileo Galilei (1564-1642) (Galilei 1638, 108-136), per tant, totes es construccions romaniques s'an de basar en ua ampla experiència constructiva, pr'amor qu'es regides pes principis geometricus des règles de supòrt e arcs e vòutes, coneishudes coma règla deth tèrci, encara que coneishudes experimentaument, non apareishen enquiàs manuscrits de Baccio Pontelli (c.1546), Hernán Ruiz el Joven (c.1560), Cristobal de Rojas (1598) o Ginés Martínez de Aranda (c.1599). Enes òbres de maçonaria modèrnes s'impausèc era teoria elastica a compdar dera teoria de Robert Hooke (1635-1703) des deformacions de quinsevolh materiau *A description of helioscopes, and some other instruments* (Hooke 1676), e qu'era sua analisi tradicionau base es sòns principis ena resistència, era rigidesa e estabilitat (Aroca 1999, 10-11). Era qüestion dera resistència deth materiau e eth comportament deuant deth trincament siguec resolvuda per Claude-Louis Henri Navier (1785-1836) en el *Resumé des Leçons donnés à l'Ecole des Ponts et Chaussées* (1826) (Navier 1826, 1-111).

Totun açò, era compatibilitat teorica damb es tradicionaus òbres de maçonaria e eth sòn comportament non a estat pas aisida. Es òbres antiques, com es dera Val d'Aran, èren regides per un criteri d'estabilitat, mès que peth dera resistència deth materiau emplegat, pr'amor qu'aguestes òbres trabalhen tostemp a compresion, estant fòrça luenh des sòns limits de fatiga (Huerta 2004, 27-30).

Per aquerò, en aquestes postures de trincament per resistència ei de mau explicar eth collapse de Santa María de Cap d'Aran, ne eth concèpte de beresa prepausat per Francisco Gracia de Tolba, ath qu'era se referís; *la Iglesia de Tredos es de tres naves intitulada de Maria SSma. De Cap de Aran es seria buena si hubiera Bóveda* (BNE MSS/18409, fol. 155 r).

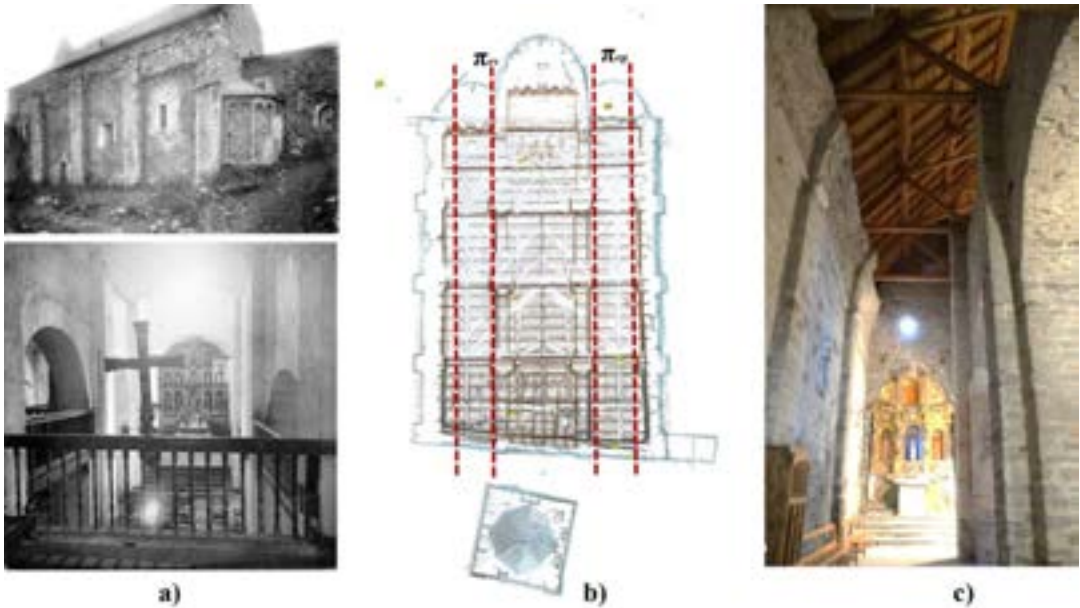


Figura 28. Collapse de Santa Maria de Cap d'Aran. a) Fotografia AFCEC_SOLER_D_1073, Fons Salvany SaP_386_05; b) Planta e axonometria actuala. c) Linhas de trincament des vòutes de quart de canon collapsades

Era cubèrta actuala der espaci ei resolvuda mejançant uns cindres en tot recuperar era volumetria totau dera bastissa, ja qu'es vòutes collapsèren sus uns plans verticaus que podem plaçar enes naus lateraus der evangèli (π_{ev}) e dera epistola (π_{ep}) damb fractures parières (Figura 28.b). Eth collapse se profitèc entà bastir ena part superiora (Figura 28.a). Ena actualitat podem observar enes naus lateraus era part establada dera vòuta de quart de canon, qu'ei aquera que non aurie de besonh de cindrat (Figura 28.c). Entà hèr comprensibles, deth punt d'enguarda scientific, e ath còp compatibles era teoria elastica e plastica dera sciéncia des materiaus, s'an

de concèber aquestes estructures jos eth critèri dera estabilitat generau deth conjunt, analisades a partir dera teoria dera analisi limit desvolopada per por Jacques Heyman (Heyman 1966, 249-279) (Heyman 1966, 363-385). Entad aquerò s'an definit es teorèmes dera analisi limit (Heyman 1999, 89-102), (Heyman 2001, 36-42). Aquest modèl d'analisi permet, en basa ath desvolopament d'un sistèma de cargues en equilibri qu'includís toti es elements que formen era vòuta, establir es posicions relatives ara linha de pressions e, per tant, eth sòn espessor minimau. Era sciéncia modèrna a determinat era manèra d'estudiar es estructures de maçonaria a trauès deth lòc geometric des centres d'empossament, e qu'ara sua linha principau se l'a nomentada linha d'empossament Canon Henry Moseley (1801-1872) (Moseley 1843.1, II, 1-72).

Aguesta disposicion depen dera forma der arc o vòutes, des cargues qu'actuen sus aquesti e des juntes entre eth despeçatge dera mampostaria. Era evidéncia qu'era maçonaria trabalhe a compression demòstre qu'aguesta linha d'empossament a d'èster contenguda en groish der arc, en tot interactuar cada clauèth contra es sues contigues a trauès des centres d'empossament. Se dam eth torn ar arc, aquestes fòrces de compression se convertissen en traccion, en tot determinar qu'aquesti clauèths penjarien com se siguessen ua de cadia. Era teoria siguec dejà plantejada a biais d'endonvieta per Robert Hooke, que prepausaue ua solucion que siguec revelada com como "*Ut pendet continuun flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum*" (Hooke 1676, 31). Eth coneishement dera forma catenària siguec aplicat per Christopher Wren (1632-1723) ena copòla de Sant Pau (1675), dessenh en quau collaborèc Hooke (Heyman 2003, 1-11). Per un aute costat, James Stirling (1692-1770), ena *Lineae Tertii Ordinis Neutoniana* (1717) bastic ua catenària mejançant ues esfères penjades, e simular eth comportament d'un element constructiu (Stirling, J. 1717, 11-14) (Figura 29.a). aquesta solucion inspirèc era analisi que realizèc Giovanni Poleni (1683-1761), ena *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano* (Poleni 1748, 30-50)³

3. En especiau es capítols: VIII. Della figura degli archi, ed in universale della vera regular figura delle cupole IX. Della figura della cvpola di S. Pietro. E era Tavolas (D e E).

(Figura 29.b), entara comprovacion dera estabilitat dera copòla de Sant Pèir, a on desvolope ua metodologia pariona ara de Stirling entà compréner eth trincament dera copòla dera basilica de Sant Pèir (Heyman 1988, 737-759) (Figura 29.c).

Aguesta manèra de trabalhar es arcs e es sòns antifuniculars serà amplament difonuda per Robison (1739-1805) ena tresau edicion dera Enciclopèdia Britanica (Robinson 1801, 21-38, fig. 4)

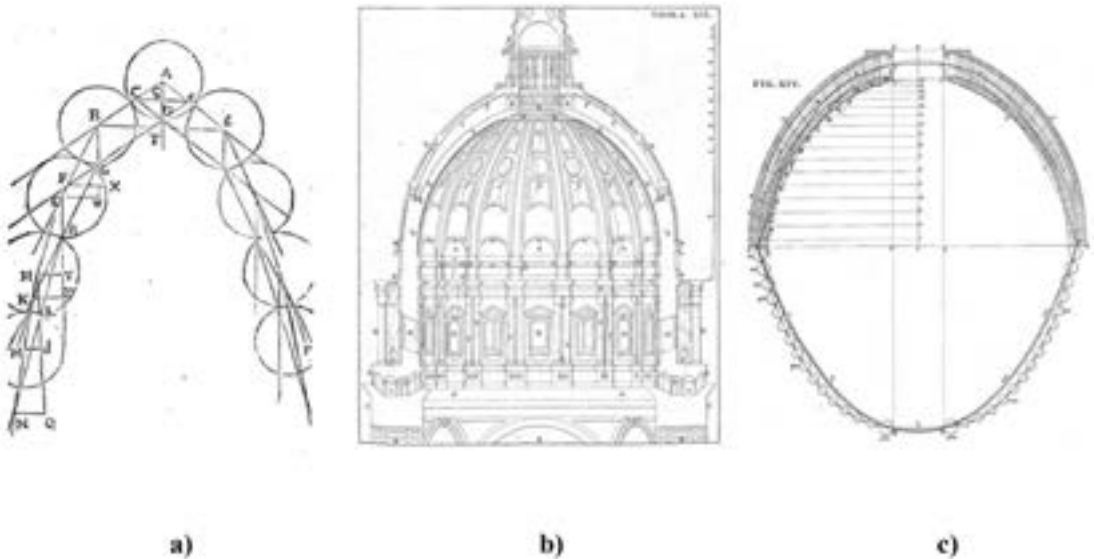


Figura 29. Era cadia coma element d'equilibri enes formes arquitectoniques

Aguesti enonciats encara se mantien laguens dera teoria dera analisi limit de Jacques Heyman (1999), qui enóncie que s'es arcs d'aguestes formes se mantien en pè, ei perque se pòt traçar ua forma catenària en interior deth sòn groish e geometria der arc (Heyman 2001, 36-42) e qu'era sua formulacion generau se harie dera foncion catenària.

Aguest sistèma estructurau dedusit de figura d'ua cadia penjada sus dus punts que determinarien era sua lum (l_c) e ath quau se li met ua flècha (f_c), a ua foncion $f(x_c)$ (Gregory 1697, 637-652), expresada com:

$$f(x_c) = a \cosh(x/\alpha)$$

a on (a) depen deth pes per unitat de longada (λ), e ara tension orizontau (σ_x), ($a = \sigma_x / \lambda$), enes extrems deth cable.

A partir d'aguest postulat se pòt comprèner era dificila estabilitat dera seccion des vòutes de Santa Maria d'Arties (Figura 30.a) e qu'era sua comprovacion se realize damb estatica grafica jos es precèptes dera analisi limit (Figura 30.b).



Figura 30. Santa Maria d'Arties, comprovacion dera estabilitat

Ath madeish temps permet d'explorar ena arquitectura romanica aranesa un aute des concèptes dera teoria elastica, qu'ei era rigidesa, era quau se compren com era oposicion qu'aufrís quinsevolh element, sosmetut a un esfòrç, a deformar-se. Maugrat era sua importància sus era teoria generau des maçonaries, era rigidesa non a pas agut ua grana incidència, en tot limitar-la ara teoria elasticoplastica, a ua proporcionalitat dirècta respècte ath fator formau dera estructura.

A despriet d'aquerò, i a agut bèri estudis sus es granes deformacions, d'ençà deth principi dera estabilitat generau des basstisses, en èster un des camps encara fòrça dubèrti en estudi des òbres de maçonaria e que tant important ei entà comprèner bèri collapses dera catedral Beauvais (Wole; Mark 1976, 462-476) (Roca; Lodos 2001, 38-49), o damb granes deformacions, com es murs deth temple Amon-Rê à Karnak (Golvin; Jaubert; Hegazy; Lefur; Gabolde 1990, 905-946). Com tanben enes òbres de maçonaria dera Val d'Aran, com era queiguda des vòutes de Santa Maria de Cap d'Aran, o es esbauçaments de Santa Eulària d'Unha o Santa Maria d'Arties (Figura 27), que son absolutament deformables.

4.3. Teoria entara comprension des vòutes araneses

Deth punt d'enguarda dera istòria dera arquitectura, s'aurie de revisar era definicion dera geometria des vòutes a trauès de tecnica d'observacion. Un des prumèri autors que tractèc aguesta qüestion ei Robert Willis (1800-1875), encara qu'ena introduccion deth sòn tractat *Remarks on the Architecture of the Middle Ages* (1835) hè escasses referéncias as vòutes romaniques (Willis, 1835, 15-27). Ac abordarà posteriorament ena publicacion *Transactions of the Royal Institute British Architects*, ena part introductòria ara mecanica des vòutes cilindriques deth *On the Construction of the Vaults of the Middle Ages*. (Willis 1842, 3-13).

Serà Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc, qui coneishec es vòutes de Bossòst ena sua estada de 1833, qui poblicarà posteriorament eth el *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. Aciu determinarà damb mès precision era construccion romanica, e en especiau er estudi des vòutes de canon, en tot avertir dera importància dera espessor dera vòuta, met coma exemple era catedral de Vézelay, a on diboishe era deformacion dera sua estructura respècte ar estat originau (Viollet-le-Duc, 1854, 4.25-26) (Figura 31.a).

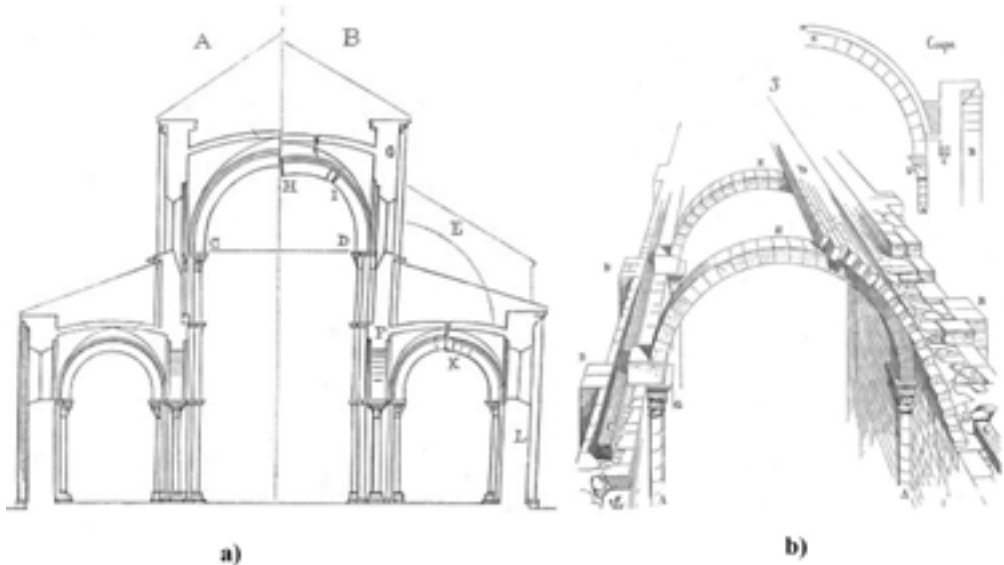


Figura 31. Estudi des vòutes romaniques en *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*, d'Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc

Per aquerò sagèc d'explicar eth sòn procès de trincament en capítol dedicat ara *Voute*, a on explique eth procès tant der indradòs o sosvòuta com deth sòn extradòs. (Viollet-le-Duc, 1854-1868, 9.470-472). Evòque era manèra de bastir es vòutes de canon e era des sòns mejans auxiliars de besonh entad aquerò (Viollet-le-Duc, 1854-1868, 9.470-472). (Figura 33.a). ath sòn torn explique era interaccion dera vòuta damb eth mur que, en bèri casi, se resòlv damb un estribat o supòrt damb vigues de husta entà tier er empossament dera vòuta, en tot ajudar a resòlver era traccion des empossaments (Viollet-le-Duc, 1854-1868, 4.11-16) (Figura 31.b).

Viollet-le-Duc observèc qu'er esquelèt de pèira, *charpente de pierre*, ère capable de patir deformacions e mantier er equilibri sense esbauçar-se. Ad aguesta propietat li'n didec *Élasticité* (Huerta 2021, 433-439). August Choisy (1841-1909) non recurrirà pas ara vòuta romanica dirèctament, mès òc que harà referéncia ara geometria e construccion de vòuta de canon ena construccion romana damb briques o hormigon (Choisy 1873, 31-47), e ara bizantina damb era construccion de vòutes de canon damb cindra o sense (Choisy 1883, 19-43).

Andús sistèmes constructius son basadi en ua estricta geometria dera forma e deth despeçatge des sòns elements. Aguesta tipologia constructiva ei era emplegada ena vòuta deth quatau tram dera glèisa de Sant Miquèu de Vielha [28] (Figura 32).



Figura 32. Planta de Sant Miquèu de Vielha [28], damb detalh dera vòuta de canon dera nau centrau

Dada aguesta peculiaritat geometrica e d'estereotomia de Vielha e entar estudi des vòutes araneses, s'a d'auer era consideracion dera connexion lombarda der art romanica catalan, que siguec dejà determinada per prumèr còp per Josep Puig i Cadafalch (1867-1956) en *Congrès Archéologique de la France* (1906) (Puig i Cadafalch 1906, 684-703). Posteriorament, coma conseqüència dera sua brèu visita en 1908 ara Val d'Aran, realizèc era sua prumèra sintèsi e interpretacion des caracteristiques dera arquitectura romanica aranesa, en tot definir ua prumèra Escòla de tradicion lombarda que serà substituïda progressivament per ua identitat e readaptacion locau (Puig i Cadafalch; Falguera; Goday 1918. 79-86). Deth madeish parer ei José Sarrate Forga damb eth sòn esudi des influéncias des glèises

romaniques, e en tot actualizar era descripcion des glèises dera Val d'Aran ena publicacion de *La Provincia de Lérida, Extremo Sur Occidental del Arte de expansión Lombardo* (Sarrate 1963). Com tanben era semblança observada des glèises de Vilamòs e Brancoli e Publicada coma *Templos hermanados, espacios encontrados: la iglesia de Santa María de Vilamós (Valle de Arán) y la Pieve di San Giorgio a Brancoli (Lucca)* (Rodés de Sarralbo; Niglio 2019).

Ena *Historia General del Arte* (1901) de Josep Puig i Cadafalch se descriuen es principis fundamentaus dera construccion, es arcs e es vòutes, atau com era grana diferència entre es vòutes romaniques, a on era elasticitat remplace era estabilitat des de tradicion romana, as quaus considèrè com fòrça mès monolotiques (Puig i Cadafalch 1901, 660-665). Atau madeish, ena *L'Arquitectura Romànica a Catalunya* (1918-1920), Puig i Cadafalch determine era caracterizacion des elements mès importants, en çò qu'apère analisi estructural e artistica dera mampostaria, vòutes e pilars (Puig i Cadafalch; Falguera; Goday 1918, 645-668), en tot publicar era sua seccion constructiva (Figura 33.b).

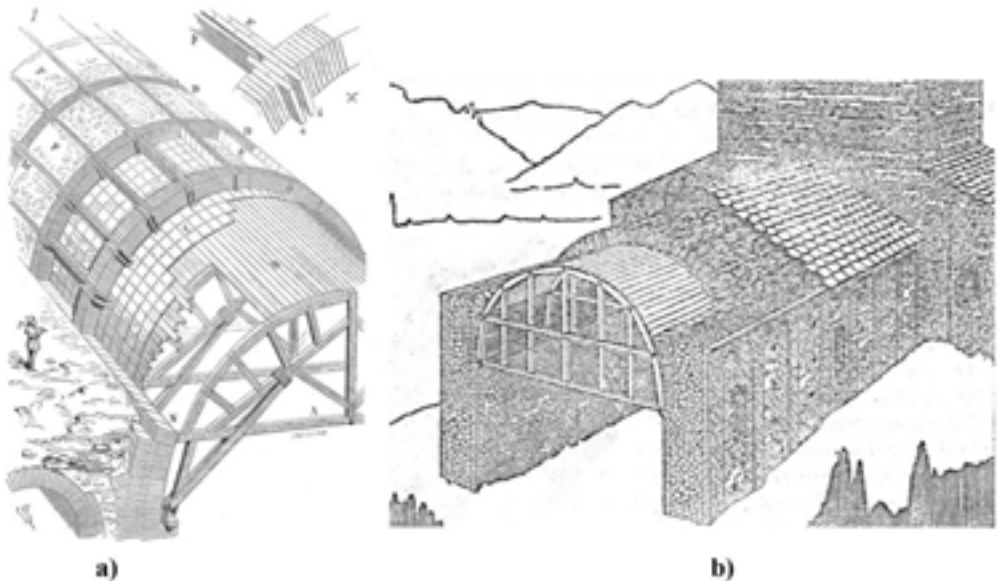


Figura 33. Elements auxiliars entara construccion de vòutes de canon.

Establís, atau, era evolucion des vòutes e era introduccion dera columna en romanica catalan com ua des sues caracteristiques principaus (Puig i Cadafalch 1920, 29-31).

Deth punt d'enguarda tipologic des vòutes de canon, serà Leopoldo Torres Balbás (1888-1960) qui sage d'explicar, en *Bóvedas romanas sobre arcos de resalto* (1946), era transmission en punt d'enguarda roman, en tot passar peth Sud de França tara Peninsula Iberica, d'aguesta forma constructiva (Torres Balbás 1946, 217-262).

Coetanèament, Bonaventura Bassegoda i Musté (1896-1987) plantejarà, deth punt d'enguarda matematic, era teoria elastica, a traùs deth tèrç centrau de vòutes e copòles (Bassegoda Musté 1944, 121-138). Finaument Joan Bassegoda Nonell (1930-2012) expause com es modèls de tradicion romana dèren forma constructiva as vòutes medievaus en Catalonha (Bassegoda Nonell, 1977, 287-382).

4.4 Era terminologia des vòutes dera Val d'Aran

Eth *Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua*, definís era vòuta de canon com “bóveda de superficie generalmente semicilíndrica que cubre el espacio comprendido entre dos muros paralelos”. Atau, era afeccion ad aquest tipe de vòutes s'assòcie a ua forma de directritz rècta damb ua generatritz en forma de semicirconferéncia que se desplace perpendicularament sus aguesta rècta.

Es vòutes dera Val d'Aran son fòrça luenh d'aguesta definicion, pr'amor des sues caracteristiques geometriques. Ei eth cas dera vòuta rebastida de Santa Maria de Mijaran (Figura 34), que non dispause pas d'ua directritz cilíndrica, ne tanpòc de generatritz circulars, com ei eth cas de Sant Blas de Les (Figura 34.b).

Era terminologia de vòuta de canon apareishec enes principaus dictionari d'arquitectura deth sègle XVIII, en tot auer diuèrses matizacions e afeccions respècte ara etimologia actuau dera RAE.

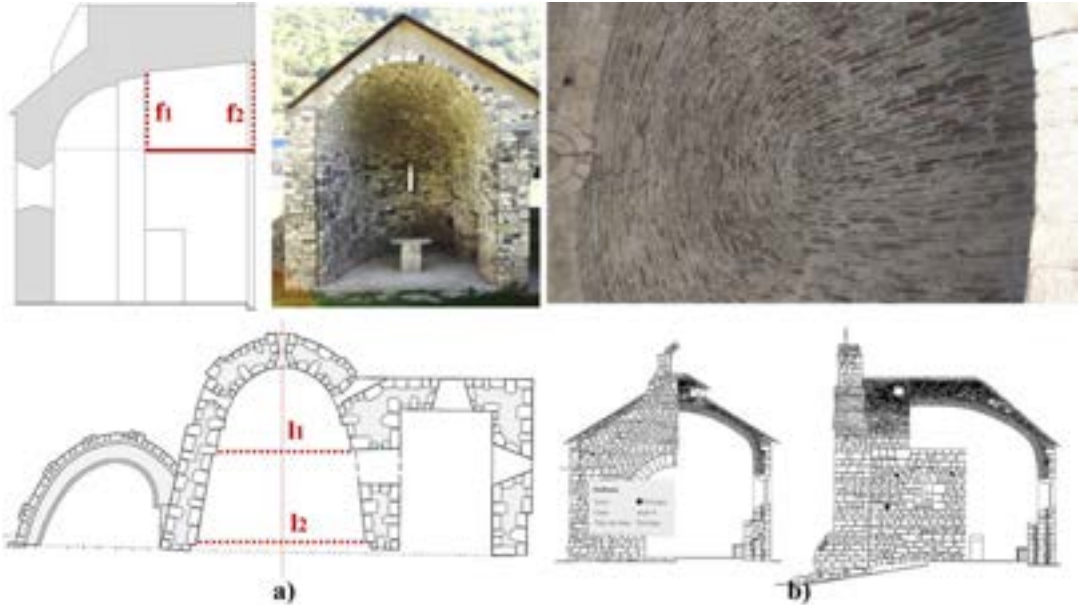


Figura 34. Vòutes de directritz conica e de generatritz rebaishada

Diego Antonio Rejón de Silva (1754- 1796) definís eth concèpte de canon de vòuta, en *Diccionario de las nobles artes* (Rejón de Silva 1788, 49)⁴, com “la parte de bóveda de medio punto que sigue sin interrupción entre dos líneas paralelas”, en tot ampliar era definicion a vòutes peraltades e rebaishades. Benito Bails (1730-1797) definís, en *Diccionario de Arquitectura Civil* (1802), eth concèpte de canon de vòuta e l’assimile ara definicion generau de vòuta cilindrica, en tot díder que “es la que tiene forma de la mitad de un cilindro hueco” (Bails 1802, 15)⁵.

En *Vocabulario de Arquitectura Civil* (1848) de Mariano Matallana (+1890) se definís com “cañón de bóveda cilíndrica”. Ath sòn torn, definís era vòuta

4. Tròç de vòuta de miei punt que regularament seguís sense interrupcion entre dues linhas parallèles. Se nomena tanben atau quan *Fr. Lor. Pri., C.47. la vuelta sea rebaxada o peraltada. Fr. Lor. Pri., C.47. El primero llamamos un cañon de bóveda, que pertenece á cuerpos de Iglesias, y á salas largas, guardando en su vuelta medio punto.*

5. *La que tiene la forma de la mitad de un cilindro hueco. Quando la cara ó frente de esta bóveda es perpendicular á su direcció, se llama bóveda cilíndrica recta.*

cilindrica rècta com “la mitad de un cilindro hueco perpendicular a su dirección circular” (Matallana 1848, 70)⁶.

En *Glosario de algunos Antiguos Vocablos de Arquitectura* (1876), d'Eduardo Mariátegui Martín (1835-1880) ja non apareish eth concèpte de canon de vòuta (Mariategui 1876, 29-30).

Pelayo Clairac y Sáenz (1839-1891, en *Diccionario general de arquitectura e ingeniería* (1877), definís es vòutes en canon en tres grops segontes dera corba dera sua seccion rècta, en tot recéber denominacions analògues ara des arcs. Des rebashades ditz “son más frecuentes que las peraltadas, y cuando en las primeras se reduce la flecha resultan las bóvedas planas”.

Era definicion de vòuta de miei punt a ua terminologia pariona ara actua dera RAE, era quau definís de forma pariona era vòuta cilindrica com era de canon, mès en tot redusir eth sòn emplec entad aqueres de pòca extension o referides a arcs (Clairac y Sáenz Pelayo 1877, 538-549)⁷.

Ena traduccion deth *Vocabulario de Términos de Arte* (1887) de Jules Adeline se ditz qu'eth canon de vòuta ei considerat en tota era sua longada e pòt èster circular, elliptic, en rampa, en espirau, de miei punt, peraltat, rebashat o rècte. Era de miei canon ei definida com era formada damb miei cilindre vuet, en tot qu'era de miei punt se definís com aquera que cindrada ei parièra a un quart d'esfèra (Adeline 1887, 89)⁸.

6. *La que siendo mitad de un cilindro hueco tiene su cara ó frente perpendicular á su dirección circular. La que se forma de medio cilindro hueco, doblado a manera de rosquilla y estriba en un machón que ocupa el centro de la rosquilla y por la parte de afuera en un muro circular ó machones dispuestos en circunferencia.*

7. En tres grops de dividissen es vòutes de canon segontes era corba dera sua seccion rècta, en tot recéber denominacions analògues ara des arcs. (V.) es rebashades an un emplec mès freqüent e generau qu'es peraltades e, quan enes prumères se redusís a zèro era flècha, resulten es vòutes planères. (V. Es articles que seguissen ath present). Vòuta cilindrica. (Cant. Arq.) FR: *Berceau, voûte en berceau, voûte cylindrique.* = ING: *Barrel vault, cylindrical vault, wagon-vault.* = IT. *Volta a botte.* || *era qu'a era forma dera mitat d'un cilindre vuet se ditz mès generaument vòuta de canon, qu'ath sòn article mos referim. Pòden èster rèctes e obliques. Vòuta de miei punt. (Cant. Arq.) p.u. || *Com era vòuta cilindrica o en canon. Non se ten pas aguesta designacion sonque qu'entàs de pòca estienuda o arcs. Veigatz ARC DE MIEI PUNT.

8. De miei canon (Voûte en berceau). Vòuta edificada en tot seguir un semicercle e qu'era sua longada ei màger qu'era nautada. Era vòuta de miei canon a era forma d'un miei cilindre vuet. Tanben se da eth nòm de miei canon tornat as vòutes anulares. De miei punt (Voûte en cul-de-four). Vòuta qu'era sua porcion cindrada ei parièra a un quart d'esfèra. Bères absides, bères cabeçades de capèles acaben en vòutes de miei punt.

4.5. Tipologia des vòutes dera Val d'Aran

Era definicion de vòuta de canon deth sègle XIX va mès enlà d'ua vòuta de directritz rècta e generatrix de seccion semicirculara, en tot poder ampliar e utilizar seccions peraltades o rebaishades.

Per un aute costat, com explique Josep Gudiol i Cunill enes sues *Nocions de arqueologia sagrada catalana* e abans dera sua visita ara Val d'Aran nomentada *Missió Arqueològica de l'Institut d'Estudis Catalans als Pirineus* (1907), ena evolucion dera vòuta romanica: *La volta de canó románica prompte presentá varietats. Per poguer ferla més moguda, á fi de que no presentés una superficie interior massa senzilla, y també potser per poguer la fer menos costosa, ja que no devía donarseli tanta massa, varen afegirshi los archs torals. Cap al sigle XII l'arch y la volta de canó á Catalunya comença á presentarse apuntada, usantse indistintament ab la semicircular á voltes en un mateix edifici.* (Gudiol 1902, 204-205)⁹ (Figura 35.b).

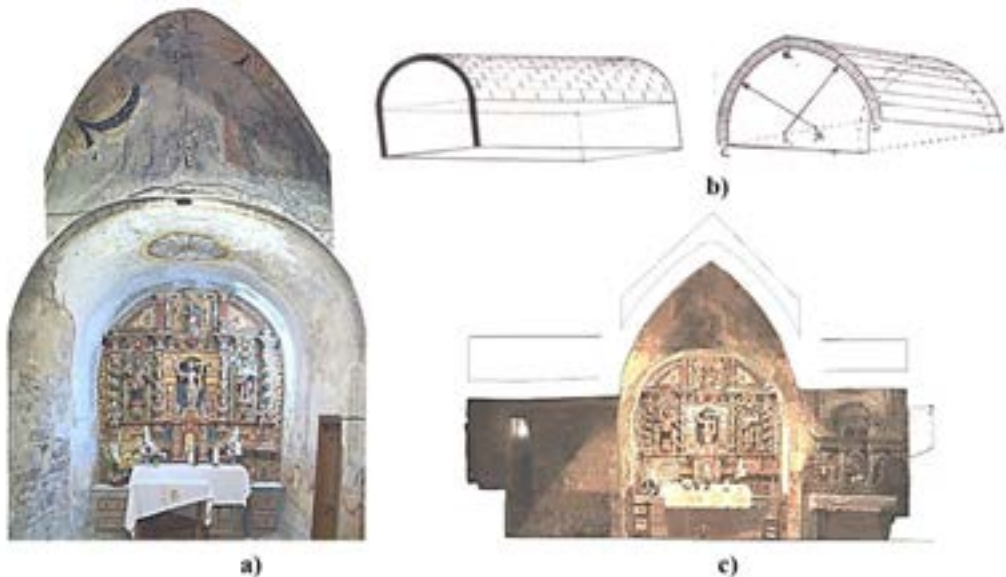


Figura 35. a) Fotogrametria vòutes de Sant Ròc de Begós [14]; b) evolucion vòuta romanica segontes Josep Gudiol i Cunill enes sues *Nocions de arqueologia sagrada catalana* (1902); c) Seccin de San Ròc de Begós [14].

9. An incidit sus aguest punt (Lorés; Guardia 2014, 51-65)

Aguesta circumstància e cambi formau ena generatriz des vòutes apareish perfèctament definida enes vòutes de San Ròc de Begós [14], ues de seccions apuntades e d'outes de canon rebaishat (Figura 35.a), atau com s'obsèrve ena seccion constructiva d'aguesta glèisa en cambi deth presbitèri ara nau (Figura 35.c)

Es metòdes topografics tradicionaus sigueren utilizadi enes ans setanta per Joan Bassegoda Nonell (1930-2012) entath lheuath realizat entara investigacion estructurau de Santa Maria d'Arties, a on ja advertiren es grans deformacions sus ua irregulara geometria. Aguesta experiència la publicuèc Joan Bassegoda Nonell ena ponéncia deth *XVIII Congresso di Storia dell'Architettura* (Bassegoda Nonell 1974, 33-64), a on establic qu'es anomalies formaus constituïssen ua des caracteristiques dera arquitectura romanica que ser produsís en Catalonha.

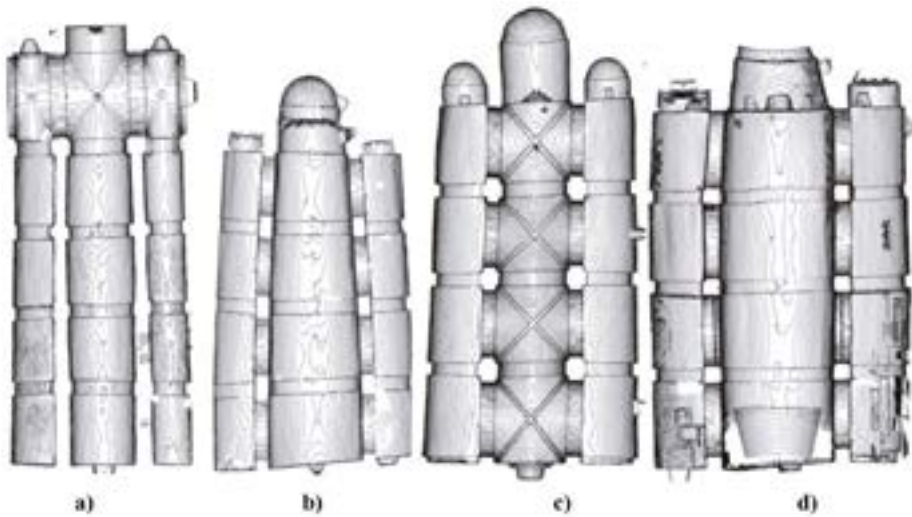


Figura 36. Anomalies geometriques enes vòutes dera Val d'Aran.

En bèri casi se plantegen damb directritz cilindrica, com en Santa Maria de Vilamòs (12) (Figura 36.a), en d'outes, clarament coniques, com Santa Eulària d'Unha (38) (Figura 36.b), d'outes, pera combinason de vòutes, com es de quart de canon damb era de crotzeria, en Sant Andrèu de Salardú (37) (Figura 36.c).

En d'aves, a on es anomalies geometriques produsissen formes non convencionaues coma conseqüència de deformacions, com en Santa Maria d'Arties (34) (Figura 36.d). es granes deformacions d'Arties ja auien cridat era atencion a Joan Bassegoda Nonell uns ans abans deth del *XVIII Congreso di Storia dell'Architettura* (1974), en tot publicar per prumèr còp en diari La Vanguardia era qüestion des granes deformacions des sues vòutes, e que pòden amiar ara roïna. Circonstància avertida tanben per Puig e Cadafalch en 1907, en tot atribusir es causes ath problèma de cimentacions. Publique era imatge dera seccion dera glèisa damb es sues deformacions e desplome des pilars (Bassegoda Nonell 1972, 51) (Figura 37.b).

4.6. Tecniques d'aproximacion e analisi constructiva

Era participacion de Luis Villanueva Bartrina en estudi de Santa Maria prudusís era publicacion de *Las bóvedas de cañón* (1974), a on plantejarà e diboisharà es problèmes geometriccs es vòutes. Ena publicacion diboishe era seccion teorica de Santa Maria (Figura 37.a), ath còp qu'era sua seccion deformada (Figura 37.b).

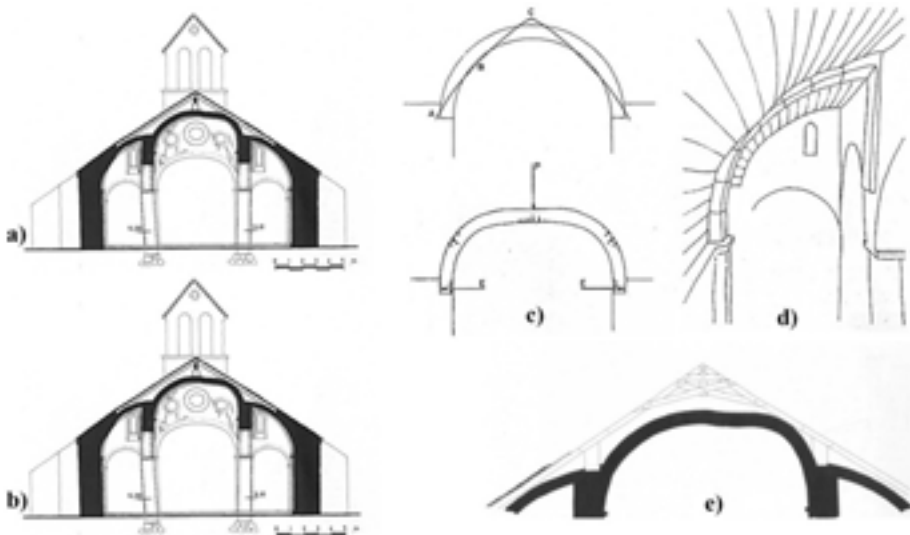


Figura 37. Granes deformacions ena estructura de Santa Maria d'Arties. Diboishi Luis Villanueva Bartrina (1974)

Analise, a partir dera teoria elastica, eth procès de trincament dera vòuta romanica a trauès des sues articulacions (Figura 37.c). Ar encòp que detectarà es deformacions funiculars de Santa Maria d'Arties (Figura 37.d), en tot prepausar era solucion projectuau adoptada entara sua intervencion (Figura 37.e) (Villanueva 1974, 145-158).

En 1976 se publique ena revista *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo* era que se didec *Primera fase de Restauración de la Iglesia Parroquial de Santa Maria de Arties*. Eth projècte s'auie encomanat en mai deth 1971, per part dera qu'alavetz se didie Dirección General de Bellas Artes, a trauès dera Comisaria Nacional del Patrimonio Artístico, as arquitectes Juan Bassegoda Nonell e Guillem Sáez Aragonès. Se recuelh aciu e se difon ath colletiu d'arquitectes part deth materiau publicat anteriorament per Juan Bassegoda Nonell (Sáez 1976, 63-71). Ena avaloracion e identificacion deth patrimòni bastit, er emplec des techniques de mesuratge dirècte entath lheuath arquitectonic realizat mejançant techniques tradicionaus de topografia, damb aplicacion de metòdes *Computer-aided design* (CAD), a estat era metodologia scientifica mès emplegada entà conéisher era geometria d'aguestes bastisses a compdar dera mitat des ans 80 (Recuero 1988, 129-133).

Es donades obtengudes en dus dimensions an ua limitacion, pr'amor que non permeten pas ua modelizacion der objècte en forma tridimensionau que sigue capabla de balhar uns resultats damb ua precision acceptabla entar estudi generic dera construccion. Aguesti metòdes sigueren emplegadi entath lheuath entara intervencion estructurau realizada en Santa Maria d'Arties (2009), damb era analisi d'aguesta construccion mejançant ua simulacion damb elements finits (FEM), realizada per Joan Josep Polo i Berroy, en tot sajar atau de justificar era solucion estructurau prepausada en projècte de restauracion (Polo; Cots 2009, 75-103) (Figura 38.a).

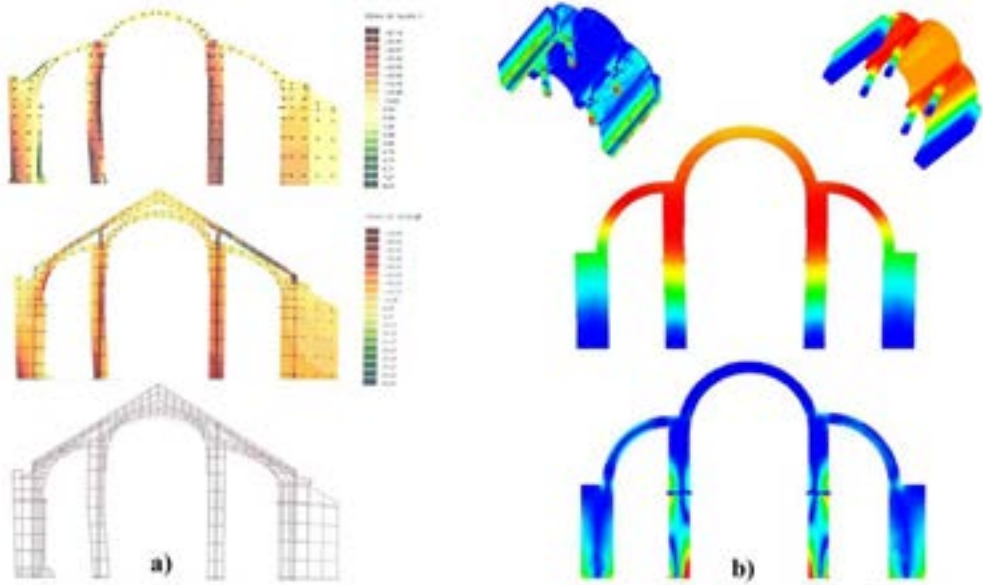


Figura 38. Simulacion dera glèisa de Santa Maria d'Arties mejançant elements finits (FEM)

Ua prumèra aproximacion ath l'heuat damb tecnicas de captura massiva de donades se realizèc en Santa Maria d'Arties (2013). Gràcies as donades obtengudes per fotogrametria se realizèren es prumèras investigacions sus es deformacions en aguestes bastisses. Atau, se remèrque er equilibri com ua des valors singulares deth Patrimòni dera Val d'Aran. (Lluís i Ginovart; Costa 2014, 102-111). Era analisi des desaploms darà lòc ar article *Large deformations on a XII Century Romanic church at Val d'Aran (Spain)* a trauès des calcul d'elements finits d'utilitat dubèrta damb un software Salome Meca (Costa; Lluís i Ginovart; Fortuny; Coll, 2014, 221) (Figura 38.b).

Aguesta prumèra experiència permetec d'identificar es limitacions dera tecnica e, a d'aquíu, se decidic de realizar ua topografia massiva damb un escaner laser terrèstre de totes es glèises dera Val d'Aran. Es trabalhs se realizèren pendent cinc campanhes en periòde 2014-15. Coma conseqüència d'aguestes campanhes, se realizèren es prumèri estudis sus era estabilitat e er equilibri d'aguest amàs de glèises, *Masonry strain in the Vall d'Aràn churches* (Lluia i Ginovart; Coll; López 2015, 443-455) a on se comprovèc era tipologia des deformacions des vòutes (Figura 39).

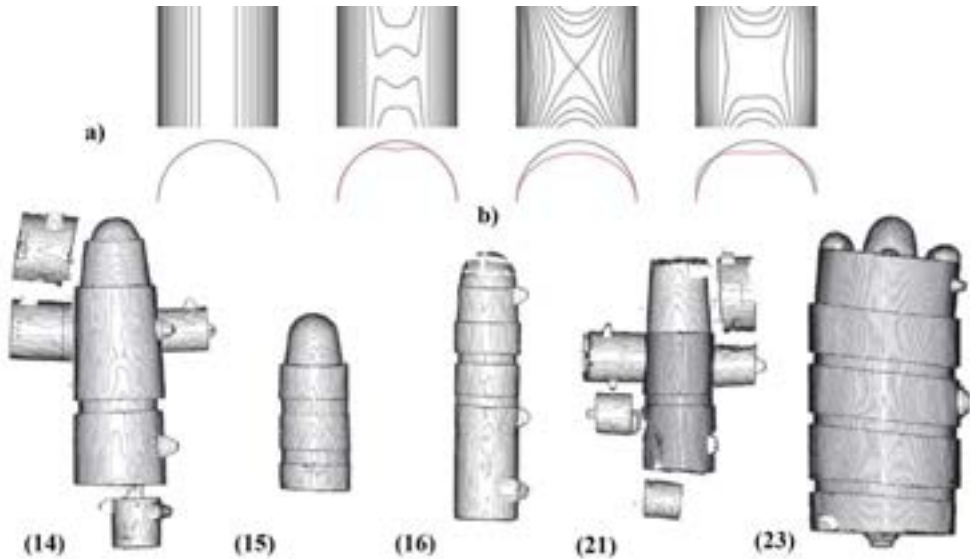


Figura 39. a) Tipologia de deformacions de vòutes; b) Vòutes de Sant Ròc de Begós (14), Sant Miquèu de Vilamòs (15), Sant Joan d'Arròs e Vila (16), Sant Pèir de Betlan (21), Sant Estèue de Betren (29).

Posteriorament se desvolopèc er encastre teoric entà poder determinar es seccions funiculars de bères ues des sues vòutes en *Las iglesias románicas del Valle de Arán y sus secciones antifuniculares* (Lluis i Ginovart; Coll; López 2016, 386-393) que ja auie plantejat Luis Villanueva Bartrina en 1974, damb ua *Revisión de la teoria de fábrica en las iglesias románicas del Valle de Arán* (Lluis i Ginovart; López-Piquer 2016, 27-42). D'aguesta manèra se prepausèc era comprovacion de qu'aqueres vòutes qu'an aquestes formes funiculars an de contier en groish dera sua seccion constructiva aumens ua catenària. Era mecanica operativa dera aplicacion dera teoria dera analisi limit ençà, e que pòt èster aplicada enes formes dimensionaus sus eth plan perpendicular ara directritz dera vòuta, a estat plantejada dejà per Thomas E. Boothby (2001) (Boothby 2001, 246-256) e per Santiago Huerta (2005) (Huerta 2005, 73-89).

Tanben mejançant era aplicacion dera analisi des poligons funiculars e per tant de precèptes tridimensionaus iniciaument ja definites per Dermot O'Dwyer (O'Dwyer 1999, 187-197) e desvolopadi mejançant programacion

informatica per Block; Ciblac; Ochsendorf 2006, 1841-1852. Damb aguestes bases mèns generalistes se completèc damb era *Revisión de la teoría de fábrica en las Iglesias románicas* (Lluis i Ginovart; López-Piquer 2017, 63-72), eth desvolopament des vòures funiculars e qu'ei invèrs ara forma d'aguestes, atau com apareishen ena Mair de Diu d'era Purificacion de Bossòst [6] (Figura 40), Santa Maria d'Arties [34] (Figura 41), e Santa Eulària d'Unha [38].



Figura 40. Vòutes funiculars en Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 41. Vòutes funiculars en Santa Maria d'Arties [34]

5. ER EQUILIBRI E GRANES DEFORMACIONS

Entara analisi dera maçonaria romanica dera Val d'Aran s'utilizèc un escaner laser P20 de Leica damb temps de vòl de nauta velocitat milhorat damb era tecnologia Waveform Digitising (WFD). Er ample de banda ei de 808 nm (invisible)/658 (visible) e aguesta ei de classa 1 (IEC60825:2014) (Figura 42.a). Era ràtio der escaneg ei de 1000000 punts e eth tapatge a 100 mètre ei de 9.0 mm en colors neres, 4.30mm en colors grises, 1.5 mm en colors blanques. Eth camp de vision ei de 360° en orizontau e 270° en verticau. Er escaner pren donades de distància com de colors des paraments estudiadi. Eth reng de temperatures en qué se pòt operar ei entre -20°C i +50°C. Pòt operar entre era lum complèta e era absoluta escuritat e non li afècte pas era umiditat (IP54 (IEC60529)).

Es donades geometriques e fotografiques son sauvades en disc dur e totes es operacions son ordenades en ua pantalha tactila damb un interfaça intuïtiu. Es escanegi s'an realizat damb un reng de distància d'entre (0.10-100 m) damb ua resolucio de 0,013 mm as 10 m, en tot considerar qu'en toti es casi era distància d'escaneg ei pròp des 5 mètres e se considèrè qu'era mieja d'error ei en 0,006mm¹⁰. Un còp realizat er itinerari topografic s'artenh un archiu d'extension (.imp) e grana capacitat damb informacion deth conjunt de punts e imatges en tot passar ath pòstprocessat damb era union des diuèrsi conjunts de punts segontes un sistèma de coordenades comunes. Posteriorament ara union, eth protocòl obligue a "combinar" es diuèrsi conjunts de punts en un (Bucksch; Lindenbergh 2008, 115-127).

Entara execucion d'aguest pas s'a utilizat un programa informatic especific entara visualizacion e edicion de donades. Era union de grops generadi pendent eth procès de prenuda de donades associat ar escaner laser se realizèc mejançant eth programa Cyclone (Figura 42.b).

10. Leica Scan Station P20, precision en 3D 3mm a 50m; 6mm a 100m, error linhau mendre o parièr a 1mm. Precision angulara 8" orizontau/8" verticau. Desviacion estàndard en aqueriment de dianes 2mm a 50m. Compensador de doble èish de resolucio 1", reng dinamic +/- 5', precision 1,5". Ultra-high speed time-of-flight scanner, longada d'onda 808 nm (invisible) / 658 nm (visible). Laser classa 1 (IEC 60825:2014), reng de 120m a 0,4m. camp de vision de 360° orizontau / 270° verticau. Miralh de rotacion verticau sus basa de rotacion orizontau. Camera incorporada de 5 mp per cada 17°x17° imatge en color. Nivèu laser classa 1 (IEC60825:2014).



Figura 42. Prenuda de donades enes glèises romaniques dera Val d'Aran, Maria d'Arties [34] e Sant Andreu de Salardú [37]

A partir d'aguest punt, ei de besonh passar per un procès de malhat que mos permeterà de realizar diuèrses accions: milhorar es condicions grafiques, en poder aplicar sus era malha ua imatge realizada damb ua camera fotografica (Zalama; Gómez; Llamas; Melero 2010, 381-392). Aguest procès ei fòrça util entà arténher un volum realistic dera bastissa, mès s'a de tier en compte que segontes era tecnologia actua, entà arténher un esquiç renderizat cau simplificar eth volum iniciau. Es programes actuaus com eth 3D Reshaper (2016) que permet d'editar es conjunts de punts e generar ua malha tipe TIN (*Triangulated Irregular Network*). A partir des punts seleccionadi, damb es opcions de reduccion deth volum 3D a 2D s'artenhen es sues seccions horizontaus o verticaus mès representatives. Era densitat deth malhat s'ajuste a partir d'ua mesura mieja de triangle e 2,5 cm.

Com tanben a trauès deth programa Google SketchUp (2019). Google Earth es un (GIS) Geographical Information System que permet ua representacion virtua deth glòbe terrèstre a trauès de mapes, vistes satellitau e modèls 3D. Era estimacion der error metodologic absolut entre dus punts analisadi a trauès d'aguest procès ei determinada en (0,010-0,005 m).

Aguesti metòdes indirèctes reconeishudi coma *Massive Data Capture* (MDC), produsissen archius damb un gran nombre de donades, *pixels* o *point cloud* (Angelini; Gabrielli 2013, 379-394). Es escaners laser utilizen eth sistèma aperat “triangulacion optica”, eth quau se base ena capacitat dera matèria entà reflexar era radiacion electromagnetica. Aguesta caracteristica depen autant dera composicion atomica des còssi com der angul d'incidència der arrai ena superfícia. Aguesta radiacion qu'incidís ena superfícia d'un còs ei parciaument absorbida (α), reflexada (ρ) e transmetuda (τ), ei a díder, era senhau reflexada ei capturada per un sensor d'imatge en estat solid (CCD), ubicat a ua distància preestablida e calibrada, en tot originar un sistèma cartesian (x, y, z) e en tot aportar donades com era valor d'intensitat dera refelctància e era color deth punt detectat (RGB).

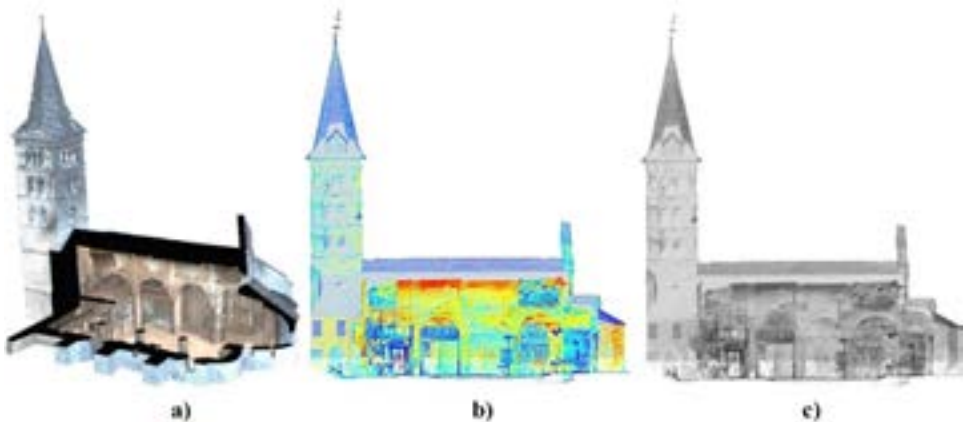


Figura 43. Caracterizacion grafica dera prenuda de donades per metòdes indirèctes de Santa Maria d'Arties [34]

Un exemple ei era caracterizacion de Santa Maria d'Arties [34] (Figura 43.a). en an 2016 se processèc eth conjunt de punts damb eth software Cyclone, e eth programa 3DReshaper, que s'utilize entà obtier era malha tridimensionau damb ua distància mieja de punts de 0,050 m, atau com ua mesura deth triangle entà detectar vuets de 0,1000 m.

Eth modèl der interior dera bastissa a 80.582 punts e 156.449 triangles, e eth der exterior a 314.650 punts e 609.472 triangles. (Figura 43.b).

Er auanç programatic hec qu'en 2019 eth conjunt de punts se processèsse damb eth plug-in Undet del software Google SketchUp 2019. En aguest moment eth conjunt de punts non se convertic a malha pr'amor qu'aguest plug-in trabalhe damb punts, non pas damb malhes. Es modèls damb qué se trabalhèc entad aguesta comprovacion an ua malha de punts en coordenades (x, y, z) que van de 0,06 a 0,09 m (Figura 43.c).

5.1. Metodologia entara analisi constructiva

Era propòsta metodologica entà ua representacion d'aguestes bastisses se genèrera seccion longitudinal e se definís com era produsida per un plan de referéncia (τ) perpendicular ar orizon astronomic d'ua latitud (ϕ), e que conten un vector de regressio der azimuth (A_p) des punts singulars (c_i) des seccions transversaus (Figura 44). Catacterizada peth punt mèns naut dera boca deth presbitèri, definit coma punt (s1), e eth dera façada opausada (s2). (Lluis i Ginovart; López Piquer; Lluis-Teruel 2021, 70-79).

Enes tipologies de planta basilicau seccionaram : pes pilars (ω_{pi}), a on era vòuta a mèns rigidesa. Pes punts mieis deth van estructurai (ω_{vi}), a on aguesta a mens rigidesa e pes seccions extremes (ω_1) y (ω_2) (Figura 45).

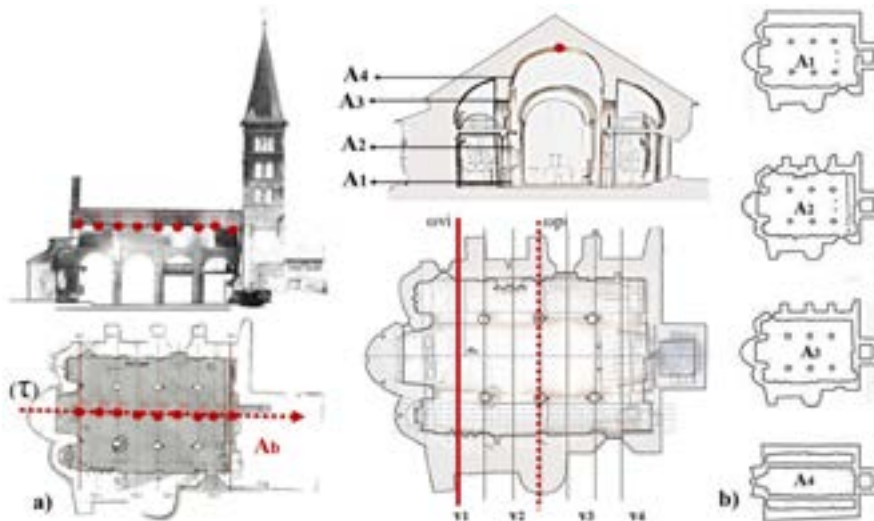


Figura 44. Metodologia dera analisi des glèises dera Val d'Aran. Santa Maria d'Arties [34]

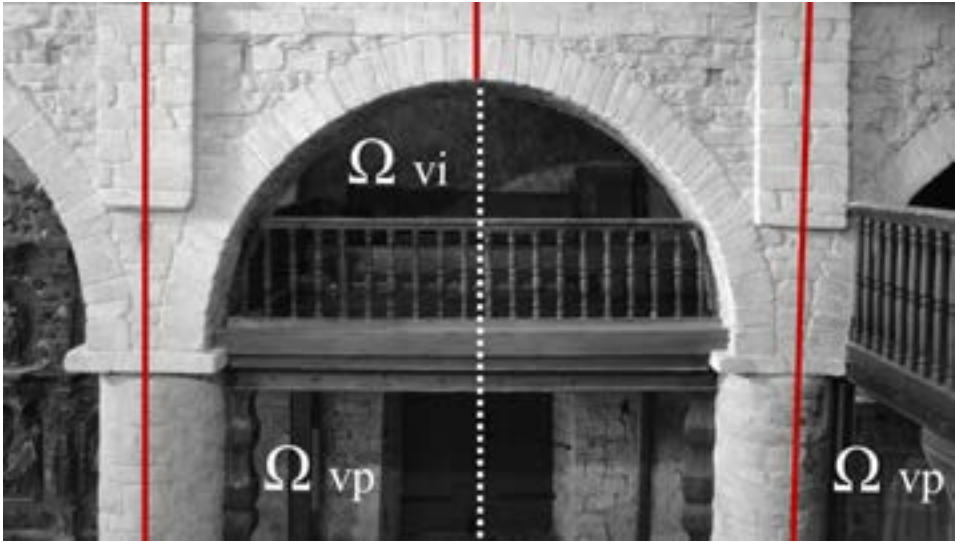


Figura 45. Metodologia dera analisi des seccions enes glèises dera Val d'Aran en foncion dera rigidesa. Santa Maria d'Arties [34]

Era metodologia des seccions transversaus seràn es sues extremes era ($\omega 1$), era mès propèra ara absida, e era ($\omega 2$) ena façada opausada. Es seccions que conten en un plan perpendicular ar orizon astronomic (ωpi), d'ua latitud (ϕ) e per dus punts (Pno) que son es centròides des dus pilars opausadi ara direccion dera nau, ena sua enterseccion damb eth plan deth solèr. Finaument, es seccions que conten en un plan perpendicular ar orizon astronomic (ωvi), d'ua latitud (ϕ) e per dus punts (Pno) que son es claus des dus arcs formèrs opausadi ara direccion dera nau.

Entà poder determinar es possibles esbauçaments d'aguestes construccions podem determinar ua sèria de seccions orizontaus, en tot perméter atau de projectar es punts importanti entà representar es plantes en diuèrses seccions, damb quate encastres d'estudi. Eth prumèr ei eth que supausam iniciaument coma indeformable A1. Ei era interseccion des elements verticaus sus eth solèr dera bastissa. Aguest encastre lo representam graficament per un plan $\pi 1$ que talhe ar encastre A1 en sòn punt de major còta en interval $[a0-a1]$. Eth dusau encastre A2 ei determinat per un plan $\pi 2$, que se place enes punts plaçadi ara madeisha nautada ($a2$). Ei eth lòc

geometric a on eth mur exterior a mens rigidesa, coïncidís normaument damb eth plan plaçat ara nautada des hiestraus.

Eth tresau encastre A3 lo determinen es plans definits pes impòstes des pilars des naus, segontes er interval $[a3-a4]$, en tot plaçar eth plan $\pi3$ que passe peth punt mèns baish der encastre A3, definit com $(a3)$. Eth quatau encastre A4 lo definissen es punts d'arringada des vòutes en interval $[a5-a6]$. Se represente per un plan que passe peth punt mèns baish der encastre $(a5)$.

5.2. Teoria der equilibri entara analisi arquitectonica

Entara analisi des vòutes araneses s'a de partir dera teoria generau e classica qu'eth romanica se bastís damb vòutes de canon de miei punt. Aguesta consideracion ei ipoteticament corrècta quan aquestes estructures avòutades an ua geometria regulara en çò que tanh ara directritz, qu'a d'èster cilíndrica, e era generatritz o seccion a d'èster semicirculara e, per tant, condicions geometriques. D'autres condicions constructives, qu'emanen dera condicion de monolitisme s'artenhen damb eth trabat dera mampostaria, en tot depèner d'aguesta e deth remplit de mortèr des juntes. Damb aquestes condicions teorica e ipoteticament optimes se pòt determinar qu'er empossament dera estructura avòutada ei perpendiculara ara sua directritz, o sigue, ara sua direccion principau (Figura 46.a). Atau determinam er empossament dera vòuta com E_b , parametrizada com $E_b (E_{bx}, E_{by}, E_{bz})$.

Era vectorizacion d'aguest empossament, en tot supausar vòutes omogenèses e directritz constanta, referida a çò establít pera teoria d'August Choisy, (Choisy 1873, 31-47), (Choisy 1883, 19-43), serie formulada com $E_b (E_{bx}, E_{by}, 0)$.

Era generalizacion d'aguestes donades obtengudes ei coïncidentia damb bèra ua des apreciacions qu'an establít era màger part d'istorians der art e dera bastenda, en tot apropar-se ath modèl dera tipologia dera vòuta deth quatau tram de Sant Miquèu de Vielha (Figura 46.d).

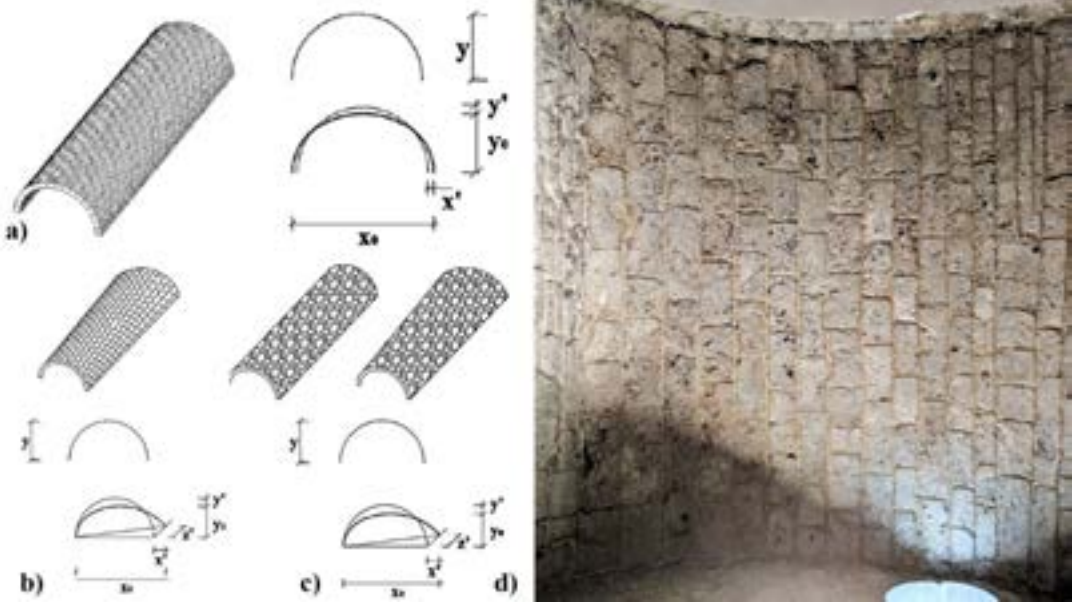


Figura 46. Caracterizacion des vòutes de con; a,b,c). Tendència as desplaçaments; c) Vòuta de Sant Miquèu de Vielha [28]

En cas dera Val d'Aran se compròve a trauès des metòdes indirèctes de prenuda de donades d'aguestes glèises romaniques qu'en fòrça casi era geometria dera planta que la genèra non ei pas regulara. Per açò pòden engendrar vòutes que non son cilindriques e son coniques, com teorizaue de bèra manèra Joan Bassegoda (Bassegoda Nonell 1974, 33-64)(Figura 46.b). Per un aute costat, era estereotomia e despeçatge de mampostaria entara sua construccion non dispause pas d'ua distribucion regulara, com tanben establie Josep Puig i Cadafalch (Puig i Cadafalch 1901, 660-665) (Figura 46.c). Es vòutes dera Val d'Aran son majoritàriament de mampostaria ordinària e irregulara, dispausades damb maçonaria e pr'amor d'açò s'aparten dera classica construccion regulara (Figura 47).



Figura 47. Vòutes de mampostaria irregulara damb maçonaria Santa Maria d'Arties [34]

S'a metut tanben de manifèst era diferéncia de rigidesa entre es supòrts des vòutes, murs exteriors e arcs, atau com apuntaue Luis Villanueva (Villanueva 1974, 145-158) (1974). Agustes tres condicions s'aparten totaument de çò establít coma teoria generau des empossaments de vòutes omogenèses damb directritz cilindrica e definides aué en dia pera RAE.

Tanben n'ei respècte ar estudi des deformacions des pilars e era sua rigidesa, que ven influída pera apreciació de Josep Puig i Cadafalch a trauès de *Les iglesies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls De Bohí y d'Aran* (Puig i Cadafalch 1908, 119-136).

En quinquèvolha des ipotèsis anteriores, o dera sua combinason, es empossaments actuen en tres direccions (x, y, z) e era resultanta non serà pas perpendiculara ara directritz. Era vectorizació generau se poderie establir a trauès des empossaments enes vòutes; $E_b (E_{bx}, E_{by}, E_{bz})$, en tot poder provocar deformacions enes tres direccions des èishi (x, y, z) ; e qu'es sues deformacions s'establissen com $df (df_x, df_y, df_z)$. Es vòutes dera nau centrau s'apuen sus es murs des arcs toraus o cingles, qu'ath sòn torn

ac hèn sus es pilars dera nau centrau. Per aquerò aguesti pilars pòden plantejar deformacions sus es tres plans, establides com $df_p(df_{px}, df_{py}, df_{pz})$ e tanben d'astes deformacions a traùes de vòutes e deformacions de pilars sus es murs exteriors, de manèra $df_m(df_{mx}, df_{my}, df_{mz})$. Damb aguesta caracterizacion se pòden explicar es granes deformacions des vòutes de Santa Maria d'Arties [34] (Figura 48).



Figura 48. Vòutes damb granes deformacions ena vòuta dera nau centrau de Santa Maria d'Arties [34]

Damb er objècte de determinar era geometria, s'establís com metodologia eth seccionat dera bastissa pes plans singulars des vòutes. Eth plan (τ) determine era directritz dera vòuta e (ω_1) es diuersi plans transversaus ara directritz (τ). Es seccions (ω_1) varien en foncion dera tipologia dera planta, ben sigue de planta basilicau de tres naus o de nau unica.

Entà determinar era prumèra classificacion dera tipologia des vòutes, ja siguen cilindriques o coniques, s'establiessen ues seccions extremes, era (ω_1), era mèis propèra ara absida, e era (ω_2), ena façada opausada. S'es generatritz (ω_1) (ω_2) son omològues en lum (l), flècha (f) e corbatura (c), es vòutes seràn de directritz cilindrica, se non seràn coniques. Per

ua auta part, s'a de determinar s'era generatriz dera vòuta ei de seccion semicirculara, peraltada o rebaishada (Figura 49.a).

Enes tipologies de planta basilicau se pòt seccionar pes pilars (ω_{pi}), a on era vòuta a ua màger rigidesa, pes punts mieis deth van estructurau (ω_{vi}), a on aguesta a mens rigidesa, e pes seccions extremes (ω_1) y (ω_2) (Figura 49.b).

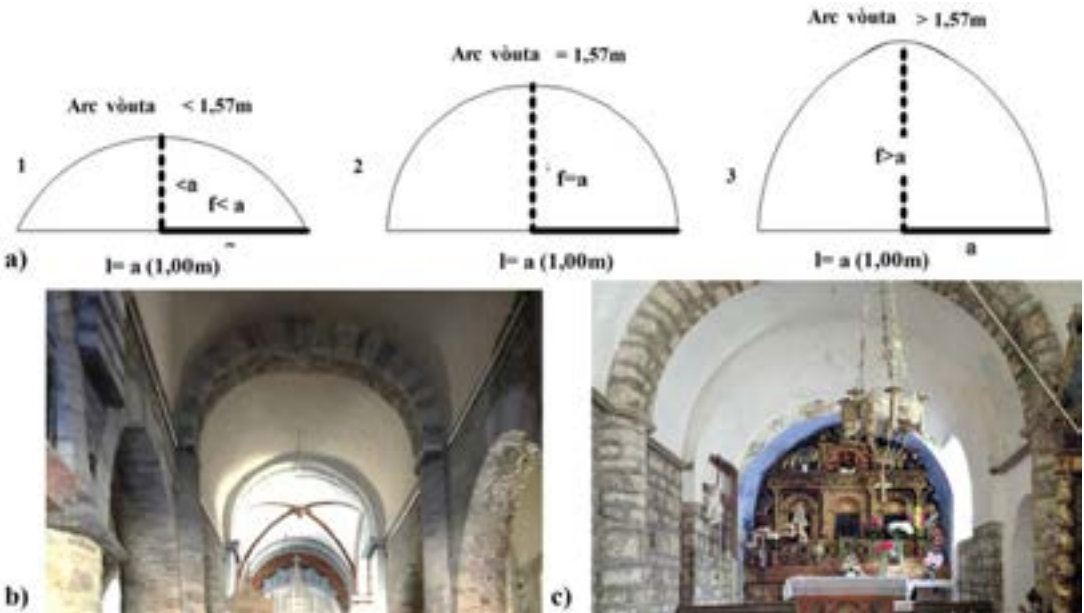


Figura 49. Tipologies de vòutes. a) Relacion damb granes deformacions de Santa Maria d'Arties [34]

Enes glèises de nau unica era rigidesa estructurau ei mès pariona entre eres qu'enes de planta basilicau. Damb açò, es seccions se realizan pes arcs de ressaut (ω_{ai}), pes punts mieis d'aguesti (ω_{vi}) e pes seccions extremes dera bastissa (ω_1) y (ω_2) (Figura 49.c).

Entara caracterizacion e analisi des deformacions des pilars deth romanica aranés s'analisen es sèt glèises de planta basilicau damb deformacions: Santa Maria de Cap d'Aran [41], Santa Eulària d'Unha [38], Sant Andrèu de Saladú [37], Santa Maria d'Arties [34], Sant Fèlix de Vilac [24], Santa Maria de Vilamòs [12] e Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6], a on s'enfatizen milhor es granes deformacions d'aguesti elements (Figura 50).

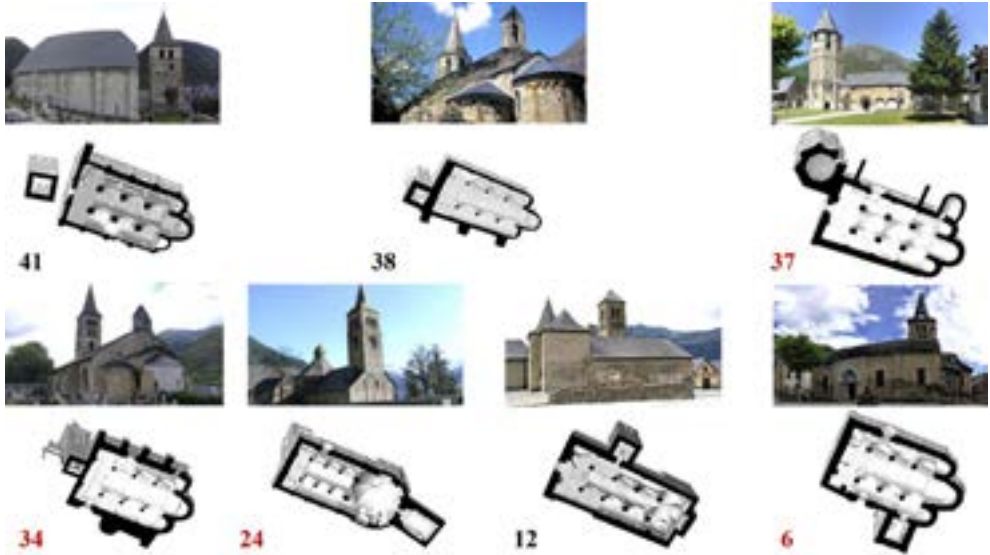


Figura 50. Glèises romaniques dera Val d'Aran damb planta basilicau

Era geometria dera seccion des sòns pilars ei majoritàriament cilindrica, a excepcion des crocifomes de Sant Andreu de Salardú [37] e Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]. De ua auta part, eth sòn moment d'inèrcia (I) ei capdau entath sòn comportament estructural. N'ei per çò que tanh as possibles èishi de virament dera pèça en foncion dera sua geometria e dera component des empossaments actius e passius qu'actuen sus eth pilar (Figura 51).

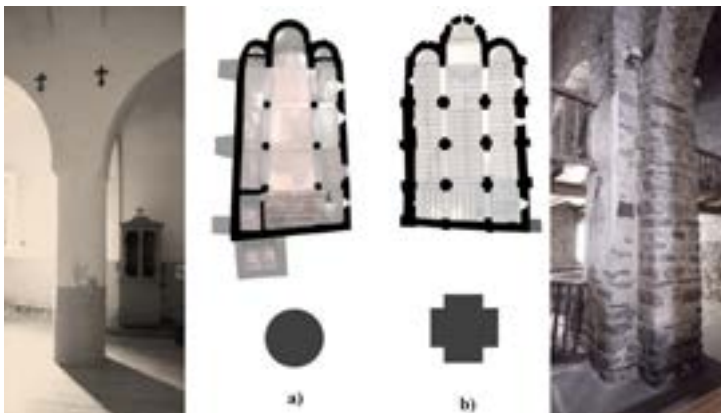


Figura 51. Tipologia des pilars. a) Santa Eulària d'Unha [38]; b) Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Pera sua part, es deformacions des pilars vieràn provocades en foncion dera condicion deth sòn monolitisme. Atau, es deformacions son restacades dirèctament ath despeçatge deth pilar, e tanben en foncion der empossament $E_p (E_{px}, E_{py}, E_{pz})$.

En bèri casi era direccion ei en foncion dera distribucion intèrna des empossaments ena mampostaria e eth mortèr (E_{pz1}), e en d'auti eth direccionament dera geometria irregulara des vòutes (E_{pz2}) pòt tendir a equilibrar-se ($E_{pz1} - E_{pz2}$) o ben justament ath contrari ($E_{pz1} + E_{pz2}$). Un pilar absolutament rigid, de sonque ua pèça, tendís a realizar ua virada sus era sua basa. Era cabeçada deth pilar se desplace en sens der èish (x) entar exterior, pr'amor der empossament principau orizontau (E_x), (Figura 52.a). Mès tanben a tendéncia a auer un desplaçament respècte ar èish (y), en tot obtier un descens der extrem exterior e, ath madeish temps, per un desplaçament sus er èish (z) degut a E_{bz} e en tot establir ues deformades;

$$df_p(df_{px}, df_{py}, df_{pz})$$

S'es pilars son bastidi damb materiau mès descontinú e damb abondoses juntes de maçonaria, i a ua tendéncia generau a que se traslade pera part superiora, d'aquiu que non i age Δdf_{py} . Se se supause qu'es extrems des vòutes non an patit assetiaments diferenciaus e, per tant, i a devarada d'aguesti extrems, es deformacions produsides serien de tipe ($\Delta y=0$); en determinadi casi pòt èster ua accion combinada de viraments e translacions, per çò qu'era caracterizacion generau se harie per intervals I_1 ; $df_p(df_{px}, df_{py}, df_{pz})$, mientras que en I_2 ; $df_p(df_{px}, 0, df_{pz})$. En tot qu'en I_2 ; $df_p(df_{px}, 0, df_{pz})$. Tanben se pòden ocasionar desplaçaments ($\Delta y > 0$) pr'amor des sues situacions de contacte entre eth mortèr e era mampostaria, o era friccion entre es punts entà on s'a desplaçat eth mortèr (Figura 52.b).

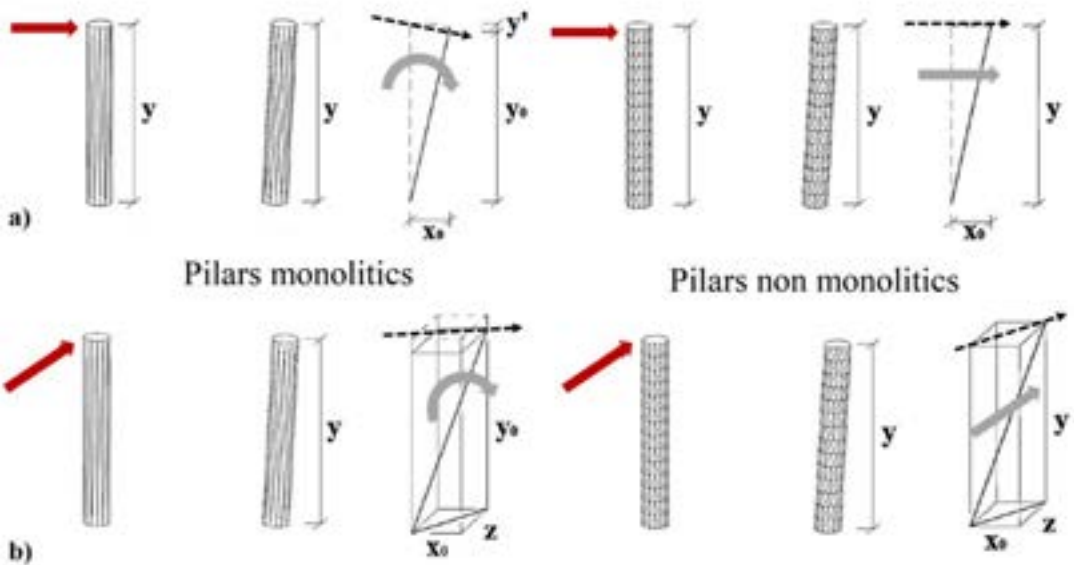


Figura 52. a). Caracterizacion des pilars 2D; b) . Caracterizacion des pilars 3D

Coma critàri generau podem establir qu'existissen ues deformacions sus eth pilar, df_p (df_{px} , df_{py} , df_{pz}). Entà determinar era forma de defomacion deth pilar se pòden establir es deformacions sus era seccion d'aguest element. Ua manèra de determinar eth desplaçament deth pilar ei analisar eth desplaçament qu'a agut eth centròide d'aguest element a trauès de n seccions (n_s).

Entad aquerò sonque cau determinar es coordenades (x_{ci} , y_{ci} , z_{ci}) a trauès des seccions (n_s). Damb aquerò se determine ua matritz de punts, en tot partir deth centròide iniciau sus eth plan deth solèr que non a agut deformacions (x_{co} , y_{co} , z_{co}), enquiath plaçat sus era impòsta (x_{cs} , y_{cs} , z_{cs}). Aguesti punts determinen ua foncion $f_{(ci)}$, e poderà determinar era tendéncia a plan de regression (τ) que caracterizarà era aproximacion d'un vector de desplaçament deth van estructurai qu'actue sus eth pilar. Era analisi d'aguest vector de desplaçament determinarà tanben er angle d'incidéncia sus era directritz dera vòuta de forma qu'er angle (ω) deth plan (τ), poderà èster:

- a) $(\omega_\varphi) = 90^\circ$, perpendicular ara directritz φ_1
- b) $(\omega_\varphi) < 90^\circ$, desplaçament entara absida
- c) $(\omega_\varphi) > 90^\circ$, desplaçament entara façada



Figura 53. Detalls de pilars non monolitics d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Es pilars deth romanica dera Val d'Aran non son monolitics pr'amor deth sòn despeçatge, de faïçon que, se reciben empossaments orizontaus enes sues cabeçades, aguesti tendissen a desplaçar-se orizontaument (Figura 53). Es murs, damb màger rigidesa qu'es pilars, tendissen a reequilibrar es tensions der empossament des vòutes lateraus $E_b (E_{bx}, E_{by}, E_{bz})$ sus eth mur;

$$E_m (E_{mx}, E_{my}, E_{mz})$$

Aguesta accion se resòlv a trauès de tota era longada deth mur, en tot auer enes sònns extrems es punts critics. Aguesti tendissen a èster equilibradi pes murs de forma corbilinha des absidiòles e, en d'auti casi, damb eth plaçament des campanaus sus era façada opausada. En bèri casi, en romanica, se dispause d'un sistèma constructiu que pòt amagar laguens deth mur ua viga de husta (Viollet-le-Duc 1854, 4.11-16), deth quau non

dispausam d'evidéncias intèrnes enes vòutes dera Val d'Aran. Era tendéncia generau ei qu'era deformacion provocada per empossament orizontau sus eth mur (E_{mx}) provòque es principaus esbauçaments, pr'amor dera pòca rigidesa dera mampostaria de dues huelhes, damb es quaus se bastissen generaument es parets en romanic. Mès i a ath delà ua auta component orizontau (E_{mz}) pr'amor qu'era vòuta ei fòrça mès petita qu'era (E_{mx}). Atau, es empossaments produsits pera mampostaria e eth mortèr (E_{mz1}), e es degudi ara geometria irregulara dera pròpria vòuta laterau damb qué caracterizam es diferéncias de geometria (E_{mz2}). Aquesta circumstància, encara que non sigue tant com ena nau centrau, pòt tendir a equilibrar ($E_{mz1} - E_{mz2}$), o ben se pòt produsir er efècte contrari ($E_{mz1} + E_{mz2}$), e aquesta circumstància pòt provocar petites deformacions (df_{mz}). Per un aute costat, se non i a agut assetiaments diferenciaus, alavetz ($Ay = 0$) ne poderien supausar en foncion des deformacions;

$$df_m (df_{mx}, 0, df_{mz})$$

Mès se i a agut deformacions pera friccion entre era mampostaria e eth mortèr, s'a produsit ($\Delta y > 0$), alavetz es deformacions tendissen a èster $df_m (df_{mx}, df_{my}, df_{mz})$. Atau qu'es desplaçaments principaus des murs romanics $df_m (df_{mx}, df_{my}, df_{mz})$, sonque pes empossaments des vòutes $E_m (E_{mx}, E_{my}, E_{mz})$, tendissen cap ara queiguda dera huelha exteriora. Aquesta pòt èster expressada de manèra generau com $df_m (df_{mx}, df_{my}, df_{mz})$, de faïçon qu'era principau component serà (df_{mx})

Per un aute costat, era deformacion df_{mz} , ena huelha exteriora deth mur, poderie estirar se non auesse traccions $\lim f (df_{mz}) \rightarrow 0$. Açò serie perque eth remplit entre es dues huelhes fòrça primes non auesse contunhitat damb eth limit exterior deth parament, en tot poder produsir ua henerèca verticau (Figura 54).



Figura 54. Murs de dobla huelha damb remplit de Santa Maria d'Arties [34]

Causa plan desparièra serà df_{mz} ena huelha interiora deth mur, aquera plaçada en contacte damb era vòuta de quart de canon e sus era quau s'exercís era reaccion d'andús elements constructius: mur e vòuta. Entà èster en equilibri, eth conjunt somatòri de fòrces e moments a d'èster egal a zèro, de manèra que:

$$=0$$

$$=0$$

Era reparacion e contencion d'aguestes deformacions a provocat actuacions de refortiment enes murs exteriors mejançant era construccion de contrahòrts (Figura 55).



Figura 55. Contrahòrts d'estabilizacion dempús dera construccion inicial de Santa Maria d'Arties [34]

Enquath moment auem determinat er empossament actiu (E_{ba}) des vòutes sus es pilars e murs, mès entà comprèner er equilibri d'aguestes bastisses ei important eth ròtle de resisténcia qu'exercís er empossament passiu d'aguesti elements de resisténcia (E_{pm}). En bèth cas, aguestes vòutes s'an deformat talament qu'an arribat a crear formes antifuniculares. Era analisi d'aguestes formes sonque se pòt comprèner a compdar d'ua analisi tridimensionau a trauès d'un interval $[a, b]$, qu'a d'impausar era condicion d'equilibri a trauès dera teoria elastica. Un factor essenciau serà eth tipe de mampostaria segontes era sua mesura, forma e disposicion d'aguesta e en foncion dera sua tipologia dera coesion deth rejuntament des plaques de pèira damb eth mortèr.

Aguestes condicions varien entre es diuèrses bastisses. Ei eth cas de Sant Andrèu de Salardú, a on ena façada Sud s'utilize mampostaria carrejada e damb juntes orizontaus e verticaus (Figura 56.a); en tot qu'era cara Nòrd ei irregulara en forma de lesques e considerablament mès morterada qu'era sua opausada en tot eth sòn contorn (Figura 56.b).

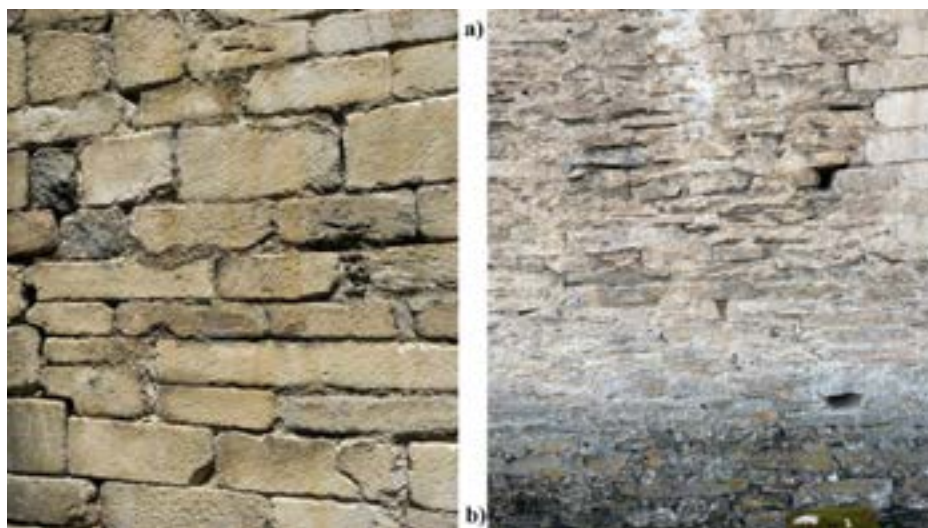


Figura 56. Despeçament de mampostaria e juntes de mortèr en Sant Andreu de Salardú [37]

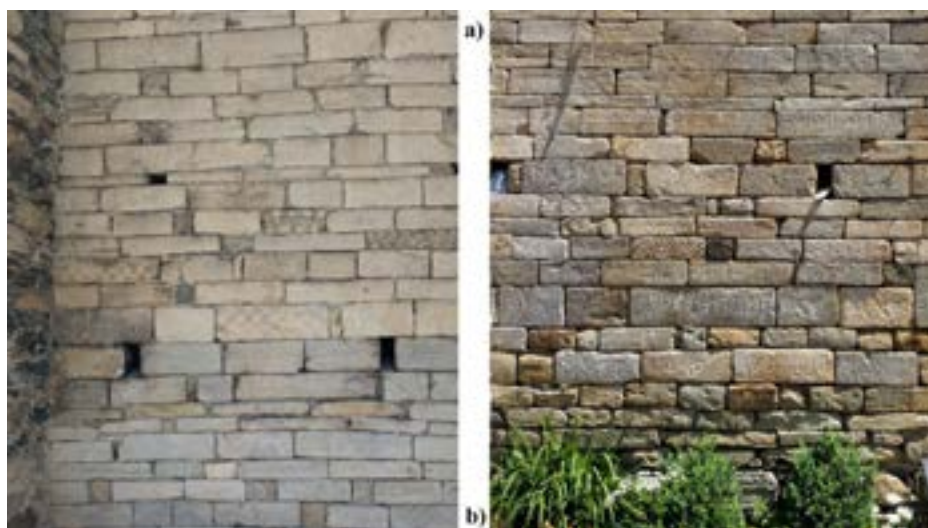


Figura 57. Despeçament de mampostaria e juntes de mortèr en Sant Fèlix de Bagergue [40]

Circonstància totaument invèrsa de produsís en Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs, a on era mampostaria se place simbolicament ena façada deth cementèri (Figura 58.b), a diferència dera façada Sud sus eth nuclèu urban (Figura 58.a).

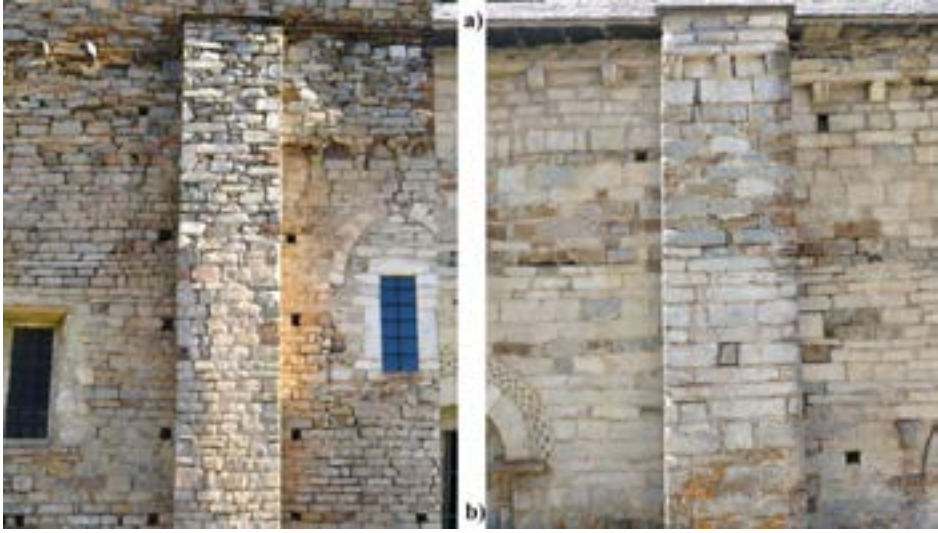


Figura 58. Despeçament de mampostaria e juntes de mortèr en Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]. a) Façada meridionau. b) Façada Tramontana



Figura 59. Despeçament de mampostaria e juntes de mortèr en Santa Eulària d'Unha, [40]. a) Façada meridionau. b) Façada septentrionau

Aguesta situacion provòque qu'es rigidesses des façades longitudinaus siuen desparières e, per tant, tanben eth sòn comportament estructurai e caracteristica comuna en prumèr romanica, com en Santa Eulària d'Unha

[38] (Figura 59), Sant Fèlix de Vilac [24] (Figura 60) o Santa Maria d'Arties [34] (Figura 61).



Figura 60. Despeçament e juntes de mortèr en Sant Fèlix de Vilac [24], [40]; a) Façada Sud. b) Façada Nòrd

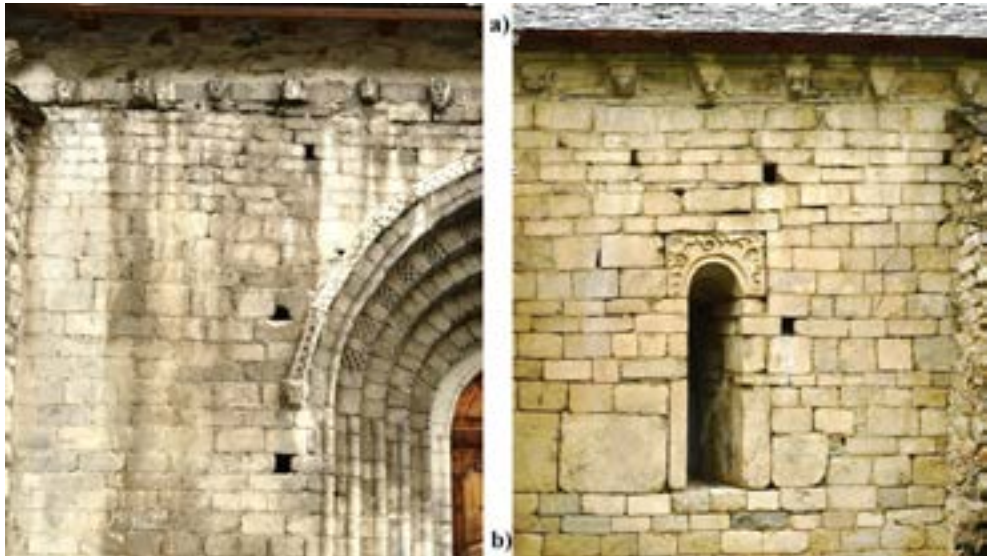


Figura 61. Despeçament e juntes de mortèr en Santa Maria d'Arties [34]; a) Façada Sud. b) Façada Nòrd

6. CARACTERIZACION DES ELEMENTS CONSTRUCTIUS

En conjunt des 24 glèises romaniques dera Val d'Aran, sèt d'eres son tipologicament de planta basilicau damb tres naus, çò que represente eth 29,17% en tot qu'es dètz-e-sèt restantes son de nau unica. Aguestes representen eth 70,83%. Laguens d'aguesta classificacion, eth 70,83% des glèises a ena actualitat vòuta de maçonaria, envèrs eth 29,17% restant, que dispause d'estructura d'armadura de husta o carpenta.

Bères ues d'aguestes vòutes poderen auer un collapse estructurau e èster substituïdes pera estructura de cindres de husta. Aguest ei er aspècte qu'an actuaument es glèises de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41], Sant Estèue de Tredòs [39] o era part mès antica de Sant Pèir d'Escunhau [31] (Figura 62). Es tèsis des sues possibles incidències poderen èster generades per un mau dimensionament des sues estructures. Mès tanben per aqueres causes possibles que poderen èster produsides per accions accidentaus en tot alterar era estabilitat d'aguestes bastisses.



Figura 62. Cindres de husta de Sant Pèir d'Escunhau [31] sus eth primitiu còs romanic, coma ipotèsi d'un possible collapse estructurau.

D'aves consèrven part dera sua estructura antica. En tot combinar formaument era vòuta damb eth cindre, com ei eth cas de Sant Fèlix de Bagergue (Figura 63).



Figura 63. Coexistència de vòutes de maçonaria e cindres en Sant Fèlix de Bagergue [40]

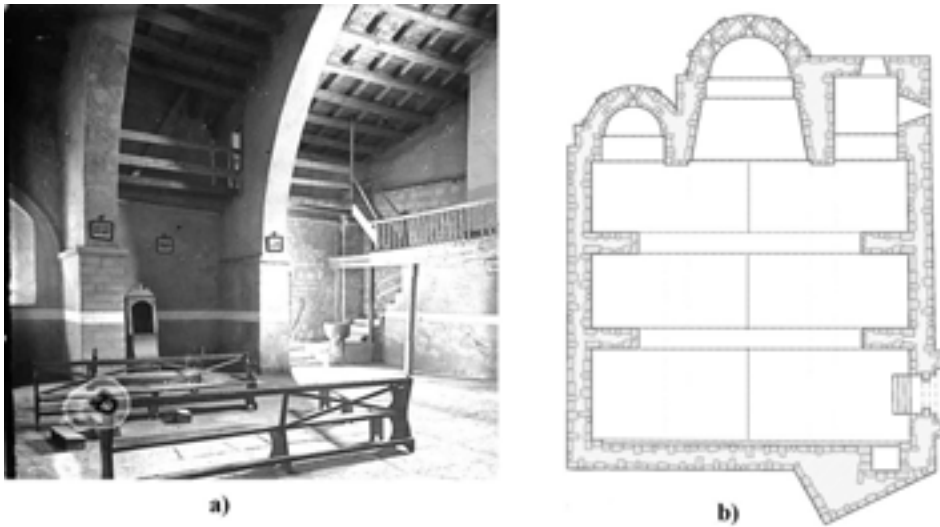


Figura 64. Santa Maria de Mijaran [25]. a) Imatge damb es arcs de diafragma (Fons Salvany SaP_390_08). b) Planta damb era reconstrucció d'estriuat des arcs de diafragma.

En Santa Maria de Mijaran [25], dinamitada pendent era Guèrra Civiua espanhòla (1936-1939), concurrissen circumstàncies especiaus, en tot conservar dempús de diuèrses restauracions era estructura dera vòuta conica de canon ena sua absida (Figura 64.a) e es arcs apuntats de diafragma ena nau (Figura 64.b).

Era analisi geometrica se limite ad aqueres glèises deth romanica aranés que consèrven era sua vòuta de maçonaria idealizadas a trauès dera tipologia generica de canon, e deth quau depenerà eth sòn equilibri, com ei eth cas de Sant Miquèu de Vilamòs [15] (Figura 65).



Figura 84. Sant Miquèu de Vilamòs [15]. a) Planta e seccions. b) Topografia des vòutes. Diferència geometrica entre es sòns trams en tot evidenciar era sua leugèra forma conoïda. c) Vòuta en sòn punt mèu naut envèrs ath son rigid arc de ressaut.

6.1. Anàlisi geometrica des vòutes

Damb er objectiu de determinar era geometria, s'estúdien es formes deth prumèr romanica; aqueres de nau unica: Sant Ròc de Begós [14], Sant Miquèu de Vilamòs [15], Sant Joan d'Arròs e Vila [16] e Sant Pèir de Betlan, e es de planta basilicau, de Santa Maria de Vilamòs [12] e Santa Eulària d'Unha [38]. S'establís coma metodologia eth seccionat dera bastissa pes plans singulars des vòutes.

Eth plan (τ) determine era directritz dera vòuta e es diuèrsi plans (ω_i), transversaus ara directritz (τ). Es seccions (ω_i) variaràn en foncion dera tipologia dera planta, ben sigue dera planta basilicau de tres naus o de nau unica. Entara classificacion dera tipologia des vòutes, ja siguen cilindriques o coniques, s'establisson ues seccions extremes, era (ω_1), era mèis propèra ara absida, e era (ω_2), ena façada opausada. S'es generatritzes (ω_1) (ω_2), son omològues en lum (l), flècha (f) e corbadura (c), es vòutes seràn de directritz cilindrìca, autament seràn coniques (Figura 66).

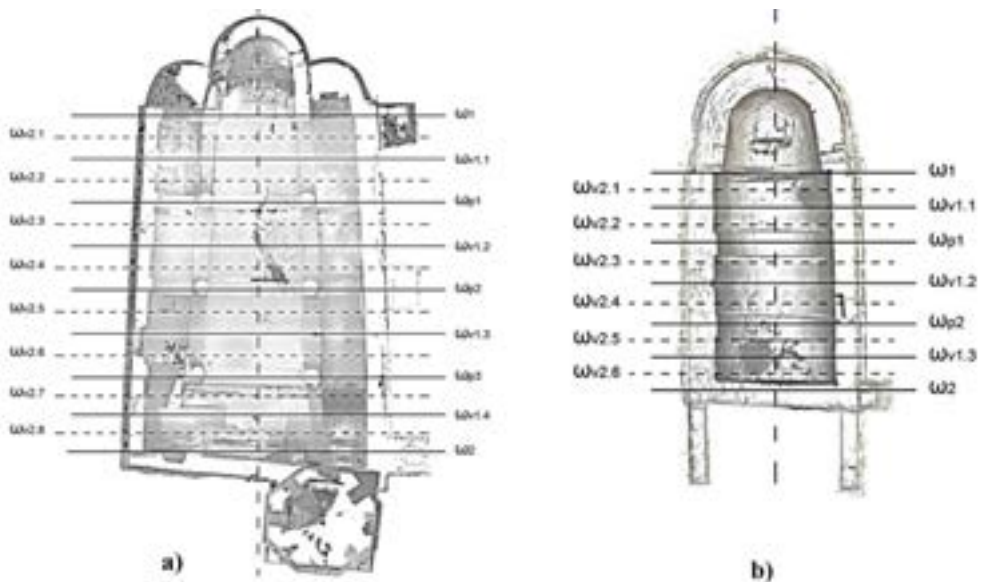


Figura 66. Metodologia entara analisi geometrica des vòutes romaniques. a) Planta absidiau de Santa Eulària d'Unha[38]; b) Planta de nau unica de Sant Miquèu de Vilamòs [15]

Per un aute costat, s'a de comprovar s'era generatritz dera vòuta ei de seccion semicirculara, peraltada o rebaishada. Enes tipologies de planta basilicau seccionaram pes pilars (ω_{pi}), a on era vòuta a màger rigidesa. Pes punts mieis deth van estructurau (ω_{vi}), a on aguesta a mens rigidesa e, finaument, pes seccions quartes d'aguesti vans estructuraus (ω_{vi1}) e (ω_{vi2}) respectivament. Enes glèises de nau unica, era rigidesa estructurau ei mèis similara qu'enes de planta basilicau. Es seccions se produsissen pes arcs de ressaut (ω_{pi}), pes punts mieis d'aguesti (ω_{vi}) e pes seccions quartes (ω_{vi1}), (ω_{vi2}).

Enes resultats obtengudi des 78 seccions analisades, s'a de considerar era seccion dera vòuta entà determinar era sua corbatura (c), mejançant era relacion entre era lum (l) e era flècha (f) ena impòsta dera vòuta. S'andues donades son parières, era vòuta serà semicirculara, en tot que s'era lum (l) ei màger qu'era flècha c serà rebaishada. Autament, s'era lum (l) ei mendra qu'era flècha (f), era vòuta serà peraltada (Taula 3).

Taula 3. Lums e flèches o nautades des seccions des vòutes deth prumèr romanica dera Val d'Aran

Lum (l) flècha (f)

Seccion	Planta de nau unica						Planta basilicau					
	Sant Ròc de Begòs [14]		Sant Miquèu de Vilamòs [15]		Sant Joan d'Arròs e Vila [16]		Sant Pèir de Betlan [21]		Santa Maria de Vilamòs [12]		Santa Eulària d'Unha [38]	
	lum	flècha	lum	flècha	lum	flècha	lum	flècha	lum	flècha	lum	flècha
w1	3,81	3,53	3,81	3,69	3,69	1,90	4,41	2,21	3,37	1,79	3,98	1,72
wv2,1	3,84	3,10	3,82	3,73	3,73	1,70	4,60	2,35	3,45	1,62	4,12	1,90
wv1,1	3,85	3,06	3,85	3,69	3,69	1,91	4,86	2,43	3,56	1,49	4,18	1,58
wv2,2	3,92	2,83	3,87	3,74	3,74	1,90	4,63	2,31	3,67	1,68	4,28	1,67
wp1	3,63	4,05	3,75	3,17	3,17	1,59	4,33	2,13	3,05	1,36	4,24	1,21
wv2,3	3,86	3,28	3,89	3,69	3,69	1,74	4,81	2,42	3,75	1,88	4,73	1,59
wv1,2	3,85	2,93	3,83	3,67	3,67	1,73	4,92	2,46	3,78	1,89	4,66	1,65
wv2,4	3,95	3,26	3,94	3,66	3,66	1,74	5,03	2,55	3,69	1,85	4,73	1,58
wp2	-	-	3,82	3,58	3,58	1,58	-	-	3,46	1,81	4,52	1,71
wv2,5	-	-	3,89	3,49	3,49	1,63	-	-	3,68	1,90	4,96	1,68
wv1,3	-	-	3,87	3,47	3,47	1,73	-	-	3,66	1,95	4,98	1,58
wv2,6	-	-	3,90	3,97	3,97	1,79	-	-	3,64	1,82	5,07	1,63
wp3	-	-	-	-	-	-	-	-	3,32	1,70	4,81	2,02
wv2,7	-	-	-	-	-	-	-	-	3,60	1,96	5,20	1,69
wv1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	3,62	1,92	5,22	1,83
wv2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	3,62	1,81	5,21	1,92
w2	3,85	3,00	3,89	3,44	3,44	1,72	5,10	2,55	3,68	1,89	5,22	1,90

Aguestes implicacions geometriques an conseqüències estructuraus, pr'amor qu'ua vòuta rebaishada a mès possada qu'ua de miei punt e ei mès qu'ua peraltada. Eth dimensionat deth supòrt a era madeisha conseqüèncià, a mès possada, mès supòrt e, per tant, groish deth mur.

Era geometria des vòutes depen dera sua directritz, element capdau des quaus serà eth parallelisme des murs enes glèises de nau unica o des arcs totaus enes de planta basilicau. Era analisi dimensionau des seccions d'aguestes glèises (ω_1)-(ω_2) balhe un resultat grafic (Taula 4).

Seccion	Sant Ròc de Begos	Sant Miquèu de Vilamòs	Sant Joan d'Arròs e Vila	Sant Pèir de Betlan	Santa Maria de Vilamòs	Santa Eulària d'Unha
W1						
W2.1						
W1.1						
W2.2						
WP1						
W2.3						
W1.2						
W2.4						
WP2						
W2.5						
W1.3						
W2.6						
WP3						
W2.7						
W1.4						
W2.8						
W2						

Tabla 4. Anlisi des seccions des glèises de Sant Ròc de Begos [14], Sant Miquèu de Vilamòs [15], Sant Joan d'Arròs e Vila [16] Sant Pèir de Betlan [21], Santa Maria de Vilamòs [12] e Santa Eulària d'Unha[38].

Enes resultats s'obsèrve qu'en Sant Ròc de Begós [14], era corbatura dera vòuta ei peraltada en forma ojivau. Es seccions extremes son [3,81-3,52 m] e [3,85-3,22m], podent plantejar qu'era sua directritz pòt èster parallèla as murs lateraus (Figura 67).



Figura 67. Seccion dera vòuta de Sant Ròc de Begós [14]



Figura 68. Seccions dera vòuta de Sant Miquèu de Vilamòs [15]

En Sant Miquèu de Vilamòs [15], des 13 seccions analisades s'obsèrve qu'era absida a ua seccion peraltada de [3,81-1,96 m], mentre qu'ena façada Oèst

[3,89-1,98] ei de geometria semicirculara, ara quau pertanhen eth 30,77% des sues seccions, en tot èster per açò qu'era vòuta ei leugèrament tronc-conica (Figura 68).

En Sant Joan d'Arròs e Vila [15], es seccions extremes son [3,69-1,90 m] e [3,44-1,72 m]. Des tretze seccions analisades, dètz son rebaishades, en tot plaçar-se en presbitèri e ena façada opausada damb seccion semicirculara. Es sues parets non son pas exactament parallèles, e per açò se genèra ua vòuta leugèrament conica (Figura 69).

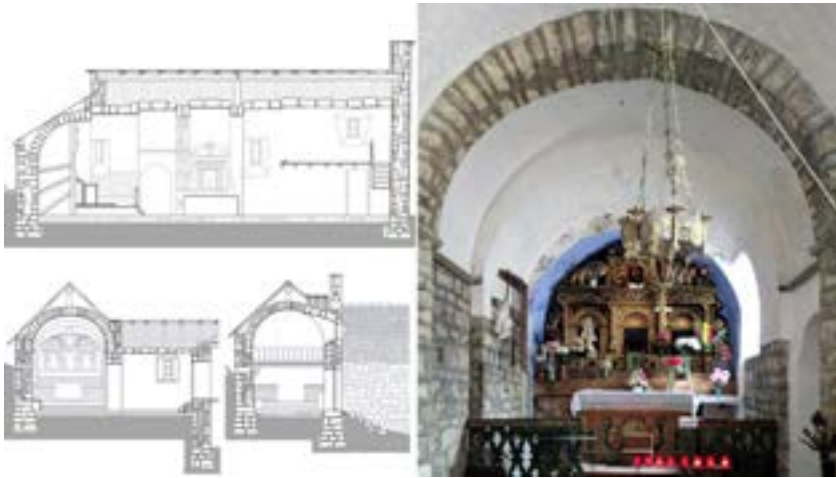


Figura 69. Vòuta de Sant Joan d'Arròs e Vila [15] de generatriz leugèrament conica.



Figura 70. Vòutes de seccion semicirculara de Sant Pèir de Betlan [21]

Des glèises de nau unica, sonque en Sant Pèir de Betlan [21] s'executèren es ueit seccions analisades a trauès d'ua generatritz semicirculara (Figura 70). En cas de Santa Maria de Vilamòs [12], es dètz-e-sèt corbatures (c) son de seccion semicirculara, encara qu'es seccions extremes [3,37-1,79 m] [3,68-1,89 m] non son pas parièras, en tot generar ua seccion de geometria suaument conica (Figura 71).



Figura 71. Seccion e vòuta de Santa Maria de Vilamòs [12]

En cas de Santa Eulària d'Unha [38], es seccions (ω_1) (ω_2) an ua corbatura (c) similara, mès existissen diferéncias importants entre era lum (l) e flècha (f), [3,98-1,72 m] e [5,22-1,90 m] enes seccions extremes dera glèisa. Era planta dera bastissa non dispause pas de parallelisme enes arcs totaus e era nau centrau e, per tant, era vòuta ei de directritz conica. S'a podut determinar sonque ua seccion semicirculara, era seccion deth primèr tram dera vòuta dera nau (ω_{vil}). (Figura 72)

Es autes setze des seccions dera generatritz son rebaishades, en tot remarcar que quate d'eres dispausen d'ua part damb geometria funiculara convèxa. Ei a díder, de foncion invèrsa ar arc rebaishat dera normau traça concava (Figura 73).

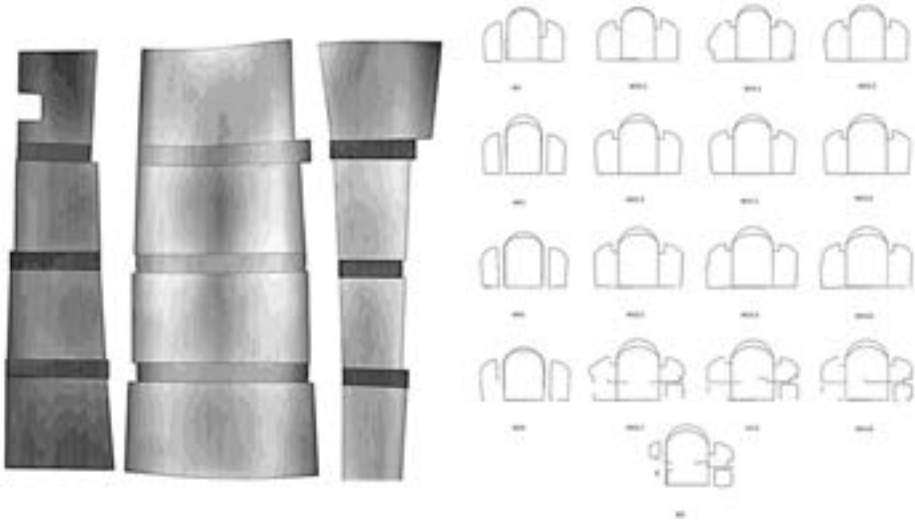


Figura 72. Topografia dera planta e seccions transversaus des vòutes de Santa Eulària d'Unha [38].



Figura 73. Seccion transversau de Santa Eulària d'Unha [38].

Des 78 seccions analisades, dètz-e-ueit d'eres son de seccion peraltada, en tot representar eth 23,08% de totes eres e concentrades en 100,00% des vòutes de Sant Ròc de Begós [14] e deth 69,23% de Sant Miquèu de Vilamòs [15]. Era seccion de generatritz semicirculara ei majoritària damb un 43,59% , en tot èster totaument bastides damb aguesta tipologia Sant Pèir de Betlan [21] e Santa Maria de Vilamòs [12].

Existissen vint-e-sies seccions de vòutes rebaishades, representant eth 33,33% d'aguesta mòstra. Son bastides damb aguesta forma geometrica eth 76,92% des de Sant Joan d'Arròs e Vila [16] e elth 94,12 % de Santa Eulària d'Unha [38].

Es vòutes de canon d'aguestes glèises dera Val d'Aran s'assètien sus geometries complexes, atau com teorizaue Joan Bassegoda (1974), e per aquerò, engèndren bèth tipe de vòuta de geometria conica. Per un aute costat, es despeçatge estereotomic dera mampostaria utilizada non a pas cap de distribucion regulara, com establie Josep Puig i Cadafalch (1901). Se compròve atau era difeféncia de rigidesa entre es supòrts des vòutes, murs exteriors e arcs de ressaut, com apuntaue Luis Villanueva (1974) en tot formar vòutes funiculars.

Aguestes tres condicions s'aparten totaument de çò establít coma teoria generau des empossaments de vòutes de canon damb directritz rècta e generatrix circulara e que se construïssen formaument a trauès d'un cilindre. Mès enlà dera definicion actuau dera RAE sus era definicion de vòuta de canon, com aquera de directritz rècta e de generatrix semicirculara, com son sonque es de Sant Miquèu de Vielha [28] (Figura 74).



Figura 74. Vòutes de canon de generatrix semicirculara de Sant Miquèu de Vielha [28]

6.2. Consideracions formaus des vòutes araneses

Aguestes vòutes dera Val d'Aran serien en consonància damb era definicion de vòutes de canon des diccionaris de Diego Antonio Rejón de Silva (1788), Benito Bails (1802), Mariano Matallana (1848), Eduardo Mariategui (1876), Clairac e Sáenz Pelayo (1877) o Jules Adeline (1887).

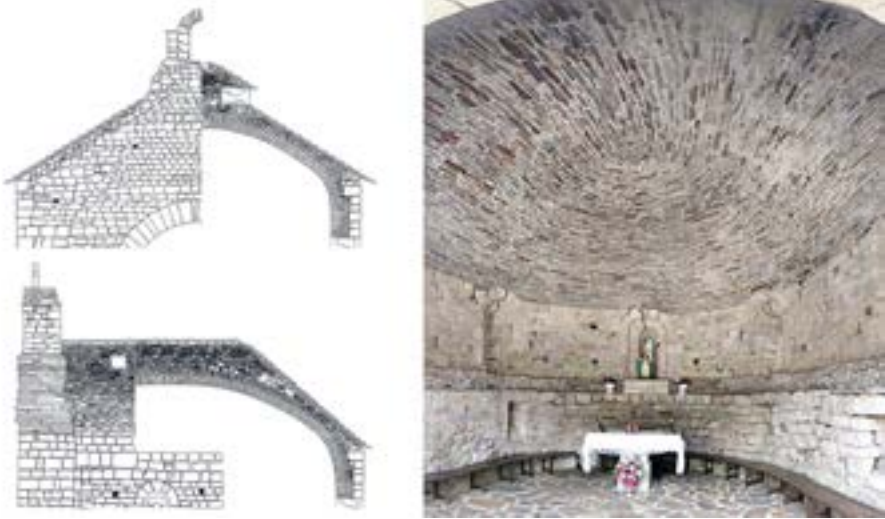


Figura 75. Vòutes rebaishades de Sant Blas de Les [4]

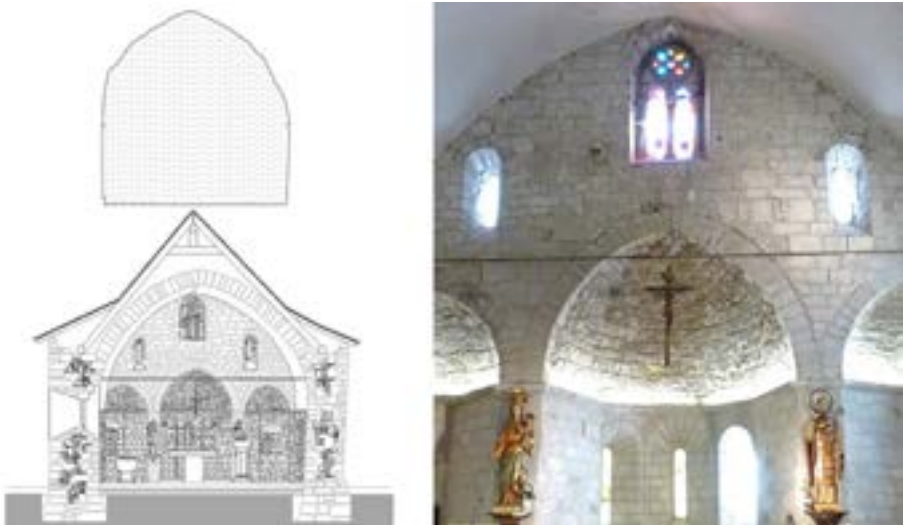


Figura 76. Vòuta apuntada de Sant Estèu de Betren [29]

Per aquerò, era tradicionau definicion de miei punt se pòt aplicar ad aqueres rebaihsades, com es de Sant Blas de Les [4] (Figura 75), o era peraltada de Sant Estèue de Betren [29] (Figura 76). Ua auta des circunstàncies ei era estabilitat d'aguestes construccions e especiaument es vòutes qu'an patit un collapse, com Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] (Figura 77).



Figura 77. Reconstrucció de cubèrtes d'après deth col·lapse des vòutes de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 78. Vòutes de crotzilharià de Sant Andreu de Salardú [37]

Era especiau catalogacion metodologica deth romanica dera Val d'Aran, suportada pes indicis estilistics qu'es bastisses supòrten, hè que, a despart des vòutes de canon, convisquen en bères ues damb es de crotzilharia. Ei eth cas de Sant Andrèu de Salardú [37], a on era sua absida romanica conviu damb ua nau centrau de vòutes apuntades e acompanhades enes lateraus damb es de quart de canon (Figura 78).



Figura 79. Vòutes de crotzilharia de Sant Martin de Tours de Gausac [26]

D'aves son estructures ojives de nau unica damb portades romaniques, com Sant Estèue de Betren [29] o Sant Martin de Tours de Gausac [26] (Figura 79).

6.3. Comprovacion deth dimensionament de vòutes

Entà comprovar eth dimensionament s'a d'aperar ara experiència constructiva gotica de Cristóbal de Rojas (1555-1614), publicada coma règla de tèrç e emplegada entà determinar er emparament d'arcs e vòutes (Rojas 1598, fol. 97 r). Eth metòde geometric ei cronologicament coïncident damb eth manuscrit *Cerramientos y trazas de montea* (c. 1598- 1608) der arquitècte Ginés Martínez de Aranda (1556-1620) (Ms. 457, fol. 5-6).

Siguec posteriorament difonut per François Derand (1588 -1644) de *L'architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûte* (Derand 1643, Cap IV, fol. 11) e François Blondel (1616-1686) damb eth *Cours d'architecture* (Blondel 1675, IV Partie, 419).



Figura 80. Vòuta rebaishada de Sant Fabian d'Arres de Jos [9]

D'aguesta règla se dedusís qu'un arc de miei punt requerís mès emparament qu'un apuntat e ath sòn torn, mens qu'un rebaishat. Per aquerò era vòuta rebaishada, com era de Sant Fabian d'Arres de Jos [9] a de besonh d'un groish de mur superior ara de miei punt, atau com era rèsta d'aguesta tipologia (Figura 80).

D'aguesta manèra, era vòuta de canon de Sant Miquèu de Vielha [28] aurie de besonh mens emparament qu'era rebaishada de Sant Blas de Les [4] e qu'era sua mesura complís era règla deth tèrç (Figura 81.a).

Era vòuta apuntada a de besonh mens resisténcia qu'era de miei punt, en cas de Sant Estèue de Betren [29] eth mur dera epistola complís era règla, mès en cambi non ac hè eth der evangèli e per açò er esbauçament d'aguest e era conseqüenta utilizacion de tensors (Figura 81.b).

Era comprovacion d'estabilitat se realize a trauès dera analisi limit, e per aquerò a d'èster possible de trobar ua linha de pressions que sigue

contenguda en groish dera maçonaria. Era analisi se realize en interval deth sòn empossament minimau, aqueth qu'era linha contenguda ei era mès peraltada e contenguda en extradòs dera clau e que passe per intradòs dera impòsta, e aqueth maximau, qu'era sua linha passarie per intradòs dera clau e er extradòs dera sua arringada.

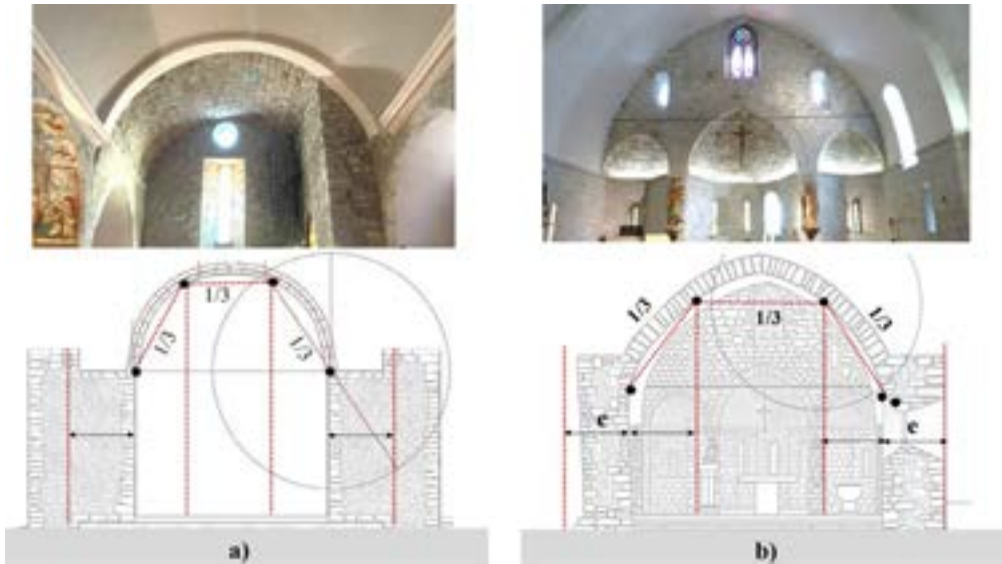


Figura 81. Règla deth tèrc entath dimensionament der emparament

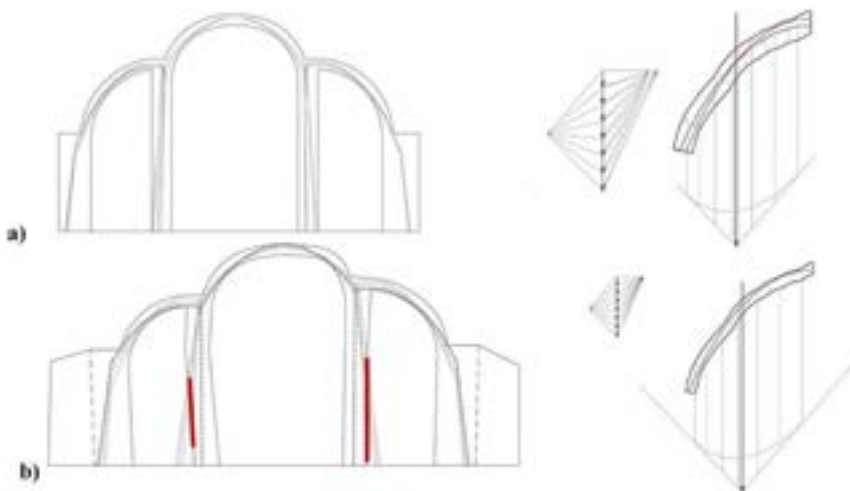


Figura 82. Estudi dera estabilitat de Santa Maria d'Arties [34] en foncion deth groish des vòutes.

Per tant, ei fòrça important eth groish der element constructiu, de manèra qu'era comprovacion realizada en Santa Maria d'Arties [34] entath sòn empossament maximau mos permet de comprovar era estabilitat en foncion deth groish dera vòuta. Atau, s'era seccion dera vòuta ei de (0,50 m) complirie damb eth teorèma dera seguretat (Figura 82.a). Ath contrari, se siguesse de (0,25 m), auent mens pes, era linha de pressions non serie pas contenguda en groish dera maçonaria e, per tant, comprometuda era sua estabilitat (Figura 82.b).

En cas dera tipologia des construccions damb naus uniques mos trobam qu'en bèri casi, com Sant Ròc de Begós [14], Sant Joan d'Arròs e Vila [16] e Sant Pèir de Betlan [21], non se pòt explicar era estabilitat a trauès des linhas de pressions, pr'amor que, segontes eth teorèma dera seguretat, non ei pas possible de trobar ua linha de pressions que sigue contenguda ena maçonaria (Figura 83).

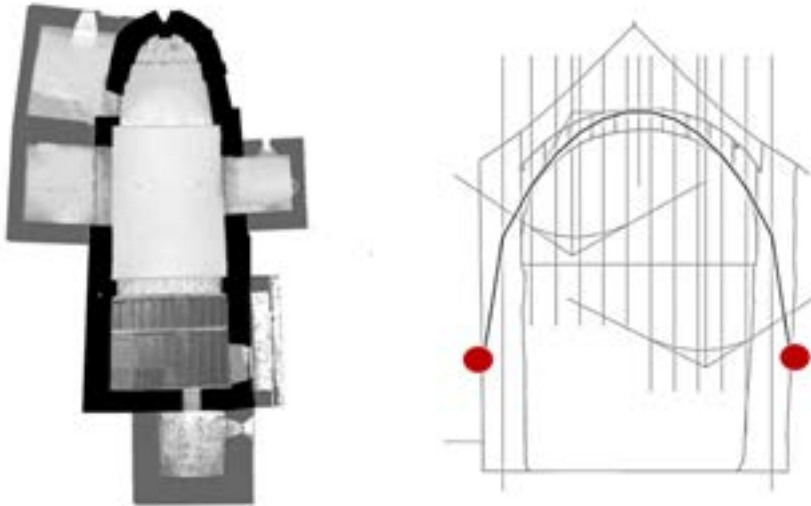


Figura 83. Linhas de pression de Sant Pèir de Betlan [21]

En cas de Sant Pèir de Betlan [21], com en d'auti casi, jogue un ròtle capdau entara estabilitat er emparament des capèles lateraus, atau com era rigidesa dera corbatura dera absida e era resisténcia deth campanau en sòn extrem orientau (Figura 84).



Figura 84. Absida de Sant Pèir de Betlan [21] damb es elements d'emparament constructiu

6.4. Eth desplaçament des pilars

Mès complexa serà era analisi des pilars circulars des glèises basilicaus qu'existissen en Santa Eulària d'Unha [38], Santa Maria d'Arties [34] (Figura 85.a), Sant Fèlix de Vilac [24] (Figura 85.b), e Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] (Figura 85.c), adoptadi en romanica en sègle XII (Vergnolle 1998, 141-174).

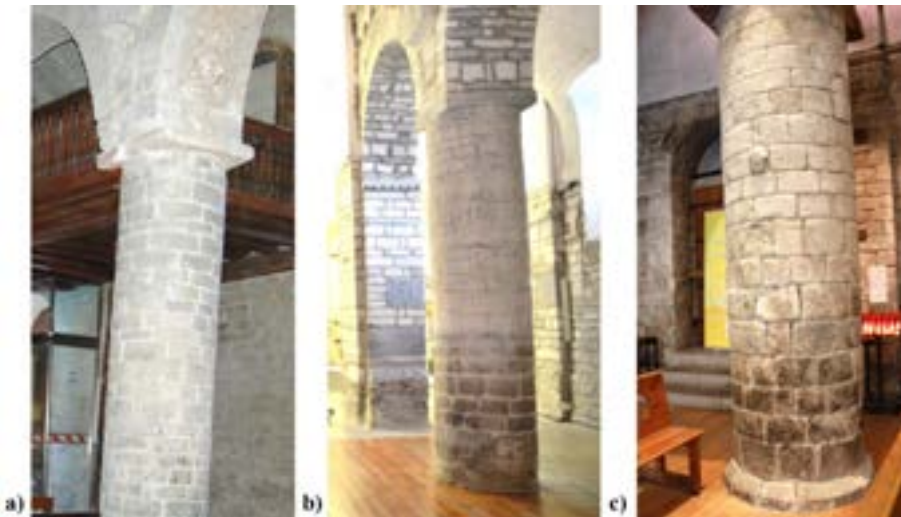


Figura 85. Tipologia de pilars de seccion circulara sègle XII

Ua tipològia adoptada son es pilars lobuladi que combine era seccion circulara damb era semicirculara der arc de ressaut. Passe açò en prumèr tram dera nau centrau e dera laterau de Santa Maria de Vilamòs [12] (Figura 86). Entar estudi des pilars de Santa Maria d'Arties [34] (Figura 87) eth seguir de punts a estat processat damb software desparièr, qu'a apareishut ath long dera evolucion dera investigacion.

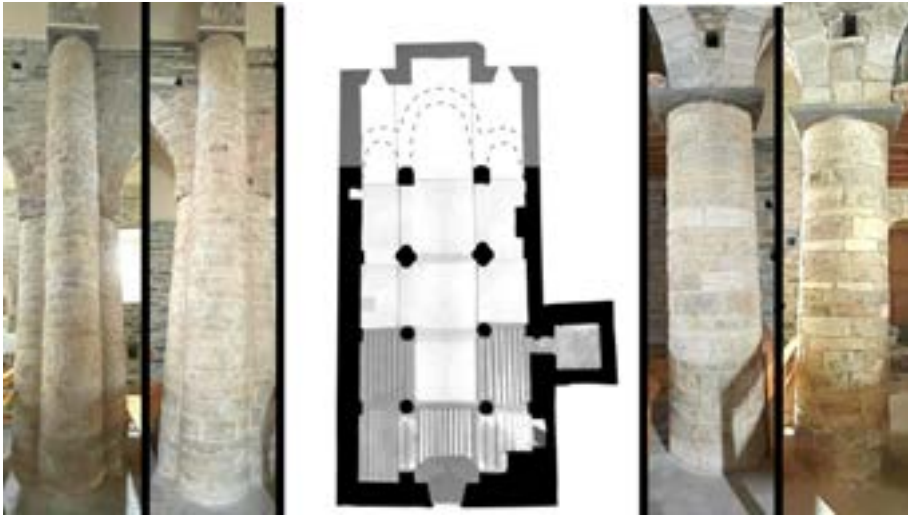


Figura 86. Tipologia de pilars de Santa Maria de Vilamòs [12].



Figura 87. Pilars de seccion circulara de Santa Maria d'Arties [34]

Açò a permetut de comparar un programa de malhat espacialu Cyclone e eth programa 3DReshaper version 2016 (Figura 88.a), damb eth plugin Undet, deth software Google SketchUp version 2019, que trabalhe dirèctament damb es punts der espaci (Figura 88.b).

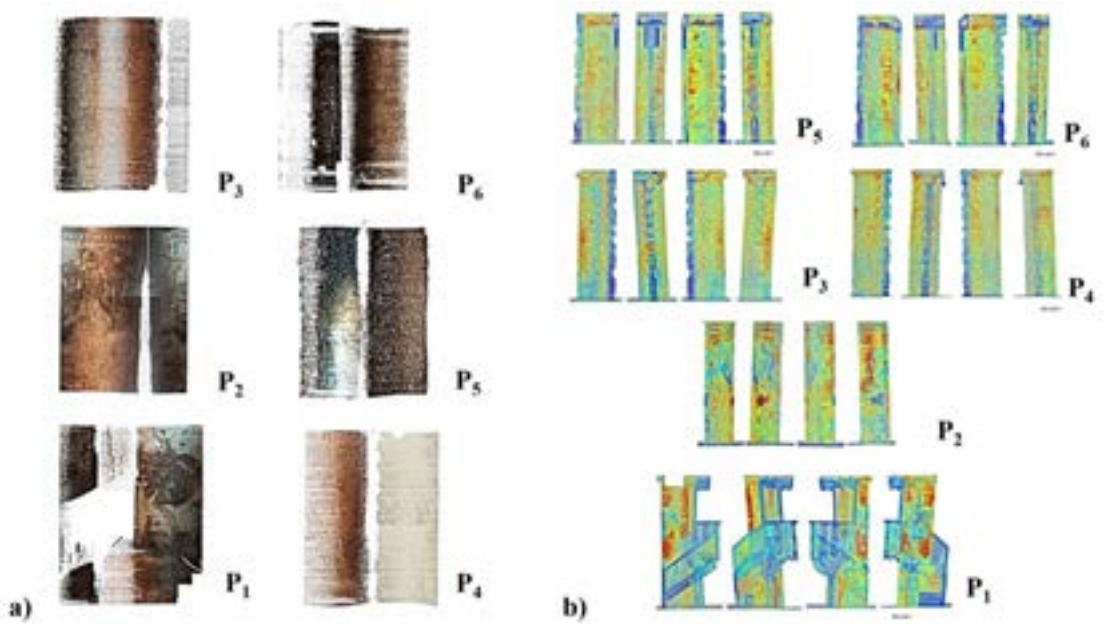


Figura 88. Visualizacion des pilars de Santa Maria d'Arties [34]: a) Resultats damb software Cyclone; b) Visualizacion damb Software Undet

Entara analisi des pilars s'a de tier en compde qu'eth desplaçament des sues particules, representades per coordenades cartesianes (x, y, z) damb era sua corresponenta basa ortonormau $(\hat{e}_1, \hat{e}_2, \hat{e}_3)$, partís d'ua configuracion de referéncia Ω_0 , a on eth vector de posicion (X_0) d'ua particula G_0 , corresponenta ath centròide, definit pes coordenades materiaus; $X_0 = x_0 \hat{e}_1 + y_0 \hat{e}_2 + z_0 \hat{e}_3 = X_0 \hat{e}_i$; (x_0, y_0, z_0) .

En passar ara configuracion actuaui Ω_t , en tot aucupar eth punt espacialu G_t , damb un vector de posicion (x) en coordenades espaciaus en ua instantanèa de temps (t) , viera dat per $X_t = x_t \hat{e}_1 + y_t \hat{e}_2 + z_t \hat{e}_3 = X_t \hat{e}_i$; (x_t, y_t, z_t) . Aguest cambi de posicion se represente mejançant un vector de desplaçament, $uG = (uG_x, uG_y, uG_z)$ (Figura 89).

Es desplaçaments se pòden avalorar en foncion des coordenades deth centròide de cada hilèra (x_{ci} , y_{ci} , z_{ci}), e eth punt de referéncia se pren dera hilèra dera planta, que se cre qu'ei indeformabla. D'aguesta manèra s'establisson es coordenades com (x_{ci} , y_{ci} , 0). Aguesti punts permeten de definir un plan de regression P_{ri} entà cada pilar.

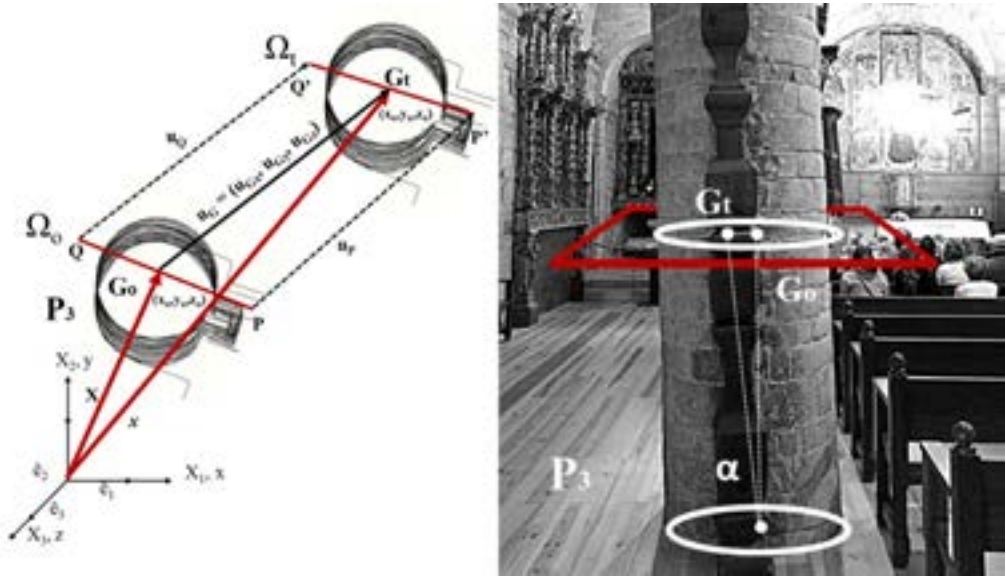


Figura 89. Esquèma de desplaçament deth centròide ena seccion deth pilar P_3 de Santa Maria d'Arties [34]

Atau, ei possible de definir un vector de deformacion contengut en cada plan [$Pr_1...Pr_6$]. finaument, aquestes donades permeten de determinar era tendéncia generau des deformacions des vòutes. Tenguent en compde qu'es pilars non son pas monolitics e bastits damb nombroses juntes, tendissen a deformar-se ena part superiora, de forma que non i a Δdf_{py} . Atau, se supausam qu'es extrems des vòutes non an patit assetiaments diferenciaus e qu'eth moviment d'aguesti extrems ei, per tant, ($\Delta z=0$), alavetz es deformacions son df_p (df_{px} , 0, df_{pz}), qu'ei era ipotèsi deth present cas d'estudi. Per ua auta part, i pòt auer ua combinason de rotacions e translacions, en foncion deth talh dera pèira, per çò qu'era caracterizacion generau des desplaçaments s'a de hèr a traùes des intervals I_1 ; df_p (df_{px} , df_{py} , df_{pz}).

Alavetz, en I_2 , df_p (df_{px} , 0 , df_{pz}) se pòden produsir desplaçaments ($\Delta y > 0$) pr'amor deth contacte entre eth mortèr e es pèires o pr'amor dera friccion entre es pèires a on ja non i a mortèr.

Eth desplaçament deth pilar se pòt dedusir a trauès dera analisi deth desplaçament deth centròide de n seccions (ns) deth pilar. Atau, se fixen es coordenades (x_{ci} , y_{ci} , z_{ci}) entà cada seccion (ns). Eth centròide de referéncia (x_{c0} , y_{c0} , z_{c0}) se fixe ena seccion dera planta perque non aurie patit cap de desplaçament. Era avaloracion des caracteristiques morfologiques des pilars se realize a trauès des elements visibles, com es juntes de mampostaria. Es elements non visibles non se tien en compde. Atau, es donades s'obtien en foncion des des centròides de cada hilèra visibla. Atau, es pilars an es hilères que seguissen: (P1 =26), (P2=26), (P3= 27), (P4= 25), (P5= 23) y (P6= 23) (Figura 90).

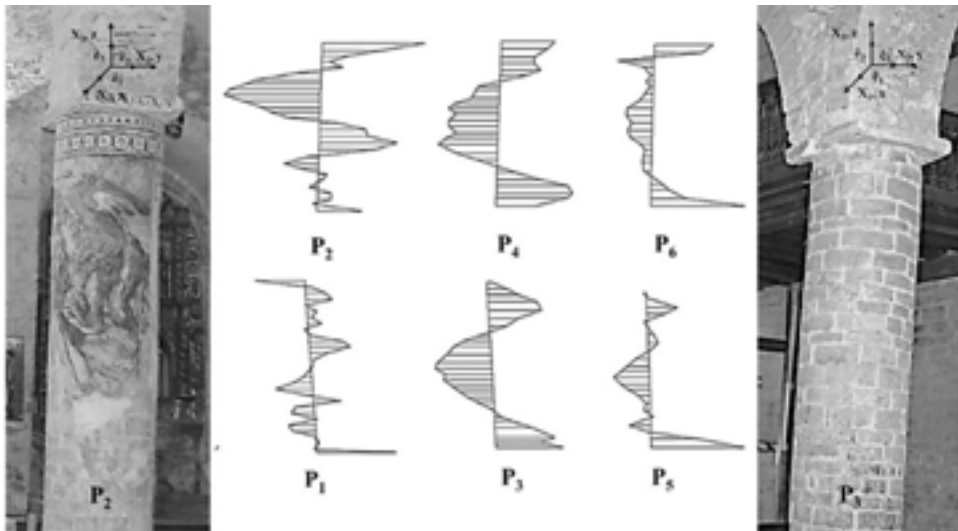


Figura 90. Representacion des desplaçaments des centròides segontes es plans de regression Pri sus er èish (y).

Es resultats obtengudi a trauès dera analisi realizada damb eth malhat espaciau Cyclone e eth programa 3DReshaper (2016), qu'eth major desplaçament se tròbe en pilar P1, damb un reng de desplaçament en cada hilèra de [0,270, 0,001].

Ad aguest desplaçament lo seguís eth deth pilar P3, damb un reng de $[0,190 - 0,001]$. Eth reng de desplaçaments dera rèsta de pilars ei: P2 $[0,108 - 0,002]$, P4 $[0,109 - 0,002]$, P5 $[0,101 - 0,001]$ e, coma darrèr, eth pilar mens deformat, P6 $[0,065 - 0,001]$, atau es pilars P1, P3 y P5 presenten majors deformacions qu'es auti.

Cap des plans de regression Pri ei perpendicular ar èish dera vòuta centrau. Toti presenten ua inclinacion moderada. Er angle en P1 ei de $85,466^\circ$, per çò que $(\omega \varphi) < 90^\circ$. Tanben ei eth pilar mès inclinat (0,270 m) e ei eth mès naut (4,170 m). Era rèsta de pilars an angles $(\omega \varphi) > 90^\circ$ damb un reng $[103,893^\circ - 126,169^\circ]$; [P2; $103,893^\circ$], [P3; $108,665^\circ$], [P4; $117,245^\circ$], [P5; $112,066^\circ$] y [P6; $126,169^\circ$] (Figura 91).

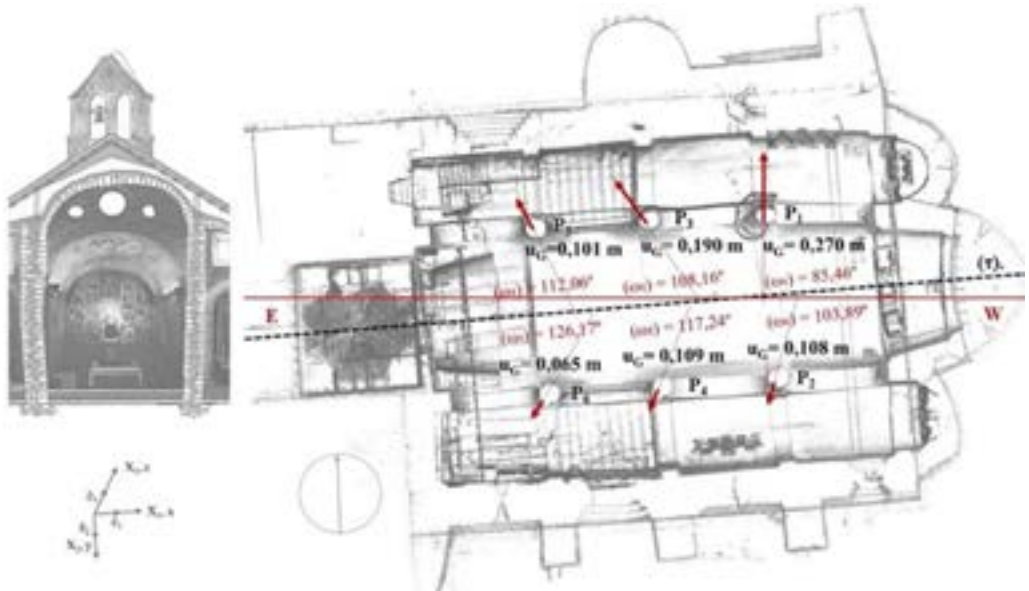


Figura 91. Caracterizacion des plans de regression Pri damb eth malhat espaciau Cyclone e eth programa 3DReshaper (2016)

Es resultats obtengudi a trauès deth plugin Undet de Google SketchUp (2019) damb era sua gestion interactiva de coloracion e densitat mos permet d'ajustar era transparéncia, cambiar eth conjunt de punts e eth sòn tamanh e, ath delà, podent observar eth conjunt de punts colorejat per plans o nautades.

Aguesta foncion mos permet de veir damb detalh es juntes des pilars e comprovar era medicion manuau realizada anteriorament e expressar qu'es juntes mesurades damb Undet oscillen entre 0,007 m e 0,015 m d'amplada. Existissen pòques diferéncias entre es resultats damb eth programa 3DReshaper (2016), en tot èster era direccion deth desplaçament dera formacion de P2 era màger diferéncia damb mens (2, 599°) e era menora eth P3 damb mens (0,003°) (Figura 92).

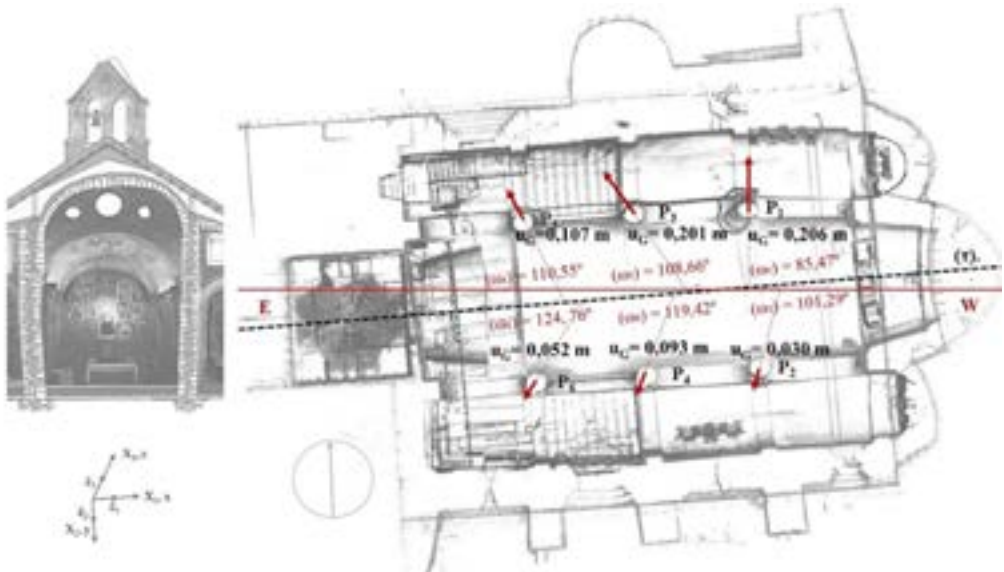


Figura 92. Caracterizacion des plans de regression Pri damb eth plugin Undet deth software Google SketchUp (2019)

Er angle en P1 ei de 85, 474°, per çò que $(\omega \varphi) < 90^\circ$, en tot èster, a mès, eth pilar mès inclinat (0,206 m). Era rèsta de pilars an angles $(\omega \varphi) > 90^\circ$, com auem vist anteriorament, damb un reng [101, 291° - 124,756°]: [P2: 103,893°], [P3: 108,657°], [P4: 119,417°], [P5: 124,756°] e [P6: 110,553°].

Es plans de regression Pri obtengudi, que contien es deformacions dfp (dfp_x , dfp_y , dfp_z) entà cada pilar, tendissen a auer era direccion der empossament sus eth pilar P_i . Aguesti desplaçaments son eth resultat des empossaments actius des vòutes (E_{ba}) e des empossamens passius deth sistèma de contrahòrts, murs (E_{mp}) e contrahòrts (E_{mc}). Aguest estudi revelèc qu'era

direccion des desplaçaments des sies pilars P_i non ei pas perpendiculara ar èish centrau dera glèisa φ_1 , ja que $(\omega \varphi) \neq 90^\circ$.

Aguest resultat pròve era ipotèsi qu'es empossaments des vòutes non son pas perpendiculars ar èish dera glèisa, com ère eth cas des vòutes romanes, e que Choisy (1873) definic damb ua geometria regulara e despeçatge de pèira-talhada damb junta damb mortèr. Era direccion oblicua des desplaçaments des pilars se deu ara geometria irregulara des vòutes de Santa Maria d'Arties, atau com ath despeçatge dera pèira-talhada. Mès tanben pòden incidir ena resisténcia des empossaments passius des murs de barratge amassa damb es contrahòrts plaçadi entà mantier er equilibri. Eth pilar P_1 ei eth mès deformat de Santa Maria d'Arties e tendis leugèrament a un plan de desplaçament $(\omega_\varphi) < 90^\circ$ sus er èish principau e amassa damb eth pilar P_3 , a on $(\omega \varphi) > 90^\circ$, e entà resistir er efècte ei a on se placen ena façada Nòrd es majors contrahòrts, en tot sajar d'arténher er equilibri mejançant er empossament passiu des murs (E_{mp}) e es contrahòrts (Emc). Eth sistèma de contrahòrts totau pese 3.144,96 kN (314,5 tònes) (Figura93)¹.



Figura 93. Antics contrahòrts dera façada Nòrd de Santa Maria d'Arties [34]

¹ Eth contrahòrt extrem pendent ues òbres de reparacion en 2023. A estat eliminat eth contrahòrt mès propèr ara absida damb data de 15 de març deth 2024. S'obsèrve era henerèca en aguesta zòna

Eth desplaçament des cinc pilars (P2...P5), a on $(\omega_\varphi) > 90^\circ$, tendís cap ara façada opausada dera absida. Ath delà, es pilars P5 e P6, bastits pendent eth sègle XII en aguesta façada, son es mens deformadi pr' amor de dues transformacions posteriores: era bastenda deth campanau sus eth centre dera façada Oèst (XIII-XIV) e eth còr de husta (XVIII). Andús elements an ua importanta foncion rigidizadora (Figura 94). Damb aquerò s'identifiquen es rengs de nautades a on se produsissen granes deformacions: P1; [1,50 - 2,00 m], P2; [3,00 - 3,50 m], P3; [2,00 - 3,00 m], P4; [1,50 - 2,50 m], P5; [2,00 - 3,00 m] e P6; [1,00 - 2,50 m].



Figura 94. Campanau sus era façada Oèst de Santa Maria d'Arties [34]

Tanben i a ua diferéncia entre era nautada des pilars basa pr' amor dera inclinacion deth solèr dera glèisa, en tot èster P1 e P2 dera madeisha nautada des deth sòn centre basa, e P3 dera madeisha nautada de P4, mès en començar 0,047 m mès entà naut que P1 e P2 e, finaument, P5 ei 0,057 m mès naut que P1 e 0,019 m mès baish que P6 (Figura 95). Aguesti punts son extremadament importantes entà determinar es accions apropiades que s'an de préner entara intervencion en aguestes bastisses entà preservar eth patrimòni arquitectonic romanic, pr' amor que mèrquen un plan de deformacion tendent a crear un movement cinematic.



Figura 95. Plans de regresson dera deformacion des pilars de Santa Maria d'Arties [34]

6.5. Es granes deformacions enes vòutes romaniques

Era reparacion e contencion d'aguestes deformacions son era causa deth refòrç des murs perimetraus mejançant era bastenda de contrahòrts o eth plaçament estrategic de campanaus, que se sòlen bastir ena façada opausada ara absida. Per aquerò s'an determinat es empossaments actius (E_{ba}) des vòutes sus pilars e murs. Mès entà compréner er equilibri d'aguestes bastisses, ei imprescindible de conéisher es empossaments passius des elements de refòrç, murs (E_{mp}) e contrahòrts (E_{mc}).

Der estudi des deformacions des elements constructius, e especiaument era vòuta centrau e colateraus, pera accion deth sòn pròpri pes, es accions exteriores qu'incidissen sus eri, com era accion dera nhèu e eth tèrratrem, atau com era pèrta deth mortèr pera accion dera umiditat o des vibracions, compòrte qu'era foncion primitiva $f_{i(x,y,z)}$ dera vòuta tendís a deformar-se entà ua foncion $ff_{(x,y,z)}$. Dera observacion e analisi podem comparar es estats, linhaus, bidimensionaus e tridimensionaus dera foncion primitiva $f_{i(x,y,z)}$ e dera deformada $ff_{(x,y,z)}$ analisada en un espaci de temps.

En l'estudi detallat de les seccions transversals de Santa Maria d'Arties [34], es proum d'aguesti empossaments, bères vòutes s'an deformat en quia formes funiculars (Figura 96).

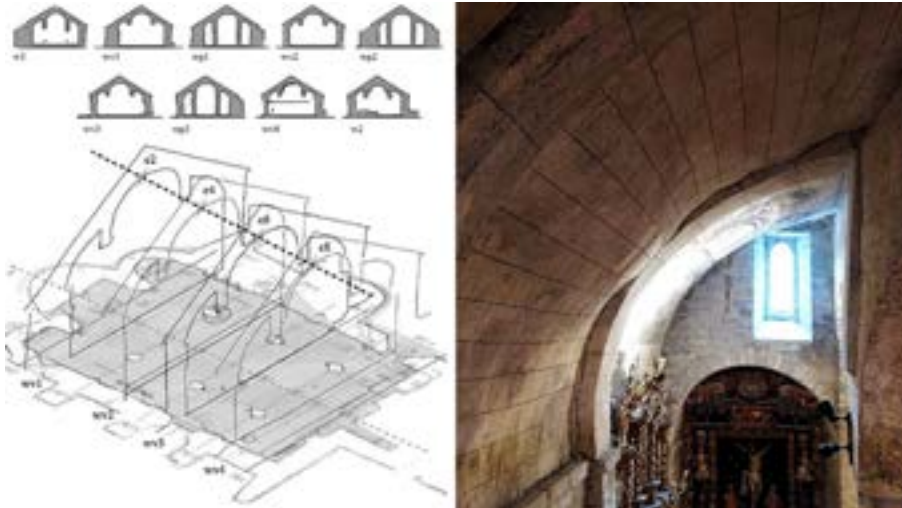


Figura 96. Detall des seccions transversaus de Santa Maria d'Arties [34]

En aquest cas des vòutes funiculars, se localizen enes vòutes de quart de canon des naus transversaus (Figura 97).

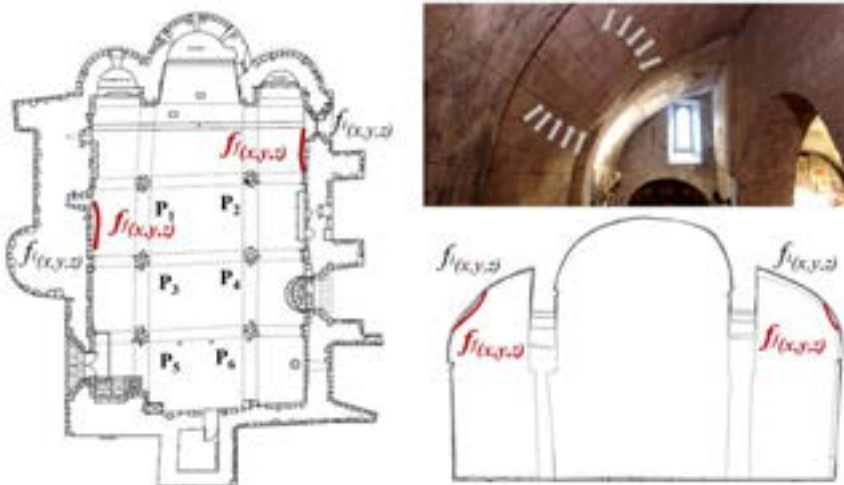


Figura 97. Localizacion des vòutes funiculars enes de quart de canon en Santa Maria d'Arties [34]

Aguestes, atau com eth desplaçament des pilars, son un mejan continu qu'ei format per punts materials qu'aucupen posicions desparières en espaci pendent eth sòn movement en un periòde $[\Omega_0, \Omega_1]$. Se pòt simular mejançant un sistèma cartesian.

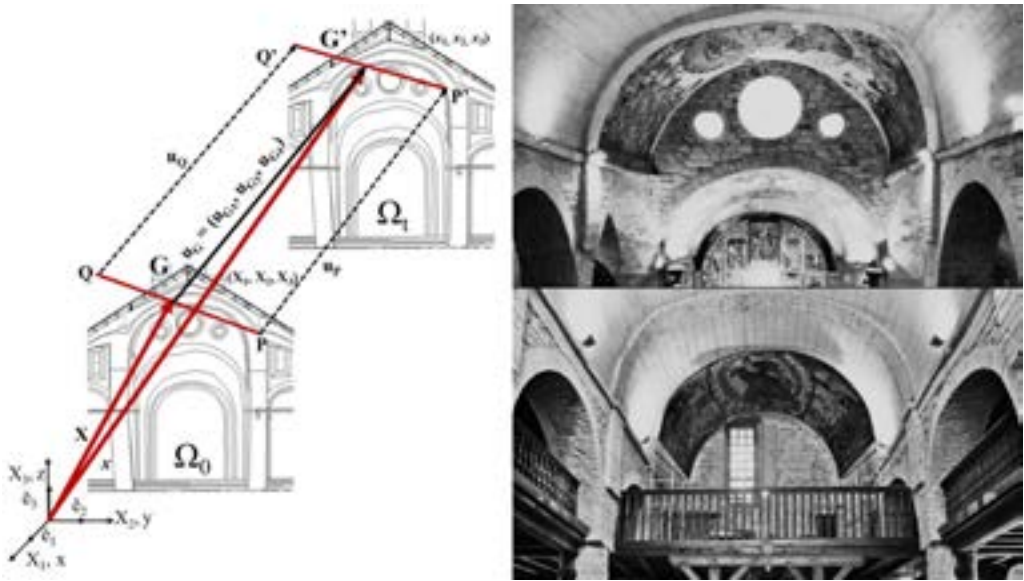


Figura 98. Simulacion deth desplaçament des deformacions des vòutes de Santa Maria d'Arties [34]

Coma critèri generau establím que, dada ua seccion, era longada d'aguesta seccion dera vòuta deformada $ff_{(x)}$ ei màger o parièra qu'era foncion primitiva $fi_{(x)}$.

≥

Qu'era superfícia dera seccion dera vòuta deformada $ff_{(x,y)}$ ei màger o parièra ara qu'era foncion primitiva $fi_{(x,y)}$;

≥

Finaument, qu'eth volum der interval $[a, b]$ interior d'ua vòuta $ff_{(x,y,z)}$ pòt èster parièr, màger o mendre qu'era dera foncion primitiva $fi_{(x,y,z)}$. D'aguesta forma, s'eth volum ei màger o parièr qu'era iniciu, era vòuta ei antifuniculara, de forma qu'ei concava.

≥

Per ua auta part, s'eth volum dera vòuta deformada ei mendre qu'era forma iníciau, era vòuta ei funiculara, de forma qu'ei convèxa.

<



Figura 99. Vòutes funicularas en Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Aguesta circumstància ei concurrenta damb era geometria de part des vòutes de canon dera nau centrau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6], atau com es de quart de canon des naus lateraus (Figura 99). Podem definir tanben aquest concèpte en foncion dera concavitat o convexitat dera foncion dera deformada $ff_{(x)}$, en interval $[a, b]$ sus un plan perpendicular ath dera directritz dera vòuta φ_1 . Atau, s'ei concava, era foncion ei funiculara de forma que $ff''_{(x)} < 0$, mentre que s'era deformada ei convèxa, serà antifuniculara. Ua auta des caracteristiques que determine era foncion ei era deformada $ff_{(x)}$, eth punt maximau serà aqueth qu'a ua tangent orizontau; $ff''_{(x)} = 0$.

Er estudi des deformacions determine eth comportament dera bastissa a trauès dera sua istòria, e era evolucion des diuèrses intervencions que s'an realizat, com era execucion de contrahòrts, era construccion de còrs e eth

plaçament deth campanau. Aguesta situacion se produsís autan en Santa Maria d'Arties [34], com en Santa Eulària d'Unha [38], a on quate des sues seccions metodologicas dispausen d'ua part damb geometria funiculara de forma convèxa (Figura 100).



Figura 100. Geometria funiculara des vòutes de Santa Eulària d'Unha [38]

Aguestes intervencions, pr'amor des empossaments actius des vòutes (E_{ba}), an produsit ua accion cinematica dera bastenda originau. Coma responsa, aguesti elements de resisténcia verticau, a a traucs d'eri, an introdusit es empossaments passius (E_{pm}), en tot tendir atau ara condicion d'equilibri dera teoria elastica.

Es vòutes des naus centraus son, ena sua majoria, fòrça mès rebaishades qu'es de canon e en foncion dera geometria dera planta, se determinen directritzes de forma conica, com ei eth cas de Santa Maria d'Arties [34] e de Santa Eulària d'Unha [38].

En Santa Maria d'Arties [34] es vòutes tendissen a comportar-se, en eish transversau deth plan φ_1 , com ua viga apuada enes sòns extrems, deformant-se principaument enes dus vans centraus. Es extrems d'aguestes bastisses son capdaus entara estabilitat generau dera bastenda, ja que presenten

elements de màger rigidesa, perque tendissen a dispausar de deformacions menores. En cas dera absida, es condicions dera corbatura des murs atau ac determinen. Non passe pas çò de madeish damb era façada, a on eth campanau hèt sègles dempús tendís a crear un element de rigidesa coma resistència.

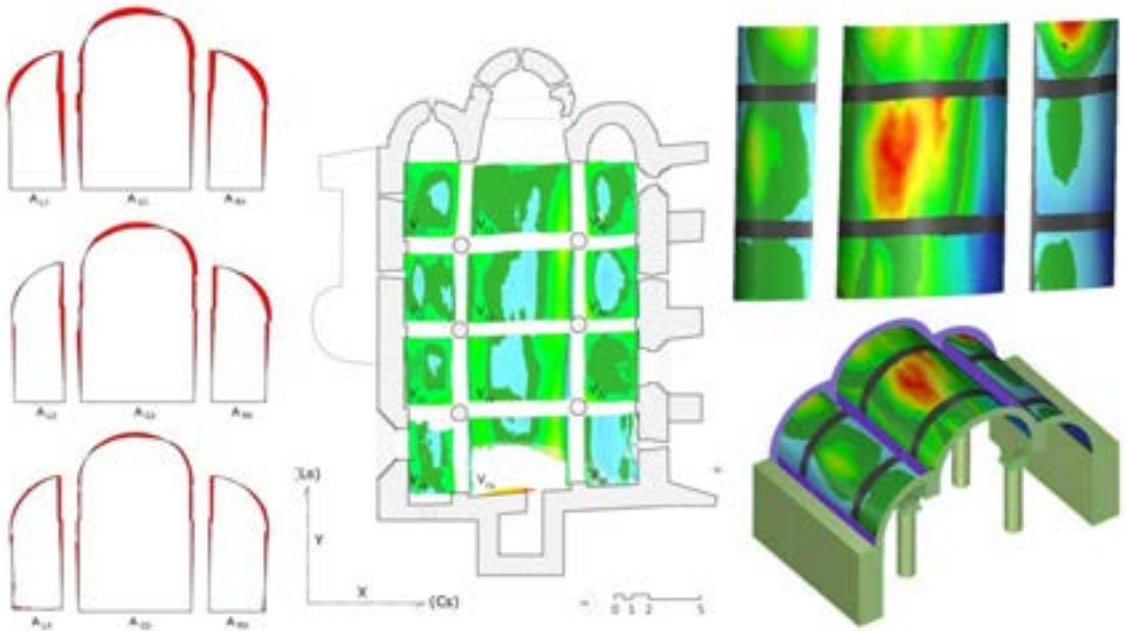


Figura 101. Simulacion deth comportament des vòutes de Santa Maria d'Arties [34]

Es accions gravitatòries des vòutes incidissen dirèctament sus es murs de barratge enes tipologies de nau unica, e enes pilars e murs exteriors en cas des de planta basilicau. Eth sistèma de murs exteriors recep a mèes es accions des cubèrtes de lòsa qu'actuen sus es cindres de husta e es subercargues qu'es accions climatiques produsissen sus eres, en cas de nheudes o airegàssi, pr'amor qu'an ua estructura formau pariona ara dera casa aranesa. Es tipologies des armadures des carpentes depeneràn dera lum de construccion, en tot emplegar es tradicionaus ena bastenda des bòrdes (Roigé; Estrada, Beltran 1997, 161), damb un *trauetet* ena part superiora qe hè de tensor, cargant dirèctament sus era paret (Figura 102).

Ua auta solucion estructurala entàs cindres de husta se realize mejançant eth plaçament de tornapunta centrau e a biais de tensor, e qu'era sua armadura repòse dirèctament sus era part superiora dera vòuta (Figura 103).



Figura 102. Vòuta de maçonaria e armadura dera cubèrta de Sant Andrèu de Casau [27]



Figura 103. Vòuta e armadura dera cubèrta de Sant Martin de Tours de Gausac [26]

6.6. Era eterogeneïtat des murs de barratge

Ua des caracteristiques deth romanica aranès ei era diferència d'aparelh enes murs des façades Nòrd e Sud. Per aquerò s'a realizat un estudi detalhat deth prumèr romanica e s'an ubicat enquia dotze grups desparièrs de paraments a trauès d'ues mòstres rectangulars d'1 m² de superfícia, classificades com (A, B, C M). Es diferències de parament s'obsèrven inclús en ua madeisha façada, com en Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41], a on apareishen enquia 5 tipologies desparières de mòstres (C, H, I, F, G) (Figura 104) (Coll-Pla; Puche-Fontanillas; Costa-Jover; Lluís i Ginovart 2023, e791).



Figura 104. Tipologia d'aparelh ena absida de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Ei plan important de determinar era relacion entre era mampostaria e eth mortèr de caudia, en bèri casi fabricat en horns apròp dera bastissa, com en Santa Maria de Vilamòs [12] (Figura 105.a). Quan eth mortèr desapareish, o ei inexistent, es aprarelhs demoren en bèri casi sense supòrt e contunhitat, e pòden arribar a produsir trincaments per traccion, com ei eth cas deth campanau d' Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] (Figura 105.b).

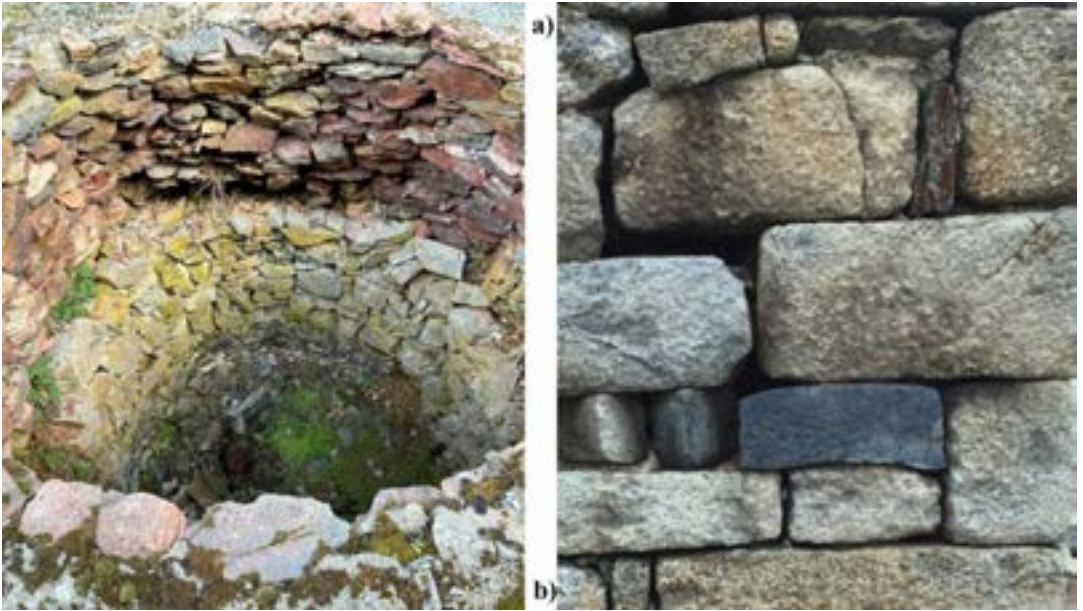


Figura 105. a) Horn de caudia propèr a Santa Maria de Vilamòs [12]; b) Trincament dera mampostaria en campanau d' Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

En estudi comparatiu entre es mòstres des aparelhs des glèises araneses mèns antiquas s'obsèrven tres grops constructius clarament desparièrs. En prumèr i trobam Santa Eulària d'Unha [38], Sant Pèir d'Escunhau [31], Sant Pèir de Betlan [21] e Santa Maria de Vilamòs [12] (Figura 106.a). Se caracterizen per auer un conjunt de pèires de talha de $[(0,100-0,150 \text{ m}) \times (0,200-0,400 \text{ m})]$ e damb un groish dera junta de $[0,012-0,016 \text{ m}]$.

Eth dusau grop lo formen es glèises de Sant Fabian d'Arres de Jos [9] (Figura 106.b), Sant Miquèu de Vilamòs [15] Sant Joan d'Arròs e Vila [16] e Sant Estèue de Tredòs [39], damb ua mampostaria talhada damb ua estereotomia definida de $[(0,100-0,150 \text{ m}) \times (0,200-0,400 \text{ m})]$, damb un groish dera junta mèns gran de $(0,016 \text{ m})$.

Eth tresau grop lo formen es glèises de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] (Figura 106.c) e Sant Ròc de Begós [14] damb ua mampostaria de talha de estereotomia definida de $(0,012 \times 0,260 \text{ m})$ e damb un groish de junta de 1.34 cm .

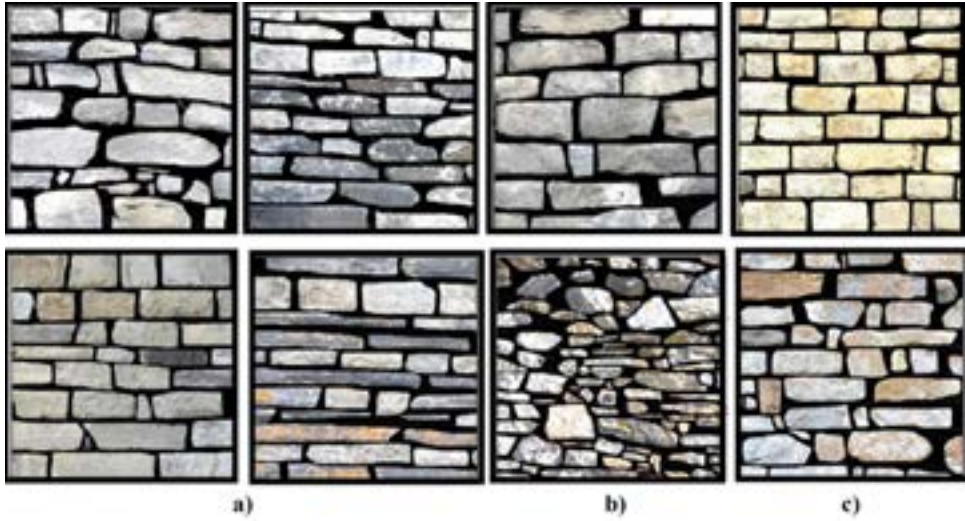


Figura 106. Tipologia dera mampostaria deth primèr romanican aranès

Era mampostaria des pilars acostume a èster mès uniforma e similara en cada ua des glèises, encara qu'era tipologia d'aguestes sigue desparièra, com en cas de Santa Maria de Vilamòs [12]. Aquiu, eth despeçatge dera pèira d'origina sedimentària a un promie de (0,112 x 0,273 m) damb junta de (0,011 m), encara qu'er estudi mes detalhat determine diferéncia de densitats en mostratge (Figura 107).

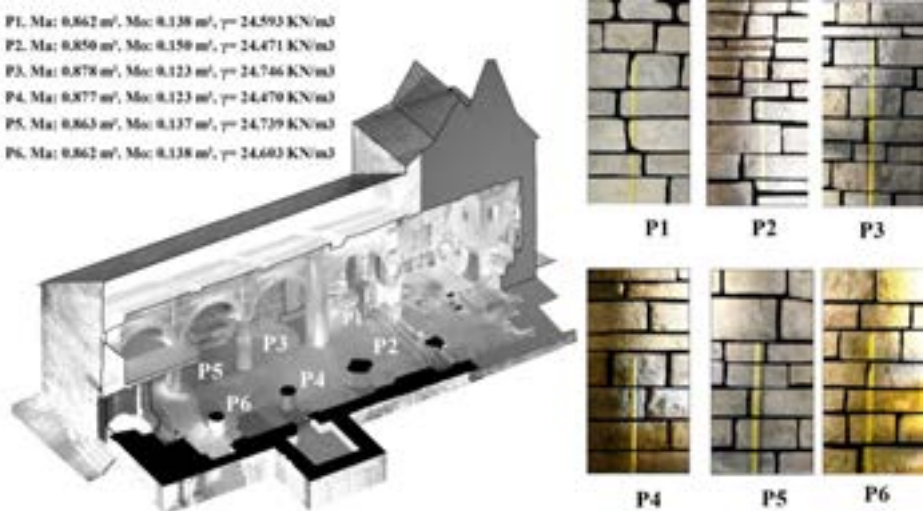


Figura 107. Tipologia dera mampostaria des pilars Santa Maria de Vilamòs [12]

A despiet qu'era manèra de trabalhar es murs ei totaument gravitatòria, çò que serà important ei eth groish deth mur entà poder contier era linha d'empossaments des vòutes, en tot absorbir atau es traccions que transmeten aguesti elements (Coll-Pla; Lluís i Ginovart; Costa-Jover; Lluís-Teruel 2022, 1-15).

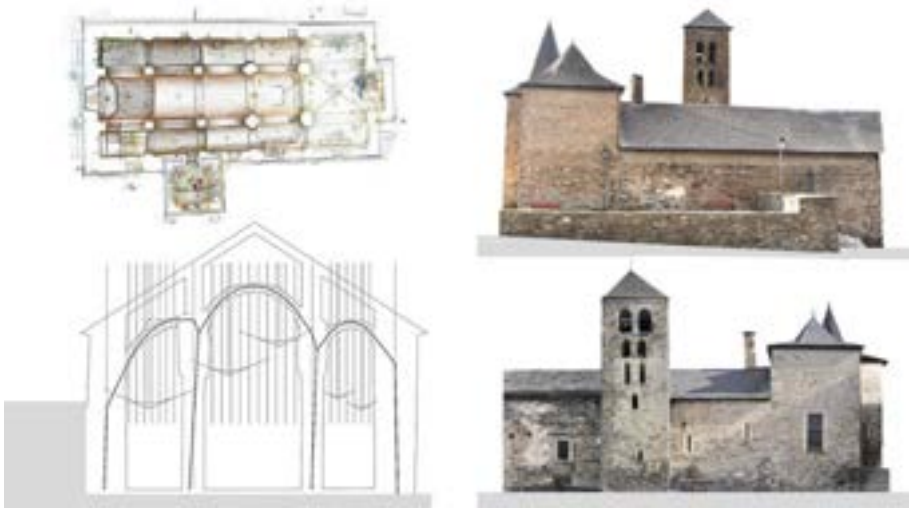


Figura 108. Linha d'empossaments des vòutes de Santa Maria de Vilamòs [12]

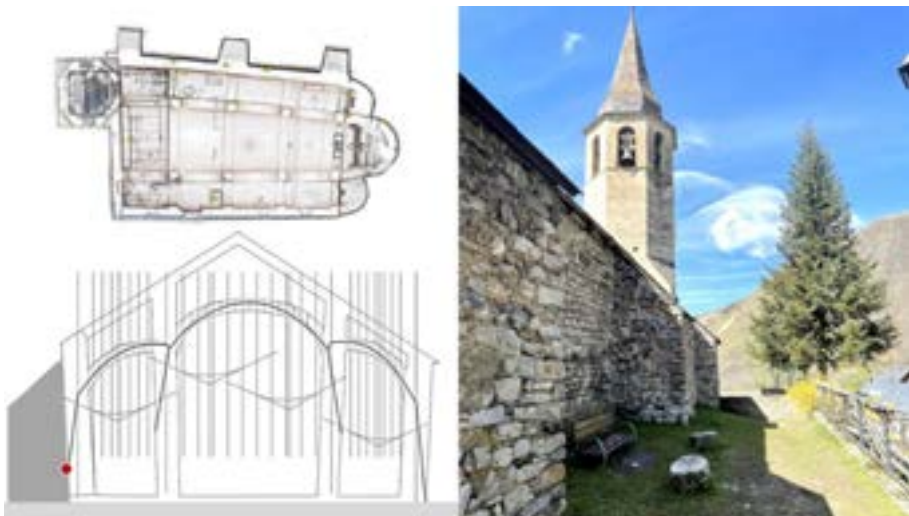


Figura 109. Linha d'empossaments de Santa Eulària d'Unha [38] e eth besonh de bastir contra-hòrts ena façada Nòrd

En cas de Santa Maria de Vilamòs [12], era linha d'empossaments ena seccion des pilars (P_1 - P_2) ei contenguda laguens deth mur der evangèli sense auer de recòrrer ath groish dera contencion des tèrres, mès tanben laguens deth dera epistola, per aquero eth sòn groish ei sufisent e non a de besonh de contrahòrts de resisténcia (Figura 108).

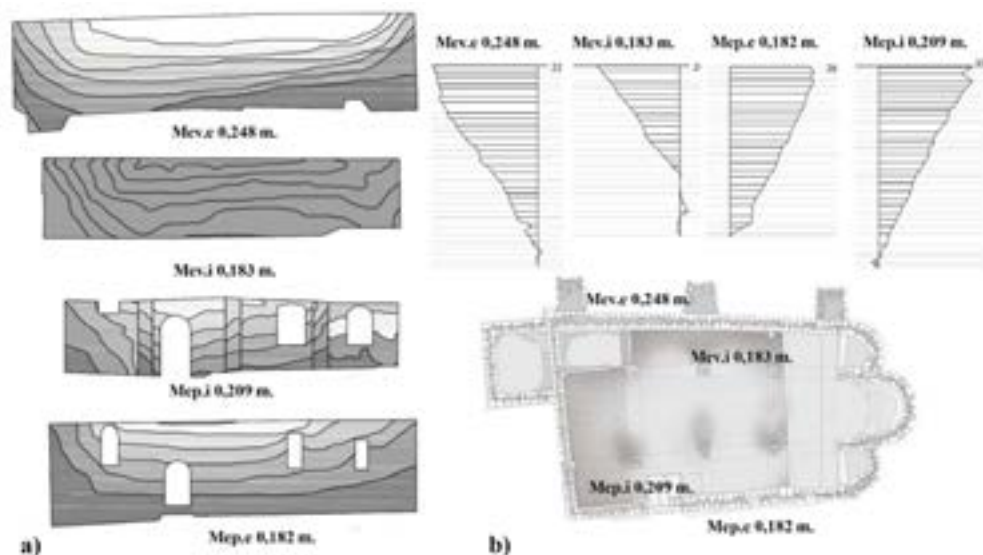


Figura 110. Deformacion des murs longitudinaus de Santa Eulària d'Unha [38]

Non passe çò de madeish en Santa Eulària d'Unha [38], a on aguesta linha se place ena basa deth mur dera epistola, mès non pas atau ena der evangèli, e per aquerò s'an ahijut posteriorament ara bastissa originau es tres contrahòrts dera façada Nòrd (Figura 109).

Er estudi dera linha de maxima deformacion des murs presente en exterior deth der evangèli un esbauçament de (0.248 m). En son parament interior un esbauçament de (0.183 m). Eth parament interior deth mur dera epistola presente un esbauçament de (0.209 m), en tot qu'eth sòn exterior presente un esbauçament menor, de (0.182 m), dilhèu pr'amor dera diferéncia de dubertures entre er interior e er exterior (Figura 110.a)

Es coeficients de regressio dera tendéncia linhau des murs son de (0.97,0.91, 0.97, 0.98), per aquerò se pòt considerar qu'era deformacion des

murs ei per desplaçament des sues alinhades. Se s'obsèrve era topografia des murs, s'obsèrve qu'es maximes deformacions tendissen a presentar-se en centre d'aguesti, pr'amor deth ròtle rigidizador des absidiòles dera absida e deth campanau plaçat enes sòns extrems (Figura 110.b).

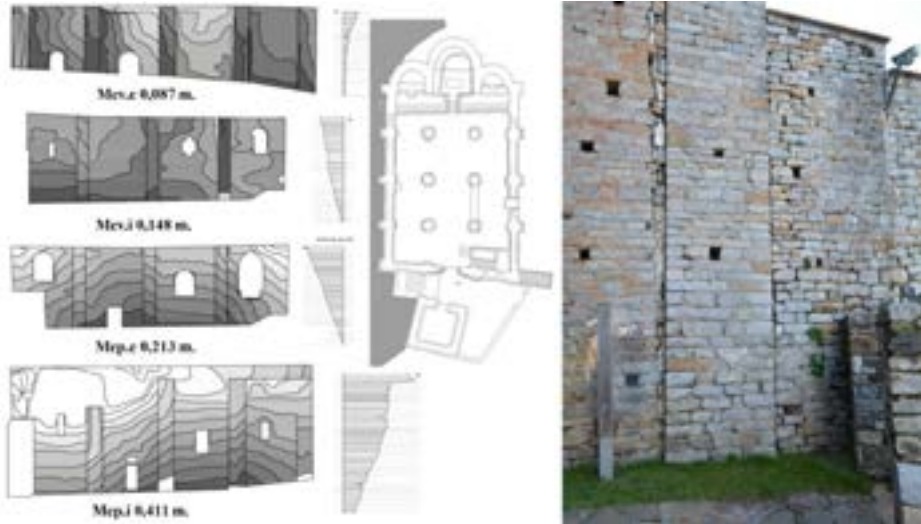


Figura 111. Deformacions des murs longitudinaus de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] e era construccion deth contrahòrt dera façada

En Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41], es contrahòrts des dues façades longitudinaus se projectèren iniciaument. Eth mur der evangèli ena sua cara exteriora presente ua deformacion maximau de (0,087 m), mès pr'amor des esbauçaments deth mur dera epistola sus era façada, ei fòrça superiora, arribant a (0,441 m). Per aquerò s'auec de bastir ua grana resisténcia, mès ampla qu'era existentia, que s'intègre gradonadament ena façada principau (Figura 111). En d'auti casi, aguestes accions sus elements des murs de pòc de groish, an amiat a importantes reparacions, a on eth volum dera resisténcia deth sistèma de contrahòrts pese 3.144,96 kN. Ei superior ath dera mampostaria iniciau, com en cas de Santa Maria d'Arties [34], sus era que s'an produsit grani esbauçaments qu'an de besonh suavizar era accion cinematica dera estructura e que carrege inevitablament ua situacion de collapse (Figura 112).



Figura 112. Grani esbauçaments en inici deth mur dera nau de Santa Maria d'Arties [34]



Figura 113. Estructura de resistència de forma irregulara ena façada Sud de Santa Maria d'Arties [34]

Era actuacion realizada entar equilibri ena façada Sud a coma principi era accion gravitatòria, damb era bastenda d'ua grana resistència de massa peirencia. Se li da ua forma irregulara en tot combinar formes cilindriques

e prismatiques, plaçada de forma contunhada sus eth mur primitiu de mampostaria, en tot acarar d'aguesta forma ua naua façada (Figura 113). A diferéncia dera actuacion ena façada Nòrd, se dispause d'ua tipologia de contrahòrts perfiladi geometricament de forma seqüenciau e prismatica, en tot conservar ena deth hons era pèira-talhada primitiva (Figura 114) (Lluís e Ginovart; Lluís-Teruel; Coll-Pla; Costa-Jover 2021, 210-221)



Figura 114. Resisténcia damb contrahòrts damb talús ena façada Sud de Santa Maria d'Arties [34]

7. ES ELEMENTS DER EQUILIBRI DERA ARQUITECTURA

Dempús dera analisi scientifica des vòutes, es especiaument romaniques son aqueres qu'auem definit com de canon, en tot includir un gran ventalh de directritzes e generatritzes. S'a demostrat qu'es empossaments non son pas perpendiculars as sues directritzes.

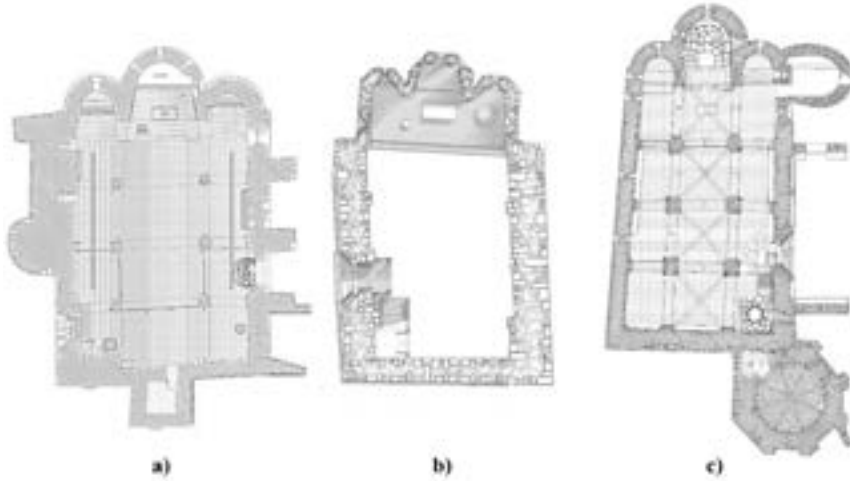


Figura 115. Geometria des plantes. a) Santa Maria d'Arties [34]; b) Sant Estèue de Betren [29]; c) Sant Andrèu de Salardú [37]



Figura 116. Generatritzes de vòutes rebaishades ena nau centrau dera planta basilicau de Santa Eulària d'Unha [38]

Aguesta situacion se produsís ath còp pera geometria des sues plantes (Figura 115), pera generatriz des sues vòutes (Figura 116) e pera mampostaria emplegada, en tot provocar deformacions en totes es direccions dera maçonaria (Figura 117). Aguesta situacion se prevé en projècte damb era prevision de contrahòrts. (Figura 118) o posteriorament s'aurà de dispausar d'elements de resisténcia.



Figura 117. Grani esbauçaments enes naus de Santa Maria d'Arties [34]



Figura 118. Contrahòrts dera façada de tramontana de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

7.1 Elements passius de resistència

Un des elements diferenciaus dera arquitectura romanica dera Val d'Aran ei era geometria des sues cabeçades, circulars entàs absides de nau unica e formaument similares entàs de planta basilicau damb es sues absidiòles. En bèri casi se desmontèren es absides circulars entà convertir-les en planèras (Figures 119-120).

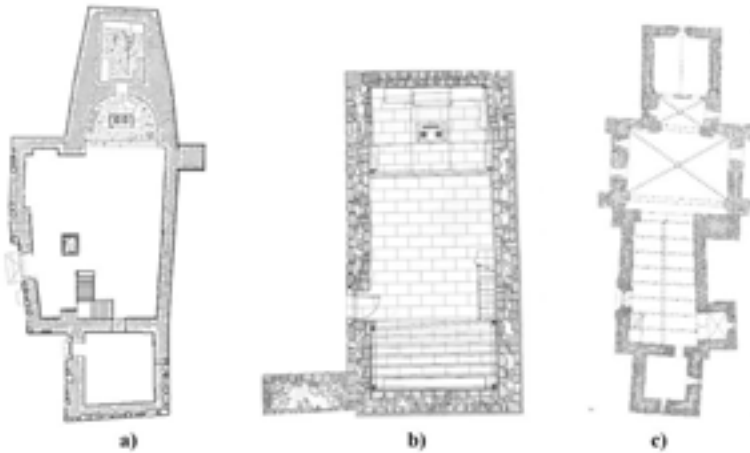


Figura 119. Planes geomètriques. a) Sant Tomàs de Casarilh [30]; b) Sant Estèue de Tredòs [39]; c) Sant Pèir d'Escunhau [31]

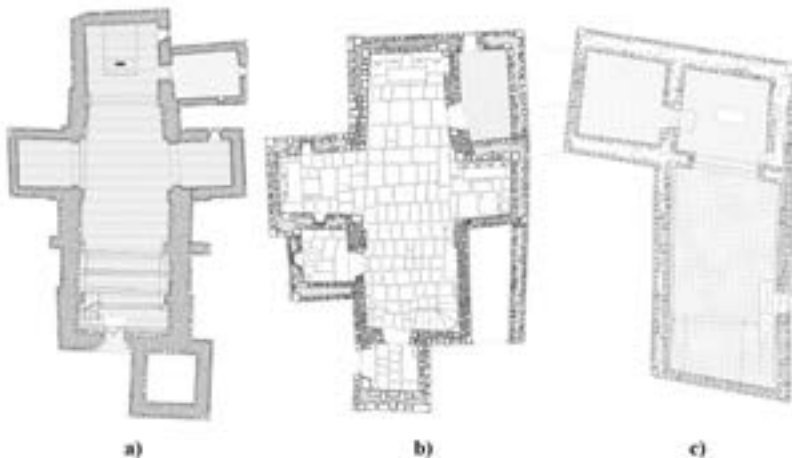


Figura 120. Geometria des plantes. a) Sant Fèlix de Bagergue [40]; b) Sant Ròc de Begós [14] c) Sant Andrèu de Casau [27]

Aguesta situacion non sonque se produsís enes glèises de nau unica, senon tanben enes de planta basilicau, com Santa Maria de Vilamòs [12], o de forma poligonau en Sant Fèlix de Vilac [24] (Figura 121). Enes absides de Sant Martin de Tors de Gausac [26] e Sant Estèue de Montcorbau [22] s'a adoptat tanben aguesta geometria poligonau (Figura 122).

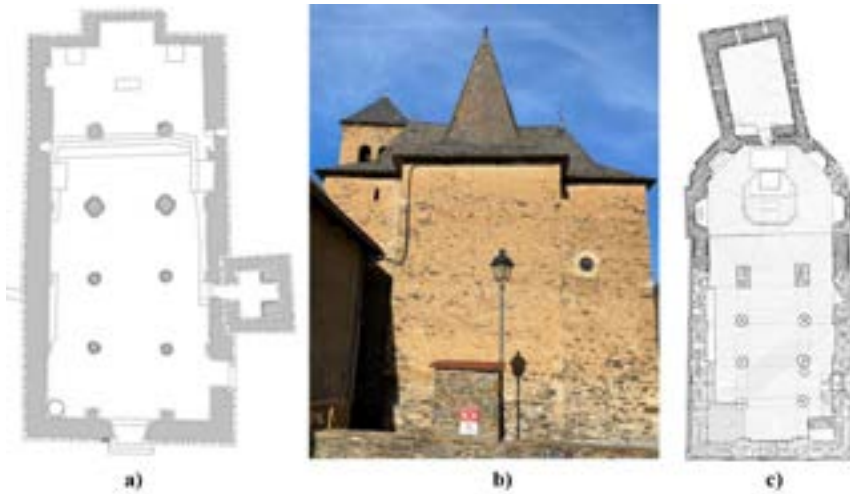


Figura 121. a) Planta de Sant Fèlix de Vilac [24]; b) Absida de Santa Maria de Vilamòs [12]; c) Planta Santa Maria de Vilamòs [12]

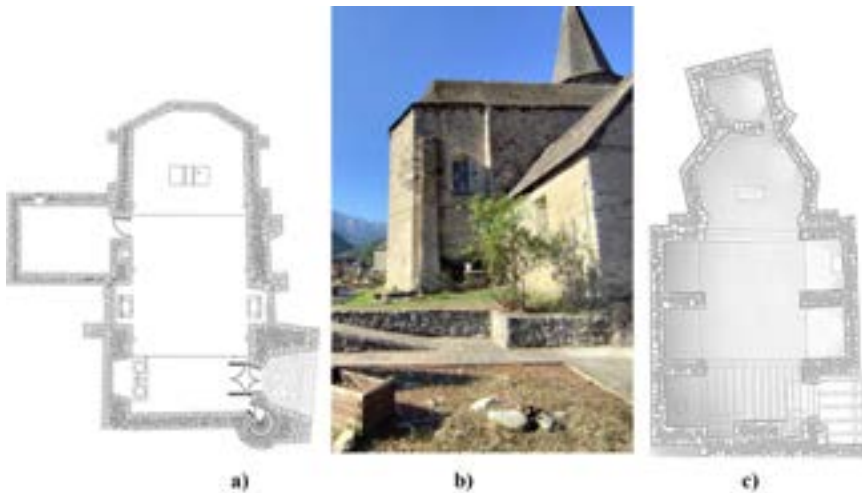


Figura 123. a) Planta de Sant Martin de Tors de Gausac [26]; b) Absida de Sant Martin de Tors de Gausac [26]; c) Planta de Sant Estèue de Montcorbau [22]

Es formes circulars reequilibren millor qu'es linhaus es tensions orizontaus obliqües des vòutes enes murs, pr'amor que son optimes geograficament entà arténher aquest efècte. Per açò, es plantes primitives deth romanica dera Val d'Aran sigueren projectades d'aguesta manera (Figures 123-124).

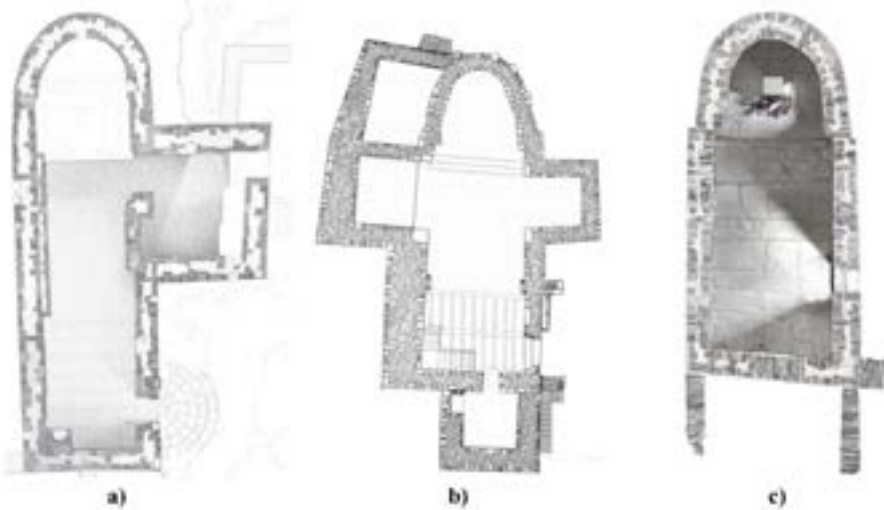


Figura 125. Plantes geomètriques circulars. a) Sant Joan d'Arròs e Vila [16]. b) Sant Pèir de Betlan [21]. c) Sant Miquèu de Vilamòs [15]



Figura 126. Absides circulars. a) Sant Joan d'Arròs e Vila [16]; Sant Fabian d'Arres de Jos [9] (Figures 123-124)

Aguesta situacion ei generau enes glèises de planta basilicau, a on era part rècta dera absida, de directritz cilindrica o conica, amassa damb era forma circulara deth barratge, accentuen era rigidesa dea cabeçada. D'aguesta manèra, amassa damb es absidiòles lateraus, actuen com un efècte passiu ara neutralizacion des possibles traccions qu'es vòutes agen podut produir (Figures 123-124)

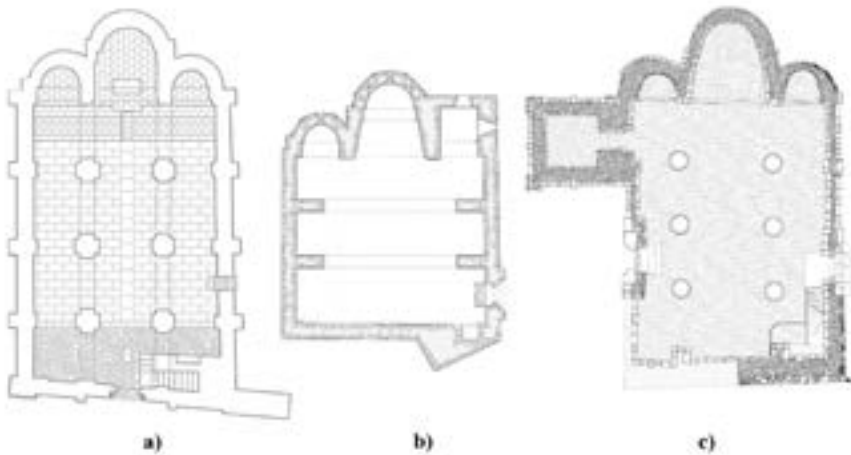


Figura 123. Plantes geometriques. a) Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]; b) Santa Maria de Mijaran [25]; c) Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 124. a) Absida de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]; b) Absida de Santa Eulària d'Unha [38]

D'alti elements suberpausadi posteriorament de husta qu'ajuden ar equilibri des naus son es còrs, pr'amor qu'actuen coma tirant ena façada opausada ara dera absida. Aguest espaci surleuat compde damb un domèni visuau e acustic sus er espaci sacre, e dispause ath còp d'un milhor confòrt climatic qu'eth plaçat ena planta inferiora (Figures 127-128).



Figura 127. Detalh dera seccion deth còr de Sant Estèue de Tredòs [39] dispusat sus pilars de husta



Figura 605. Detalh dera estructura inferiora deth còr de Sant Estèue de Tredòs [39], apuada sus en portic de husta.

Aguestes estructures de balcon de nau unica son bastides damb husta entà tier traccions, en tot dispausar-se, com en Sant Pèir d'Escunhau [31], en dues plantes (Figura 130), refortilhant atau aguest efècte. Es sòns sistèmas estructuraus de supòrt sus eth sostienement verticau varien, mès normalment ac hèn perpendicularament e dirèctament sus er interior deth mur (Figura 129).

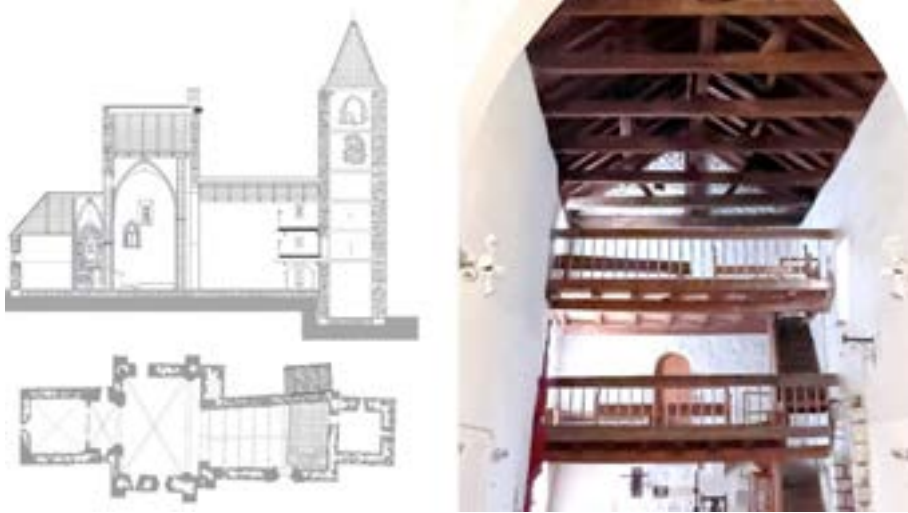


Figura 130. Planta e detalh dera seccion deth còr de dues plantes tipe balcon de Sant Pèir d'Escunhau [31]

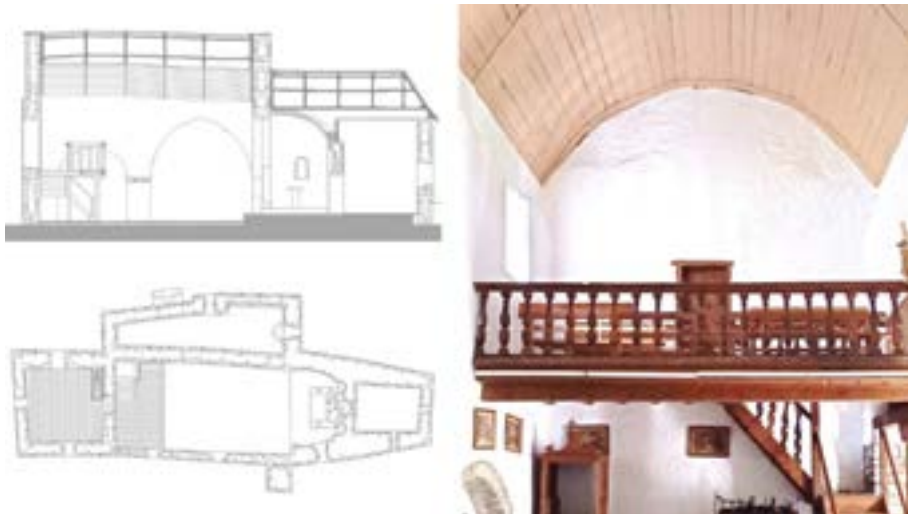


Figura 129. Planta e detalh dera seccion deth còr en balcon de Sant Tomàs de Casarilh [30]

Aguesta tipologia de còrs de balcon tanben ei utilizada enes glèises de planta basilicau e son plaçadi en quatau tram dera nau. En Santa Eularia d'Unha [38] se tracte d'ua planta dispausant de supòrts entermieis en sòn front (Figura 131). En cas d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] era estructua deth còr dispause de dus nivèus (Figura 132).



Figura 131. Planta e detalh dera seccion deth còr de balcon de Santa Eularia d'Unha [38]



Figura 132. Planta e detalh dera seccion deth còr de balcon de dus nivèus d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Enes plantes basilicaus s'a bastit eth balcon naut en forma d'anfiteatre entornejant en tot empuntalhar eth darrèr tram dera bastissa en front dera façada occidentau, atau com es pilars dera nau. Aquesta morfologia en forma d'U pòt èster d'un tram, com en Santa Maria d'Arties [34] e Santa Maria de Vilamòs [12] (Figura 133) o de dus trams en tot empuntalhar toti es pilars, com en Sant Andrèu de Salardú [37] (Figura 134).



Figura 133. Planta e detalh dera seccion deth còr en anfiteatre d'un tram de Santa Maria de Vilamòs [12]

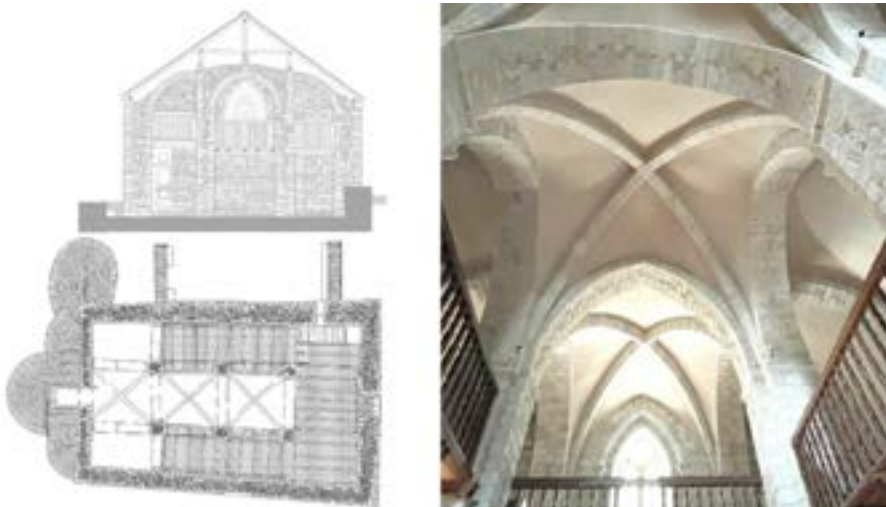


Figura 134. Planta e detalh dera seccion deth còr en anfiteatre de dus trams de Sant Andrèu de Salardú [37]

7.2 Elements actius de resistència

Es campanaus an servit coma elements de resistència, podent servir entar equilibri des possamens orizontaus. Bèri uns an estat executadi abans qu'es parets des naus, com ei eth cas de Santa Maria de Vilamòs [12], plaçat tà meddia (Figura 135), o eth d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6], plaçat tath Nòrd (Figura 136).



Figura 135. Campanau façada Nòrd d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

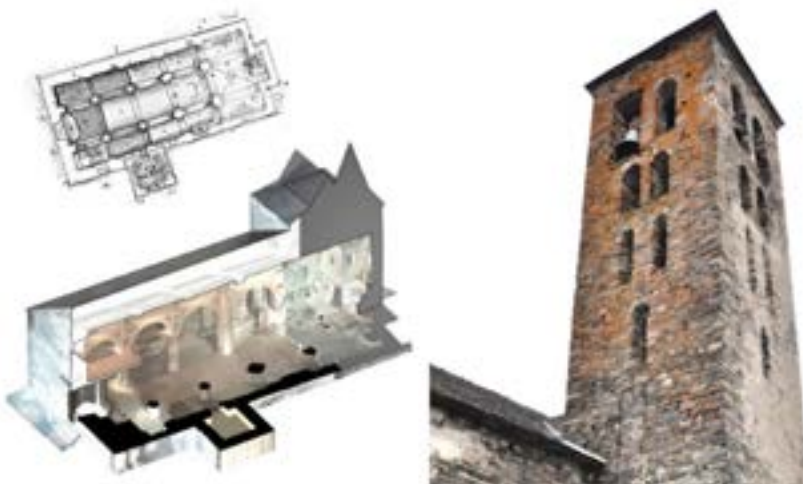


Figura 136. Campanau façada Sud de Santa Maria de Vilamós [12]

Per çò que tanh ath sòn plaçament, ac hèn majoritàriament damb ua posicion centrau sus era façada opausada ara absida, en tot evitar atau es esbauçaments d'aguesta façada. Atau se bastiren es de Santa Maria d'Arties [34] Sant Tomàs de Casarilh [30] Sant Pèir d'Escunhau [31] (Figura 137), Sant Andrèu de Casau [27], Sant Pèir de Betlan [21] (Figura 148) e Sant Ròc de Begós [14].

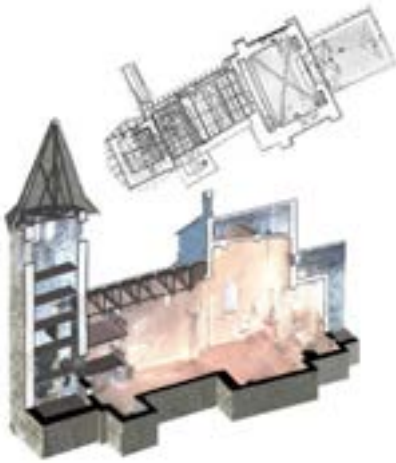


Figura 568. Campanau façada Oèst de Sant Pèir d'Escunhau [31]

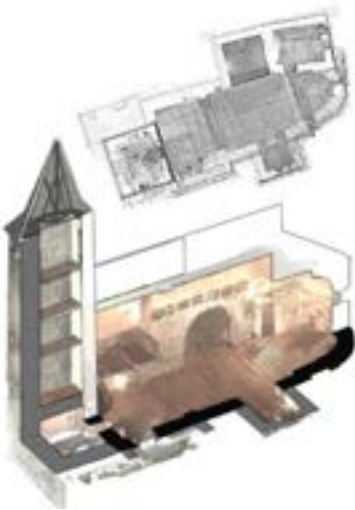


Figura 570. Campanau adorsat ath desnivèu dera façada Oèst de Sant Pèir de Betlan [21]

Ua varianta dera disposicion centrau ei de plaçar es campanaus enes extrems dera façada occidentau. En Santa Eulària d'Unha [38] se placen ena cantoada Nòrd (Figura 139), en Sant Fèlix de Bagergue [40], se dispause en cornèr Sud, com en Sant Andrèu de Salardú [37] (Figura 140).

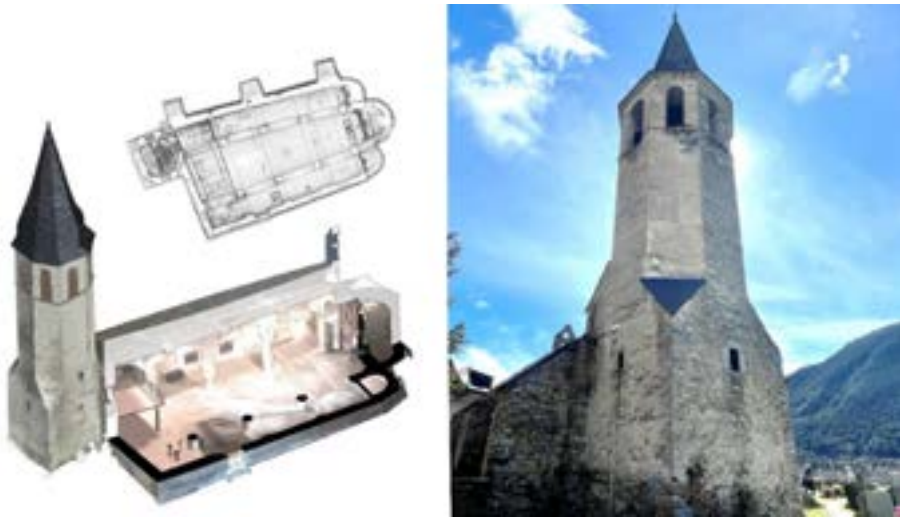


Figura 139. Campanau façada Oèst de Santa Eulària d'Unha [38] dispausat ena esquia septentrionau damb es auti contrahòrts.

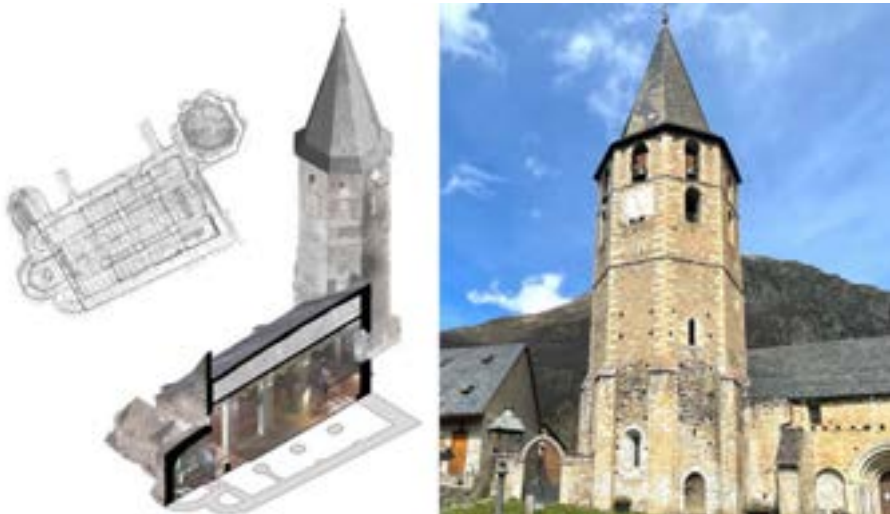


Figura 140. Campanau ena façada Oèst de Sant Andrèu de Salardú [37] e subergessent dera meridionau que li balhe er accès.

En Sant Estèue de Montcorbau [22] eth campanau de planta carrada ei adorsat ara absida de planta pentagonau e ei cubèrt damb vòuta de crotzilheria sexpartita, encara qu'era sua orientacion non seguís era directritz des vòutes dera nau centrau (Figura 141). En Sant Andrèu de Casau [27] se lhèue formaument sus eth presbitèri en tot bastir atau era façada occidentau (Figura 142).

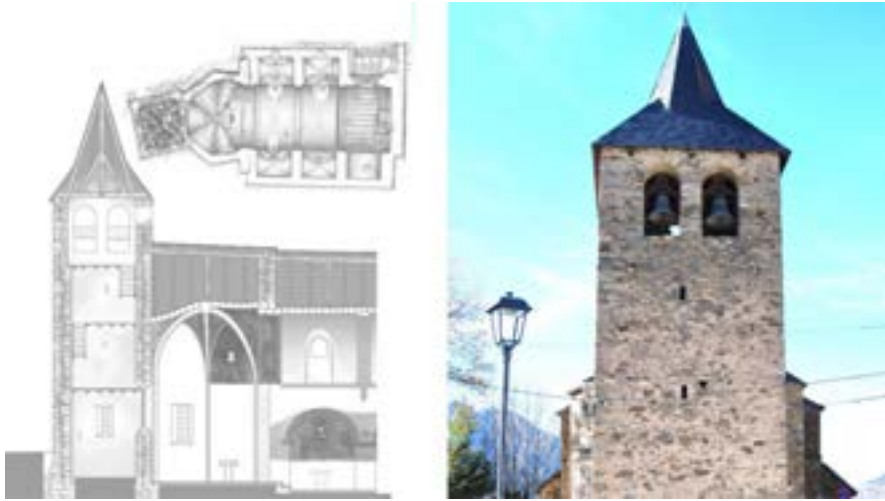


Figura 578. Eth campanau de Sant Estèue de Montcorbau [22], que forme era façada orientau

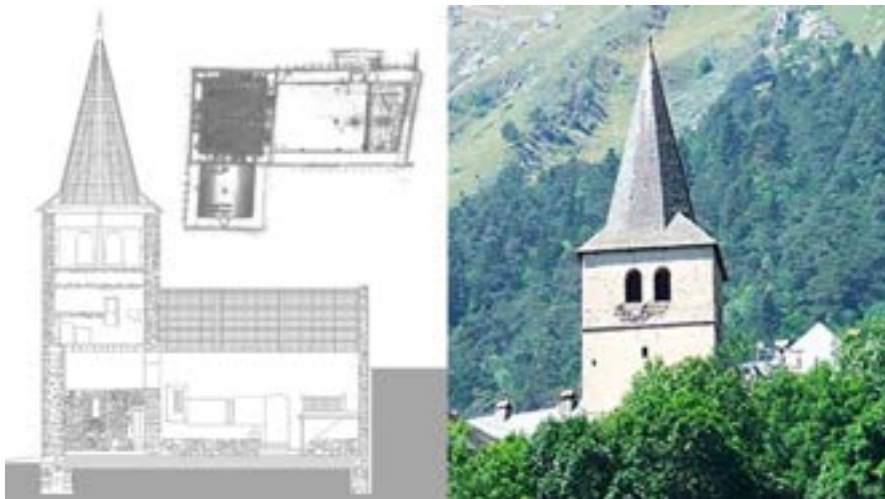


Figura 142. Campanau sus eth presbitèri de Sant Andrèu de Casau [27] damb accès entre es huelhes deth mur.

Un aute cas particular ei Sant Fèlix de Vilac [24], qu'ac hè damb ua posicion centrau sus era façada opausada ara absida. Ei bastit sus era façada occidentau, eth darrèr arc de ressaut dera nau e sus es traucs dera vòuta centrau. Aguesta carga actue com un gran pinacul qu'era sua accion gravitòria tendís a equilibrar es possibles accions orizontaus (Figures 143-144)

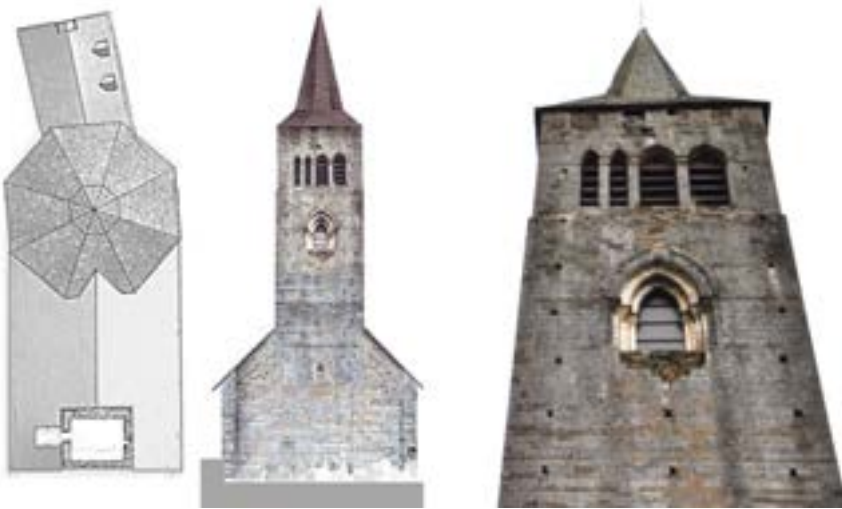


Figura 143. Campanau gotic sus es traucs des vòutes d'estructura romanica de Sant Fèlix de Vilac [24]



Figura 144. Campanau adorsat ara façada Oèst de Sant Fèlix de Vilac [24]

Uns auti des elements qu'ajuden ar equilibri son es contrahòrts. Se'n pòt determinar dues tipologies desparières: aqueri previsti en projècte iniciau e aqueri que se bastiren entà equilibrar bèri empossaments que produ-sien desplaçaments enes murs. Encara qu'existissen bèri exemples a on non existissen pas aguesti elements estructuraus tan caracteristics deth romanica dera Val d'Aran (Figures 145-146).



Figura 145. Planta e fotogrametria des façades de Santa Maria de Vilamòs [12], bastides inicialment sense contrahòrts



Figura 145. Parament meridionau de Sant Andreu de Salardú [37] bastit inicialment sense elements de resistència

Bèri uns des contrahòrts projectadi iniciaument, e pr'amor dera sua petita mida, poderien semblar plegamenrs deth mur, en tot compausar era imatge dera glèisa e aumentant considerablament era rigidesa deth mur e era estabilitat des façades meridionaus d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6] (Figura 47) e Sant Fèlix de Vilac [24] (Figura 148).



Figura 147. Contrahòrts dera façada meridionau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 148. Contrahòrts dera façada meridionau de Sant Fèlix de Vilac [24] qu'entoren eth portau

Bèri uns des contrahòrts dera façada meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] son projectadi dejà ena origina dera bastissa, encara qu'es caracteristiques formaus dera sua pèira-talhada, materiau e constructives siguen plan desparières as des sòns paraments plaçadi ath Nòrd (Figures 149-150)



Figura 149. Contrahòrts dera façada meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 496. Detalh der aparelh des contrahòrts dera façada meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] damb era traua de mur e contrahòrt

Es contrahòrts dera façada septentrionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] son projectadi ena origina dera bastissa, encara qu'era pèira-talhada ei de talha rectangulara, damb ua tipologia de pèira cauquièra, fòrça desparièra ara des paraments plaçadi coma barratge Sud (Figures 151-152).



Figura 151. Contrahòrts dera façada septentrionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 152. Detalh dera traua des contrahòrts damb es murs dera façada septentrionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Era auta tipologia de contrahòrts ei aquera a on son utilizadi coma elements de resisténcia des empossaments produsidi pes sues vòutes e que càmbien totaument era configuracion arquitectonica. Aguest ei eth cas paradigmatic de Santa Maria d'Arties [34], pr'amor que son es que formalizen andúes façades. Especiaument notable ena façada Sud, en tot semblar capèles lateraus (Figures 153-154).



Figura 153. Contrahòrts dera façada septentrionau de Santa Maria d'Arties [34] que configuren era sua naua imatge



Figura 508. Reforma des contrahòrts dera façada septentrionau de Santa Maria d'Arties [34]

Aguesta situacion se reproduís en mens mesura ena façada meridionau, a on era naua bastissa de tres grani contrahòrts, ath delà dera sua foncion estrictament estructurau, configure era imatge de Santa Maia d'Arties [34] sus eth sòn cementèri en tot conservar es dubertures (Figures 155-156)



Figura 155. Contrahòrts fòrta dera façada meridionau de Santa Maria d'Arties [34] que configure era sua façada



Figura 156. Detalh deth contrahòrt dera façada meridionau, a on s'òbsèrven es desplaçaments dera occidentau de Santa Maria d'Arties [34]

Ua auta accion similara ei era bastenda de contrahòrts de reparacion estructurala dera façada septentrionala de Santa Eulària d'Unha [38]. Dispause tanben d'ues condicions constructives fòrça desparières, en çò que tanha a talha e materiau as dera sua opausada. Aguesti elements configuren ua imatge fortificada deth conjunt surlheuat dera poblacion (Figures 157-158).



Figura 157. Detalh deth perfil des contrahòrts de reparacion estructurala dera façada septentrionala de Santa Eulària d'Unha [38]



Figura 158. Contrahòrts de reparacion estructurala dera façada septentrionala de Santa Eulària d'Unha [38] que configuren era sua imatge

Ua situacion pariona se produsic damb es granes deformacions ena cantoada Sud-occidentau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]. Aquiu es esbauçamens sigueren resolvudi damb era reconstrucccion d'un gran contrahòrt perpendicular ara façada de ponent e a on forme er accés Èst dera bastissa (Figures 159-160).

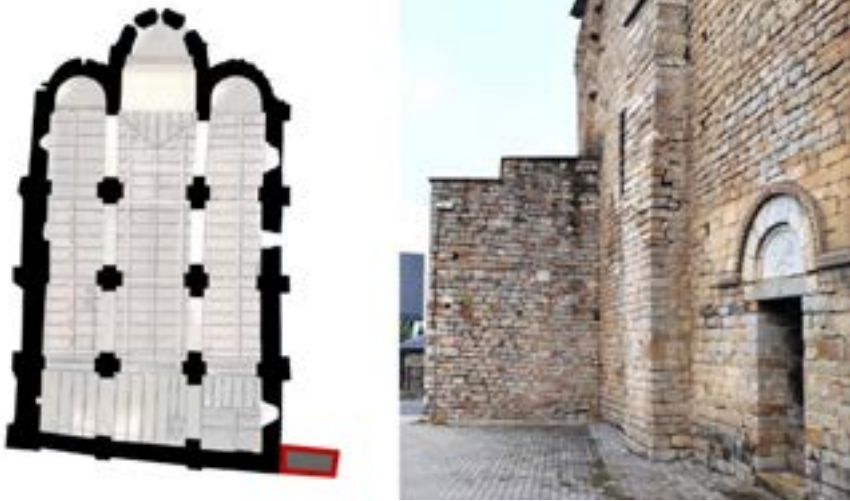


Figura 159. Contrahòrt de reparacion estructurai dera façada meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 160. Contrahòrt de reparacion estructurai dea façada meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] ena sua trobada damb era occidentau

7.3. Collapses e reparacions estructuraus

Es complicades condicions climatiques dera Val d'Aran, atau com era eterogeneïtat deth materiau e despeçament dera mampostaria, com en bèri casi eth dimensionament des sòns sistèmes constructius, a provocat eth collapse de bèra ua des sues bastisses. Eth cas mèns coneishut ei eth de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41], a on s'obsèrven uns cambis ena seccion damb era superposicion de dues tipologies de vòutes (Figures 161-162).



Figura 161. Fotogrametria dera façada de meddia de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41] damb dus nivèus en sòn acabat

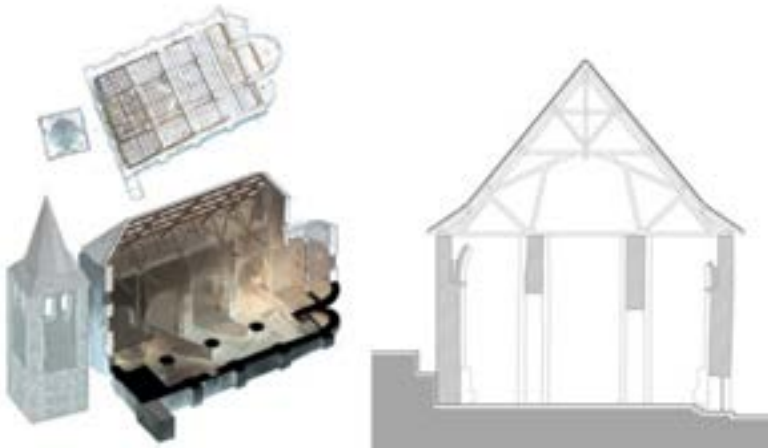


Figura 162. Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Es traces existentes ena façada Sud, damb dus nivèus de contrahòrts e arcs cècs, indiquen que i auec ua remontada importanta. Com en interior des naus lateraus, s'obsèrve clarament un cambi ena pèira-talhada, damb juntes en tot formar un arc de miei punt, suggerint atau ues prumères naus lateraus mès baishes cubèrtes damb vòuta de canon (Figures 163-164).



Figura 163. Traça semicirculara ena nau laterau meridionau de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 163. Traça de miei punt ena cabeçada de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Era situacion qu'observam aué en dia ei era pròpria deth collapse des vòutes de quart de canon. Se dedusís autant pera corbatura des parts non collapsades e sauvades ena restauracion com pes traces des murs deuantèrs des naus lateraus (Figures 165-166).



Figura 165. Detalh dera corbatura des vòutes de quart de canon de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 166. Traces des vòutes de quart de canon enes naus lateraus de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Ena sua planta basilicau, dempús dera intervencion, s'obsèrven dus nivèus de linhas d'acabat dera pèira talhada. Era prumèra ei era dera nau centrau, plaçada ena impòsta dera vòuta de canon (Figura 167). Era dusau, dades es traces existents, ei plaçada sus es murs de barratge e qu'era sua nautada conservada correspon as traucs des vòutes de quart de canon (Figura 168).



Figura 167. Impòsta dera antica vòuta de canon de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 168. Linha de trincament dera antica vòuta de quart de canon ena nautada des traucs enes naus centraus de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Era prumèra des linhas non mos apòrte pas massa informacion sus eth collapse, mès era dusau que podem observar consèrve ua part concava enquia ua nautada que correspon ath massís der començament des vòutes lateraus. Era darrèra intervencion prepausa ues cindres apuades sus es arcs dera nau centrau e sus es murs exteriors, circonstància que provòque que ja non se produsisquen empossaments horizontaus sus aguesti elements de supòrt (Figures 169-170).



Figura 169. Cindres de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 170. Cubèrta de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

A despriet qu'es sòns pilars son cruziformes damb un moment d'inèrcia major, enes circulars non s'aprècien pas grani esbauçaments ena nau centrau, ath contrari de çò que passe ena façada Sud. En aguest mur s'aprècien importantes modificacions en çò que tanh ath sòn nivèu, circumstància qu'obliguèc ara construccion de contrahòrts. Ua ipotèsi ei qu'aguestes deformacion produsiren eth collapse dera vòuta de quart de canon de me-dia e, a compdar d'aquiu, era queiguda successiva dera nau centrau e des vòutes dera nau centrau septentrionau (Figures 171-172).



Figura 171. Intervencions en Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]



Figura 172. Contrahòrt de Santa Maria de Cap d'Aran de Tredòs [41]

Un aute cas parion se podec produsir en Sant Fèlix de Bagergue [40], qu'ara sua glèisa de nau iniciaument unica se li annexionèren posteriorament dues capèles lateraus (Figura 173). Ena nau s'obsèrve clarament era linha de trincament dera vòuta de canon ara nautada deth massís des sòns traucs (Figura 174).



Figura 173. Capèles lateraus annexionades a Sant Fèlix de Bagergue [40] utilizades coma supòrts des murs de barratge



Figura 174. Nau de Sant Fèlix de Bagergue [40] a on s'obsèrve era diferéncia ena vòuta de canon

Autant es arcs de ressaut com era vòuta presenten ua clara linha de collapse observada perfectament ath long dera nau. Era nautada des impòstes des arcs de supòrt estant e dera vòuta mos senhale era linha d'equilibri. Aguest espaci ei coïncident damb eth remplit des traucs deth canon dera vòuta (Figures 175-176).



Figura 175. Linhas de collapse d'arcs e vòutes sus es impòstes de Sant Fèlix de Bagargue [40]



Figura 176. Linhas de collapse d'arcs e vòutes sus es impòstes de Sant Fèlix de Bagargue [40]



Figura 417. Linhas de collapse d'arcs e vòutes sus es impòstes de Sant Fèlix de Bagergue [40]

S'obsèrve a mès ua grana diferéncia entre eth remat dera façada Sud e eth son alairon, a on apareishen un arcs cècs (Figura 178.a), respècte ara septentrionau, a on aguesti elements an desapareishut, auent de recórrer ara construcció d'uns contrahòrts entà evitar es deformacions (Figura 178.b).



Figura 418. Diferéncia d'acabat enes murs deth serptentrion e deth meddia de Sant Fèlix de Bagergue [40]

Aguesti detalhs constructius dera façada meridionau, damb es contrahòrts plaçadi sus eth primitiu mur (Figura 179), e a diferéncia en sòn remat a nivèu de cubèrta (Figura 180), hèn a pensar qu'era causa deth collapso se produsic peth cediment d'aguest mur. Era posteriora construccion des capèles lateraus justificarie era condicion de contrahòrt dera nau centrau.



Figura 179. Contrahòrts deth mur meridionau de Sant Fèlix de Bagargue [40]



Figura 180. Detalh deth mur meridionau de Sant Fèlix de Bagargue [40]

Un aute cas singular ei eth campanau d' Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6], a on s'aprècien diuèrsi cambis formaus ena sua part superiora. Era eliminacion d'arcs cècs e reconstrucccion d'arqueria hè a presagiar ua importanta remodelacion ena sua part posteriora (Figures 181-182).



Figura 181. Discontinuitat des arcs cècs deth campanau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 182. Discontinuitat dera mampostaria d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Ena façada Sud s'obsèrve eth totau barratge deth primèr nivèu de hiestraus, e clarament diferenciat pera sua mampostaria. S'obsèrven perfèctament es lumedars dera antica dubertura, e a on se constaten ath delà importantes deformacions damb engrossiments en aguesta part des paraments (Figures 183-184).



Figura 183. Barratge deth primèr nivèu deth campanau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 184. Detalh deth barrat deth pardedar deth primèr nivèu de hiestraus deth campanau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Ena reforma dera part superiora des claus des arcs des hiestraus, era caraponent deth campanau remetec es arcs cècs damb era sua desaparicion, atau com era decoracion dentada superiora a sòrta de cornissa que sigueren afectadi peth collapse estructurau d'ua part deth campanau (Figures 185-187).



Figura 185. Detalh dera continuïtat des arcs cècs deth campanau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 186. Detalh dera discontinuïtat dera decoracion dentada deth campanau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 187. Detalh d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Ena cara Èst s'obsèrve ua discontinuïtat importanta, autant des detalhs arquitectonics com dera mampostaria (Figura 188). Era cara Nòrd manten era estructura originau, per çò que, pr'amor des granes reformes enes arcs des autes façades, permet d'ipotizar que se produisic un collapsee damb un esbauçament parcial, per ua grana afeccion estructural provocada per ua accion accidentau, com un relampit, aire o un tèrratrem.



Figura 188. Detalh deth parament orientau d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Per ua auta part, i a agut reparacions entà poder impausar es condicions d'equilibri de besonh. En cas de Sant Estèue de Betren [29], a on es emposaments deth canon apuntat dera grana lum estructurai, a agut d'èster neutralizat. Es traccions s'equilibren mejançant tirants d'acèr plaçadi estrategicament ena bastissa sacra (Figures 191-192).



Figura 191. Tensor d'acèr en presbitèri de Sant Estèue de Betren [29]



Figura 192. Tensor en dusau tram dera nau de Sant Estèue de Betren [29]

Aguesti tensors se placen en inici dera nau, d'auti dus en dusau e quatau arc de ressaut. Aguest ei coïncident damb eth portau d'entrada e en tot profiter era situacion deth còr dera glèisa (Figura 192). Eth ressòrt d'acèr anclat mejançant un cunh metallic traspasse totaument eth mur de barratge (Figura 193). 193).



Figura 192. Tensors ena vòuta de canon apuntada de Sant Estève de Betren [29]



Figura 193. Anclatges metallics des tensors enes façades septenetrionau e meridiana de Sant Estève de Betren [29]

Era sutilesa dera intervencion a on s'intègre, autant eth primèr cable sus eth presbitèri, e que pren coma supòrt entà penjar eth santcrist (Figura 194), com eth plaçat sus era barana deth còr, e qu'ath sòn torn realize foncions d'empuntalhament (Figura 195), representen un bon remèdi autant a nivèu estructurai com estetic.



Figura 194. Tensor sus eth presbitèri de Sant Estève de Betren [29] coma supòrt deth santcrist



Figura 195. Tensor en còr de Sant Estève de Betren [29] en tot préner coma supòrt era barana deth balcon lheuut

Us solucion pariona se realizèc en còr d' Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6], a on en prumèr nivèu se dispause d'ua viga d'acèr entà evitar eth desplaçament deth cap des pilars extrems (Figures 196-197).



Figura 196. Viga d'acèr en còr d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]



Figura 197. Viga de acèr en còr d'Era Mair de Diu dera Purificacion de Bossòst [6]

Pendent lèu un millènim i a agut ua luta per part des constructors e es moradors dera Val d'Aran en recèrca dera estabilitat d'aguestes bastisses (Figura 198). Aguest hèt a propiciat qu'agen apareishut ua seria d'intervencions qu'ath long dera istòria a anat motlant era arquitectura primigènia d'aguestes construccions. Eth resultat patrimoniau ei era addicion d'ua seria d'elements, contrahòrts, tensors de husta e elements de resistècia, qu'an configurat era imatge formau d'aguest conjunt de glèises qu'a arribat enquiàs nòsti dies.



Figura 198. Era recèrca der equilibri enes vòutes dera nau centrau de Santa Maria d'Arties [34];

Era conservacion deth patrimòni en totes es sues formes e periòdes istorics ei arraïtzada as valors atribusides ath patrimòni culturau. Era abiletat entà compréner aguestes valors depen, en part, ath grad de credibilitat o veracitat des hònts d'informacion sus aguestes valors tangibles o intangibles. D'aciu era importància dera investigacion sus aguestes glèises. Eth coneishement e comprension d'aguestes hònts d'informacion, en relacion damb es caracteristiques e significats originaus deth patrimòni culturau, ei un requisit basic entà avalorar toti es aspèctes dera sua autenticitat patrimoniau.

Grana part dera imatge deth romanic aranés a estat fistonada pera recèrca der equilibri des sòns moradors. Aguest sentit resilient respècte as sves bastisses sagrades ei ua des granes referéncias antropologiques qu'a fistonat eth sòn caractèr. Er esfòrç, trabalh e engèni entara construccion d'aguestes bastisses ei ua valor intrinseca d'aqueri aranesi (Figures 199-200).



Figura 199. Basa dera façada orientau de Sant Ròc de Begòs [14]



Figura 200. Cubèrta de Sant Estèue de Montcorbau [22]

Aguesta particularitat ei ua des granes valors patrimonias diferencias dera Val d'Aran e que s'an sabut salvar pendent mès d'un millèni. Es leçons d'aguesti auantpassats an demorat enes sues pèires. Per aquerò s'an de relièger en sòn sens epistemologic mès pregond e en tot préner coma hons aquerò qu'inspirèc a bastir aguest gran patrimòni sacre

8. BIBLIOGRAFIA

- Adeline, J. (1887). Vocabulario de Términos de Arte, escrito en francés por J. Adeline. Traducido y aumentado con más de 600 voces y anotado por José Ramón Mélida. Madrid: Obra publicada por la empresa de La Ilustración Española y Americana.
- Alcolea, S. (2008). *La missió arqueològica del 1907 als Pirineus*. Barcelona, Fundació “la Caixa”.
- Angelini, A; Gabrielli, R. (2013). Laser scanning e photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici. *Archeologia e Calcolatori*, 24, 379-394.
- Aroca, R. (1999). “Qué es estructura”. *Cuadernos del Instituto Juan de Herrera 1-16-08*. Madrid : Escuela de Arquitectura de Madrid.
- Bails, B. (1802). *Diccionario de Arquitectura Civil. Obra póstuma de Benito Bails. Primer Director que fue de Matemáticas de la Real Academia de San Fernando, Académico de las Reales Academias Española y de la Historia, y de la de Ciencias y Artes de Barcelona*. Madrid: Imprenta de la viuda de Ibarra.
- Bassegoda Musté, B. (1944). Racionalismo a ultranza en la arquitectura ojival. *Separata Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Tercera época, Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, núm. 504. XXVII. 4. 121- 138.
- Bassegoda Nonell, J. (1972). La Iglesia de Santa María de Arties, barroca y racionalista. Un templo sin cimientos. *La Vanguardia Española*. Jueves 28 de septiembre 1972, 51.
- Bassegoda Nonell, J. (1974). Estética expresionista de la arquitectura románica lombarda en Catalunya como consecuencia de las deformaciones formales y estructurales de las iglesias. *De Re Restauratoria*. Vol. II. Barcelona: Cátedra Gaudi. UPC.
- Bassegoda Nonell, J. (1977). Bóvedas medievales a la romana. *Separata Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. Tercera época núm. Barcelona: Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 782. XLIII. 8. 287-382.
- Besset, Y.; Genna A. (2023). *Miei Físic derabVal d'Aran. Geología*. Vihela: Institut d'Estudis Aranesi-Acadèmia aranesa dera lengua occitana.
- Block, P.; Ciblac, T; Ochsendorf, J. (2006). Real-time limit analysis of vaulted masonry buildings. *Computers and Structures*, 84, 1841- 1852.
- Blondel, F. (1675). *Cours d'architecture enseigné dans l'Académie Royale d'Architecture*. A Paris: de l'imprimerie Lambert Roulland.
- Boothby, T. E. (2001). Analysis of masonry arches and vaults. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 3,3, 246-256.
- Bucksch, A.; Lindenbergh, R. (2008). Skeletonization method for point cloud processing, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63. 115-127.
- Clairac y Sáenz Pelayo (1877-1908). *Diccionario general de arquitectura e ingeniería: que comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construcción, con sus etimologías, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés e italiano por Pelayo Clairac y Saénz; con una introducción por Eduardo Saavedra*. Madrid: Talleres de impresión y reproducción Zaragozano y Jaime.
- Coll-Pla, S.; Lluís i Ginovart, J.; Costa-Jover, A.; Lluís-Teruel, C. (2022): “Acercamiento formal y estudio estructural de la arquitectura románica del Valle de Arán”. *Revista Arquis*. 11.1, 1-15.
- Coll-Pla, S.; Puche-Fontanillas, J. M.; Costa-Jover, A.; Lluís i Ginovart, J. (2023). Datación cronológica de las iglesias pertenecientes al primer románico en el Valle de Arán. *Arqueología y Territorio Medieval*, 30, e791.

- Costa-Jover A.; Lluís i Ginovart, J.; Fortuny, G.; Coll, S. (2014). Large deformations on a XII Century Romanic church at Val d'Aran (Spain). En: *9th International Masonry Conference 2014 in Guimarães*. Lourenço, P.B.; Haseltine, B.; Graça Vasconcelos (ed). G. Guimarães: University of Minho, International Masonry Society (IMS).1-15.
- Choisy, A. (1873). *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris: Ducher et Cie.
- Choisy, A. (1883). *L'art de bâtir chez les Byzantins*. Paris: Librairies de la Société Anonyme de Publications Périodiques.
- Derand, F. (1643). *L'architecture des voûtes ou l'art des traits et coupe des voûtes*. Paris: Sebastian Cramoisy.
- De Reu, J.; Plets, G.; Verhoeven, G.; De Smedt, P.; Bats, M.; Cherretté, B.; De Clercq, W. B. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40.2, 1108-1121.
- Durliat, M. Allègre, V. (1969). *Pyrénées Romanes. La nuit des temps Collections, la-Pierre-qui-Vire*. Paris: Zodiaque.
- Español, F. (2013). El Pirineu desvetllat: Viatges i descoberta del patrimoni medieval el pirineu desvetllat: Viatges i descoberta del patrimoni medieval. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès*, Annals 2010-2011. IBIX, 7, 13-36.
- Garland, E. (2012). Les débuts de l'art roman dans le Val d'Aran. *Mémoires de la Société archéologique du midi de la France*. Toulouse: Société archéologique du Midi de la France. Tome LXXII, 82-105
- Galilei, G. (1638). *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno à due nuove scienze Attenenti alla Meccanica & i movimenti Locali*. Leiden: Elsevi.
- Golvin, J. C.; Jaubert, O.; Hegazy, E. S.; Lefur, D.; Gabolde, M. (1990). Essai d'explication des murs « à assises courbes », à propos de l'étude de l'enceinte du grand temple d'Amon-Rê à Karnak. *Comptes-rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, 134. 4, 905-946. badie.
- Granel, E; Ramon, A. (2006). *Lluís Domènech i Muntaner: viatges per l'arquitectura romànica*. Barcelona: Col·legi d'Arquitectes de Catalunya.
- Gregory, D. (1697). Catenaria. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 19, 637-652.
- Guarnieri, A.; Vettore, A.; Remondino, F. (2004). Photogrammetry and ground-based laser scanning: assessment of metric accuracy of the 3D model of Pozzoveggiani Church. En Working week, The Olympic spirit in surveying, XI International CIPA Symposium, 01- 06 October 2004, Athens, 1-15.
- Gudiol, J. (1902). *Nocions de arqueologia sagrada catalana*. Vic: Imp. de la Viuda de R. Anglada.
- Heyman, J. (1966). The Stone Skeleton. *International Journal of Solids and Structures*, 2, 249-279.
- Heyman, J. (1969). The safety of masonry arches. *International Journal of Mechanical Sciences*, 11, 363-385.
- Heyman, J. (1988). Poleni's problem. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 84.4, 737-759.
- Heyman, J. (1999). *The Science of Structural Engineering*. London: Imperial College Press.
- Heyman, J. (2001). *La ciencia de las estructuras*. Madrid, Instituto Juan de Herrera- CEHOPU.
- Heyman, J. (2003). Wren, Hooke and Partners. *Proceedings of the First International Congress on Construction History Madrid. 20th- 24th January 2003*, Huerta, S. (ed). Instituto Juan de Herrera.
- Hooke, R. (1676). *A description of helioscopes, and some other instruments*. London: Printed by T.R. for John Martyn.
- Huerta, S. (2004). *Arcos, bóvedas y cúpulas. Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica*. Madrid: Instituto Juan de Herrera. Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

- Huerta, S. (2005). Mecánica de las bóvedas de fábrica; El enfoque del equilibrio. *Informes de la Construcción*, 56.496,73-89.
- Huerta, S. (2021). Viollet-le-Duc and the élasticité of Gothic structures. En: *History of Construction Cultures*, Mascarenhas- Mateus & Paula Pires, London: CRC Press, 433-439.
- Isidoro de Sevilla (1982). San Isidoro de Sevilla. Etimologías. Edición Bilingüe II Libros XI-XX. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.
- Junyent, F.; Mazcunan, A.; Bargallo, E.; Pladevall, A.; Adell, J-A. (1987). *Catalunya Romanica. La Vall d'Aran, Vol. XIII*. Barcelona: Enciclopedia Catalana.
- Lavallée, J. (1847). *L'Univers. Histoire et description de tous les peuples: Espagne, Vol. 2*. Paris: Firmin Didot.
- Lorés, I.; Guardia, M. (2013). *El Pirineu Romànic vist per Josep Gudiol i Emili Gandia*. 2013. Tremp: Garsineu Edicions.
- Lorés, I.; Guardia, M. (2014). Les recerques i les publicacions de Josep Gudiol i Cunill en el context científic i cultural català. *Quaderns del MEV*, VII. 51-65.
- Lluís i Ginovart, J.; Costa-Jover, A. (2014). Patrimonio de la Vall d'Aran. La búsqueda del equilibrio a través de la deformación. Hacia una declaración de Patrimonio Mundial. En: *Era Batalha de Nurèth, 1213. Era Querimònia, 1313. Era Grana Patzeria. Tres hites importants entara Val d'Aran. Jornades d'Estudi. Val d'Aran 18,19 e 20 d'octubre de 2103*. Salardú, 102-111.
- Lluís i Ginovart, J.; Coll, S.; López, M. (2015). Masonry strain in the Vall d'Aràn churches. *WIT Transactions on the Built Environment*, 153, 443-455.
- Lluís i Ginovart, J.; Coll, S.; López, M. (2016). Las iglesias románicas del Valle de Arán y sus secciones antifuniculares. En: *Proceedings of 6th Euro-American Congress En: Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management. REHABEND 2016*, 386-393.
- Lluís i Ginovart, J.; Costa, A.; Coll, S. (2016a). *Thrantem Lapides MMXVI*. Tarragona: EAR, Universitat Rovira Virgili,
- Lluís i Ginovart, J.; Costa-Jover, A.; Coll-Pla, S. (2016b). *Glèises en Encurnanclinc de voutes Esgarramingades*. Tarragona: EAR, Universitat Rovira i Virgili, Institut Estudis Ilerdencs.
- Lluís i Ginovart, J.; López-Piquer, M. (2016). Revisión de la teoría de fábrica en las iglesias románicas del Valle de Arán. En: *Glèises en Encurnanclinc de voutes Esgarramingades*. Tarragona: EAR. Universitat Rovira i Virgili. Institut Estudis Ilerdencs, 27-42.
- Lluís i Ginovart, J.; López-Piquer, M. (2017). Revisión de la teoría de fábrica en las Iglesias románicas. En: *Proceedings Jornades de estudio del Valle de Aran. Ordinacions 1616*. Salardú, Spain, 04-06 novembre 2016. Vielha: Conselh Generau d'Aran, 63-72.
- Lluís i Ginovart, J.; López-Piquer, M.; Coll-Pla, S.; Costa-Jover, A. (2017). Topología de la arqueología litúrgica del primer románico del Val d'Aran. *Arqueología de la Arquitectura*, 14, e059.
- Lluís i Ginovart, J.; López-Piquer, M.; Lluís-Teruel, C. (2021). Las técnicas de Captura Masiva de Datos (MDC) y la sección principal en edificios con grandes deformaciones., *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 26, 70-79.
- Lluís i Ginovart, J.; Lluís-Teruel, C.; Coll-Pla, S.; Costa-Jover, A. (2021). Large deformations in barrel vaults: from anti-funicular to funicular vaults. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36.2, 210-221.
- Mariategui, E. (1876). *Glosario de algunos Antiguos Vocablos de Arquitectura y de sus Artes Auxiliares. Por el Coronel de ejército Don Eduardo Mariategui*. Madrid: Imprenta de Memorial de Ingenieros.
- Matallana, M. (1848). *Vocabulario de Arquitectura Civil, agrimensor del Exm. Ayuntamiento Constitucional de esta M. I. Villa*. Madrid: Imprenta Francisco Rodríguez.

- Montoya, J. (1983). Sant Blas. Colección "Eth Paisenhe. Les: s/n.
- Moseley, C.H. (1843). *On the Theory of the Arch. The Theory, The Theory, Practice, and Architecture of Bridges of Stone, Iron, Timber, and Wire*, edited by John Weale. London: Architectural Library. Ms. 457 (c. 1598- 1608). Biblioteca Central Militar, Madrid, Ing. 6-12-14.
- Navier, C. L. M. H. (1826). *Resumé des Leçons données à l'Ecole des Ponts et Chaussées sur l'Application de la Mécanique à l'Etablissement des Constructions et des Machines*. Paris: Firmin Didot.
- O'Dwyer, D. (1999). Funicular analysis of masonry vaults. *Computers & Structures*, 73.1-5, 187-197.
- Ortíz de Zeballos, A. (1976). La Val d'Aran, contenido de un paisaje. *Quaderns d'arquitectura i urbanisme*, 116, 16-28.
- Pavlidis, G.; Koutsoudis, A.; Fotis, A.; Vassilios, T.; Christodoulos, C. (2007). Methods for 3D digitization of Cultural Heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8.1, 93-98.
- Pesci, A.; Bonali, E.; Galli, C.; Boschi, E. (2012). Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 13.2, 215-220.
- Poleni G. (1748). *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano*. Padova: Stamperia del Seminario.
- Polo, J.; Cots, P. (2009). Santa Maria d'Arties (Naut Aran, Val d'Aran): Un exemple integrat a nivell de restauracion d'un monument a compdar des entresenhes arqueologiques. *Cicle de conferències patrimoni arqueològic i arquitectònic a les Terres de Lleida 2009*. Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació, 75- 103.
- Puig i Cadafalch, J. (1901). *Historia General del Arte. Escrita y editada en vista de los monumentos y de las mejores obras publicadas hasta el día, bajo la dirección del arquitecto Don José Puig i Cadafalch. Arquitectura. Tomo Segundo*. Barcelona: Montaner y Simón Editores.
- Puig i Cadafalch, J. (1906). Influences lombardes en Catalogne. Congrès Archéologique de la France, Carcassonne-Perpignan.
- Puig i Cadafalch, J. (1908). Les iglesies romàniques ab cobertes de fusta de les Valls De Bohí y d'Aran. *Anuari de l'Institut d'Estudis Catalans*. MCMVII, 119-136.
- Puig i Cadafalch, J.; Falguera, A.; Goday, J. (1918). *L'Arquitectura Romànica a Catalunya. Vol III*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Puig i Cadafalch, J. (1920) *L'Arquitectura Romànica a Catalunya*. Barcelona: Ricard Durant i Alsina.
- Recuero, A. (1988). Sistema CAD integrado para la edificación, *Informes de la Construcción*, 40.398, 129-133.
- Rejón de Silva, D. A. (1788). *Diccionario de las nobles artes: para instrucción de los aficionados, y uso de los profesores: contiene todos los términos ... de la Pintura, Escultura, Arquitectura y Grabado... según el método del Diccionario de la Lengua Castellana compuesto por la Real Academia Española*. Segovia: En la imprenta de D. Antonio Espinosa.
- Robison, J. (1801). Arch. In: *Supplement to the third edition of the Encyclopaedia Britannica*. Edinburgh: Thomson Bonar, 21-38, 4 plates.
- Roca, P.; Lodos, J. C. (2001) Análisis estructural de catedrales góticas. *Revista Ingeniería y Territorio*. 56.2, 38-49.
- Rodés de Sarrablo, T.; Niglio, O. (2019). Templos hermanados, espacios encontrados: la iglesia de Santa María de Vilamós (Valle de Arán) y la Pieve di San Giorgio a Brancoli (Lucca). *Revista EdA Esempli di Architettura*, 1, 1-9.
- Roigé, X.; Estrada, F.; Beltran, O. (1997). *La casa aranesa. Antropología de l'arquitectura a la Val d'Aran*. Tremp: Garsineu.

- Rojas, C. (1598). *Teorica y practica de fortificacion, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*. Madrid: Luis Sanchez.
- Rojas, C. (1598). *Teorica y practica de fortificacion, conforme las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*. Madrid: Luis Sanchez.
- Ros, E. (2012). Coneixement del patrimoni artístic aranès a través de fotografies i documents dels primers turistes. *Annals del Centre d'Estudis Comarcals del Ripollès. Annals 2010-2011*. IBIX 7. 239-268.
- Ros, E. (2013). Santa Maria d'Arties: dera roïna ar esplendor. *Cronica des actuacions (1972-2012). Terra Aranesa. II Epòca*, 12, 93-112.
- Ros, E. (2015). The movable and immovable heritage of the Aran Valley and its management. En: *Stremah 2015. Proceedings of the Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIV*. Brebia C. (ed) Ashurst Southampton: Wessex Institute of Technology Ashurst Lodge. 469-480.
- Ros, E. (cor). (2018). *Aran me fecit Des màstres constructors ara recerca deth patrimòni sacre*. Vielha: Conselh Generau d'Aran Airau de Patrimoni, Museu dera Val d'Aran.
- Sàez, G. (1976). Primera fase del proyecto de restauración de la Iglesia de Santa María de Arties en el Valle de Arán (Lérida). *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*, 16, 63-71.
- Sarrate i Forga, J. (1963). *La Provincia de Lerida, Extremo Sur- Occidental Del Área de Expansión del Arte Lombardo*. Lérida: Editorial Marlana.
- Sarrate i Forga, J. (1975a). *El Arte románico en el Cap d'Aràn*. Lleida: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos de Cataluña. Delegación de Lérida.
- Sarrate i Forga, J. (1975b). *El Arte románico en el Mig-Arán*. Lérida: José Sarrate Forga.
- Sarrate i Forga, J. (1976a). *El Arte románico en el Baix-Arán*. Lérida: José Sarrate Forga.
- Sarrate Forga, J. (1976b). *Esquema del Arte Románico Aranés*. *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo*, 116, 54-63.
- Smith, M. W.; Carrivick, J. L.; Hooke, J.; Kirkby, M. J. (2014). Reconstructing flash flood magnitudes using "Structure-from-Motion": A rapid assessment tool. *Journal of Hydrology*, 519, 1914-1927.
- Solé, J. *Istòria dera Glèisa en Aran*. Barcelona: Editorial, Larkos.
- Soler, J. (1906). *La Vall d'Aran: guía monográfica de la comarca per Juli Soler Santaló*. Barcelona: Tip. L'Avenç.
- Stirling, J. (1717). *Lineae tertii ordinis newtonianae, sive Illustratio tractatus D. Neutoni De enumeratione linearum tertii ordinis. Cui subjungitur Solutio trium problematum. Authore Jacobo Stirling, è Coll. Ball. Oxon, Oxoniae: E Theatro Sheldoniano: impensis Eduardi Whistler*.
- Torres Balbás, L. (1946). Bóvedas romanas sobre arcos de resalto. *Archivo Español de Arqueología*, 64, 217-262.
- Vergnolle, E. (1994). *L'art Roman in France*. París: Flammarion.
- Vergnolle, E. (1998). La colonne à l'époque romane. Réminiscences et nouveautés. *Cahiers de civilisation médiévale*, 41.162, 141-174.
- Vidal, M. T. (2011). *Levantamiento arquitectónico y estudio físico constructivo de la iglesia de Sant Miquèu de Vielha*. Proyecto Final de Carrera de Arquitectura Técnica del Plan 2002 en la Universitat Politècnica de Catalunya. dirigido por Juan Serra Santasusagna.
- Villanueva, L. (1974) "Las bóvedas de cañón". *De Re Restauratoria. Vol. II*. Barcelona Cátedra Gaudi. UPC.
- Viollet-le-Duc, E. E. (1854-1868). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle*. Paris: B. Bance, A. Morel.

- Viollet-le-Duc, E. E. (1972). *Voyage aux Pyrénées 1833: lettres à son père et journal de route*. Lourdes: Les Amis du Musée Pyrénéen.
- Willis, R. (1835). *Remarks on the Architecture of the Middle Ages, especially of Italy*. Cambridge: Pitt Press.
- Willis, R. (1842). On the Construction of the Vaults of the Middle Ages. *Transactions of the Royal Institute British Architects*, 1, 3-13.
- Whitechill, W. M. (1941). *Spanish Romanesque Architecture of the Eleventh Century*. London: Oxford University Press.
- Whitechill, W. M: Gumí, J. (1973). *L'art romànic a Catalunya segle XI*. Barcelona: Edicions 62.
- Wolfe, M.; Mark, R. (1976). Collapse of the Vaults of Beauvais Cathedral in 1284. *Speculum*, 51.3, 462-476.
- Yilmaz, H. M.; Yakar, M.; Gulec, S.; Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8.4, 428-433.
- Zalama, E.; Gómez, J.; Llamas, J.; Melero, A. (2010). An effective texture mapping approach for 3D models obtained from laser scanner data to building documentation. *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 26, 381-392.